

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY

Katedra fyzické geografie a geoekologie

# **Hodnocení geodiverzity na území CHKO Broumovsko**

(diplomová práce)

Bc.Barbora Tesařová

Vedoucí práce: RNDr. Zbyněk Engel, Ph.D.

PRAHA 2009

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Zbyňkovi Engelovi, Ph.D. za odborné vedení práce. Dále děkuji Mgr. Věře Malé (geoložce Správy CHKO Broumovsko) a Mgr. Tomášovi Křehlíkovi (geoinformatikovi Správy CHKO Broumovsko) za četné rady a poskytnutí potřebných podkladů. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Veronice Kopačkové z České geologické služby za poskytnutí dat, Mgr. Stanislavu Bekovi za cenné rady při vytváření digitálního modelu reliéfu, Ing. Jáchymu Čepickému za rady potřebné k řešení softwarových problémů. V neposlední řadě doc. Milanovi Chytrému, Ph.D a Bc. Daně Michalcové za poskytnutí botanických dat a RNDr. Tomášovi Chumanovi, Ph.D za konzultace. Přátelům a rodině za poskytnutou podporu.

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracovala sama a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

Praha 21. 4. 2009

.....

podpis

## Abstract

This diploma thesis is focused on phenomenon of geodiversity in the area of Broumovsko protected landscape area using digital data. It compares results of this abiotic diversity to biotic diversity of the area. Diploma thesis consists of four parts. The first one is a brief description of physical geographic characterization. The second one presents definition of geodiversity and its assesment. The third one describes the process of elaboration of geodiversity and its comparing to the biotic diversity in the study area. The last one is devoted to the study results. Spatial data have been worked up mostly in GIS softwares (ArcMap 9.2, ArcCatalog 9.2, Grass GIS 6.3.0, Turboveg 2.0).

## OBSAH

1	Úvod.....	6
2	Fyzickogeografická charakteristika Broumovska	
2.1	Vymezení zájmové oblasti .....	7
2.2	Geologická charakteristika.....	9
2.3	Geomorfologická charakteristika .....	11
2.4	Klimatické poměry .....	13
2.5	Hydrologické poměry.....	15
2.6	Pedologická charakteristika.....	16
2.7	Biogeografické a zoogeografické poměry.....	18
3	Diverzita neživých složek přírody	
3.1.1	Ochrana neživé přírody .....	20
3.1.2	Definice geodiverzity .....	20
3.2	Hodnocení geodiverzity .....	21
3.3	Vztah geodiverzity a biodiverzity .....	23
4	Metodika	
4.1	Použitá data .....	25
4.2	Postup stanovení geodiverzity Broumovska .....	26
4.2.1	Substrátová diverzita .....	27
4.2.2	Topografická diverzita .....	29
4.2.3	Topoklimatická diverzita.....	33
4.2.4	Vlhkostní diverzity .....	34
4.2.5	Hydrografická diverzita.....	35
4.2.6	Půdní diverzita.....	36
4.3	Hodnocení celkové geodiverzity území .....	37
4.4	Biotická diverzita .....	39
4.5	Závislost biodiverzity na geodiverzitě .....	40
4.5.1	Grafická metoda .....	40
4.5.2	Regresní analýza .....	40
5	Výsledky.....	41
5.1	Substrátová diverzita .....	41
5.2	Topografická diverzita .....	41
5.3	Topoklimatická diverzita.....	48
5.4	Vlhkostní diverzity .....	48

5.5	Hydrografická diverzita.....	52
5.6	Půdní diverzita.....	52
5.7	Hodnocení celkové geodiverzity území .....	54
5.8	Hodnocení biodiverzity .....	54
5.9	Závislost biodiverzity na geodiverziě .....	54
6	Diskuze.....	58
7	Závěr.....	60
8	Literatura .....	61

Přílohy:

Příloha 1: Geologické mapy Broumova

Příloha 2: Mapy sklonitostí

Příloha 3: Nadmořské výšky

Příloha 4a: Mapa orientace ke světovým stranám

Příloha 4b: Ukázka mapy expozice

Příloha 5: Mapy profilové a tangenciální křivosti

Příloha 6: Mapa relativní výškové členitosti

Příloha 7: Půdní mapa

Příloha 8: Mapy hydrologických charakteristik

## 1 ÚVOD

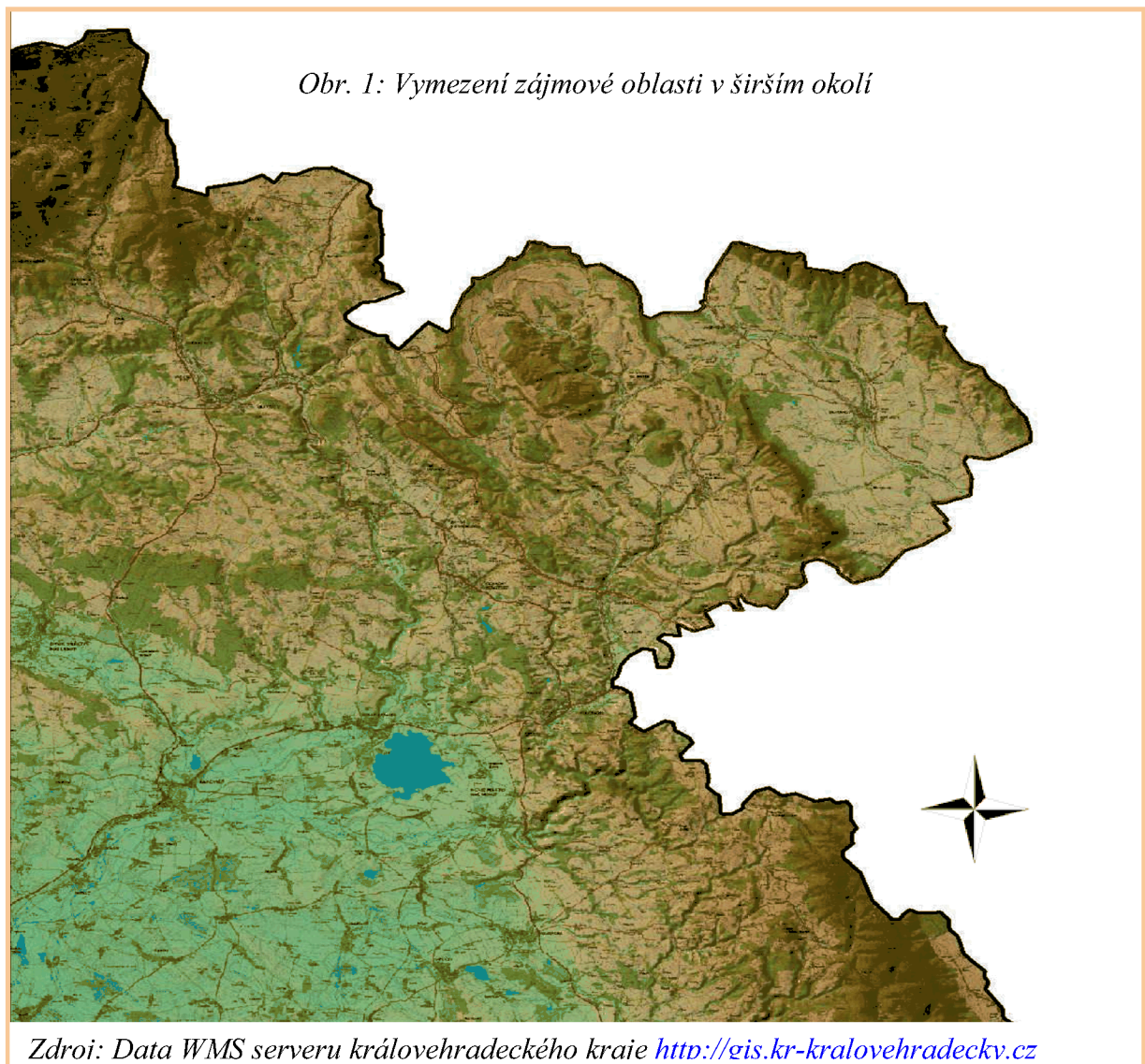
Hlavním cílem této diplomové práce je hodnocení geodiverzity pomocí nejpřesnějších dostupných digitálních dat s využitím vhodného programového vybavení. Dílčím cílem práce je určení biotické diverzity a zhodnocení závislosti abiotické a biotické diverzity. Ke zpracování cílů bylo díky znalosti regionu i z důvodu dobré předešlé spolupráce na bakalářské práci vybráno území CHKO Broumovsko. Z bakalářské práce pak byla převzata část fyzickogeografické charakteristiky, která byla upravena a aktualizována.

Práce se skládá z několika částí. První část je věnována stručné fyzickogeografické charakteristice zájmové oblasti. Do druhé části patří rešerše pojmu geodiverzita, její význam, metody jejího hodnocení, její vliv na biotu. Ve třetí části je uveden postup zpracování geodiverzity pro území CHKO Broumovsko a postup porovnání geodiverzity s biodiverzitou. Uveden je použitý software a data. Čtvrtá část je věnována výsledkům práce a diskuzi.

## 2 FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

### 2.1 Vymezení zájmové oblasti

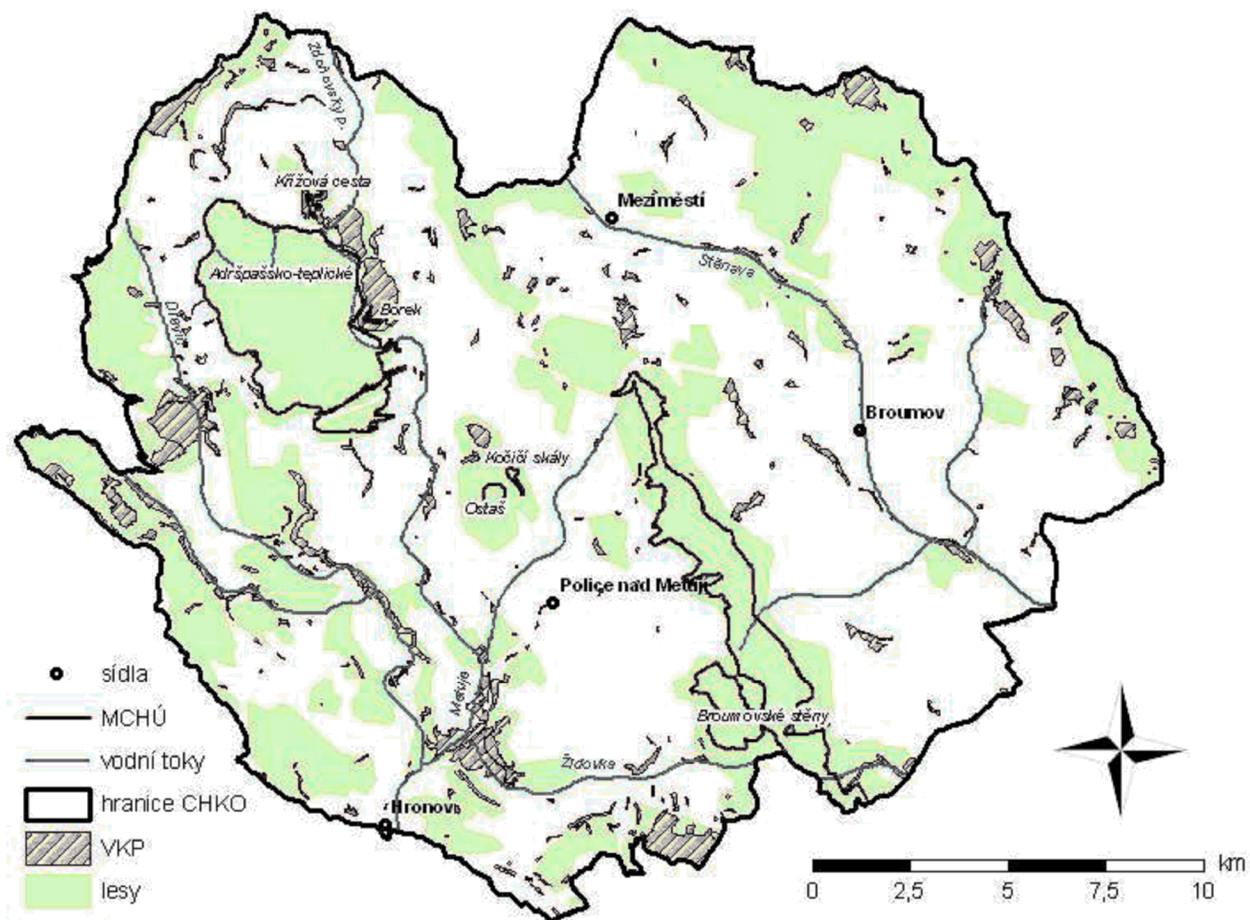
Území Broumavska patří do geologického celku vnitrosudetské pánve, která se sice rozkládá převážně na území Polska, do České republiky ale zasahuje jednou třetinou své rozlohy, a to právě mezi Krkonošemi a Orlickými horami (viz obr. 1). Oblast je nazývána Sudetským meziohřím i podle fytogeografického a geomorfologického členění (dnes častěji používáno označení Broumovská vrchovina). Morfologicky nejbohatší je střední část Mezihoří, kudy prochází i významné evropské rozvodí, a to od severu k jihu po hřbetu Mirošovských a Broumovských stěn. Západ území je odvodňován řekou Metují do Severního moře a východ území řekou Stěnavou do moře Baltského. Broumovské stěny jsou zároveň významným klimatickým předělem, východ území je vzhledem k převládajícímu směru proudění vzduchu v závětrné a teplejší poloze, západ je vlhčí. Rozsah nadmořských výšek Broumavska je od 351m do 880 m n m s nejvyšším vrcholem Ruprechtický Špičák.



Území Broumovska bylo v roce 1991 vyhlášeno chráněnou krajinnou oblastí o celkové ploše 432 km<sup>2</sup>. Do zájmového území patří dvě téměř největší Národní přírodní rezervace v ČR: Adršpašsko-teplické skály a Broumovské stěny (viz obr .2). Mezi další stupně ochrany přírody pak patří Přírodní rezervace Křížová cesta, Ostaš, Farní stráž a Přírodní parky Borek, Kočičí skály, Mořská transgrese, Pískovcové sloupky. Pro úplnost lze zmínit 20 lokalit památných stromů. Na území jsou navíc evidované lokality významných krajinných prvků (316, k lednu 2009) (viz obr 2), tyto lokality mají nemalý význam z hlediska ochrany přírody a mohou být do budoucna podkladem pro vyhlásování maloplošných chráněných území.

Současné cíle ochrany přírody a nástroje k jejich dosažení jsou uvedeny v Plánu péče o CHKO Broumovsko (HÁJEK, HEINZELOVÁ, a kol. , 2003) s platností do roku 2013.

Obr. 2: CHKO Broumovsko



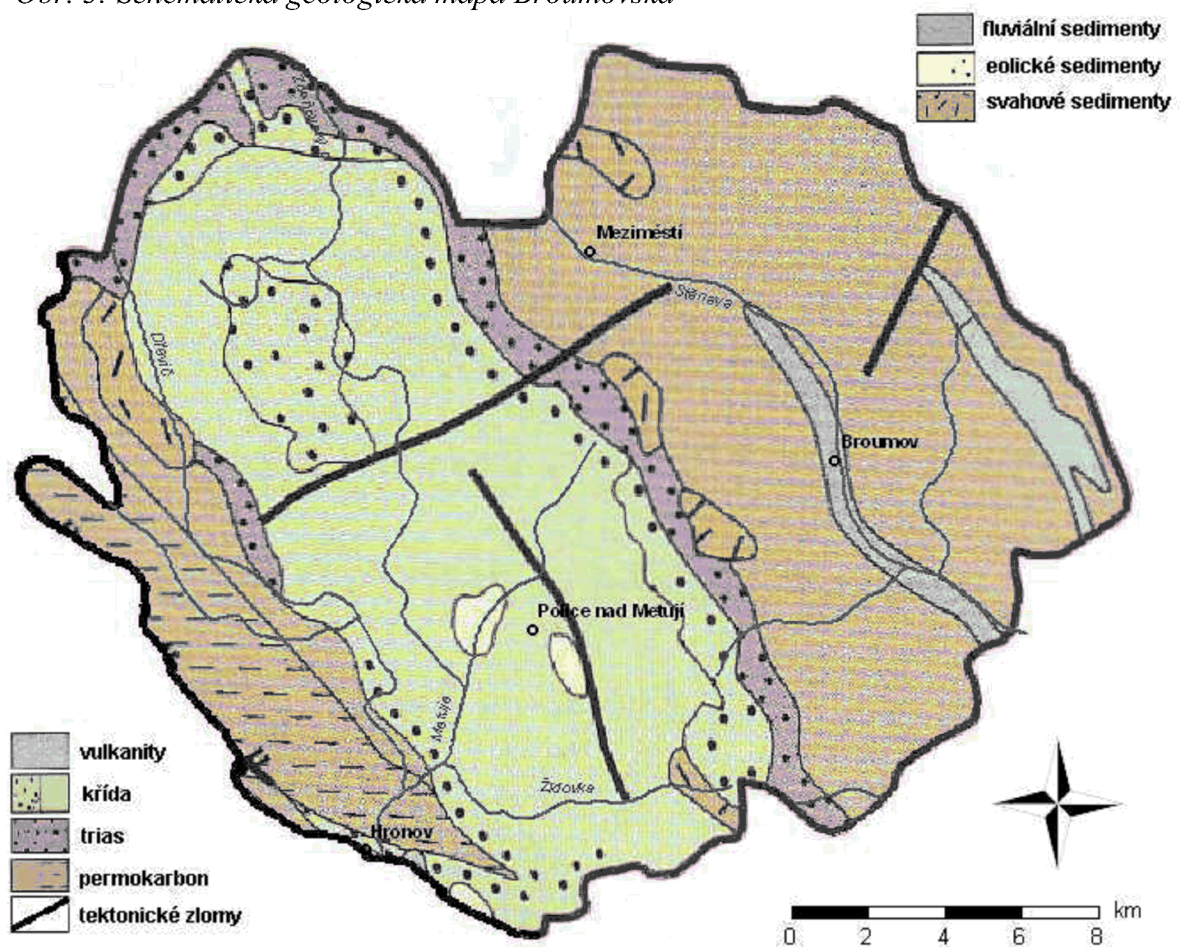
Zdroj: vlastní zpracování v ArcMap9.2 z dat AOPK ČR



## 2.2 Geologická charakteristika

CHKO Broumovsko patří ke geologickému celku vnitrosudetské pánve, která zasahuje na území ČR třetinou své rozlohy. Větší část této oblasti (60 %) je budována sedimenty a vulkanity svrchního karbonu, permu a spodního triasu, zbývající část tvoří mořské uloženiny svrchní křídly (viz obr. 3). Na obvodu pánve, z větší části již na území Polska, vystupují krystalinické masívy proterozoického a staropaleozoického stáří (Krkonosko-jizerské, orlicko-kladské krystalinikum a krystalinikum Sovích hor). Tyto masívy se noří pod sedimentární výplň pánve a tvoří její podloží (TASLER, 1979).

Obr. 3: Schématická geologická mapa Broumovska



Zdroj: vlastní zpracování dle Faltysová a kol.

Celá pánve je brachysnklinálou, která je výsledkem dlouhodobého tektonického vývoje probíhajícího během mladšího paleozoika a mezozoika a ukončeného v době sálské tektogeneze (paleogén). Pánve se dotvořila při poslední větší tektogenetické etapě – saxonském vrásnění, kdy byly sedimenty Broumovského výběžku prohnuty a z okrajů pevnějších vrstev vznikly kuesty (KUNSKÝ, 1968). Dnešní osa pánve představuje nejhluběji

zakleslou část pánve a sleduje severozápadní směr (sudetský). V osní části pánve se zachovaly svrchněkřídové sedimenty budující dílčí strukturu Polické pánve. Na jihu a jihovýchodě zakrývá křída permokarbonské a triasové sedimenty, na jihozápadě vystupuje karbon nad křídou (viz obr. 3).

Vývoj sedimentace:

Bazální jednotkou sedimentární výplně vnitrosudetské pánve přímo na krystalickém fundamentu je *žacléřské souvrství* (svrchní karbon), ve kterém se střídají slepence a pískovce s výlevy melafyřů a ryolitových tufů karbonského vulkanismu (KUNSKÝ, 1968).

Nad žacléřským souvrstvím následuje *odolovské souvrství* (aleuropelity a arkózy), *chvalečské souvrství* na přelomu karbonu a permu (červeně zbarvené sedimenty fluviálních plošin a jezerní karbonáty) a *broumovské souvrství* se silným vulkanismem (melafyry a ryolity Javořích hor). Po uložení těchto čtyř souvrství dochází k silným tektonickým pohybům v rámci variského vrásnění. Po něm následuje *trutnovské souvrství* s brekciemi, slepenci a aleuropelity, mladší *bohoslavické souvrství* s pískovci a arkózami (hřbet Žaltmanu). Poslední kontinentální sedimentací je triasové *bohdašinské souvrství* (TÁSLER, 1979). Mocnost všech těchto souvrství dosahuje 3000 – 4400 m (KUNSKÝ, 1968).

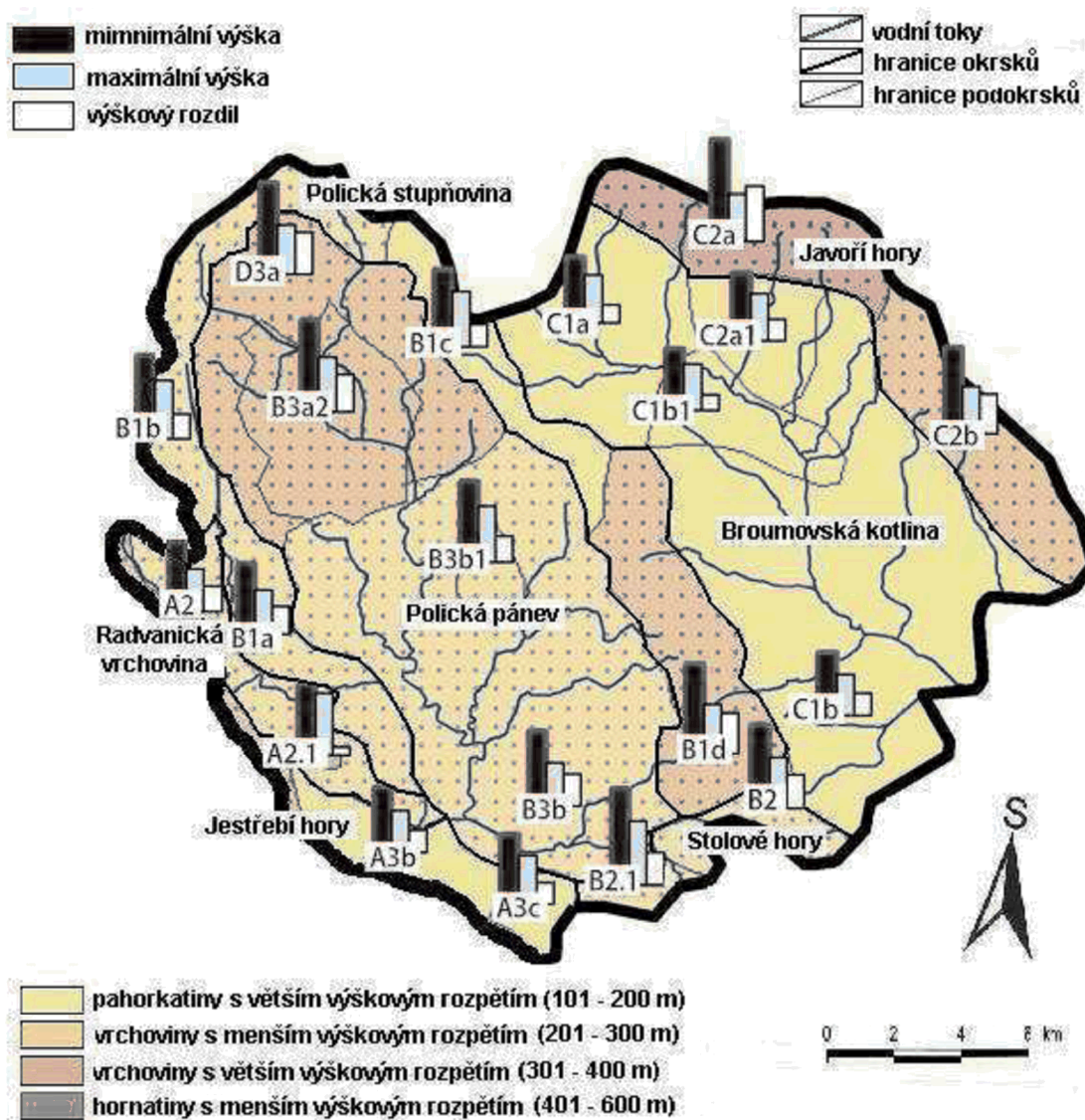
Po skončení triasové sedimentace nastává období, během kterého byl terén silně denudován. Denudace byla přerušena až transgresí křídového moře, jehož sedimenty najdeme dodnes v osní části pánve. Základem mořských usazenin jsou *korycanské vrstvy*, které jsou tvořeny pískovci cenomanského stáří. Na ně navazují slínovce *bělohorského souvrství* (spodní turon), prachovce a prachové pískovce středního turonu (Broumovské stěny). Nejmladší mořskou sedimentací reprezentuje *březenské souvrství* křemenných kvádrových pískovců coniakového stáří (KOPECKÝ IN FALTYSOVÁ A KOL, 2002). Následuje regrese moře a pokračování denudace. Postupným rozpadem pískovců březenského souvrství vznikly Adršpašsko-teplické skály, Ostaš a Stolové hory.

Kvartérní sedimentace je ve studovaném území zastoupena zejména povodňovými hlínami, říčními terasami a sprašovými hlínami podél Metuje a Stěnavy (viz obr. 2). Plošně rozsáhlé jsou rovněž svahové sedimenty vzniklé mrazovým větráním v pleistocénu, a to zejména v Broumovských stěnách, Adršpašsko-teplických skalách, na svazích Ostaše, Hejdy, Boru a Závory. Ostrůvkovitě jsou zastoupeny chemogenní sedimenty - pěnovce na výchozech otovického vápence v Otovicích, pramenitové kupy - v Horním Dřevíči, aktuálně i severně od Stárkova. Kupy jsou vázané na prameny vyvěrající zpod křídových opuk při západním okraji Polické vrchoviny (KOPECKÝ IN FALTYSOVÁ A KOL, 2002).

### 2.3 Geomorfologická charakteristika

Území Broumovska z větší části odpovídá geomorfologickému celku Broumovská vrchovina (dříve Sudetské Mezihoří) v Orlické oblasti. Pouze na západě zasahuje podcelkem Žacléřské vrchoviny i za hranici území. Dnešní morfologickou tvářnost ovlivnila nejvíce poslední saxonská orogeneze a geologická stavba území. Synklinální stavba permokarbonu a svrchní křída zapříčiňuje stupňovitou stavbu území, uplatnila se zde selektivní denudace, která vypreparovala typy hornin odolnějších vůči zvětrávání. Strukturu stupňů rozčleňují erozní údolí říčního systému Metuje a Stěnavy (TÁSLER, 1979). Bylo použito geomorfologické členění dle Balatky a Kalvody z roku 2006 (viz obr. 4) a přiložena tabulka (viz tab.1), která je nedílnou součástí obrázku.

Obr. 4: Morfografická mapa a geomorfologické členění Broumovska (BALATKA, 2006, upraveno)



Tab.1: Geomorfologické členění Broumova (upraveno podle BALATKA A KALVODA, 2006)

Subprovincie Subprovince	Oblast Region	Celek Unit	Podcelek Subunit	Okrsek District	Podokrsek Subdistrict	Část Part	Název geomorfologické jednotky Name of the geomorphological unit	Maximální výška Highest point in m	Minimální výška Lowest point in m	Rozpětí Amplitude span in m	Plocha km <sup>2</sup>
IV	B	1	A				<b>Žacléřská vrchovina</b>	880	365	515	82,26
IV	B	1	A	2			Radvanická vrchovina	602	375	227	21,93
IV	B	1	A	2		1	Turov	602	530	72	0,51
IV	B	1	A	3			Jestřebí hory	740	365	375	60,33
IV	B	1	A	3	a		Žaltnanský hřbet	740	395	345	44,20
IV	B	1	A	3	b		Maternický hřbet	561	365	196	11,82
IV	B	1	A	3	c		Bukovinský hřbet	600	415	185	4,31
IV	B	1	B				<b>Polická vrchovina</b>	828	375	453	188,99
IV	B	1	B	1			Polická stupňovina	773	375	398	71,91
IV	B	1	B	1	a		Stárkovské kuesty	607	375	232	14,33
IV	B	1	B	1	b		Janovické kuesty	712	500	212	21,60
IV	B	1	B	1	c		Zdoňovské kuesty	664	475	189	11,70
IV	B	1	B	1	d		Broumovské stěny	773	425	348	24,28
IV	B	1	B	2			Stolové hory	725	440	285	7,16
IV	B	1	B	2		1	Bor	828	550	278	2,72
IV	B	1	B	3			Polická pánev	786	375	411	109,92
IV	B	1	B	3	a		Teplická pánev	786	425	361	29,50
IV	B	1	B	3	a	1	Adršpašsko-teplické skály	786	470	316	21,78
IV	B	1	B	3	b		Machovská pánev	650	375	275	80,42
IV	B	1	B	3	b	1	Ostaš - Hejda	700	480	220	4,49
IV	B	1	C				<b>Meziměstská vrchovina</b>	880	351	529	156,98
IV	B	1	C	1			Broumovská kotlina	567	351	216	119,46
IV	B	1	C	1	a		Meziměstská kotlina	567	415	152	25,09
IV	B	1	C	1	b		Otovická kotlina	541	351	190	83,13
IV	B	1	C	1	b	1	Hynčický hřbet	523	395	128	11,24
IV	B	1	C	2			Javoří hory	880	400	480	37,52
IV	B	1	C	2	a		Ruprechtický hřbet	880	410	470	17,88
IV	B	1	C	2	a	1	Heřmánkovický hřbet	580	400	180	11,01
IV	B	1	C	2	b		Šonovský hřbet	740	405	335	19,64

Meziměstská vrchovina (SV) je tvořena *Javořimi horami* budovanými ignimbrity s podložím ryolitových tufů. Nachází se zde Ruprechtický Špičák (880 m), který je nejvyšším vrcholem CHKO Broumovsko. Druhým geomorfologickým okrskem je *Broumovská kotlina* s členitými Broumovskými stěnami. Střední částí kotliny protéká řeka Stěna.

Žacléřská vrchovina (Z) zahrnuje *Jestřebí hory* s nejvyšším hřbetem Žaltmanu (739 m) tvořeným arkózami. Typické je střídání pevných a relativně měkkých hornin, což podmiňuje vznik asymetrických hřbítků a mělkých depresí. Dalším okrskem je *Radvanická*

*vrchovina* se stolovou horou Turov (603 m), která představuje tektonicky podmíněný denudační zbytek svrchní křídy.

Polická vrchovina (střed a V) je charakterizována pestrou morfologií, podmíněnou důležitými tektonickými zlomy: SZ – JV orientovanými Polickým a Bělským zlomem, v příčném směru Skalským zlomem. *Polická pánev* sestává ze strukturně denudačních plošin uvnitř území a z oválného věnce vnitřních kuest při obvodu území a vyznačuje se tak mírným sklonem svahu ke středu pánve a příkrým sklonem čelního svahu po obvodu asymetrických hřbetů (TÁSLER, 1979). Gravitačními pochody zde vznikají rozsedliny (Vysoký kámen u Stárkova). V ose pánve najdeme plochý reliéf proříznutý řekou Metují, na kterém leží tabulové plošiny a stolové hory Adršpašsko-teplických skal (20 km<sup>2</sup>) a Ostaše. Nejvyšším vrcholem je Čáp (786 m), mezi další vrcholy patří Skály (694 m) a Křížový vrch (666 m). *Polická stupňovina* tvoří obvod celé Polické pánve soustavou vnějších kuest. Nejvyšším vrcholem je Božanovský Špičák (772 m.) v JZ části Broumovských stěn, které se vyznačují četnými pseudokrasovými tvary. *Stolové hory* na české území zasahují jen svahy spadajícími do Machovské a Broumovské kotliny, nejvyšším vrcholem je Suchý vrch (720 m).

Současný morfologický výzkum je zaměřen hlavně na mezofomy pseudokrasových jeskynních systémů, kterými se na Broumovsku zabývá Kopecký (1998, in TESAŘOVÁ, 2006). V roce 2008 bylo dokázáno, že jeskynní systém pod Teplickými skalami je propojen, oblast tak byla zařazena k největšímu podzemnímu pseudokrasovému systému střední Evropy, nazvaným Poseidon (<http://www.caves.cz/cz/sprava/pece-o-jeskyne/vyzkum/programy>).

## 2.4 Klimatické poměry

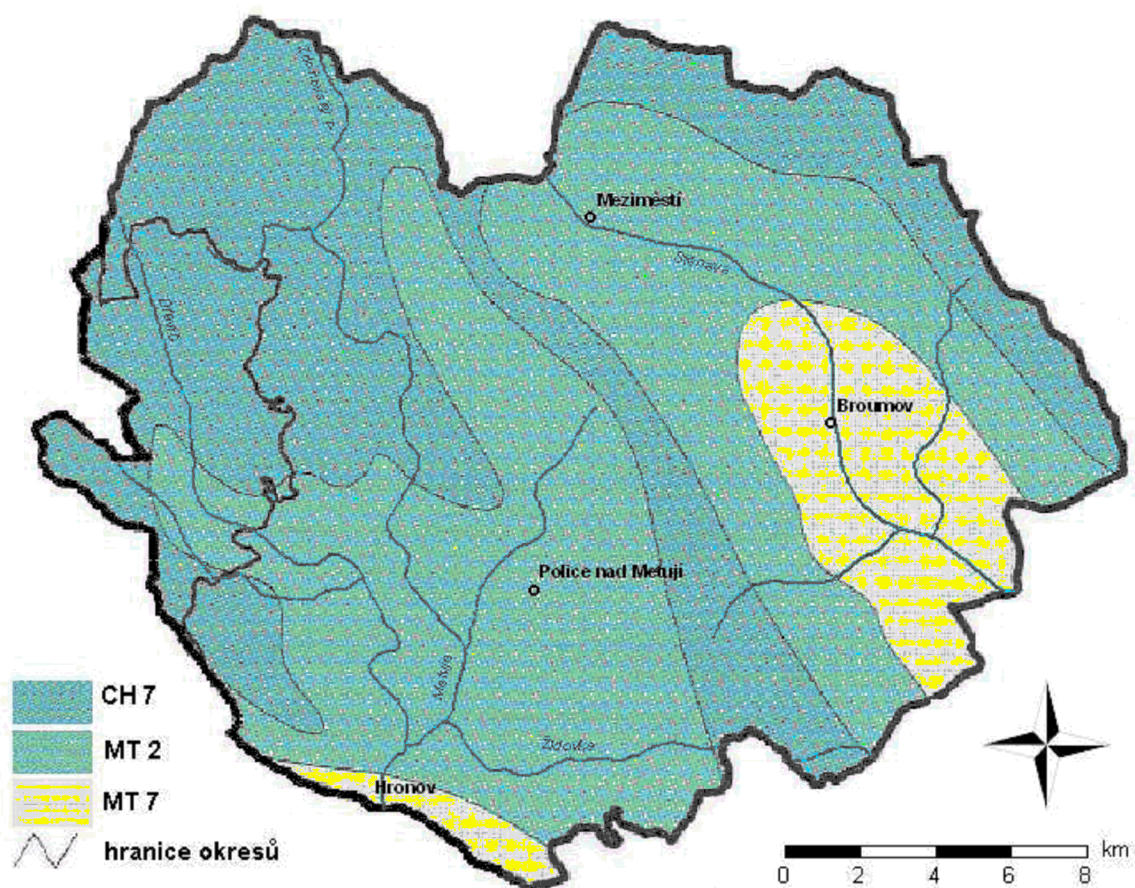
CHKO Broumovsko je v mírně teplé podnebné oblasti, ale ve vlhkém až velmi vlhkém vrchovinném okrsku a v převážném vlivu západních větrů - kvadrant SZ-JZ (KUNSKÝ, 1968). Velká členitost území způsobuje na krátkých vzdálenostech značné podnební rozdíly.

Území CHKO protíná ve směru SZ-JV proměnlivá linie klimatického předělu mezi "českou" (vlhčí) a "slezskou" (kontinentálnější) klimatickou oblastí. Lokalizace klimatického předělu se polohově mění od linie hřbetu Jestřebích hor po linii hřbetu Broumovských stěn. Častý rozpad nízké oblačnosti podél předělové linie přináší zvýšené srážky a imisní zátěže. Návětrné svahy hřbetů Jestřebích hor a Broumovských stěn vykazují i větší mlhy z nízké oblačnosti a rovněž výskyt mohutných námraz v období nástupu zimy (METELKA in FALTYSOVÁ A KOL., 2002).

Podle klimatické rajonizace ČR (QUITT, 1971) patří území do klimatické oblasti mírně teplé až mírně chladné (viz obr. 5, tab 2). Nejteplejší částí je jižní polovina Broumovské

kotliny v závětrné poloze. Do chladné oblasti patří hřbetové partie Javořích a Jestřebích hor, Broumovských stěn, okolí Teplíc, Adršpachu a Jívky (FALTYSOVÁ A KOL., 2002).

Obr.5: Klimatické rajony Broumavska



Tab. 2: Vybrané charakteristiky klimatických oblastí Broumavska

Oblast/Rajon	Chladná	Mírně teplá	
	CH 7	MT 2	MT 7
Počet letních dnů	10 - 30	20 - 30	30 - 40
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	120 - 140	140 - 160	140 - 160
Průměrná teplota v lednu	-3°C - -4°C	-3°C - -4°C	-2°C - -3°C
Průměrná teplota v červenci	15°C - 16°C	16°C - 17°C	16°C - 17°C
Srážkový úhrn ve vegetačním období	500 - 600 mm	450 - 500 mm	400 - 450 mm
Srážkový úhrn v zimním období	350 - 400 mm	250 - 300 mm	250 - 300 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	100 - 120	80 - 100	60 - 80
Počet jasných dnů	40 - 50	40 - 50	40 - 50

Průměrné roční teploty dosahují 5 – 6 °C (Hronov a Broumov 7,2 °C). Množství srážek se mění v závislosti na reliéfu, pohybuje se od 650 mm v Broumovské kotlině do

1000 mm ve vyšších polohách, z toho podíl zimních srážek se pohybuje okolo 250 – 400 mm (FALTYSOVÁ A KOL., 2002). Sněhová pokrývka dosahuje výšky až 30 cm (v teplejším závětrí 17 cm) a přetrvává průměrně 70-90 dnů. V řadě extrémně chladných pseudokrasových jeskyní s mikroklimatickým charakterem se sníh a led vyskytuje i v letních měsících. V inverzních dnech se vytvářejí v kotlinách mlhy (TESAŘOVÁ, 2006).

Monitoring hydrometeorologické situace je nedostatečný, na celém území je pouze 5 teploměrných a srážkoměrných stanic, z jichž pouze jedna (Slavný) měří SO<sub>2</sub> a výhledově NO<sub>x</sub>. Zcela chybí komplexní klimatické stanice.

## 2.5 Hydrologické poměry

Území patří do povodí řek Labe (řeka Metuje) a Odry (řeka Stěna), hranice mezi nimi, tedy i evropské rozvodí mezi úmořímí Baltského a Severního moře, prochází po hřebeni Broumovských a Mirošovských stěn (viz obr.6).

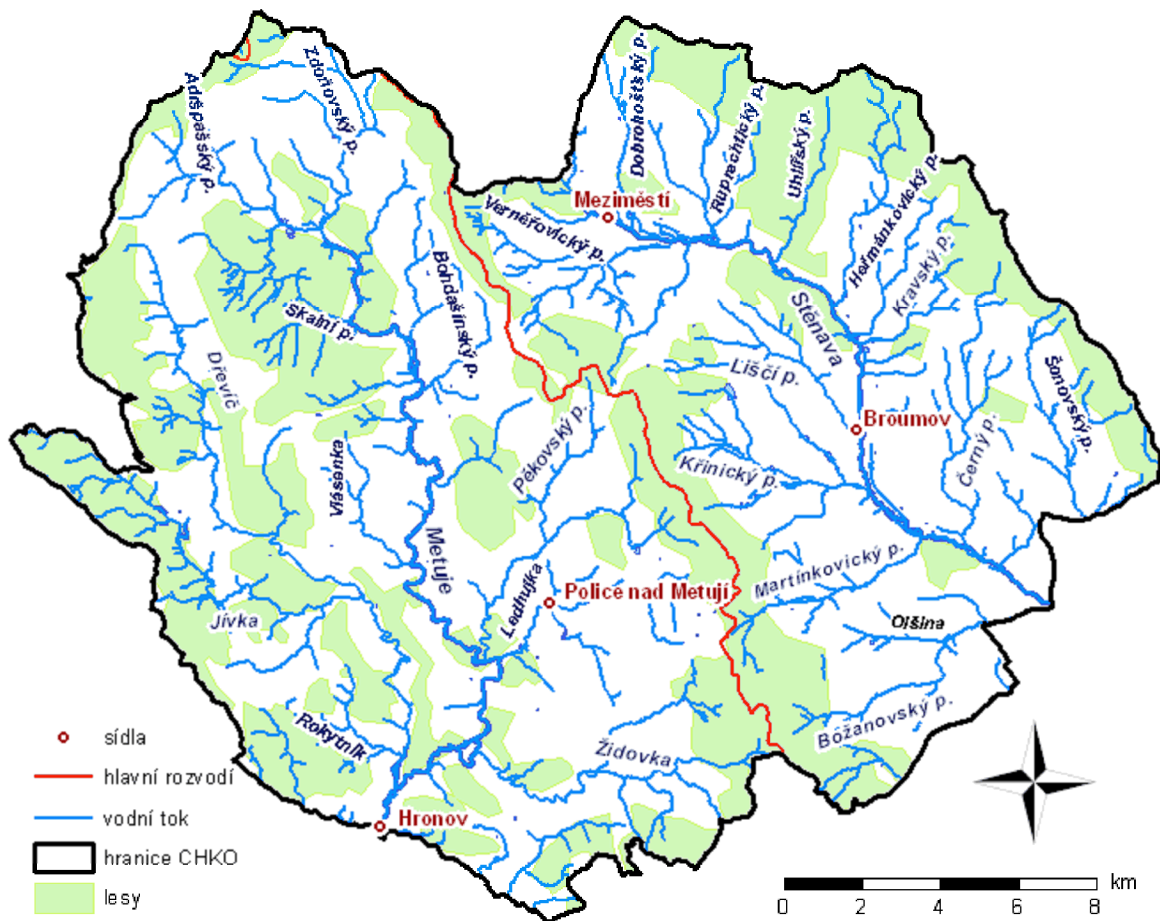
Východ území odvodňuje řeka Stěna. Pramení v Polsku, Českou republikou protéká plochou Broumovskou kotlinou po nepropustném permu a u Otovic se opět vrací do Polska, kde se stává přítokem Nysy Klodzke. Pravý břeh Stěny je příkrý, zatímco levý je pozvolný. Z přítoků jmenuji alespoň Černý potok a Božanovský potok (TESAŘOVÁ, 2006) (viz obr.6).

Střed a západ území odvodňuje řeka Metuje. Ta pramení nad Adršpašskými skalami v místě zvaném „Kalousy“, protéká členitějším pískovcovým reliéfem Polické pánve a opouští území závěrovým profilem v Hronově. Polická pánev patří mezi nejvydatnější zásobárny podzemních vod v České republice a byla v roce 1981 vyhlášena Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod (nařízení vlády 88/1981 Sb. Nachází se zde dva uzavřené systémy proudění podzemní vody oddělené Skalským zlomem na S a J. Kvalitativně jde o vodu kojeneckou, kterou je zásobováno celé Královehradecko. Pomocí radiouhlíkové metody bylo potvrzeno, že podzemní vody jsou v horninovém prostředí zadržovány až 5800 let (KŘÍŽ in FALTYSOVÁ A KOL., 2002). Z přítoků Metuje jmenuji říčky Dřevíč, Jívka a Židovka (viz obr.6). Horní přítoky sezónně vysychají, což je následek nešetrného zemědělského hospodaření.

Ve sledované oblasti jsou pouze dva měrné profily ČHMÚ, v Maršově a Hronově, celkový dlouhodobý průměrný průtok Metuje v profilu Hronov je cca 2,7 m<sup>3</sup>/s, což při ploše povodí 248 km<sup>2</sup> představuje celkový specifický odtok 10,9 l/s km<sup>2</sup>. Celkový střední odtok podzemní vody je 1000 l/s, což je 4,9 l/s/km<sup>2</sup> (HÁJEK, HEINZLOVÁ A KOL., 2003). Vydatnost největšího podzemního pramene Jezírko v Teplicích je odhadováno na 75 l/s (KRÁSNÝ, 2004). Vodních ploch je na Broumovsku málo. Plocha rybníků zaujímá 23,5 ha, ostatní vodní plochy

265 ha (KRÁSNÝ, 2004). Celkově stojaté vody pokrývají 288,5 ha (což je pouze cca 0,7% z rozlohy CHKO).

Obr. 6: Mapa říční sítě a hlavního rozvodí  
Zdroj: vlastní zpracování z dat AOPK ČR



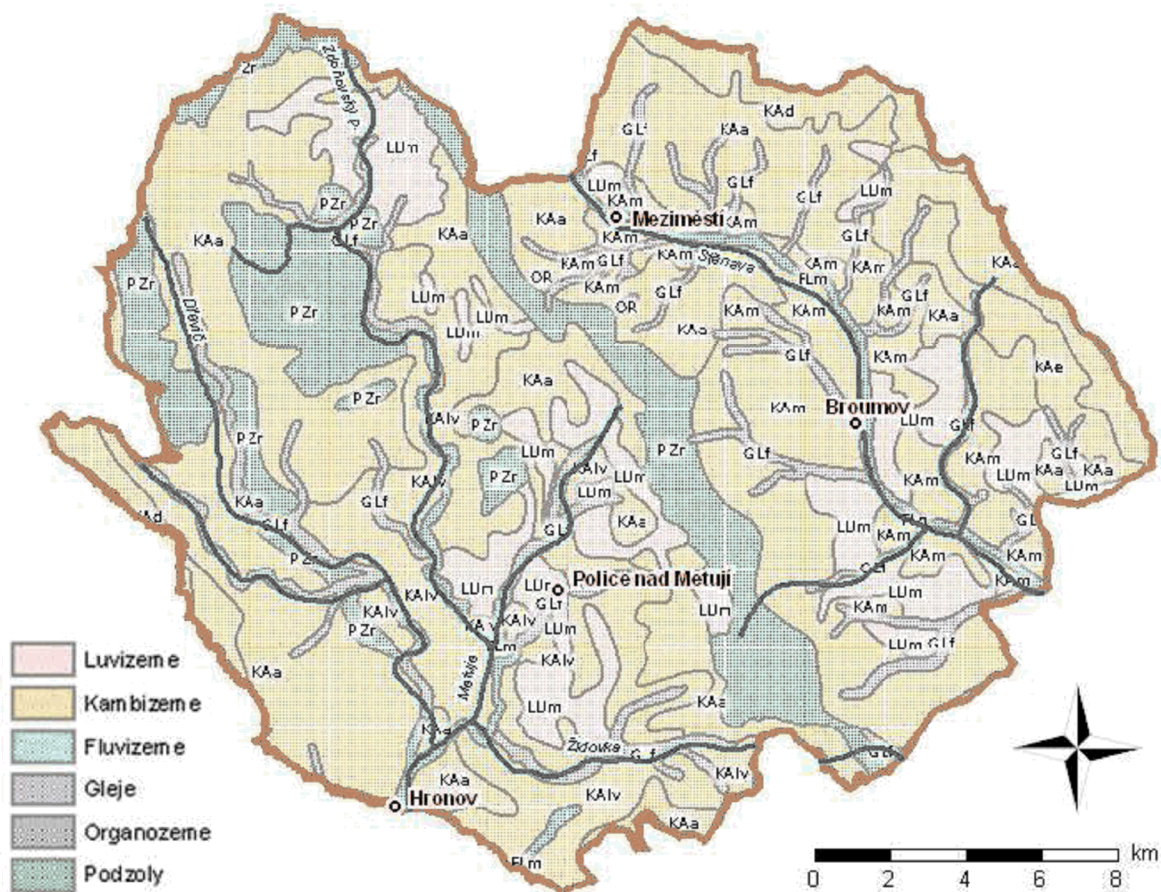
## 2.6. Pedologická charakteristika

Území Broumovska pokrývají v nižších polohách luvizemě podzolové, ve výše položených chladnějších oblastech podzoly a zejména kambizemě (viz obr. 6), které jsou plošně nejvíce zastoupeným půdním typem. Na vulkanitech v severovýchodní části území jsou kambizemě kyselé, v okolí Broumova, Police a Teplic pak kambizem typická a luvická.

Při přítocích Stěnavy a Metuje najdeme nivní a lužní hydromorfnní půdy (fluvizemě), v samotných prameništtních oblastech pak pseudogleje. Jižně od Meziměstí se nachází



Obr. 7: Pedologická mapa Broumovska – taxonomický klasifikační systém půd



Zdroj: Data dostupná z WMS serveru [www.geoportal.cenia.cz](http://www.geoportal.cenia.cz)

ostrůvky slatinných organozemí. V roklích mezi skalami můžeme najít zbytky rašelinišť preboreálního stáří (PETRUŠ in FALTYSOVÁ A KOL., 2002).

V extrémních podmínkách kvádrových pískovců Broumovských stěn a Adršpašsko-teplických skal najdeme litozem tvořenou jen vrstvou mělkého humusovitého horizontu na půdotvorném substrátu (TESAŘOVÁ, 2006).

Zrnitostní složení půd je do značné míry určováno půdotvorným substrátem, v Broumovské kotlině najdeme hlinité půdy, vzniklé zvětráváním permokarbonských sedimentů, Javoří hory a čela kuest mají pouze kamenité substráty nebo hlinito-kamenité půdy. Velmi rozšířený je půdní druh písčito-hlinitý (TESAŘOVÁ, 2006).

Významným faktorem pedogeneze je lesní pokrývka. Během holocénu vznikaly půdy pod vlivem lesní vegetace, ty však byly na velké části území změněny zemědělskou kultivací. Současné využití půdního fondu je následující: orná půda – 34 %, louky a pastviny 18 %, lesy 40 % (KUNA in FALTYSOVÁ A KOL., 2002).

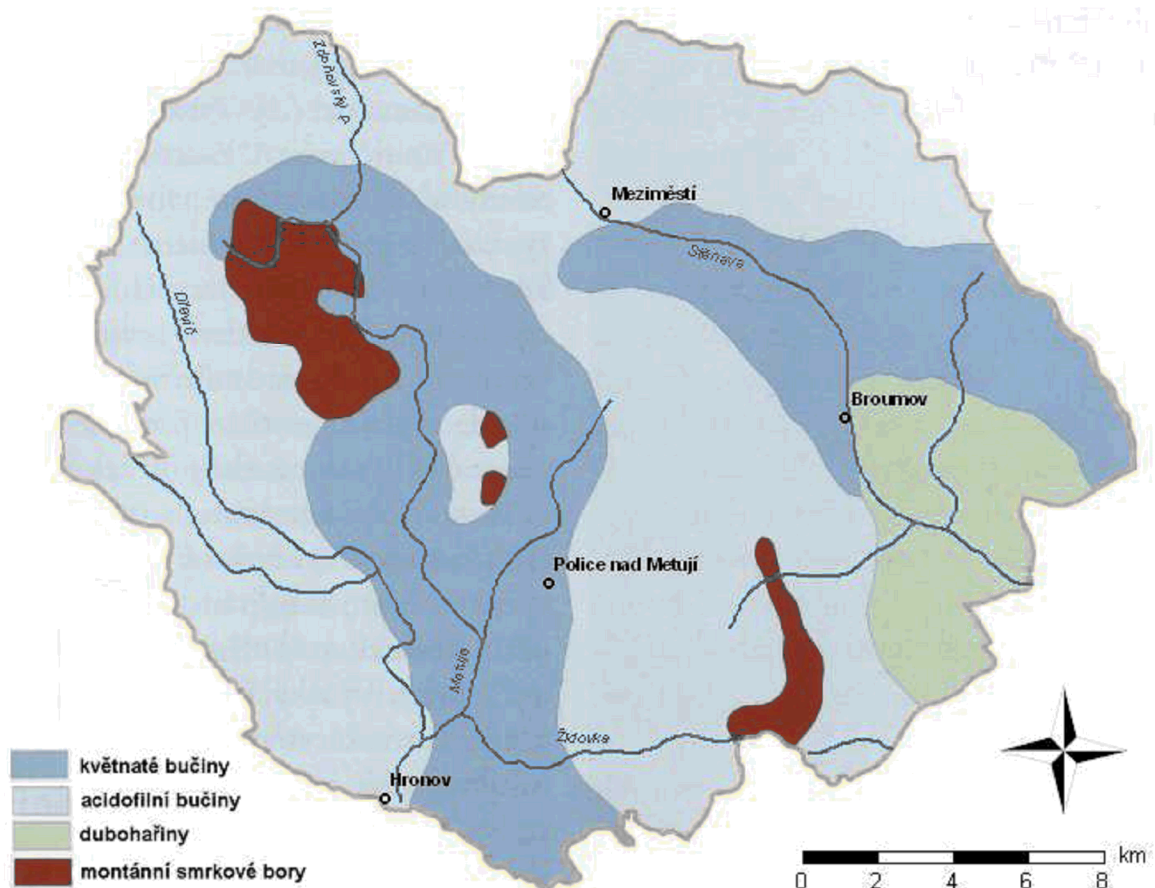
## 2.7 Biogeografické a zoogeografické poměry Broumovska

Území spadá do dubobukového až smrkobukového vegetačního stupně, původní lesní porost je však zatlačen smrkovými monokulturami (72 %). Přirozenými lesními společenstvy (viz obr. 8) jsou reliktní bory na kvádrových pískovcích a suťové lesy na příkrých svazích údolí, rekonstrukčně jsou zde zastoupeny květnaté bučiny. V nejnvýše položených oblastech se vyskytují maloplošná primární bezlesí s bylinnými i keřovými společenstvy (HÁJEK, HEINZELOVÁ A KOL., 2003).

Zatlačeny byly původní louky se slatinami a rašeliništi, jejich maloplošné zbytky představují Mokřadní louky u Jetřichova, Řeřišný u Machova, Pod Křížovým vrchem a další. Polokulturní louky byly rovněž redukovány zemědělstvím, místy se však dochovaly.

Broumovsko je oblast floristicky středně bohatá (HÁJEK, 2002 in FALTYSOVÁ A KOL., 2002). Velký význam má flóra vyšších rostlin skalních oblastí podmíněná teplotními inverzemi. Vyskytuje se zde několik horských druhů (podbělice alpská, papratka horská). Druhově bohatší je i fauna mechorostů. Floristicky bohaté jsou květnaté bučiny s liliemi a orchidejemi a suťové lesy.

Obr. 8: Mapa potenciální přirozené vegetace na Broumovsku (upraveno dle FALTYSOVÁ A KOL.)



Charakter zvířeny je v CHKO Broumovsko výsledkem antropogenního ovlivnění a klimatických parametrů. Zoogeograficky patří toto území do provincie střeoevropských listnatých lesů, od poloh nad 750 m do provincie střeoevropských pohoří eurosibiřské podoblasti palearktické oblasti. Žijí zde běžné druhy lovné savčí zvěře. (SPÍŠEK, 2002 in FALTYSOVÁ A KOL., 2002). Ve skalních oblastech najdeme druhy, které by jinak v mnoha případech již z této krajiny vymizely. Příkladem může být rejsek horský nebo myšice temnopásá, z ptáků např. kulíšek nejmenší, káně lesní, z hmyzu pak jeskynní pavouci a roztoči. Za nejúplnější se považují informace o ptácích (hlavně dravci a sovy) díky aktivitám amatérských ornitologů. Pro sokola stěhovavého a výra velkého byly vyhlášeny oblasti evropské soustavy chráněných území Natura 2000 v pískovcových celcích Broumova. Poměrně uspokojivá je prozkoumanost savců a ryb, zvláštní pozornost je pak věnována pavoukovcům a měkkýšům.

### **3 DIVERZITA NEŽIVÝCH SLOŽEK PŘÍRODY**

Diverzita neživé přírody se vyskytuje ve všech úrovních (planetární až regionální). Kdyby byla planeta naprosto uniformní, s největší pravděpodobností by ani neexistoval život (GRAY, 2004). Pestrost neživé přírody podněcuje rozvoj člověka, využívá ji pro svůj prospěch, je pro něho cenná a měla by být proto zachována. Ve světě se proto upřednostňuje pojem conserve místo preserve (conserve víc obsahuje složku managementu změn v krajině).

#### **3.1.1 Ochrana neživé přírody**

První aktivitou v uchování neživé přírody bylo vyhlášení ochrany křídových útesů v Salisbury (Edinburg) v roce 1819, které mají významný vliv na vzhled města (GORDON, 2005). První geologická přírodní rezervace vznikla v německé oblasti Siebengebirge v roce 1836. V roce 1872 potom vznikl první národní park Yellowstone v USA (GRAY, 2004). Oproti živé přírodě však byly aktivity minoritní. Převládal názor, že živá složka přírody je více ohroženější, potřebnější ochrany, kdežto abiotické prostředí je oproti rušivým vlivům odolnější (LOŽEK, 2005). Od 90. let 20. století se začíná zohledňovat neživá složka krajiny a její propojenost se složkou živou. V současnosti je uchování neživé přírody celosvětovým zájmem. Od roku 2004 vzniká na základě Pekingské deklarace o ochraně geologického dědictví Světová síť geoparků pod patronací UNESCO. Aktuálně obsahuje 57 lokalit (duben 2009, <http://www.europeangeoparks.org/>).

#### **3.1.2 Definice geodiverzity**

Samotný pojem geodiverzita začal být používán teprve v 90. letech 20. století k popsání různorodostí v abiotické složce krajiny. Poprvé se termín objevil v Tasmánii a Německu. KIERNAN (1996) tento termín použil ve smyslu morfologické diverzity, SHARPLES (1995a, 2002) v systémovém pojetí složek neživé přírody, němečtí autoři začali používat pojem geodiverzita v souvislosti s geotopy jako homogenními krajinnými jednotkami neživé přírody (GRAY, 2004).

V roce 1997 se objevuje první definice geodiverzity v textu Australské charty přírodního dědictví (The Australian Heritage Council): „Geodiverzita zahrnuje celou šíři zemských rysů včetně geologických, geomorfologických, paleontologických, půdních, hydrologických i atmosférických prvků, systémů a procesů“ (CÍLEK, 2002). V roce 2002 pozměnila svoji definici takto: „Jde o rozpětí geologických, geomorfologických a půdních rysů krajiny, obsahuje jejich vztahy, vlastnosti, analýzy a systémy“ (GRAY, 2005). Základní

definice byla dále doplňována: „Geodiverzita zahrnuje svědectví o životě, ekosystémech a prostředí v minulosti Země stejně tak jako atmosferické, hydrologické a biologické procesy, které se odehrávají na horninách, tvarech, reliéfu a půdách (CAIRNES, 2002).

Jinak pojatou holistickou definici vytvořil STANLEY (2002, 2003): „Jde o propojení mezi lidmi, kulturou a přírodou, je to různorodost geologického prostředí, fenoménů a procesů vytvářející půdy, tvary reliéfu a další struktury, které tvoří rámec pro život na Zemi“. Jako nežádoucí se však ukazuje, že do definice geodiverzity počítá i živou složku přírody (GRAY, 2004).

Severské země zestručnily definici pojmu takto: „Rozmanitost geologických a geomorfologických jevů na konkrétním území“ (JOHANSSON, 2000).

Čeští autoři přejímají zahraniční definice, doplňují je o některá tvrzení. LOŽEK (2005) uvádí: „Soubor abiotických faktorů a pochodů představuje základ určující možnosti rozvoje přírody živé“. Český překlad definice také výstižně uvedl doc. Příkryl: „Soubor geologických, geomorfologických, půdních a paleontologických prvků, soustav nebo systémů těchto prvků a zároveň procesů, které ovlivňují jejich vývoj v čase (tudíž sem patří i procesy atmosférické, klimatické, hydrologické a biologické)“ (cit. in KOLÁŘOVÁ, 2007). PŘIKRYL apeluje na konzervaci abiotické přírody, vzdělávací činnost a pochopení problematiky (KOLÁŘOVÁ, 2007).

Pojem geodiverzita tedy obsahuje komplexní znalost abiotických podmínek aplikovanou spolu s biotickou složkou na management v krajině. Praktickým příkladem může být zavedení pojmu do legislativy územního rozvoje v Norsku (ERIKSTAD, 2005). Celosvětově je definice uvedena v legislativě přírodních zdrojů, spolu s ní je vymezen termín „geodědictví“ jako konkrétní případ vhodný k zachování neživé přírody (GRAY, 2006). V Polsku vyšel Atlas geodiverzity Polska (KOZLOWSKI, 2004). V České republice je připravována Mapa substrátové a topografické diverzity v rámci Atlasu krajiny ČR (CHUMAN a kol., v tisku).

### **3.2. Hodnocení geodiverzity**

Hocením geodiverzity a stanovením ohroženosti neživé přírody se autoři téměř nezabývají. GRAY (2005) sice apeluje, aby při hodnocení geodiverzity byl brán zřetel na hlediska kulturní, estetická a ekonomická (folklór, archeologie, spiritualita, atmosféra místa, turismus, výskyt nerostného bohatství), přesnou metodiku však neuvádí. Významnost geologické ochrany hodnotí SCOTT (2005). Ucelená metodika hodnocení geodiverzity tak

zcela chybí. Bylo by totiž vhodné hodnotit i procesy a vztahy mezi jednotlivými složkami, což je velmi složité. Autoři se zabývají většinou jen dílčími diverzitami, hlavně půdní diverzitou (viz níže) a topografickou diverzitou z vrstev odvozených z DMR (viz níže), nezabývají se hydrologickou a klimatickou variabilitou. Problematika je také limitována dostupností dat, často nejsou k dispozici v dostatečné podrobnosti (pro malá hodnocená území). Nejčastějším důvodem zjišťování geodiverzity je její propojenost s problematikou biotické diverzity.

Nejjednodušším hodnocením je převedení krajiny do mozaiky pravidelných plošek, které jsou definovány a potom analyzovány v rámci studovaného území. K tomu je používána čtvercová mřížka. S pravidelnou sítí pracují autoři KOT (2005, 2006), BURNETT A KOL. (1998) - půdní vlastnosti a DMR, PROSSER (2002). Diverzita je v této mřížce určována jako variabilita, směrodatná odchylka, rozptyl atp. sledovaných charakteristik (půdní vlastnosti, substrátové kategorie atp). Výpočtovému vzorci se říká index.

### **Používané indexy:**

Obecně je pro struktury v krajině nejpoužívanější Shannonův index, který byl vyvinut pro hodnocení biodiverzity (nebo Shannon-Weaverův s desítkovým logaritmem) (KAŠPAROVÁ, 2005):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad , \text{ kde} \quad \begin{array}{l} S - \text{celkové množství druhů v populaci,} \\ p_i - \text{poměr výskytu z celkového počtu jedinců} \end{array}$$

Index v jednom údaji shrnuje informaci o počtu druhů a celkové velikosti populace. Lze jej modifikovat např. tak, že „ $p_i$ “ je poměr zastoupené plochy ku ploše celkové a „ $S$ “ je počet ploch ve sledované oblasti. Tak byl použit pro tvorbu Mapy substrátové a topografické diverzity ČR (CHUMAN A KOL, v tisku).

Druhým známým indexem je Simpsonův index nebo také Giniho index, opět vyvinut pro hodnocení biodiverzity (IZSAK A PAPP, 2000):

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad , \text{ kde} \quad \begin{array}{l} S - \text{celkové množství druhů v populaci,} \\ p_i - \text{relativní zastoupení i-té populace} \end{array}$$

Index vyjadřuje podíl, kterým jednotlivé typy přispívají do celku (VAČKÁŘ, 2005). Oba výše uvedené indexy vyvinuty převážně pro hodnocení biodiverzity.

Souhrnný index na hodnocení více diverzit navrhl LOH A HARMON (2005) jako tzv. „bioculture index“. Jde o logaritmy podílu z celkového množství hodnot v každém sledovaném poli a jejich následný průměr jako průměr dílčích diverzit (v podstatě jde o průměr součtu několika Shannonových indexů diverzity. Výhodou je, že nemusí být používán pouze pro pravidelnou mřížku a lze dosadit jakékoliv jiné diverzity.

Systém indexů k hodnocení vztahu geodiverzity s biodiverzitou navrhl XAVIER-DASILVA (2004) – indexy jsou založeny na součtu zastoupených tříd hodnocených charakteristik (sklonitost, výška, land use) v hodnocených polích (geomorfologické jednotky).

Pro hodnocení topografické diverzity byl vyvinut index, který pracuje s výškovými rozptyly v nejbližším okolí gridu (mřížka o 9 pixelech), vhodný je pro výpočet relativní výškové členitosti RILEY, DEGLORIA, ELLIOT (1999).

Nejnověji vyvinutým indexem diverzity je tzv. geometrický index (B-index) (CAMPOS, ISAZA, 2009). Index hodnotí závislost relativního výskytu dané kategorie (druhu) v mřížce a vzdálenosti, která vyjadřuje blízkost k maximální pravděpodobnosti výskytu druhu ve vícerozměrném prostoru (součet druhých mocnin dílčích pravděpodobností pro každé pole mřížky).

Dle KOTA (2005, 2006) není možné navrhnout jeden univerzální index, lepší je uvažovat sadu vhodných indikátorů a případně vztahů mezi nimi.

Nejlépe je prozkoumáno hodnocení pedodiverzity. Metodiku názorně shrnují ve své práci MCBRATNEY A MINASNY (2007), používají převážně jednoduché indexy, zahrnují nově i vztahy jednotlivých taxonomických půdních jednotek mezi sebou. K tomu používají tzv. „typologickou vzdálenost“ od těžiště v každém taxonu ve vícerozměrném prostoru, zjednodušeně do jaké míry jsou půdy extrémní (skeletovitost, zamokření, atp). Detailněji se zabývá půdní diverzitou také PHILLIPS A MARION (2007).

### **3.3. Vztah geodiverzity a biodiverzity**

Abiotické poměry formují biotickou složku ekosystémů. V územích s rozmanitějšími biotickými podmínkami se zpravidla nachází i rozmanitější biota. Hlavním energetickým zdrojem diverzit je sluneční záření. Insolace ovlivňuje teplotní a vlhkostní režim půdy, evapotranspiraci a světlo dostupné pro fotosyntézu, formuje klimatické poměry, zvětrávací procesy a odnos látek, dobu trvání sněhové pokrývky, a další (RICH, 2000).

Problematikou se zabývá řada zahraničních i českých autorů: BURNET (1998), BARTLEY A RUTHERFURD (2005), LOH A HARMON (2005), IBÁÑEZ A KOL. (2005), GORDON A

KOL. (2006), IZSAK A PAPP (2000), KUČERA (1997), KOVÁŘ (2002), JAČKOVÁ (2007), ZELENÝ (2008) a další. Největší vliv na vegetační uspořádání má z abiotických charakteristik geologické podloží, reliéf a hydrologické poměry (KUČERA, 1997). Dle KUČERY (1997) je možné vlastnostmi reliéfu zprostředkovaně vyjádřit rozmanitost většiny abiotických podmínek. Významný je podle KOVÁŘE (2002) i vliv půdy, která ovlivňuje úživnost stanoviště (vlhkost, živiny, stopové prvky). Vztah geodiverzity a biodiverzity může být prokázán i konceptem ekofenoménů. Jde o „soubor procesů a stanovišť s charakteristickými společenstvy podmíněný zejména geologickým podkladem a reliéfem terénu v určitém okrsku, který se svým rázem, především vysokou diverzitou, nápadně vymyká z okolní krajiny“ (LOŽEK, 2000).

Mnoho významných geologických lokalit je zásadních pro biodiverzitu a naopak, cenná stanoviště a druhy se vyskytují v územích geologicky zajímavých. Biodiverzita i geodiverzita může být snižována nešetrným hospodařením člověka (zabírání ploch pro výstavbu, poškozování půdního fondu apod.). Jako příklad lze uvést jeskynní prostředí: rychlost růstu krápníků závisí na míře nasycení sestupujících roztoků oxidem uhličitým. Pokud prostor nad jeskyní zbavíme půdního pokryvu, změní se tím rychlost průsaku vod. Tím se může stát, že srážková voda proniká snadno do jeskyně, teprve zde se sytí oxidem uhličitým a krápníky koroduje, místo toho, aby je vytvářela (CÍLEK, 2007, zkráceno).



## 4 METODIKA

### 4.1 POUŽITÁ DATA

K hodnocení abiotické diverzity Broumovska byla použita dostupná digitální data a potřebné analogové mapy.

Pro stanovení substrátové diverzity byla použita:

Geologická mapa z databáze České geologické služby GEO ČR v měřítku 1:50 000. Databáze obsahuje vektorové geologické mapy za celou ČR. Je sestavována i obdobná databáze GEOČR v měřítku 1:25 000, zájmové území však nepokrývá.

Pro stanovení morfologické diverzity byla použita:

Vektorová data výškopisu Zabaged 1 Základní mapy ČR ZM10 (ČÚZK Praha, 1997). Z těchto vrstevnic byl vypočítán elevační grid pomocí softwaru Grass GIS 6.3.0 (viz kapitola 4.2.2). Z něho byly dále odvozeny tématické vrstvy expozice, členitosti reliéfu, relativní vlhkosti (TRMIM) atd.

Pro stanovení hydrologické diverzity byla použita:

Vektorová data vodních toků a polygonů Zabaged 1 Základní mapy ČR ZM10 (ČÚZK Praha, 1997).

Pro stanovení půdní diverzity byla použita:

Půdní mapa ČR 1:50 000 (TOMÁŠEK, 1993) v analogové podobě v rozsahu listů 04-33, 04-31, 04-32, 04-34. Mapa byla zvektorizována v softwaru Arc Map 9.2. Půdní mapa je dostupná pro některá území ČR v digitální podobě (informace o dostupnosti dat lze získat na: [http://www.nature.cz/publik\\_syst2/ctihtmlpage.php?what=1500](http://www.nature.cz/publik_syst2/ctihtmlpage.php?what=1500))

Pro stanovení topoklimatické diverzity byla použita:

Topoklimatická mapa Broumovska 1:50 000 (VYSOUDIL, 1993) v analogové podobě v rozsahu listů 04-33, 04-31, 04-32, 04-34. Mapa byla zvektorizována v softwaru Arc Map 9.2. Data jsou dostupná na našem území pouze sporadicky.

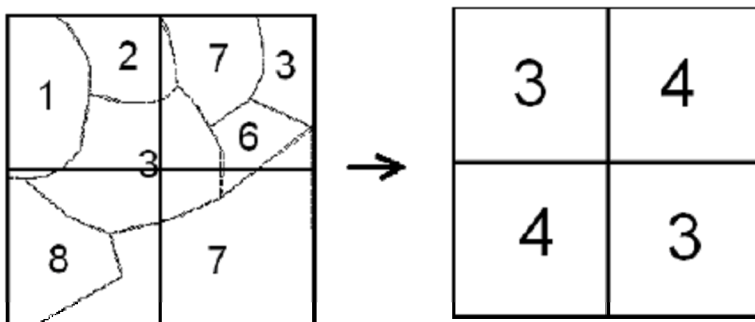
Výhodou je, že obdobná data jsou dostupná pro celé území ČR, takže lze postup aplikovat i pro jiné oblasti. Výjimku pro toho území tvoří zahrnutí topoklimatické mapy.

Data byla zpracovávána v prostředí ArcMap 9.2 (ESRI), ArcInfoWorkstation 9.3.(ESRI), Turboveg 2.0. Ke tvorbě DMR byl využit software Grass6.3.0 (OpenSource, dostupný z <http://grass.itc.it/download/index.php>).

#### 4.2 POSTUP STANOVENÍ GEODIVERZITY BROUMOVSKA

Pro hodnocení všech diverzit byla použita pravidelná čtvercová mřížka. Pro každé pole mřížky pak byly určovány jednotlivé diverzity hodnocených charakteristik na základě jejich výskytu v mřížce (viz obr. 8). Pro potřeby zohlednění velikosti zastoupených ploch v ploše mřížky byly zároveň vypočítány tématické diverzity pomocí Shannonova indexu (viz str. 22). Z dílčích diverzit byla celková geodiverzita stanovena dle kapitoly 4.3.

Obr. 8: Postup určování diverzit v mřížce (vlevo – typologické jednotky rozčleněné mřížkou, vpravo – hodnoty diverzity vyjádřené počtem zastoupených tříd), JAČKOVÁ (2007)



Mřížka byla vytvořena pomocí volně dostupné extenze „Hawths Tools“ pro ArcGis 9 (dostupné z <http://www.spatial ecology.com/htools/tool desc.php>). Nástrojem „Sampling Tools“ byly vytvořeny polygonové mřížky o velikostech od 100 do 400 m. Výsledná velikost mřížky byla stanovena s ohledem na měřítka použitých dat (1:10 000 po 1:50 000) a z nich vyplývající počet zastoupených tříd v každém jejím poli. Byla sledována podkladová mapa. Velikost 100 m by byla použitelná pouze pro data 1:10 000 (u menších měřítek by totiž diverzita zachycovala pouze hranice kategorií), mřížka o 400 m je už příliš velká a tak dochází ke zkreslení oblastí s nízkými diverzity (reálně je tu nízká, použitím velké mřížky může být ale vysoká). Vhodné velikosti jednotné mřížky jsou 200 m a 300 m. Pro vrstvu geologie a klimatu se zdá být sice reprezentativnější mřížka o 300 m, pro vrstvy z dat 1:10 000 však ještě dochází při 300 m mřížce ke zkreslování míst s nízkými diverzity. Pro jednotnost ke vzájemnému porovnání diverzit byla použita mřížka o velikosti 200 m. Tento závěr lze porovnat s JAČKOVOU (2007), která pro jednotná data 1:50 000 využila mřížku 300 m. Lze tedy shrnout, že pro mapy o měřítku 1:50 000 se zdá být nevhodnější velikost mřížky 300 m, pro mapy 1:25 000 potom 200 m, pro mapy 1:10 000 - 100 m i 200 m.

Jednotná mřížka pro stanovení diverzit byla zvolena 200 m. Pod touto mřížkou byly analyzovány všechny rastry hodnocených charakteristik o rozlišení 10 m. Nelze používat různá rozlišení rastrů, při použití hrubších měřítek dochází ke ztrátě dat (KAŠPAROVÁ A KOL., 2005).

#### 4.2.1 Substrátová diverzita Broumova

Databáze geologických map GEOČR je tvořena vektorovými polygony předkvartérních a kvartérních hornin, a zlomů. Na studovaném území lze podle databáze vyčíst 46 typů předkvartérních hornin, 18 typů kvartérních hornin (64 položek v legendě). Databáze je však velmi podrobná a kategorie si jsou mnohdy podobné. Nutná je proto úprava dat pomocí kategorizace, která může být provedena různými způsoby, základem je účel, ke kterému je diverzita použita. Byly tedy vytvořeny dvě kategorizace, jedna všeobecná a druhá pro působení na biotickou složku krajiny (upravená podle JAČKOVÁ, 2007):

1) obecná kategorizace pro celkové zhodnocení abiotické diverzity území

U kvartérních sedimentů, je nutné brát v úvahu hlavně atribut „geneze“ a také atribut „minerální složení“. Četnost výskytu a celková plocha nehrají při této analýze velkou roli (viz obr. 8), tudíž mohou být zachovány i kategorie málo zastoupené jako organo- a antropogenní sedimenty. Po detailní analýze dat lze nahlížet na kvartérní kategorie takto: Z hlediska geneze lze vyčlenit 7 kategorií (antropogenní, nivní, fluviální, eolické, organické, proluviální, deluviální). Vhodnější je však zahrnout i faktor zrnitosti a minerální bohatosti, pak lze kategorie sloučit takto: antropogenní, organogenní, FL, DE – hlína, písek, FL, PR–štěrk, smíšený, DE- balvanité, spraš, sprašová hlína (viz tab.4). U předkvartérních hornin je postup jednodušší, jediné vodítko, které databáze obsahuje je stáří (10 kategorií). Podle charakteru hornin a zohlednění geologického vývoje krajiny (např. zachování odlišnosti stejných hornin jiného stáří Jestřebích a Javořích hor – jiná míra zvětrání hornin i odlišné fyzickogeografické podmínky) bylo z těchto kategorií vymezeno 16 reprezentativních tříd (viz tab 3). Celkem je tedy 23 tříd (16 + 7).

Tab.3: Kategorie pro výpočet substrátové diverzity 1

*kvartérní*

geneze	popis	číslo v legendě
fluviální, deluviální	nivní (hlína,písek)	6,12
fluviální,proluvia	štěrk, hlinítkamenitý	24,26,28 (29,30), 7, 10,13,36,38
deluviální	balvanitý až blokový	14
eolický	spraš	16
eolický	sprašová hlína	19, 20
organický		9
antropogenní		1

*předkvartérní*

stáří	popis		číslo v legendě
turon coniak	křída	kamenitý pískovec, jílovec	288,284,290
turon		slínovce	297,302
turon		pískovce, arkožovité	298
cenoman		písčité slínovce	308
cenoman		pískovce	315,322
thuring	perm	pískovec, slepenec	323
saxon	neogén	červenohnědé pískovce	327
saxon		slepence	329
autun	spodní perm	pestrobarevné aleuopelity, prachovce	360,361,362,363,366,373,380
autun		arkózy	364
autun		vulkan. pískovce	365
autun		ryolitové	372,374,375,2053,2054
autun		andezity	367,368,369,370,371,376
westphal, stephan	karbon	červenohnědé aleuopelity, uhelné sloje	386,393, 383,389,390,391,388, 394,395,388
stephan		arkózy	392
westphal		slepence, fylit	400,403,884,398

2) kategorizace podle působení hornin na vegetaci

Obdobně lze sloučit třídy na základě geneze a typologie hornin, aby co nejvíce vystihovaly různorodosti působení hornin na biotu. Kvartérní horniny byly sloučeny podle práce JÁČKOVÉ (2007), starší horniny pak byly slučovány podle charakteru hornin, zcela zanedbáno bylo stáří. Takto lze v území vymežit 13 kategorií (viz tab.4). Ukázky kategorizovaných geologických map jsou v Příloze 1.

*Tab.4: Kategorie pro výpočet substrátové diverzity 2*

skupina	legenda
ryolitové	372,375,365,374,2054
andezit, tuf	368,376,367,369,370,371,
prachovec, pískovec	364,373,327
pískovec, silicit, zpevněný	315,322,392,288,323,298
slepenec, arkožovitý	398,329,400
jílovec, prachovce, uhelná sloj	403,390,389,366,394,391,360,393,388,383,386,380,390,395
vápnnité (jílovec, slínovce)	2053,361,290,284,362,363,302,297,308
fylit	884
slatina	9
fluviální	6,7,24,26,29,30,28,36,38,10
antropogenní	1
deluviální	12,13,14,20
colické	16,19

Kategorizace byla provedena v prostředí ArcMap 9.2. Nejprve byly sloučeny všechny lokality (polygony) se stejným typem hornin do jednoho záznamu pomocí nástroje „Dissolve“ (Data Management Tools). V dalším kroku bylo provedeno sloučení typů dle kategorizace podle tabulek 3 a 4 pomocí nástroje „Merge“ (Data Management Tools). Vznikla výsledná polygonová vrstva s atributovou tabulkou o 23 záznamech (druhá kategorizace o 13 záznamech).

Vektorová data byla převedena na rastr o velikosti 10 m (Conversion Tools). Rastr byl překryt mřížkou o velikosti 200 m (viz výše). Pomocí nástroje „Zonal Statistic“ (Spatial Analyst Tools) pak byla pro jednotlivá pole mřížky vypočtena variabilita (funkce „Variety“). Výsledkem jsou dvě rastrové mapy (viz obr. 9a, kapitola 5.1) zobrazující počet tříd v každém poli mřížky.

Shannonův index diverzity, zohledňující velikosti dílčích ploch zastoupených v mřížce, byl vypočítán pro každé pole mřížky pomocí nástroje „Patch Grid“ (Patch Analyst – extenze je volně dostupná z <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempe/patch/download.htm>), funkcí: „Shannon’s diversity index“. Zobrazení diverzity je pouze relativní (podle četnosti výskytu v souboru – kvantity, kterými vynikne relativně vysoká a nízká diverzita) (viz obr.9b).

#### **4.2.2 Topografická diverzita**

Variabilitu většiny abiotických podmínek lze vyjádřit právě prostřednictvím vlastností reliéfu. Hlavním podkladem pro zjišťování vlastností reliéfu jsou dosud nejpodrobnější vektorové vrstvy výškopisu Zabaged 1 Základní mapy ČR ZM10 (ČÚZK Praha), v případě Broumovska o ZIV 2m a 5m (podle nutnosti hustoty). Z vrstevnic byl interpolován pravidelný elevační grid s rozlišením 10 m a z něho byly odvozeny níže popsané charakteristiky.

Interpolací rozumíme přibližný výpočet hodnot funkce v bodě ležícím uvnitř intervalu z hodnot funkce v krajních, příp. i některých vnitřních bodech intervalu. Nejdůležitějšími faktory interpolace jsou interpolační algoritmus a jeho parametry, hlavním měřítkem je další použití DMR. Interpolační algoritmus je statistická metoda pro převod vektoru na rastr, kde výsledkem je ideálně spojitý povrch se spojitými derivacemi, který bude flexibilní při popisu různých druhů terénu a jeho analýz. Nejpoužívanější interpolační algoritmy jsou IDW interpolace (inverzní vážená vzdálenost hodnot), interpolace založená na nepravidelných trojúhelníkových sítích (TIN) a geostatistické metody (Kriging), RST (regulární spline pod napětím). Pro tvorbu DMR Broumovska byla použita metoda RST, se kterou velmi přesně pracuje níže popsaný software. U algoritmu nastavujeme 2 základní parametry: napětí (tenze), který ovlivňuje tuhost výsledného povrchu od gumové membrány po ocelovou desku

(na rastru jsou patrné linky – segmentace - tento jev je viditelný hlavně v rovinných oblastech s nízkou hustotou vstupních dat, které jsou blízko oblastem s vysokou hustotou dat). Druhý parametr vyhlazení (smoothing) vyjadřuje míru odchýlení interpolovaných povrchů od vstupních bodů (0=výsledný povrch prochází přesně skrz vstupní body) (BEK, JEŽEK, 2008). Parametry byly určovány postupnou optimalizací pro toto konkrétní území, přesnost by tak měla přesáhnout DMR 10 Zabagedu (ČUZK Praha).

Interpolace proběhla v prostředí Grass 6.3.0. (volně dostupný z <http://grass.itc.it/download/index.php>). Po importu bodů z vrstevnic skriptem „v.in.ogr“ bylo nastaveno rozlišení na 10 m skriptem „g.region.res“. Poté byl použit skript pro interpolaci „v.surf.rst“, kde byly nastaveny parametry interpolace: tension=20, smooth=0.2, při interpolaci lze rovnou nastavit i výpočet odvozených rastrů z DMR: Z derivace prvního řádu sklonitost („elev“) a orientace svahů („aspect“), z derivace druhého řádu pak profilová konvexnost („pcurv“) a planární konvexnost („tcurv“). Výsledné rastry byly exportovány skriptem „r.out.arc“ (ČEPICKÝ, 2005). Ukázka mapy elevačního gridu je v příloze 3.

### Diverzita sklonitosti

Sklonitost ovlivňuje řadu procesů v území. Výběr klasifikace sklonitosti záleží na použití výsledné mapy. Geomorfologické pojetí se opírá o klasifikaci podle DEMKA (1987), zcela jiná škála je používána např. pro účely Vyhlášky MZE č.327/1998 Sb. při analýze BPEJ. Ta může být lepším podkladem pro územně plánovací účely. Použité klasifikace jsou v tabulce 6. Sklonitostní rastr odvozený z DMR byl upraven podle tab. 6 pomocí nástroje „Reclassify“ (Spatial Analyst Tools - Reclass) v prostředí ArcMap 9.2.

Diverzita byla vypočítána z upraveného rastru opět pomocí nástroje „Zonal statistic“. Výsledkem je rastrová mapa zobrazující počet tříd v každém poli rastru (viz obr 10a, kap. 5.2). Také byla vytvořena vrstva diverzity sklonitosti pomocí Shannonova indexu (viz obr.10b), zobrazena opět dle četnosti výskytu hodnot v souboru (pomocí kvantilů).

Tab.6: Kategorie pro výpočet diverzity sklonitosti

klasifikace podle: Demka (1987)		Vyhlášky MZE č.327/1998 Sb. při analýze BPEJ	
0° - 2°	rovinné plochy	0° - 1°	úplná rovina
2° - 5°	mírně skloněné plochy	1° - 3°	rovina
5° - 15°	značně skloněné plochy	3° - 7°	mírný sklon
15° - 25°	příkře skloněné plochy	7° - 12°	střední sklon
25° - 35°	velmi příkře skloněné plochy	12° - 17°	výrazný sklon
35° - 55°	srázy	17° - 25°	příkrý sklon
55° a více	stěny	25° - 55°	sráz

## Variabilita orientace svahů ke světovým stranám

Orientace reliéfu vůči světovým stranám má velký význam z hlediska působení usměrněných procesů v krajině. Zejména příjem přímého slunečního záření (bezprostředně ovlivňuje např. rychlost procesů zvětrávání) a působení převládajících větrů jsou silně ovlivněné orientací reliéfu vůči světovým stranám. Hodnotu orientace reliéfu vůči světovým stranám je možné v libovolném bodě topografické mapy určit tak, že daným bodem vedeme spádnici, ke které v tomto bodě sestrojíme tečnu. Úhel, který tato tečna svírá se severním směrem, je numerickým vyjádřením orientace. Vzhledem k tomu, že v singulárních bodech se sbíhá více spádových křivek, nedá se v těchto bodech určit orientace reliéfu vůči světovým stranám, podobně ani horizontální (vodorovné) roviny nejsou orientované na žádnou světovou stranu.

Původní rastr orientace ke světovým stranám, odvozený z DMR, je rozčleněn po 1 stupni na 360 polí ( $90^\circ$  - Z,  $180^\circ$  - J). Rastr byl upraven pomocí nástroje „Reclassify“ na 4 základní směry SZ-SV, SV-JV, JV-JZ, JZ-SZ (viz příloha 4a). Diverzity byly opět propočítány pro velikost mřížky 200 m nástrojem „Zonal statistic“ (obr. 11b) a výpočtem Shannonova indexu diverzity (obr. 11a).

Na orientaci svahů a sklonu reliéfu je závislá expozice. Expozice se dá měřit vůči různým vlivům (slunečním paprskům, větru, dešti) jako úhel mezi normálou k nim a daným směrem. Na expozici pak závisí intenzita a druh exogenních geomorfologických pochodů, které na ni působí. Jednotlivé geneticky stejnorodé plochy jsou odděleny hranami, které se stýkají v uzlech. Hrany mají genetický význam, oddělují plochy vzniklé buď působením odlišných pochodů anebo stejných působících různým směrem. Vynikají tak hřbetnice, údolnice, úpatnice. Překrytím rastru orientace svahů ke světovým stranám a rastru sklonitosti byla vytvořena kombinovaná vrstva expozice a to pomocí nástroje „Combine“ (Spatial Analyst Tools-Local) (viz příloha 4b). Aby se eliminoval vliv pixelů s ojedinělými hodnotami, byl rastr homogenních plošek vyhlazen čtvercovým filtrem o velikosti 3x3 pixely statistickým typem „Majority“ (Spatial Analyst Tools-Generalization). Variabilita je na obr 11b (dole).

## **Křivost**

Na předchozí charakteristiky navazuje hodnota křivosti. Pro použití v geografických analýzách je důležitá křivost ve směru gradientu (profilová křivost), protože vyjadřuje změnu úhlu sklonu reliéfu, čímž je vyjádřena změna rychlosti toku hmoty podél spádnicové křivky. Křivost kolmá na gradient (tangenciální křivost) vyjadřuje změnu velikosti úhlu orientace svahů, což ovlivňuje divergenci a konvergenci vodních toků. Obě křivosti se měří v normálových rovinách (PACINA, 2005). Kladné a záporné hodnoty profilové a tangenciální křivosti mohou být kombinovány k definování elementárních forem reliéfu. Každá elementární forma má rozdílný tok materiálu. Konvexní formy ve směru gradientu mají tok urychlený a konkávní zpomalený. Konvexní formy ve směru tečny k vrstevnici mají tok konvergentní a konkávní divergentní. Proto je použití křivostí vhodné při modelování odtoku. Jednotky křivosti jsou ve stupních na 100 m. Charakteristiky křivosti jsou používány při odvození tvarů reliéfu (viz kapitola 4.2.4). Výsledné mapy obou křivostí jsou v příloze 5.

Diverzita křivostí nebyla do hodnocení geodiverzity zahrnuta, tangenciální křivost bude mít nejvyšší diverzitu tam, kde je nejvyšší diverzita orientace ke světovým stranám, profilová křivost tam, kde je nejvyšší sklonitost. Výsledné mapy křivostí mohou být použity pro jiné účely.

## **Topografická členitost**

Topografická členitost byla určena z elevačního rastru jako směrodatná odchylka nadmořských výšek v jednotlivých polích mřížky 200 m pomocí nástroje „Zonal statistic“ (Spatial Analyst). Vysoká hodnota značí variabilní reliéf (viz příloha 6). Průběh směrodatné odchylky je podobný se sklonitostmi. Přesnější by bylo použití metodiky dle RILEY, ELLIOT, DEGLORIA (1999), kteří pracují s indexem topografické heterogenity. Pro každou mřížku spočítají rozptyl, který je roven sumě odchylek od střední hodnoty, kterou je prostřední pixel. Uvažují však pouze mřížku s 9 pixely. Pro účely této práce ale nebyla počítána, protože by velikosti mřížky byly pouze trojnásobky rozlišení (3x10 m, 90 m, 270 m).

Charakteristika nahrazuje výškové převýšení. To lze vypočítat jako směrodatnou odchylku v poli mřížky 1 km, potom rastr převést na vektorovou mřížku se středem o hodnotě převýšení. Tyto body je pak nutno interpolovat (Spatial Analyst – Interpolation) (viz příloha 6).



### 4.2.3 Topoklimatická diverzita

Variabilita mezoklimatu je dobře odvoditelná z topografických charakteristik, jedná se o hlavně o expozici reliéfu (sklonitost, orientace ke světovým stranám), terénní překážky a nadmořskou výšku. Důležitá může být také charakteristika zakřivení (konvexní tvary reliéfu mohou ovlivňovat směr a rychlost větru nebo vody, konkávní tvary předurčují vznik inverzí a častěji se vyskytují kondenzace) (RICH, 2000).

V roce 1992 byla na žádost místních odborů životního prostředí vytvořena pro celé území Broumova Topoklimatická mapa v měřítku 1:50 000 (VYSOUDIL, 1993). Tato mapa byla oscanována a zvektorizována v softwaru ArcMap 9.2. Autor používá následující skupiny: Dle rozložení relativního množství dopadajícího slunečního záření v porovnání s vodorovnou rovinou (sestrojeno podle orientace ke světovým stranám a průměrného sklonu) vyčleňuje normálně osluněné, dobře osluněné, velmi dobře osluněné, méně osluněné a málo osluněné plochy podle převodové tabulky (viz tab. 7). Dále jsou vymezeny oblasti ve výrazných konvexních formách působící na kvalitu ovzduší, urbanizované plochy, které mají specifické topoklima, skalní města, klima výraznějších konkávních forem reliéfu splývající nebo vyčnívající nad okolní reliéf, oblasti výrazně ovlivněné vodní plochou. Všechny kategorie rozlišuje v rámci rovin, pahorkatin, vrchovin. Součástí mapy jsou i směry větrů, ty však převzaty nebyly, protože jde jen o liniová označení, které by obtížně šlo převést na polygony, obecně je méně provětrávaná Broumovská kotlina.

Topoklimatická diverzita byla opět zjištěna dvěma způsoby - jako "počet kategorií v mřížce i výpočtem Shannonova indexu (zobrazení dle četností výskytu). Výsledný rastr je na obr 12 (kapitola 5.3).

Tab. 7: Převodní tabulka topoklimatu

Sklon svahu (ve stupních)	J	Z/V	S
do 5	3	3	3
od 5 do 10	4	3	2
od 10 do 15	4	3	2
od 15 do 20	5	3	1
20 a více	5	4	1

1	velmi málo osluněné plochy
2	méně osluněné plochy
3	normálně osluněné plochy
4	více osluněné plochy
5	velmi dobře osluněné plochy

#### 4.2.4 Vlhkostní diverzity

##### Relativní vlhkost povrchu (TRMIM)

Vrstva relativní vlhkosti se určuje z vrstev odvozených z digitálního modelu reliéfu – z relativní svahové pozice, sklonitosti, zakřivení terénu a orientace ke světovým stranám. Jimi je modelován relativní pohyb vody, její akumulace i ztráty výparem. Vrstvu získáme pomocí modifikovaného indexu topografické relativní vlhkosti – TRMI („Topographic Relative Moisture Index“). TRMI navrhl poprvé Parker (1982) (MANIS A KOL., 2002) k odhadnutí půdní vlhkosti v horském terénu. Parkrův TRMI uvažuje lineární vztah mezi expozicí ke světovým stranám a dosažitelnou vlhkostí nezávisle na sklonitosti. Vliv sklonitosti byl do indexu zahrnut až v modifikaci MANISE a kol. (2001), který vyvinul skript pro prostředí softwaru ArcMap. Předpokladem je, že variabilita půdní vlhkosti závisí na sklonitosti i expozici ke světovým stranám, protože obě tyto reliéfové charakteristiky ovlivňují oslunění a evaporaci. Tento index je vhodný jak pro oblasti s plochým tak i členitým reliéfem (JAČKOVÁ, 2007). Modifikovaný TRMI Relativní vlhkost je vyjádřena 28 třídami – od nejsušší (0) po nejvlhčí (28).

Index byl vypočítán v prostředí ArcInfo Workstation 9.2 Manisův skript „trmim.aml“ je volně dostupný z [http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform\\_aml](http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform_aml). Přidává se jako extenze k ArcMapu pod názvem „Z Landform\_Toolbox“, v něm je skript obsažen. Vstupním souborem je elevační grid, který musí být upraven nástrojem „Resample“ (Data Management Tools – Raster) na velikost pixelu 30 m. Při takovémto rozlišení pracuje skript nej přesněji. Software pomocí skriptu TMRI. Výstupem je pouze rastr s ploškami 28 tříd relativní vlhkosti (viz obr. 13, kapitola 5.4).

Diverzita relativní vlhkosti byla určena jako směrodatná odchylka hodnot indexu TRMI v jednotlivých polích, tj. kde je největší rozptyl vlhkosti. Rozdělení do kategorií diverzit je pak podle kvantilů (četnosti výskytu) (viz obr. 13).

##### Reliéfová rozmanitost z vrstvy TRMIM

Z výše zjištěného indexu lze vytvořit reliéfovou rozmanitost podle tvarů a relativní vlhkosti. Rovinné náhorní oblasti se vyznačují středně vysokými hodnotami TRMI a mírným sklonem. Pánve, dna údolí apod. mají vysokou hodnotu TRMI a mírný sklon. Strmé tvary jsou kategorizovány podle rozsahu sklonitosti a hodnoty indexu TRMI. Opět se v prostředí ArcInfo Workstation použije „Z Landform\_Toolbox“, který obsahuje i skript „landform.aml“.

Ten jako vstupní data požaduje vrstvu elevačního gridu a vrstvu TRMIM v rozlišení 30 m. Skriptem je vytvořeno 10 kategorií (viz tab. 8). Pro analýzu v mřížce byl rastr zpět upraven na jednotné rozlišení 10 m pomocí „Resample“ (Data Management Tools – Raster).

Tab.8: Kategorie reliéfové rozmanitosti získané z relativní vlhkosti a elevačního gridu

Tvar reliéfu	Sklonitost ve stupních	TRMIM
Plochá údolí	< 3	> 22
Mírně svažité úpatí a prohlubně	3 - 10	> 18
Mírně svažité vyvýšeniny, hřebeny a vrcholky	3 - 10	≤ 18
Téměř ploché terasy a plošiny	< 3	≤ 22
Velmi vlhké strmé svahy	10 - 35	≥ 18
Mírně vlhké strmé svahy	10 - 35	11 - 17
Mírně suché strmé svahy	10 - 35	4 - 10
Velmi suché strmé svahy	10 - 35	< 4
Chladněji orientované srázy, skalní stěny, kaňony	> 35	> 10
Tepleji orientované srázy, sklaní stěny, kaňony	> 35	≤ 10

Diverzita tvarů reliéfu byla určena nástrojem „Zonal statistics“ (Spatial Analyst) jako variabilita pro jednotlivá pole zájmových území (viz obr. 14, kapitola 5.4). Zároveň byla diverzita vyjádřena pomocí Shannonova indexu diverzity („Patch Grid“) (viz obr 14).

#### 4.2.5 Hydrografická diverzita Broumovska

Hydrografické poměry výrazně ovlivňují ráz krajiny. Nejpřesnějším zdrojem v hydrologických mapách je databáze Zabaged 1, obsahující vodní plochy včetně širokých koryt řek, liniová data stálých a občasných toků. Data musela být upravena tak, aby na navazující polygony říčních koryt navazovala liniová pokračování těchto řek (nástroj „Editor“).

Diverzitu lze tedy ze skutečné říční sítě popsat pouze jako součet délky linií vodních toků pro každé pole mřížky a zároveň vyjádřit podobným způsobem stojaté vody jako podíl vodních ploch. Vodní toky a plochy se převedou na rastr pomocí „Conversion tools“. K tomu účelu byly vodní toky kategorizovány na horní, střední, dolní a občasně a byla jim přiřazena šířka 2 m horním, 4 m středním, a 1 m občasným tokům (podle průměrné známé šířky). Zbylé toky jsou vyjádřeny polygonovou vrstvou, která byla také převedena na rastr. Rastry byly sloučeny nástrojem „Mosaic to new raster“ (Data Management Tools) a převedeny na 1bitový rastr. Poté byla spočtena pomocí nástroje „Zonal statistic“ atributová tabulka jako suma zastoupených pixelů v každém poli mřížky a výsledná tabulka byla kvůli vizualizaci zpětně

připojena k původní mřížce („Join table“). Kategorie diverzity jsou zobrazeny podle kvantilů (četnosti výskytu). Výsledek nahrazuje variabilitu hustoty říční sítě v rastru (viz obr. 15). Hustota říční sítě lze z vektorových dat získat pomocí nástroje „Sum line lengths in polygons“ (Hawth's Tools), nebude ale obsahovat stojaté vody.

Hydrografické poměry lze částečně vyjádřit také z digitálního modelu reliéfu, Odvozením z DMR (z křivostí) lze v prostředí ArcMap vypočítat např. „Flow Accumulation“ (Hydrology-Spatial Analyst). Jde o akumulaci vody vypočtenou z tangenciálních křivostí tak, že hodnotou je množství pixelů, ze kterých steče voda do každého daného pixelu. Také lze spočítat parametr „Flow Length“, který je odvozen z profilových křivostí a udává délku cesty po spádnicí (tedy délka svahů), kterou urazí voda (každý pixel) než doteče do říčního koryta (pomocí funkce „downstream“), anebo dobu relativního zadržení vody v jednom pixelu (funkce „upstream“). Viz příloha 5.

#### **4.2.6 Půdní diverzita**

Půdní pokryv je závislý na geologickém podkladu (chemismus a mineralogické složení) a morfologii, podmiňuje vegetační pokryv. Podle fyzikálně-chemických vlastností jsou vymezeny základní půdní typy, ty najdeme v genetických klasifikačních systémech půd. Digitální podklad pro tyto účely není dostupný. Proto byla použita půdní mapa v analogové podobě v měřítku 1:50 000 ČGS (TOMÁŠEK, 1993), která byla oscanována, následně georeferencována a vektorizována v prostředí ArcGis 9.2. („Georeferencing“, „Editor“) Podobné půdní typy byly sloučeny do výsledných 20 kategorií (viz příloha 7). Vektorová data byla převedena na rastr („Conversion Tools“) o velikosti 10 m. Pomocí nástroje „Zonal statistic“ byla vypočítána variabilita v jednotlivých polích mřížky 200 m jako počet kategorií v mřížce. Také byl vypočten Shannonův index diverzity („Patch Grid“), zobrazen dle četnosti výskytu v souboru (viz obr 15, kapitola 5.6).

### 4.3 HODNOCENÍ CELKOVÉ GEODIVERZITY ÚZEMÍ

Pro hodnocení celkové abiotické diverzity byly vybrány dílčí charakteristiky (6):

- substrátová diverzita (varianta pro účely porovnání s biodiverzitou)
- topografická diverzita – orientace ke světovým stranám a sklonitost (varianta pro účely porovnání s biodiverzitou)
- diverzita vlhkostního indexu – tvary reliéfu z něho odvozené
- půdní diverzita
- topoklimatická diverzita

Při výpočtu rastrů pod mřížkou docházelo k nepatrné softwarové chybě a k posunu vrstev o +/- pixel (tj.10 m). Proto musely být rastry nejprve manuálně srovnány pomocí nástroje „Shift“ (Data Management Tools – Projections and Transformations).

Potom byly u dílčích diverzit prověřovány závislosti pomocí nástroje „Multivariate“ (Spatial Analyst Tools), pomocí funkce „Band Collection“, a to i u vrstev vypočtených Shannonovým indexem. Výsledkem jsou 2 korelační matice (viz tab. 9), které zobrazují korelační koeficient mezi jednotlivými dvojicemi měřených proměnných. Čím je korelační koeficient vyšší, tím větší je kladná lineární závislost.

Tab.9: Korelační matice dílčích diverzit

*dle počtu ploch*

Layer	tvary	klima	puda	orientace	sklon	substrat
tvary	1,000000	0,334480	0,316050	0,473910	0,595660	0,318960
klima	0,334480	1,000000	0,275250	0,218170	0,405840	0,268100
puda	0,316050	0,275250	1,000000	0,205230	0,266850	0,438140
orientace	0,473910	0,218170	0,205230	1,000000	0,473310	0,223970
sklon	0,595660	0,405840	0,266850	0,473310	1,000000	0,166050
substrat	0,318960	0,268100	0,438140	0,223970	0,166050	1,000000

*dle shannon.indexu*

Layer	tvary	klima	puda	orientace	sklon	substrat
tvary	1,00000	0,33937	0,32686	0,48012	0,69510	0,32261
klima	0,33937	1,00000	0,29565	0,19174	0,41057	0,26469
puda	0,32686	0,29565	1,00000	0,17990	0,29795	0,43697
orientace	0,48012	0,19174	0,17990	1,00000	0,47678	0,21204
sklon	0,69510	0,41057	0,29795	0,47678	1,00000	0,22170
substrat	0,32261	0,26469	0,43697	0,21204	0,22170	1,00000

Z matic vyplývá, že vrstvy jsou poměrně různorodé. Lineární závislost je vysoká (korelační koeficient blízký nebo převyšující 0,5) mezi diverzitou substrátu a půdami, mezi sklonitostí a tvary reliéfu a orientací ke svět.stranám, zbylé vrstvy mají korelaci nízkou (korel.koeficient do 0,25), anebo střední (korel.koef. do 0,5). Matice jsou si velmi podobné.

Ke stanovení geodiverzity z vrstev vypočtených Shannonovým indexem byl použit vážený součet těchto diverzit. Obdobný postup použili autoři LOH A HARMON (2005) v indexu hodnotícím více diverzit, nazvaným jako „bioculture index (jde o součet podílu logaritmu počtu zastoupených a celkových hodnot). Shannonovy indexy byly standardizovány (0-1) a sečteny zároveň pomocí nástroje „Overlay-Weighted Sum“ (Spatial Analyst Tools). Výsledný rastr je zobrazen na obr.16 nahoře. Pro další použití bylo zobrazeno 5 výsledných kategorií diverzit jako bylo použito při tvorbě Mapy substrátové a topografické diverzity ČR. Kategorie byly opět zobrazovány relativně, tak aby v oblasti vynikly místa s vysokou a nízkou geodiverzitou (v ArcMap9.2 – zobrazení dle kvantilů, každá kategorie má tedy stejný počet zastoupených prvků).

K výpočtu geodiverzity z vrstev vyjádřených pouze podle počtu zastoupených ploch byl využit jednoduchý index, který navrhl XAVIER-DA-SILVA (2004) jako vážený součet dílčích diverzit (vždy podíl zastoupené kategorie ku maximálnímu počtu kategorií) (viz tab.10), v našem případě byl použit jeho stonásobek pro usnadnění práce v softwaru. Nejprve byl použit nástroj „Math“ (Spatial Analyst Tools), kterým byly vrstvy upraveny na stejnou váhu (hodnot 0-100) a potom pomocí „Local“ (Spatial Analyst Tools), byly vážené vrstvy sečteny. Z šesti vstupních vrstev při nejnižší hodnotě 20 je tedy minimální hodnota 120, maximální potom 600 (viz obr.16 dole). Zobrazení je opět dle kvantilů.

Tab. 10: Ukázka výpočtu abiotických diverzit

ID pole	pudy (x <sub>1</sub> )	rel.	TRMIM (x <sub>2</sub> )	rel.	XAVIER-DA-SILVA
1	3	0,75	1	0,2	0,95
2	2	0,5	2	0,4	0,9
3	3	0,75	2	0,4	1,15
4	3	0,75	5	1	1,75
5	1	0,25	5	1	1,25
6	4	1	4	0,8	1,8
<b>celkem kategorií</b>	<b>4</b>		<b>5</b>		<b>Σ rel.</b>

Pro účel porovnání geodiverzity s biodiverzitou byly vytvořeny obdobné vrstvy z mírně lišících se podkladů (viz kapitoly 4.2.1 a 4.2.2).

#### 4.4 BIOTICKÁ DIVERZITA

K porovnání geodiverzity s biodiverzitou musela být nejprve vytvořena vrstva biodiverzity. Byla zjišťována z dostupné databáze: Česká národní fytoecologická databáze, která obsahuje vrstvu zmapovaných lokalit s výskytem a popisem druhů cévnatých rostlin (rostlin přizpůsobených životu na souši). Databáze je stále aktivní, otevřená pro vkládání snímků registrovanými uživateli. Je vymezena lokalitami, ke kterým jsou relačně připojeny informace o zastoupených druzích. Informace o databázi a podmínkách k poskytování dat lze najít na <http://www.sci.muni.cz/botany/vegsci/dbase.php?lang=cz#turboveg>. Nevýhodou dat je, že zmapované lokality nejsou vymezeny plošně jako polygony, ale pouze jako body se souřadnicemi, doprovodným textem k lokalizaci a informací o plošné výměře (v m<sup>2</sup>). Nabízí se sice vymezení lokalit pomocí uměle definovaného kruhového polygonu o dané rozloze. To však nejde použít, protože se lokality nachází i podél liniových prvků. Polygony proto nebyly vytvořeny a lokality budou zařazeny jen bodem. Protože bude diverzita opět zkoumána v jednotné mřížce o velikosti 200 m, budou body zařazeny jen do jednoho pole mřížky, i když ve skutečnosti se mohou nacházet i v sousedních. Diverzita je zkoumána z těchto dat pouze na úrovni alfa, to znamená počet druhů v lokalitě (početnost druhů ~ species richness). V ploše mřížky by bylo sice vhodné využít i beta diverzitu (uvažovat i stanovištní diverzitu), jde ale o složitější problematiku a pro tuto práci je postačující pouze diverzita druhová. K tomu byl využit software Turboveg 2.0., pomocí nástroje „Add diversity index values-richness“ (Edit) byl vypočten Shannonův index, který bere v úvahu nejen zastoupení druhů ale také velikost populace. Schéma jeho výpočtu je znázorněno v tabulce č.11.

Tab. 11: Ukázka výpočtu Shannonova indexu

Shannonův index diverzity				
Druhy	počet	pi	Ln(pi)	pi*Ln(pi)
A	24	0,44	-0,81	-0,36
B	20	0,37	-0,99	-0,37
C	7	0,13	-2,04	-0,26
D	3	0,06	-2,89	-0,16
<b>Celkem</b>	<b>54</b>	<b>1</b>		<b>H = 1,15</b>

Data se Shannonovým indexem (308 lokalit) byla z Turbovegu exportována opět pro práci v softwaru ArcMap 9.2. V mřížce o velikosti 200 m byl použit nástroj „Count points in polygons“ (Hawths Tools) pro zjištění počtu fytoecologických snímků v mřížce a v ní byly zprůměrnovány hodnoty Shannonova indexu. Diverzita je zobrazena na obr .17 nahoře.

## 4.5 ZÁVISLOST BIODIVERZITY NA GEODIVERZITĚ

Základní hypotéza, kterou lze ověřovat, je předpoklad, že s rostoucí variabilitou abiotických podmínek roste diverzita biotická. K tomuto účelu je použita jednoduchá grafická metoda z kategorizovaných dat a statistická analýza pomocí lineární regrese ze spojitých dat získaných výpočtem shannonových indexů diverzity.

### 4.5.1 Grafická metoda

Vrstva geodiverzity zjišťována pouze ze zastoupených kategorií byla vybrána jako vhodná pro grafickou metodu, byla porovnána s vrstvou biodiverzity. Bylo zachováno zobrazení geodiverzity relativně do 5 pevných tříd pomocí nástroje „Reclassify“ (Spatial Analyst Tools): (1-minimální, 2-nízká, 3-střední, 4-vysoká, 5-velmi vysoká). Stejným způsobem byla upravena vrstva biodiverzity na 5 pevných tříd. Použita je jednoduchá metoda srovnání, která předpokládá, že stejná kategorie geodiverzity by měla odpovídat stejné kategorii biodiverzity (střední=střední, nízká=nízká), tak by bylo dosaženo maximální závislosti biodiverzity na geodiverzitě. Čím bude rozptyl větší (jedno jakým směrem), tím roste nezávislost mezi vrstvami. Nulové hodnoty jsou tedy maximální závislost (shodné kategorie). Vysoká závislost pak znamená, že při maximální variabilitě abiotických faktorů zůstane vysoká variabilita bioty (posun o 1 kategorii). Částečná znamená, že při vysoké variabilitě abiotických faktorů se může objevit střední variabilita bioty, nikdy však ne nízká ani minimální. Výsledný rastr závislosti je v kapitole 5.9.1 (obr. 17 dole). Průměrný rozptyl mezi vrstvami byl vypočten pomocí „Cell Statistics“.

### 4.5.2 Regresní analýza

Pro zjištění závislosti byl využit předpoklad vztahu, že s rostoucí geodiverzitou roste biodiverzita, je tudíž očekávána kladná (rostoucí) lineární regrese. Byla použita atributová pole biodiverzity z fytoecologických snímků (Shannonův index) a indexu geodiverzity (vážená suma Shannonových indexů dílčích diverzit), kde každému poli geodiverzity odpovídá jedna hodnota biodiverzity. Vytvoříme tedy bodový graf ze spojitých dat. K tomu byl využit program Microsoft Excel 2003. Bodový graf byl proložen spojnicí trendu.

Pro každý interval geodiverzity byly také spočteny průměry Shannonova indexu biodiverzity, aby byl lépe vysvětlen průběh závislosti v souboru dat. (kvůli malému množství dat byl stanoven interval geodiverzity o velikosti 0,25). Zároveň byla sestavena korelační matice pomocí nástroje „Band Collection Statistics“ (Spatial Analyst Tools–Multivariate).



## **5 VÝSLEDKY**

### **5.1 Substrátová diverzita Broumowska**

Celkový průběh substrátové diverzity nápadně kopíruje významné geologické jednotky (viz obr. 9). Největší rozmanitost substrátu vychází v permokarbonu Polické stupňoviny (Stárkovských, Janovických kuest), dále v oblasti střídání pískovců, slepenců a jílovců s uhelnými slojemi Maternického a Bukovinského hřbetu Jestřebích hor na jihu území. Také v oblasti Šonovského hřbetu Javořích hor na severovýchodě území, v severovýchodní části Otovické kotliny a východní části Meziměstské kotliny s výskytem četných kvartérních sedimentů. Zvýšená je i na rozhraní permokarbonu-triasu-křídý u Broumovských stěn a Zdoňovských kuest (rozhraní Polické stupňoviny a Broumovské kotliny).

Nejnižší diverzita je potom ve křídových pískovcových útvarech Polické pánve a na severu území v ryolitových horninách Ruprechtického hřbetu a jeho podcelku Heřmánkovického hřbetu.

Výsledky výpočtu Shannonova indexu se oproti vrstvě zjištěné na základě výskytu kategorie v mřížce liší pouze v intenzitě. Je to dáno hlavně tím, že index může být zobrazen v kategoriích relativně dle četnosti výskytu v souboru.

Varianty diverzit podle kategorizací (viz kapitola 4.2.1) mají podobný průběh, pouze se s menším počtem kategorií nepatrně snížila i celková substrátová diverzita.

### **5.2 Topografická diverzita**

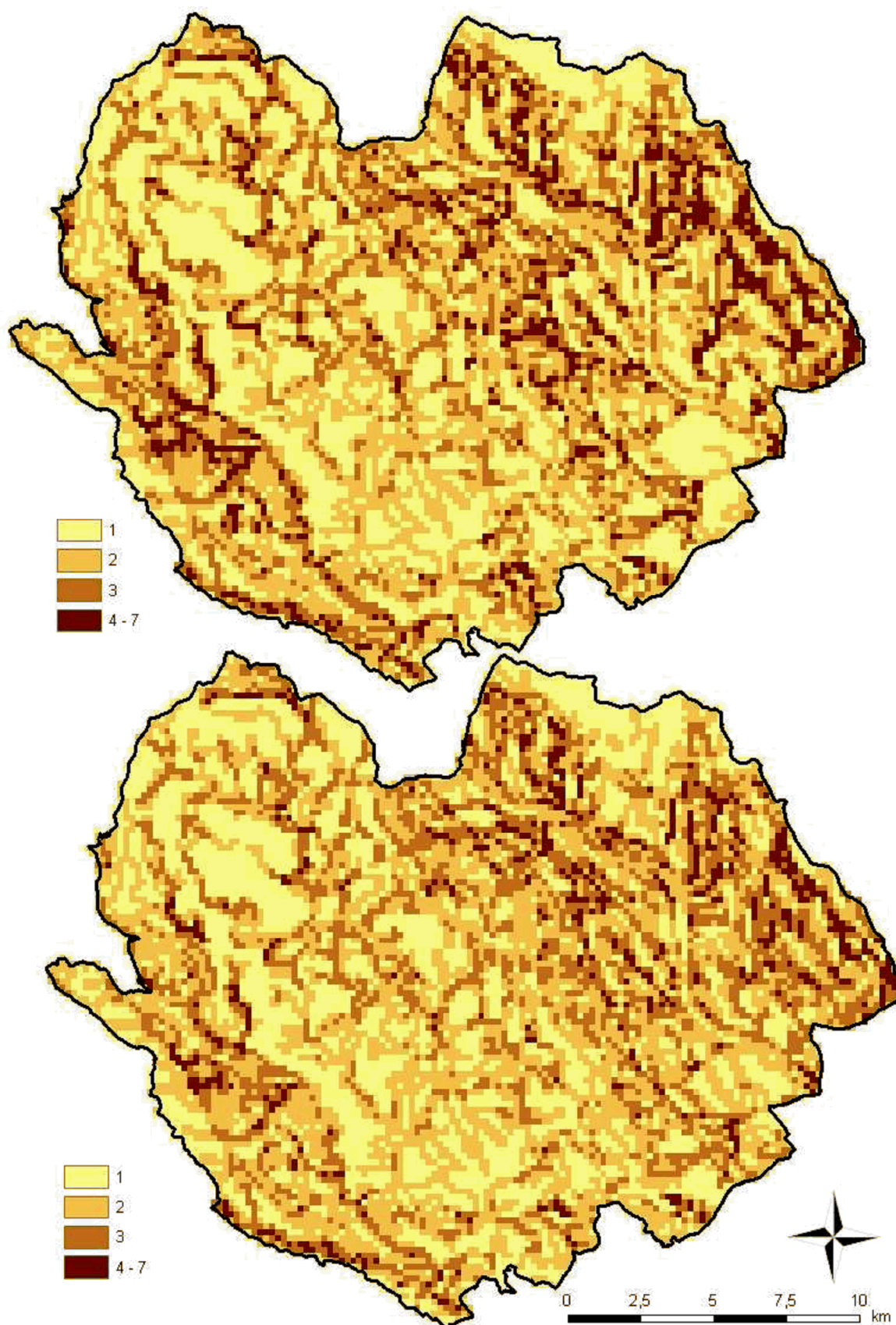
#### **Diverzita sklonitosti**

Nejvyšší diverzita sklonitosti (viz obr. 10) je v oblasti Adršpašsko-Teplických skal, Broumovských stěn, dále při Metuji (hlavně při dolním toku), a také horním toku Stěnavy a jejích přítoků. Nízká je v dolním povodí Stěnavy v Broumovské kotlině a vrcholových plošinách a sprašových tabulí v okolí Police nad Metují, Bezděkova, České Metuje a plošin na severozápadním cípu Polické stupňoviny. Celkově je vyšší v celé Polické vrchovině, Javořích a Jestřebích horách, nižší pak v Broumovské kotlině.

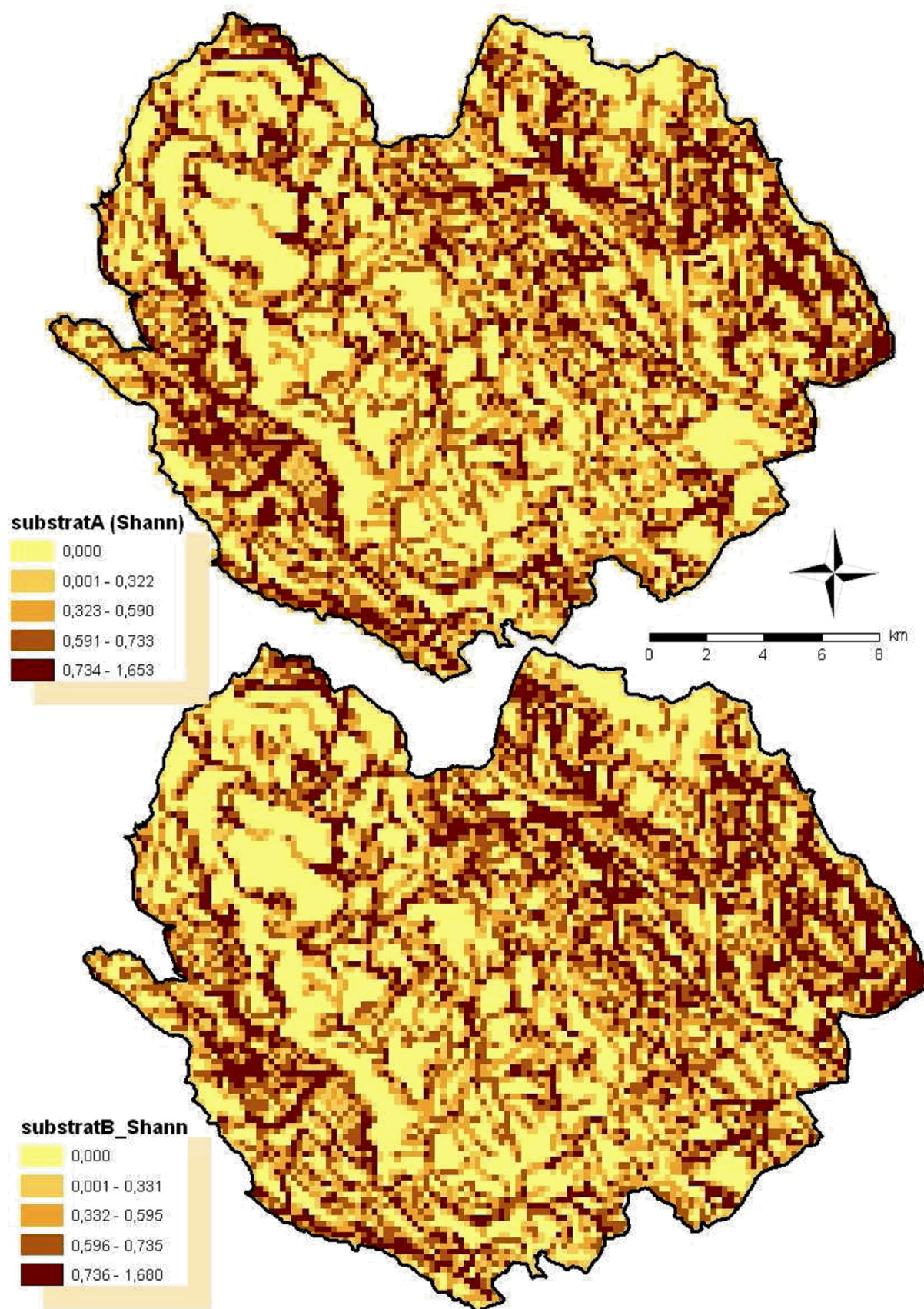
Zjištěné diverzity sklonitosti dle různých kategorizací se příliš neliší. Geomorfologické pojetí má celkově diverzitu nižší, průběh pro diverzitu z hlediska ocenění půd se zdá být vhodnější pro dané území, protože vymezuje celistvější oblasti a přechody diverzit.

Diverzita zjištěná z Shannonova indexu je téměř totožná s diverzitou zjištěnou z výskytu kategorie plochy v mřížce, je patrné, že jde o přesnější vyjádření.

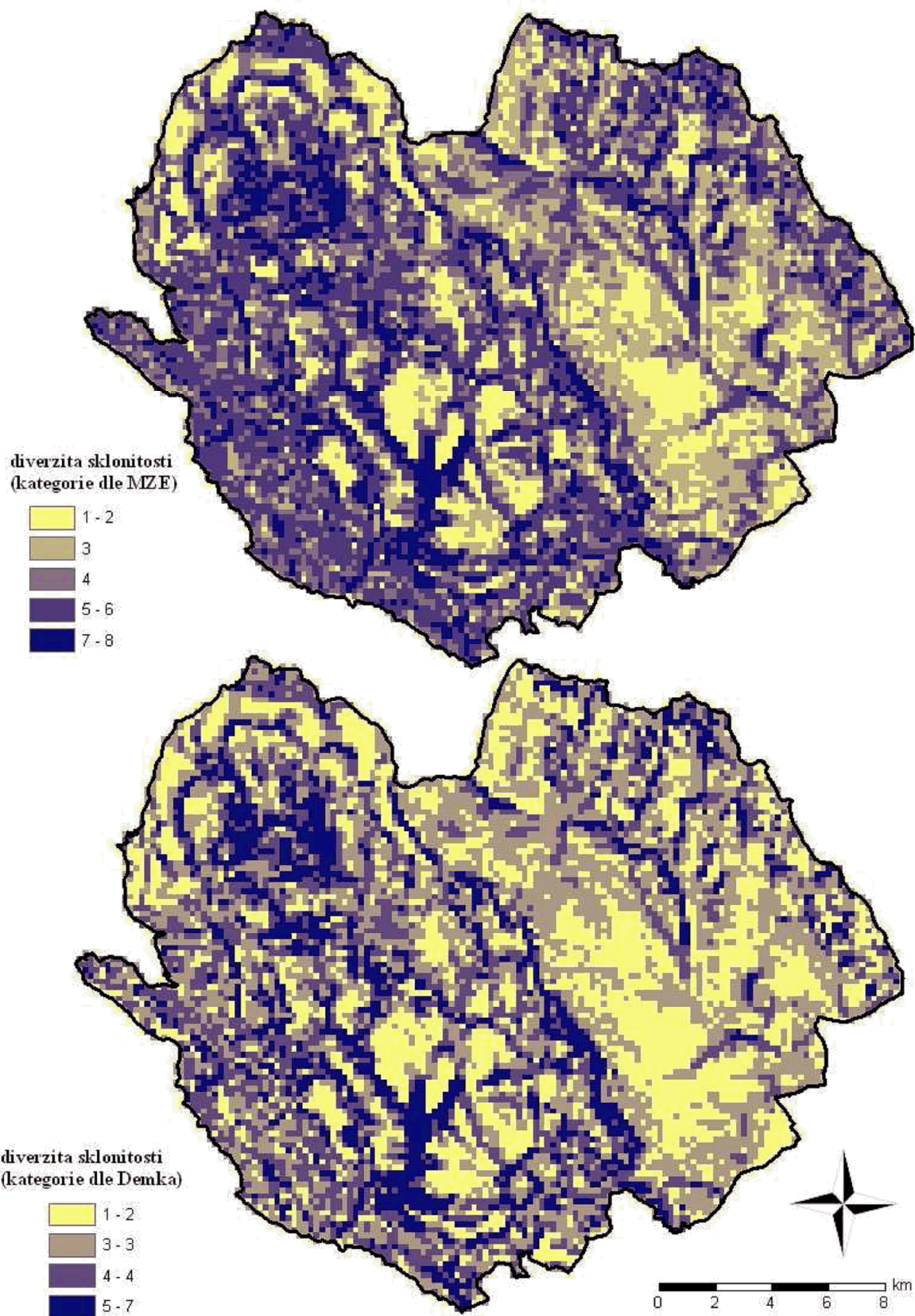
Obr.9a: Substrátová diverzita Broumavska dle počtu kategorií v mřížce (nahore: vlastní kategorizace, dole: kategorizace podle působení na biotu), pixel=200 m



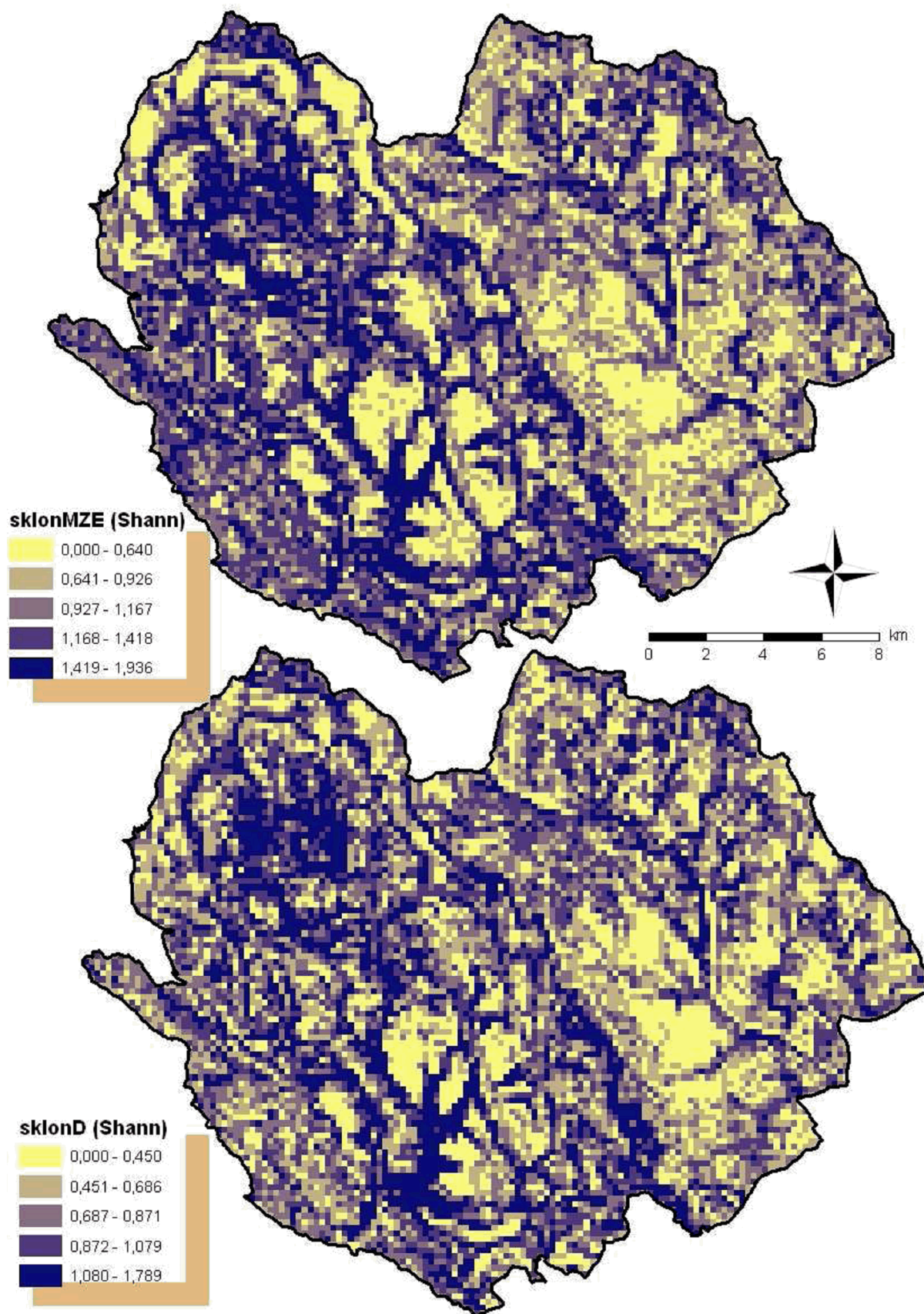
Obr.9b: Substrátová diverzita Broumavska dle Shannonova indexu (nahore: vlastní kategorizace, dole: kategorizace podle působení na biotu), pixel=200 m



Obr.10a: Diverzita sklonitosti Broumovska dle počtu kategorií v mřížce (nahore: kategorie podle výnosnosti pro BPEJ, dole: kategorie podle geomorfologie), pixel=200 m



Obr.10b: Diverzita sklonitosti Broumovska dle Shannonova indexu (nahore: kategorie podle výnosnosti pro BPEJ, dole: kategorie podle geomorfologie), pixel=200 m



## Diverzita orientace ke světovým stranám a expozice

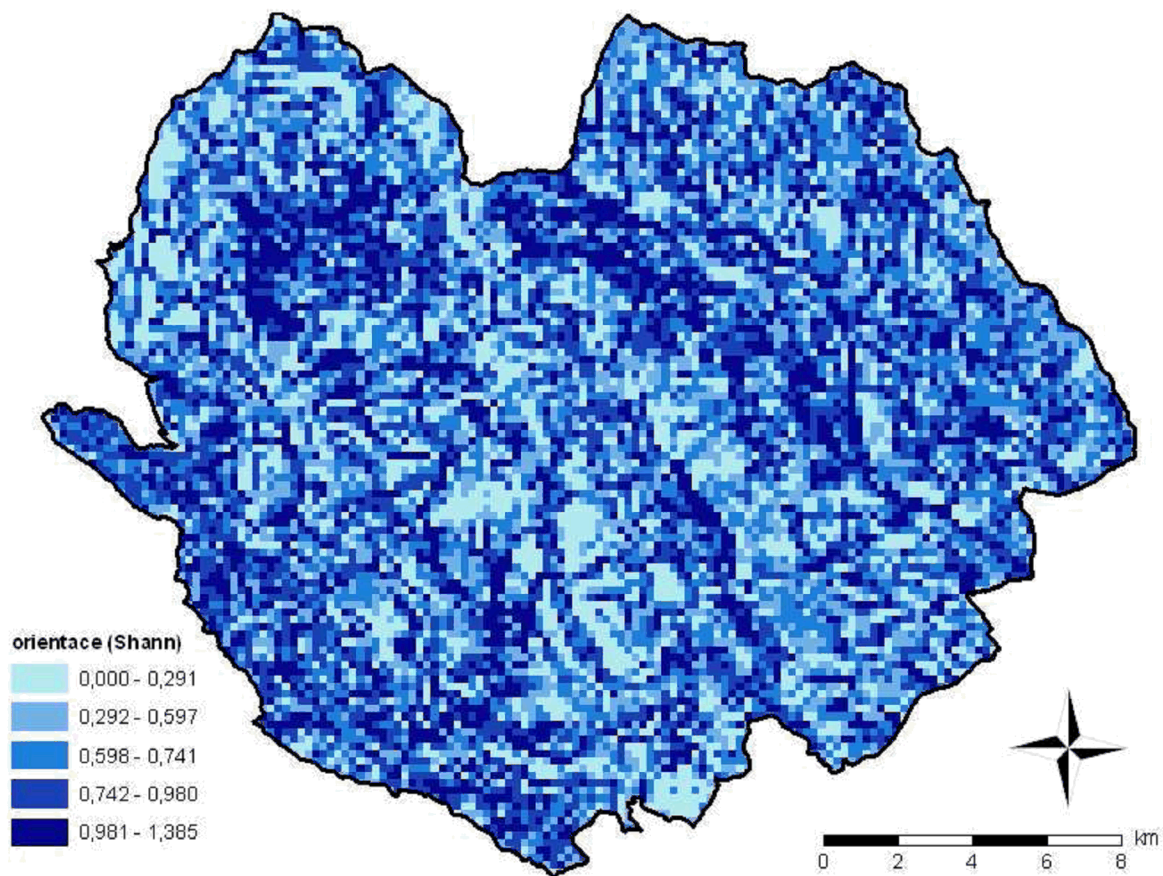
Nejvyšší variabilita ke světovým stranám byla zjištěna v oblasti Adršpašsko-Teplických skal, podél toků, ve vrcholových částech Polické stupňoviny a při horním toku Stěnavy, relativně vysoká v Jestřebích horách.

Nízká je diverzita v severovýchodně orientovaných svazích Broumovské kotliny při pravém břehu Stěnavy, jižně a západně orientovaných svazích Broumovských stěn v povodí Metuje a na SZ území (viz obr.11b).

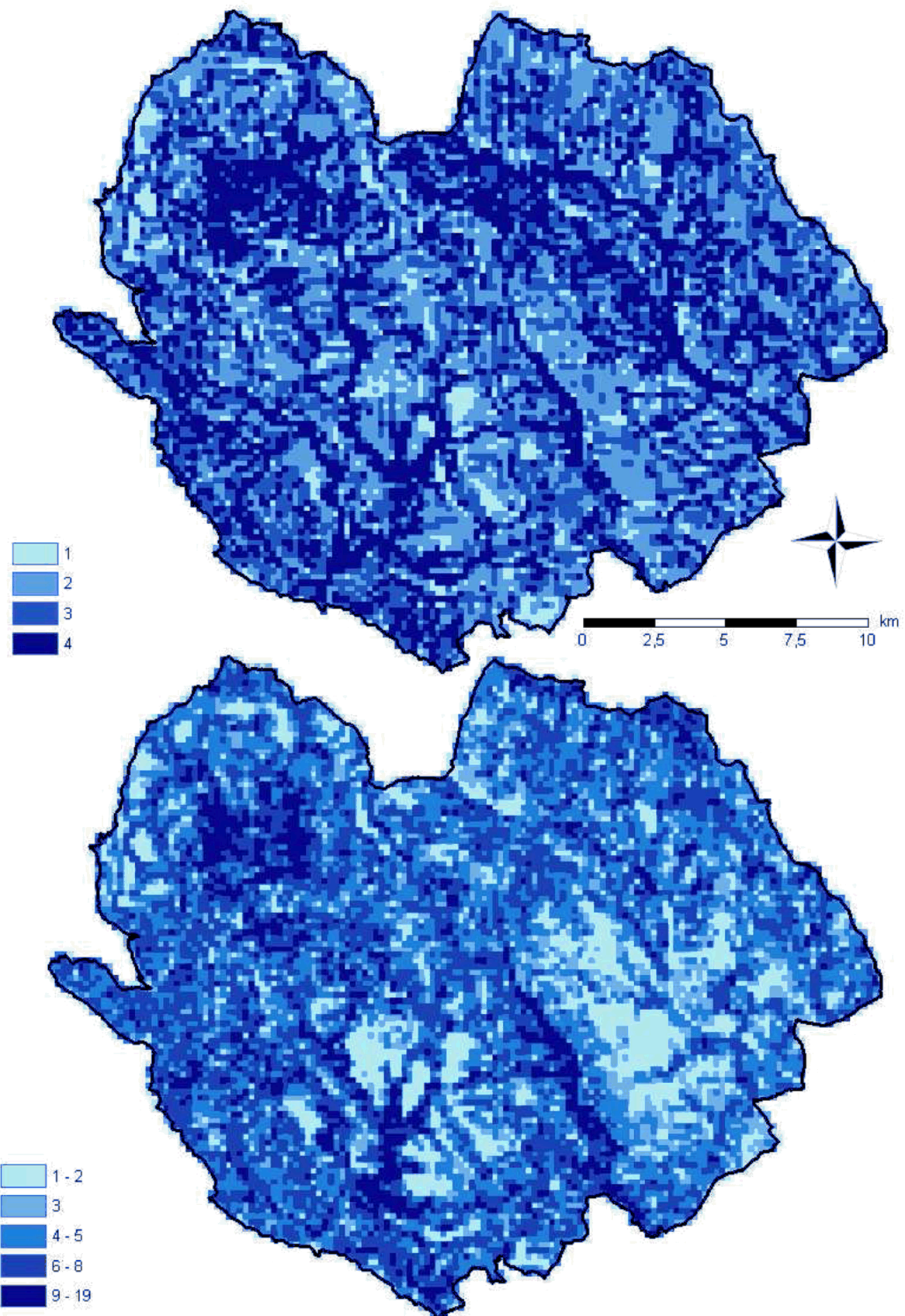
Dle Shannonova indexu vychází opět obdobné výsledky (viz obr. 11a).

Průběh diverzity expozice zvyrazňuje diverzitu orientace ke světovým stranám, lépe vyniká zařízlý tok dolní Metuje, i Jestřebí hory, ale také rovinaté oblasti, kde je orientace svahů zanedbatelná (obr. 11b dole).

*Obr.11a: Diverzita orientace ke světovým stranám (nahore) a expozice (dole) dle Shannonova indexu – pixel 200 m*



Obr.11b: Diverzita orientace ke světovým stranám (nahore) a expozice (dole) dle počtu kategorií v mřížce – pixel 200 m



### **5.3 Topoklimatická diverzita**

Vysoká topoklimatická diverzita byla zjištěna na Machovsku, podél dolního toku Metuje, Židovky a Jívky, na Stárkovsku, u Dědova, severovýchodní okolí Adršpašsko-Teplických skal, hřbet Nad Studánkou a Příkrá stráž mezi Teplicemi a Meziměstím, okolí Hlavňova, Šonova, horních přítoků Stěnavy a okolí Božanovského vrchu (viz obr 12). Pomocí Shannonova indexu bylo dosaženo stejných výsledků.

### **5.4 Vlhkostní diverzity**

#### **5.4.1 Diverzita z vrstvy TRMIM**

Místa s vysokou zjištěnou diverzitou kopírují oblasti s výskytem vysoké hodnoty indexu TRMIM, zařízlá údolí i hranice základních morfologických jednotek.

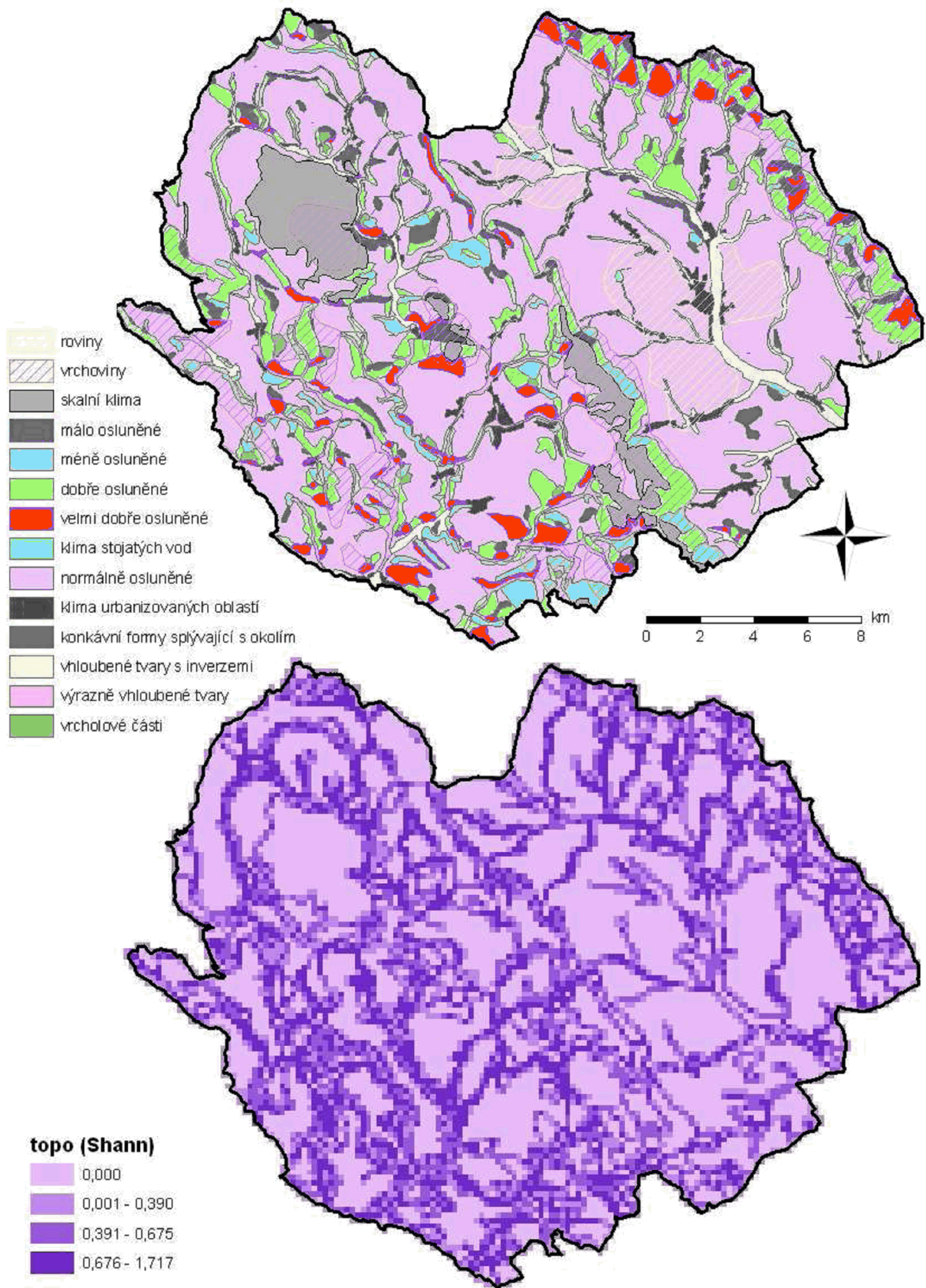
Nízká je v oblastech velkých sklonů reliéfu a ve vrcholových partiích reliéfu, kde je nízká retence vody (viz obr. 13).

#### **5.4.2 Reliéfová rozmanitost z vrstvy relativní vlhkosti**

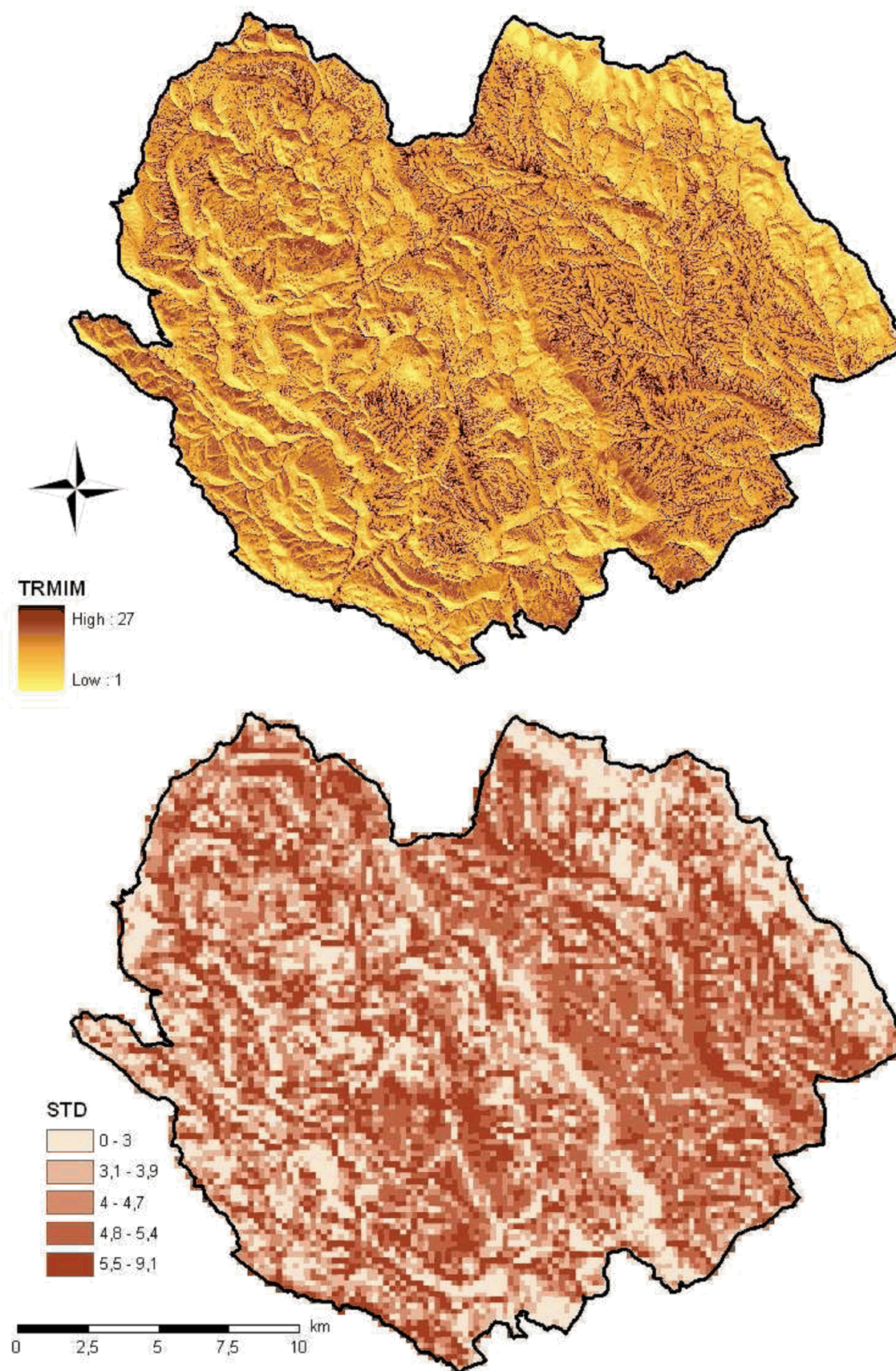
Vypočtená diverzita je rovnoměrně rozprostřena v území, nízká je v oblastech plošin a mírně svažitéch vyvýšenin a vysoká podél toků, v Jestřebích horách, v oblasti Adršpašských skal a hřbetu Broumovských stěn. (viz obr.14). Lépe průběh vystihuje vypočtený Shannonův index (obr. 14b).



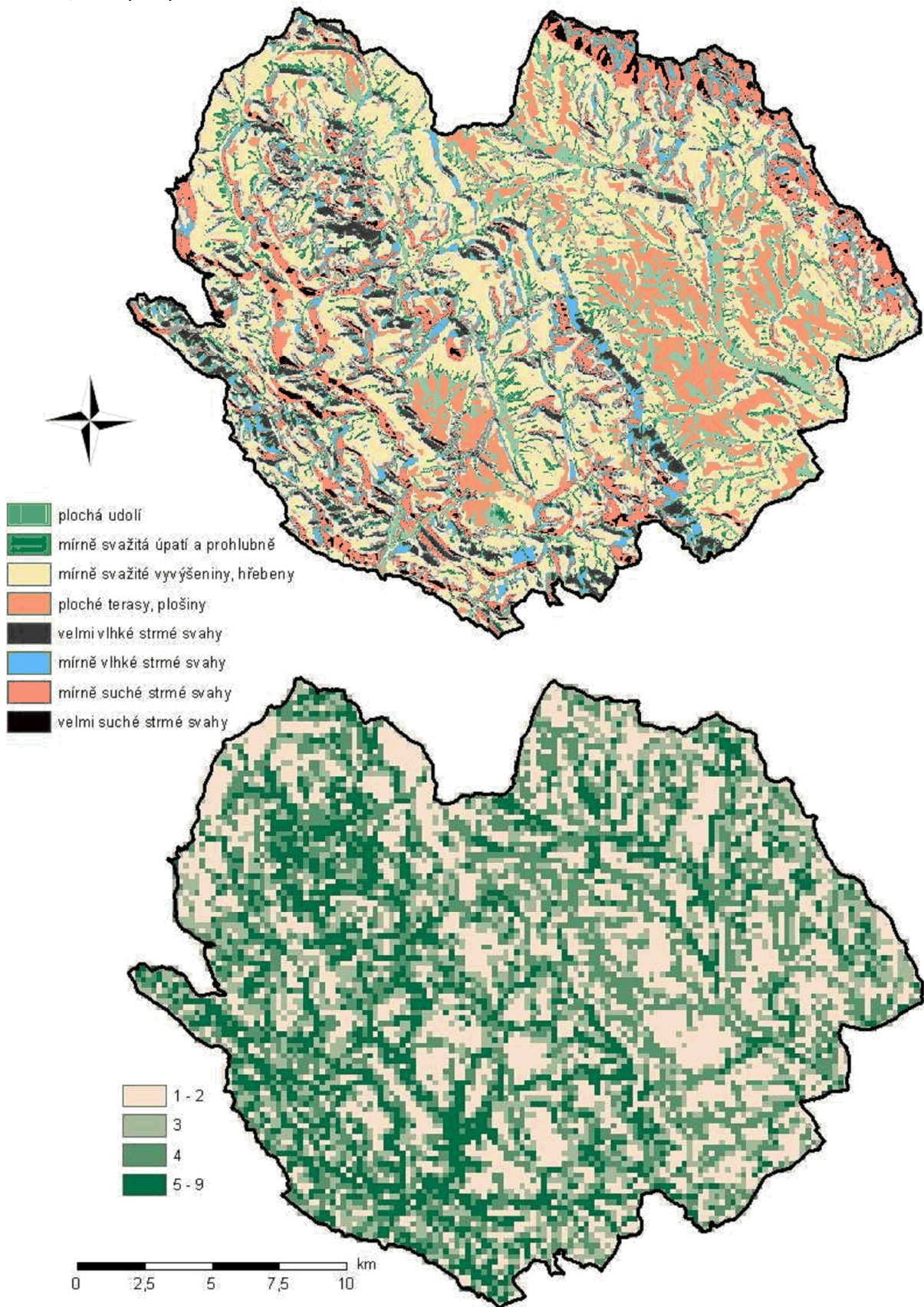
Obr.12: Topoklimatická mapa a diverzita topoklimatických jednotek (200 m)



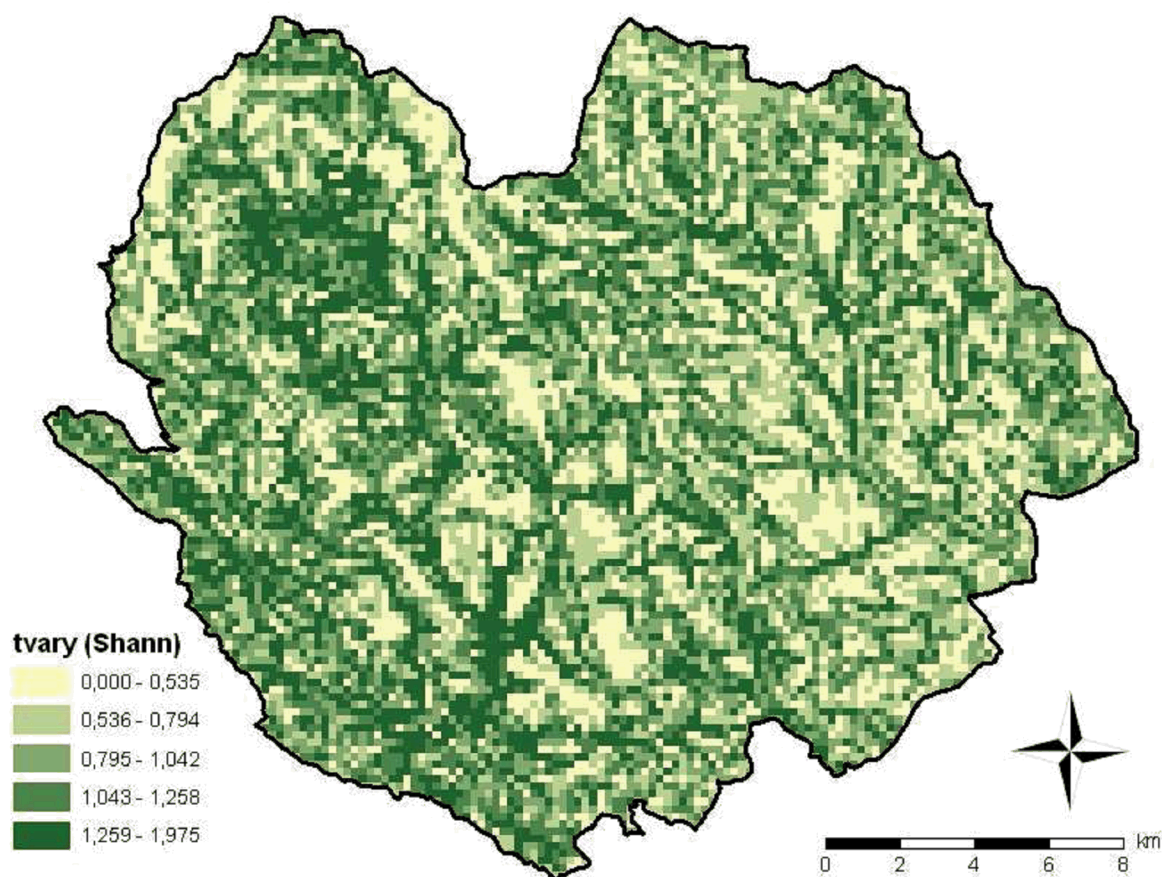
Obr.13: Index modifikované relativní vlhkosti (nahore) a diverzita relativní vlhkosti pro pixel 200 m (dole)



Obr.14a: Index tvarů reliéfu (nahore) a diverzita tvarů reliéfu (dole) dle počtu kategorií v mřížce pro pixel 200 m



Obr.14b: Diverzita tvarů reliéfu podle Shannonova indexu pro pixel 200 m



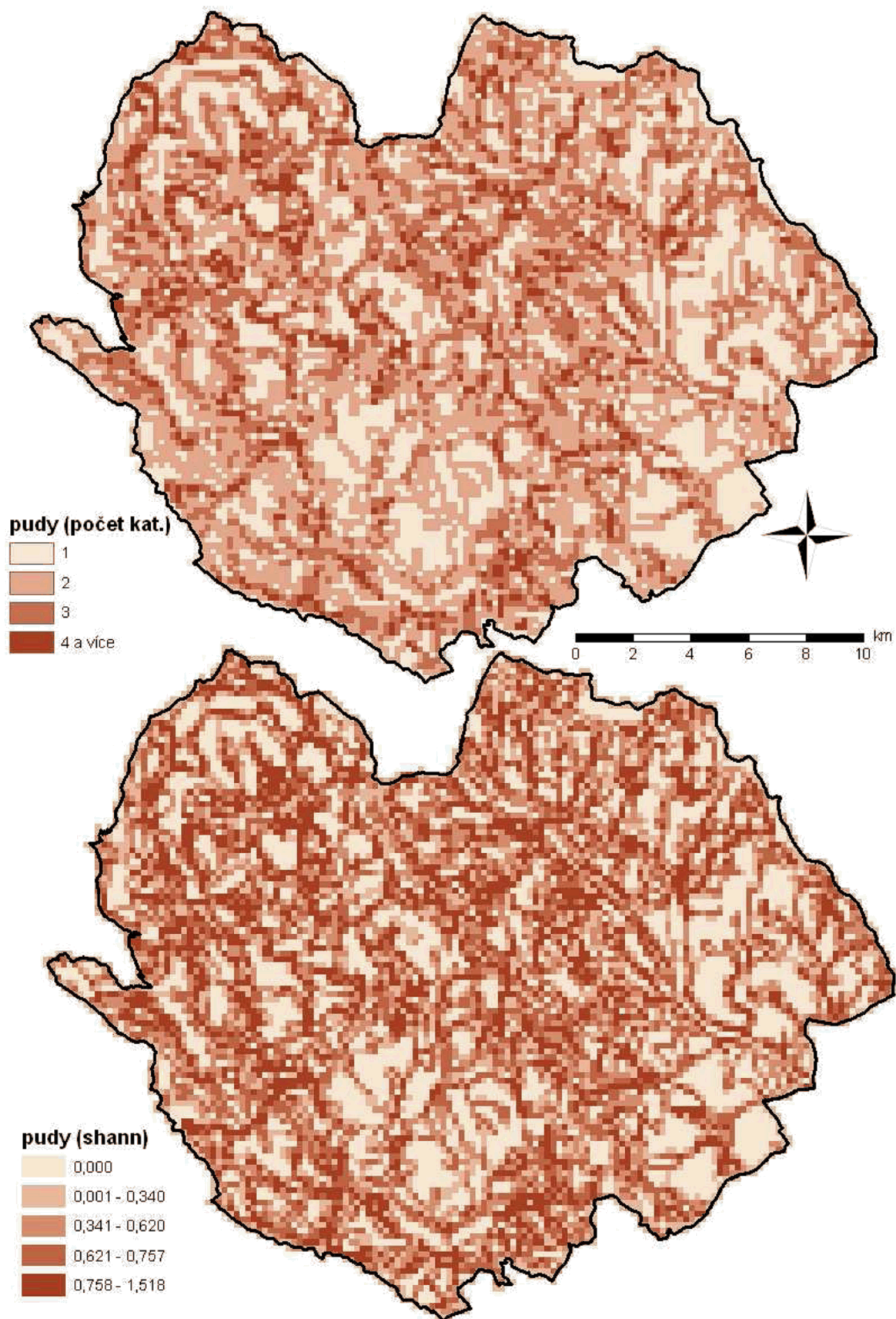
## 5.5 Hydrografická diverzita

Vzhledem k nepřesné metodice nebyla diverzita nakonec zahrnuta do celkového výpočtu geodiverzity. Využití by měla vrstva spíše při řešení konkrétních problematik. Stejně tak rastry akumulace a délky toku odvozené z DMR jsou nepřesné. Zde to je tím, že neberou v úvahu skutečnou říční síť. Nejvyšší vyšla při dolních tocích Stěnavy a Metuje, v pramenné oblasti Jívky a Metuje, při soutoku přítoků Verněřovického potoka.

## 5.6 Půdní diverzita

Vypočtená půdní diverzita vyšla vysoká v oblasti Vysoké Srbské a Machovska, Stárkova, v povodí Dřevíče u Jívky, ve Vlčí rokli, ve východní části Hraničního hřbetu, v okolí Hejdy a Ostaše, Jetřichova, Vižňova, Olivětína a Broumovských strání, na SV Broumovských stěn a podél horní části Martínkovického potoka. Nízká je na kambizemních plošinách při dolním toku Stěnavy a Metuje, severozápadně od Adršpachu a na stráních u vesnice Hony (viz obr 15).

Obr. 15: Diverzita půd podle počtu kategorií a podle Shannonova indexu pro pixel 200



## 5.7 HODNOCENÍ CELKOVÉ GEODIVERZITY ÚZEMÍ

Celková geodiverzita zjištěná oběma metodami se téměř neliší. Pro další práci je vhodnější použití Shannona indexu diverzity. Zobrazení kategorií je relativní podle četnosti výskytu hodnot v souboru dat. Jde tedy o minimální a maximální diverzity pouze na Broumovsku.

Oblasti s *minimální* geodiverzitou jsou oblasti nízkých sklonů a sprašových plošin při dolním toku Metuje a na SZ území, kde je nízká rozmanitost orientace ke světovým stranám, jsou tvořeny jedním substrátem a půdním pokryvem. To zcela neplatí pro plošiny při dolním toku Stěnavy, kde je bohatší substrát i půdní pokryv, ale ještě jde o oblasti s *nízkou* (200 – 300) geodiverzitou.

*Střední* hodnoty jsou rovnoměrně rozloženy v území. V centrální oblasti Adršpašsko-Teplických skal je jejich výskyt podmíněn topoklimatickou mapou, která v této oblasti nevymezuje žádnou diverzitu, protože se jedná o klima skalních měst, stejně tak Broumovské stěny, Ostaš, Hejda a Kočičí skály budou vykazovat nižší geodiverzitu oproti skutečnosti.

*Vysoká a velmi vysoká* je geodiverzita při dolním toku Metuje (při soutoku s Židovkou), od Stárkovska celý západ území, Machovsko, Broumovské stěny, horní tok Stěnavy, dílčí oblasti Javořích hor.

Výsledné rastry geodiverzity Broumavska jsou na obrázku 16. Nepřesnosti lze předpokládat u rastru zjištěného Shannonovým indexem na obvodu hranice CHKO. Je to dáno ořezem tématických vrstev, nejsou tak známy plochy za hranicí, které ještě spadají do jednoho pole mřížky 200 m.

## 5.8 HODNOCENÍ BIODIVERZITY

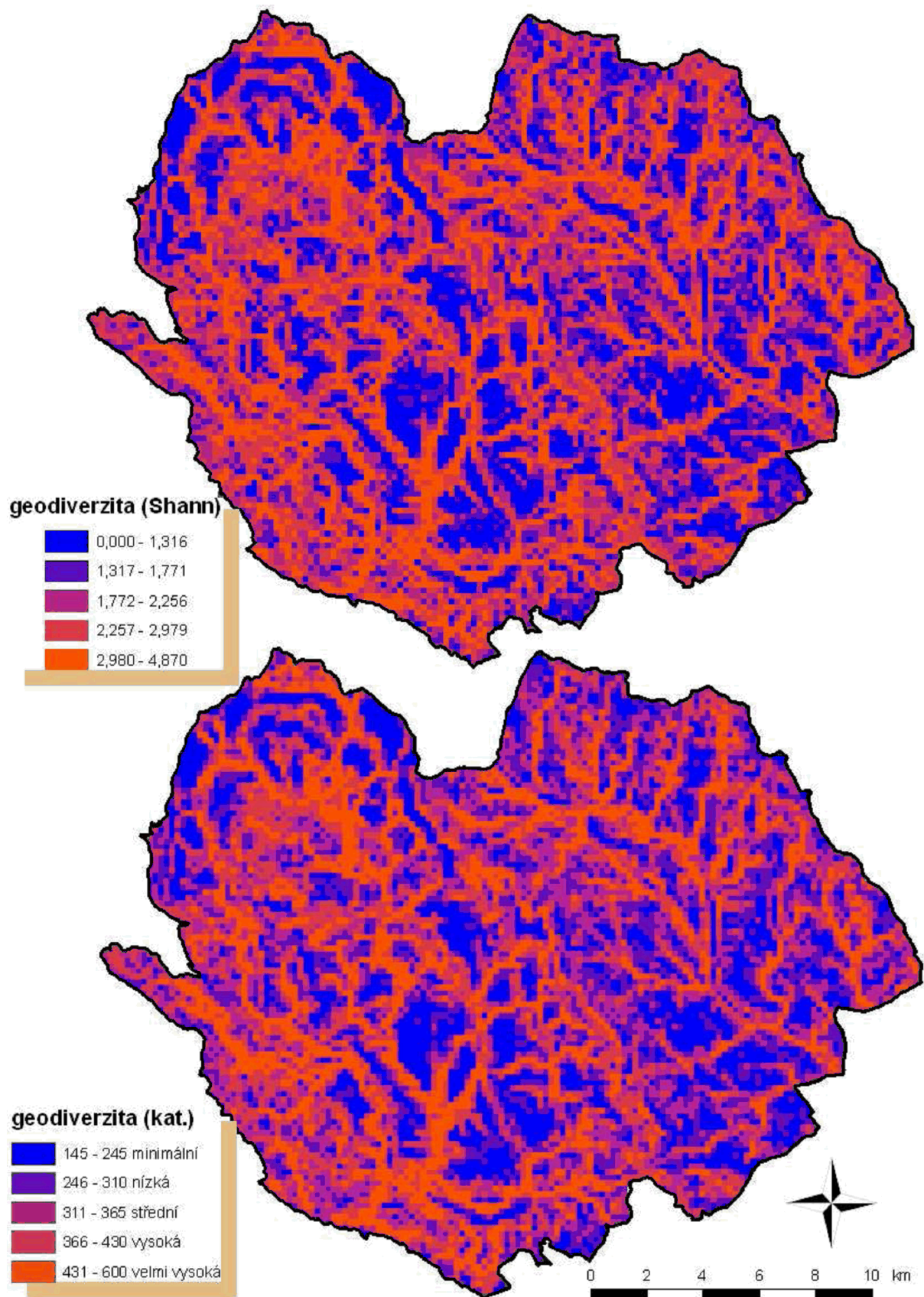
Na základě použitého postupu (viz kapitola 4.4) byla vypočtena vrstva biodiverzity z fytoocenologických snímků (viz obr. 17 nahoře). Výsledkem je 182 hodnot biodiverzit.

## 5.9 ZÁVISLOST BIODIVERZITY NA GEODIVERZITĚ

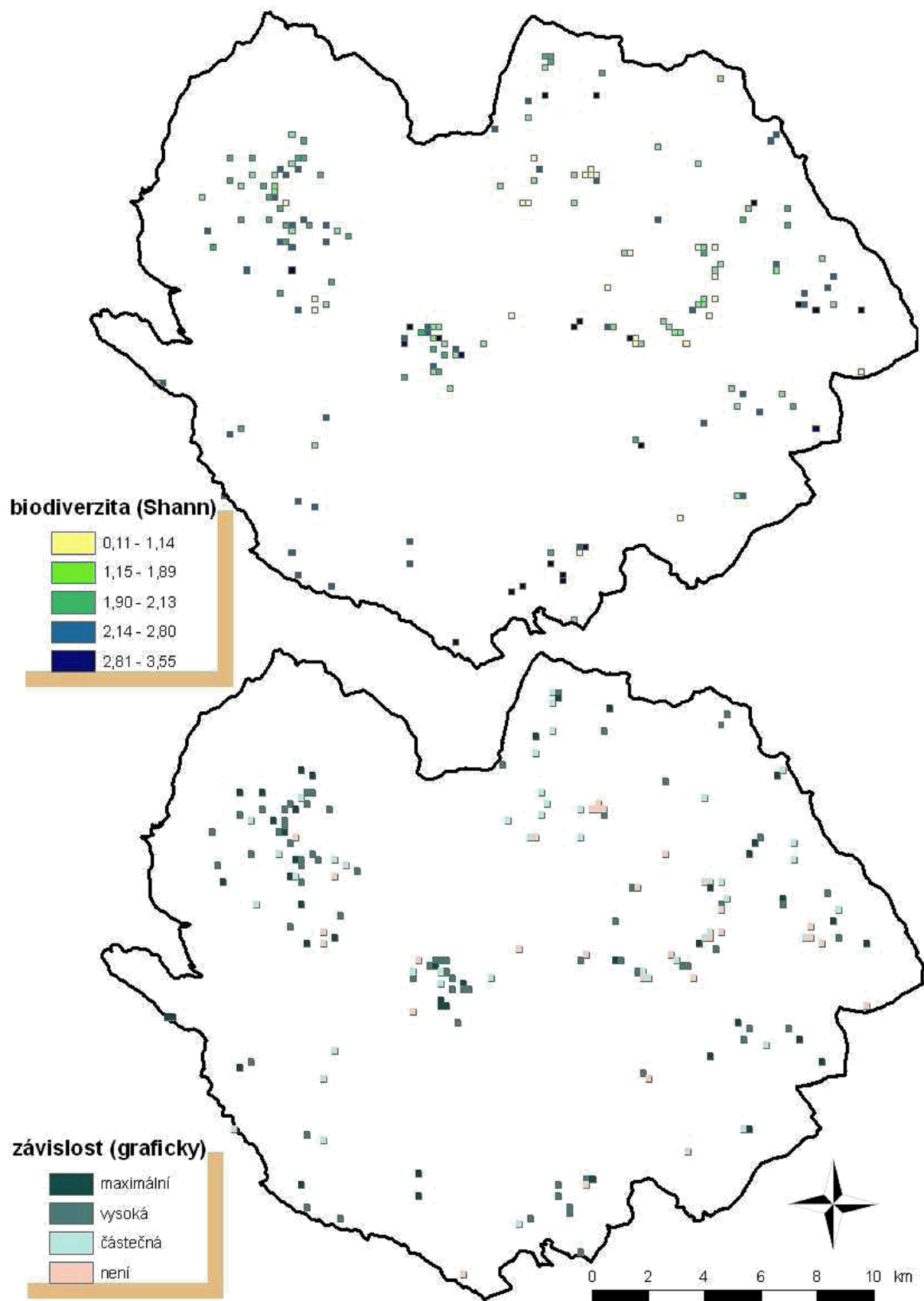
### 5.9.1 Grafická metoda

Podle fytoocenologických dat se určitá závislost projevila (průměrný rozptyl o 1,36 kategorie). Metoda však nehodnotí, zda je rozptyl ve směru kladné nebo záporné korelace, hodnotí pouze o kolik. Nevětší odchylky jsou při mokřadech v okolí Meziměstí, při středním toku Stěnavy, Farském lese a okolí Bischofsteinu (viz obr. 17 dole). Hodnoty, kde spolu diverzity nesouvisí mohou být i oblasti ovlivněné extrémními faktory (voda, lidský faktor).

Obr.16: Geodiverzita Broumovska (z vrstev diverzity dle Shannonova indexu – nahoře, a z vrstev diverzity dle výskytu kategorií – dole), pixel 200 m



Obr.17: Biodiverzita ve fytoocenologických snímcích (nahore) a závislost (dole) – 200 m

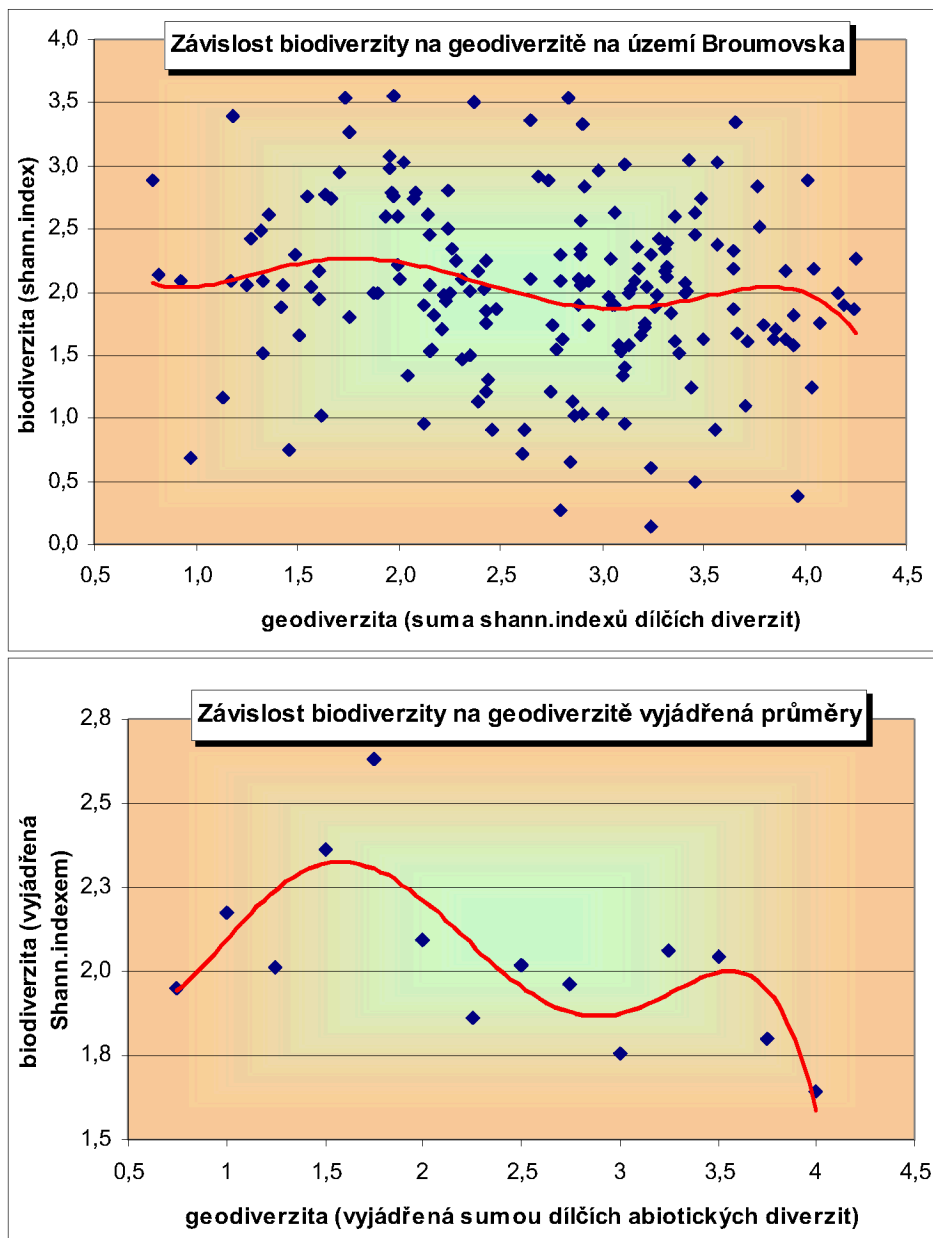




## 5.9.2 Statistické zpracování

Korelační koeficient ze srovnání závislosti biodiverzity (z fytoocenologických dat) a geodiverzity vychází blízky 0 (0,0017), znamená to, že buď neexistuje kladná korelace anebo že závislost nemá lineární průběh. Podle výsledného grafu 1 je patrné, že lineární závislost nebyla dokázána. Hodnoty tak byly proloženy polynomiální křivkou. Z křivky je patrná kladná závislost při nízkých hodnotách diverzity, potom pokles a při vysokých diverzitách opět mírný nárůst. Závislost tedy mírně roste a klesá okolo průměrné hodnoty v celém souboru dat. Kladná lineární závislost v celém souboru dat tedy nebyla prověřena. Hlavní nevýhodu vidím v malém množství fytoocenologických snímků pro statistickou analýzu, jejich vymezením v prostoru a z toho vyplývající použitou metodikou.

Graf 1: závislost biodiverzity na geodiverzitě



## 6 DISKUZE

Z výše použitého postupu a dosažených výsledků vyplývá několik poznámek k diskuzi.

### A) práce s daty

Celkově je práce limitována dostupností, měřítkem a charakterem dat.

Při vektorizaci klimatické a pedologické mapy docházelo pravděpodobně k drobným pochybením (jednotky až desítky pixelů). Při výpočtu substrátové diverzity vznikaly nepřesnosti vzhledem k nedostatečné propracovanosti podkladových geologických map. Na území Polické pánve by bylo vhodné vyčlenit zvlášť kategorii pískovců zpevněných vápnitým nebo železitým tmelem, protože jde o materiál s jinými charakteristikami, na který se váže jiná vegetace a má odlišné chování vůči zvětrávacím procesům, mapy takovou kategorii nevymezují.

Při klimatické diverzitě je nutno zohlednit nedostatečnost dat v oblastech skalních měst. Reálně se jedná o místa s velkou rozlišností mikroklimat, mapa však vymezuje pouze souhrnně klima skalních měst. Vychází tedy nízká diverzita tam, kde by měla být vysoká.

Použitá metodika pro práci s daty není vyčerpávající (např. hydrologická variabilita)

### B) stanovení celkové geodiverzity

Diskutabilní může být i zahrnutí vrstev do celkového zhodnocení, zde byly použity dostupné variability tak, aby nebyly od sebe navzájem odvozené. To však nelze plně dodržet (např. topoklima –DMR, půdní pokryv-substrát). Variability, které nebyly zahrnuty do zhodnocení (expozice, vlhkostní index TRMIM, hustota říční sítě) mohou být využity pro jiné účely.

Geodiverzita zjišťovaná pouhým počtem kategorií v mřížce je méně přesná než výpočet Shannonova indexu diverzity, hlavní oblasti vysokých a nízkých diverzit jsou však v obou případech shodné. Pro stanovení geodiverzity mohou být tak použity obě metody.

### C) biodiverzita

Stanovení biodiverzity je limitováno charakterem dat z fytoecologické databáze. První nepřesností pro tuto metodiku je jejich bodové vyjádření, kdy z jednoho nebo několika bodů je brána diverzita pro celou buňku mřížky. Otázkou také je, zda jeden fytoecologický snímek zobrazuje diverzitu v celém poli mřížky, ale bohužel je to dáno limitem dat. Pro statistické vyjádření tak zbývá malé množství polí. Lze uvažovat o využití jiné metodiky pro hodnocení biodiverzity v mřížce – vhodné by bylo zahrnout i stanovištní diverzitu tam, kde je více fytoecologických snímků v jednom poli (opět ale jde o malý počet stanovišť v těchto polích). Vhodné by bylo využít vrstvu z mapování Natura a propojit ji

s fytoocenologickými daty tak, že diverzita stanovišť bude převedena na diverzitu biotopů. Získali bychom tak větší množství dat pro statistické zhodnocení. Problémem ale je, že ne všechny fytoocen. snímky mají uvedený kód stanoviště, nutný pro převod.

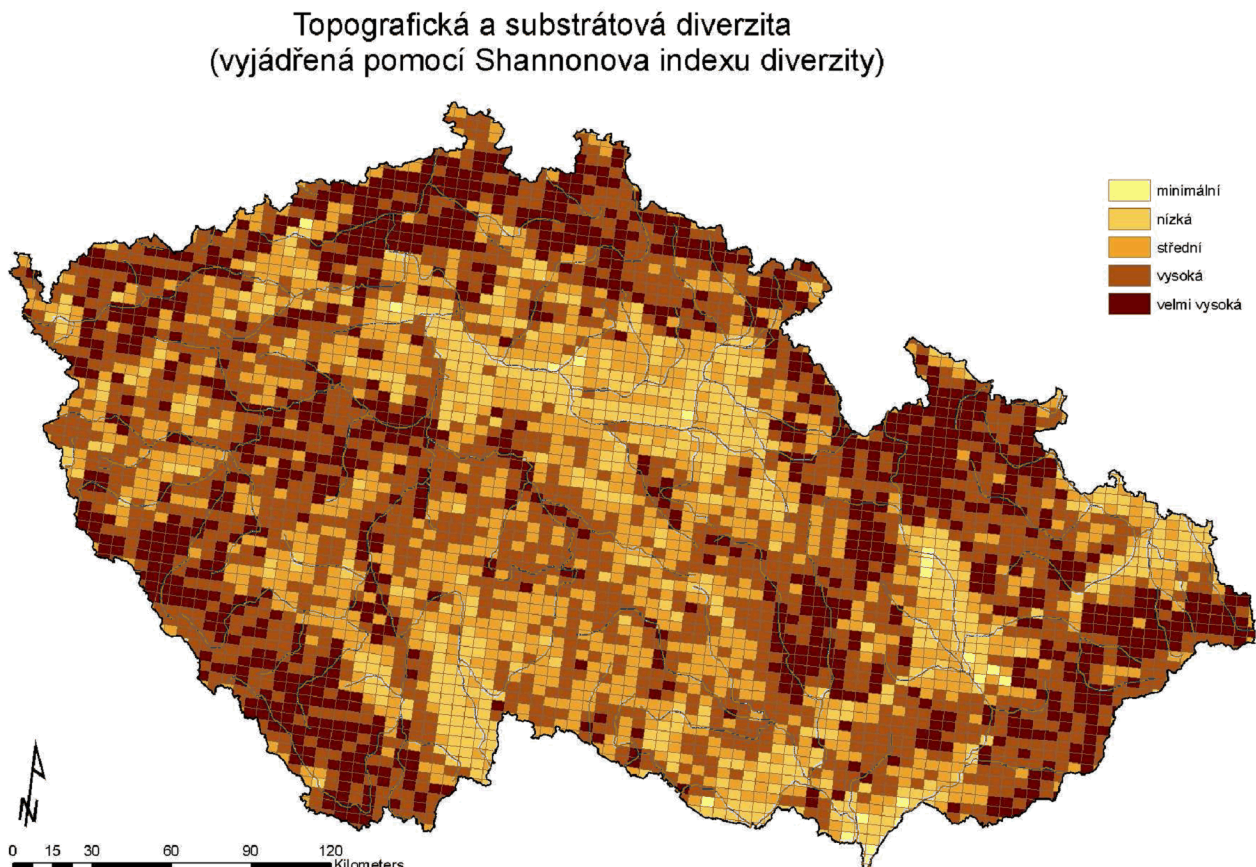
#### D) vhodná návaznost práce

Stanovení kategorií geodiverzity CHKO Broumovsko je pouze relativní pro hodnocené území, aby vynikly oblasti s nízkou a vysokou geodiverzitou. Potenciál dalšího využití práce vidím v tom, srovnat podle dané metodiky ještě několik oblastí, kde lze předpokládat v rámci České republiky velmi vysokou a naopak minimální geodiverzitu. Na základě srovnání výsledků z několika různorodých oblastí lze sestavit jednotnou škálu.

Jediným dosud dostupným relativním srovnáním geodiverzity České republiky z digitálních dat může být Mapa topografické a substrátové diverzity ČR v mřížce o velikosti mapového listu (CHUMAN, v tisku). Území Broumovska má (viz obr 18) relativně vysokou geodiverzitu, minimální se zde prakticky nevyskytuje.

Lze tak předpokládat, že po vytvoření geodiverzity za území České republiky z podkladů velkých měřítek (tedy stejných, jako byly použity v této práci), bude škála posunuta tak, že celková geodiverzita Broumovska bude vyšší.

*Obr.18: Mapa substrátové a topografické diverzity ČR (CHUMAN A KOL., v tisku)*



## 7 ZÁVĚR

Práce shrnuje v prvním cíli problematiku hodnocení geodiverzity. Z rešeršní části vyplývá, že ucelená metodika k hodnocení geodiverzity doposud není. Jde o složitou problematiku, protože samotný termín geodiverzita zahrnuje množství složek s jejich vztahy a vazbami, které nelze často kvantifikovat. Autoři se zabývají diverzitou jednotlivých složek neživé přírody a jejich srovnáním s biodiverzitou. Pro vybrané území byl navržen metodický postup hodnocení geodiverzity z digitálních podkladů největších měřítek. Jsou tedy hodnoceny pouze snadno kvantifikovatelné složky neživé přírody tak, aby byl postup aplikovatelný i na jiná území České republiky.

Na území Broumova vyšla nízká geodiverzita v oblastech sprašových plošin a nízkých sklonů při dolním toku Metuje, Stěnavy a na SZ území, oblasti jsou tvořeny většinou jedním substrátem a půdním pokryvem. Vysoká je geodiverzita při soutoku Metuje s Židovkou, od Stárkovska celý západ území, na Machovsku, v Broumovských stěnách, při horním toku Stěnavy a v některých lokalitách Javořích hor. Škála výsledných kategorií geodiverzity však sama o sobě nemá definitivní podobu. Byla vytvořena tak, aby vynikly ve sledovaném území oblasti s nízkou a vysokou geodiverzitou. Další návaznost na tuto práci tak vidím ve vytvoření relativní škály pro Českou republiku.

Dílním cílem práce bylo prověřit závislost biotické diverzity na zhodnocené geodiverzitě v daném území. Provázanost rozmanitosti biotických a abiotických podmínek přírodního prostředí byla částečně prokázána grafickou metodou. Dle statistické analýzy však nebyla kladná lineární závislost potvrzena, tzn. že s rostoucí geodiverzitou roste ale i klesá biodiverzita v souboru dat. Důležitou roli zde hraje množství dat pro statistickou korelaci.

Celkový přínos této diplomové práce tedy vidím ve dvou bodech. V pokusu o jednoduchou metodiku hodnocení geodiverzity z podrobných digitálních dat na středně diverzním území v rámci České republiky, který může být dále zdokonalován a propracováván i jinde. S tím souvisí i postup práce v uvedených softwarech aplikovatelný při řešení různých problematik. Druhým bodem je samotná aplikace zjištěné geodiverzity na porovnání závislosti s diverzitou biotickou opět z dostupných digitálních dat. Na tuto závislost, respektive nezávislost lze nadvázat řadou problematik, které z tohoto vztahu pro konkrétní lokality mohou plynout. Dílní vypočtené vrstvy i samotná geodiverzita může mít své využití pro orgány ochrany přírody a krajiny, v oblasti územního plánování, příp. jako didaktická příručka pro výuku geověd.

## 8 LITERATURA

- BALATKA, B., KALVODA, J. 2006. Geomorfologické členění reliéfu Čech [kartografický dokument, CD]. 1. vyd. Praha: Kartografie Praha, 2006. 79 s. ISBN 80-7011-913-6.
- BARTLEY, R., RUTHERFURD, I. 2005. Measuring the reach-scale geomorphic diversity of streams: application to a stream disturbed by a sediment slug. *River Research and Application*, č 1/21. John Wiley&Sons, Queensland, s.39-59.
- BEK, S., JEŽEK, J. 2008. Optimization of Interpolation Parameters when Deriving DEM from Contour Lines. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008-10-31. Wiley-VCH. 17 s.
- BURNETT A KOL. 1998. The influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity I. A Patsch-Scale Perspective, 12, 2, Blackwell Publishing, Maitland, str. 363-370
- CAIRNES, L. 2002. Australian Natural Heritage Charter. Australian Heritage Commission, Canberra, 32s.
- CAMPOS, D., ISAZA, J.F. 2009. A geometrical index for measuring species diversity [online]. *Ecological Indicators*, č. 9/4, str.651-658. [cit. 2009-02-08]. Dostupné z univerzitní licence <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/1470160X>>
- CÍLEK, V. 2002. Geodiverzita [online]. Praha: Ochrana přírody, 57 č.2, AOPK ČR, s. 195 – 199. [cit. 2008-02-08]. Dostupné z <<http://www.ochranaprirody.cz/res/data/083/011777.pdf>>
- CÍLEK, V. 2007. Co je a kde se vzala geodiverzita [online]. *Bedrník: Časopis pro ekogramotnost*, 2007, 1, s.12-16. [cit. 2009-02-11]. Dostupné z <<http://www.pavucina-sev.cz/pdf/bedrnik-unor-2007.pdf>>
- ČEPICKÝ, J. LANDA, M. 2005. GRASS – Příručka. Praktická rukověť ke geografickému informačnímu systému GRASS [online]. Překlad německého originálu GRASS Handbuch Marka Netelera, 269 s. [cit. 2009-02-11]. Dostupné z <[http://gama.fsv.cvut.cz/data/grasswikicz/grass\\_prirucka/grass\\_prirucka\\_0.4.pdf](http://gama.fsv.cvut.cz/data/grasswikicz/grass_prirucka/grass_prirucka_0.4.pdf)>
- DEMEK, J. *Obecná geomorfologie*. 1987. 1. vyd. Praha: Academia, 1987. 476 s.
- FALTYSOVÁ A KOL. 2002. Chráněná území ČR: svazek V. – Královehradecko. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR; Brno: EkoCentrum, 2002. 410 s.

- ERIKSTAD, L. 2005. Geodiversity planning and management [online]. Maintaning the momentum of the 2004 Conference Earth heritage, 3/2005. s.2. [cit. 2009-01-17]. Dostupné z <<http://www.geoconservation.com/EHWH/Newsletters/NL3.pdf>>
- GORDON, J.E. 2005. Geological Conservation. Encyclopedia of Geology. str 29-35. ISBN: 978-0-12-369396-9
- GORDON, J.E. A KOL. 2006. Links between geodiversity and biodiversity on upland plateaux in Scotland: the importance of terrain sensitivity in managing change [online]. Poster z konference The Future of Biodiversity in the Upland, 3 str. [cit. 2009-04-17]. Dostupné z <[http://www.cms.uhi.ac.uk/conferences/upland\\_biodiversity\\_Dec2006/Gordon\\_extendedabstract.pdf](http://www.cms.uhi.ac.uk/conferences/upland_biodiversity_Dec2006/Gordon_extendedabstract.pdf)>
- GRAY, M. R. 2004. Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature [elektronická kniha - knivhona geografie PřFUK]. Chichester, U.K: John Wiley&Sons. 448 s.
- GRAY, M.R. 2005 Geodiversity and Geoconservation: What, Why and How? [online]. The Yournal of The George Wright Forum, č. 22/3, s. 4-12. [cit. 2009-03-13]. Dostupné z <<http://www.georgewright.org/223gray.pdf>>
- GRAY, M. R. 2006. International Geoconservation: Geodiversity as an integrative cocept [online]. Přednáška. University of London. 26 s. [cit. 2009-01-19]. Dostupné z <[http://www.geologi.no/data/f/0/06/55/9\\_2401\\_0/Keynote\\_Gray\\_Murray\\_geodiversity.pdf](http://www.geologi.no/data/f/0/06/55/9_2401_0/Keynote_Gray_Murray_geodiversity.pdf)>
- HÁJEK, A., HEINZELOVÁ, H., a kol. 2003. Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Broumovsko na období 2003 – 2012 [online]. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2002. 396 s. [cit. 2009-02-11]. Dostupné z <<http://www.broumovsko.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=17>>.
- CHUMAN, T., a kol. v tisku. Mapa topografické a substrátové diverzity ČR [kartografický dokument].
- CHYTRÝ A KOL. 2001. Katalog biotopů České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. 307 str.
- IBANEZ A KOL. 2005. Nested subset analysis and taxa-range size distributions of pedological assemblages: implications for biodiversity studies [online]. Ecological Modelling, č. 182, 3-4. [cit. 2009-03-17]. Dostupné z univerzitní licence <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03043800>>

- IZSAK, J, PAPP, L. 2000. A link between ecological diversity indices and measures of biodiversity [online]. Ecological Modelling, č. 130, 2000, str 151-156 [cit. 2009-04-30]. Dostupné z univerzitní licence  
<<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03043800>>
- JAČKOVÁ, K. 2007. Hodnocení vlivu diverzity biotických podmínek na diverzitu biotopů v NP Šumava a CHKO Křivoklátsko. Diplomová práce na katedře fyzické geografie PřF UK v Praze. 69 s.
- JOHANSSON, C.E.. 2000. Geodiversitet i Nordisk Naturvard. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 159 str.
- KAŠPAROVÁ A KOL. 2005. Krajinná ekologie: Skripta ke cvičením [online]. Praha: Fakulta lesnická a environmentální ČZU, 2005. 31 s. [cit. 2009-02-10]. Dostupné z <[http://wwwold.fle.czu.cz/predmety/krajinna%20ekologie/Cviceni/skripta\\_cvika\\_05.pdf](http://wwwold.fle.czu.cz/predmety/krajinna%20ekologie/Cviceni/skripta_cvika_05.pdf)>
- KIERNAN, K. 1996. Conserving Geodiversity and Geoheritage: The Conservation of Glacial Landforms. Forest Practices Unit, Hobart, Tasmania, 244 str.
- KOLÁŘOVÁ, H. 2007. Národní geoparky [online]. Bedrník: Časopis pro ekogramotnost, 2007, 1, s.4-6. [cit. 2009-02-11]. Dostupné z <<http://www.pavucina-sev.cz/pdf/bedrnik-unor-2007.pdf>>
- KOVÁŘ, P. 2002. Geobotanika (Úvod do ekologické botaniky). Praha: Karolinum. 123 s.
- KOT, R. 2005. The evaluation of the climate geodiversity on the example of the Fordon part of the Lower Vistula Valley and its environs on 1 : 25 000 scale [online]. Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, 2005, 17, 3. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z <[http://www.paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol17/Rafal\\_Kot.pdf](http://www.paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol17/Rafal_Kot.pdf)>
- KOT, R. 2006. Geodiversity valuation with the aid of landscape indices – basic methodological obstructions [online]. Polish geographical review , 2006, č. 78/1., s.25-45. Warszawa: Polish academy of science. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z <[http://www.igipz.pan.pl/wydaw/PRZEGLAD/Przeгляд\\_z\\_1\\_2006/Artyk2\\_z\\_1-06.pdf](http://www.igipz.pan.pl/wydaw/PRZEGLAD/Przeгляд_z_1_2006/Artyk2_z_1-06.pdf)>
- KOZŁOWSKI, S. 2004. Geodiversity: The concept and scope of geodiversity [online]. Przegląd Geologiczny, 2004, 52, 8/2, s. 833-837. [cit. 2009-02-10]. Dostupné z <[http://www.pgi.gov.pl/pdf/pg\\_2004\\_08\\_2\\_22a.pdf](http://www.pgi.gov.pl/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf)>

- KRÁSNÝ, J. A KOL. 2004. Regionální hydrogeologický průzkum polické křídové pánve. Sborník geologických věd, č 22/1, 5-100 str.
- KUČERA, T. 1997. Vliv reliéfu na diversitu vegetace. Disertační práce na katedře botaniky PřF UK v Praze. 128 s.
- KUNSKÝ, J. 1968. Fyzický zeměpis Československa. 1.vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1968. 537 s.
- LOH, J., HARMON, D. 2005. A global index of biocultural diversity. [online]. Ecological Indicators č.5/3, str.231-241. [cit. 2009-03-17]. Dostupné z univerzitní licence <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/1470160X>>
- LOŽEK, V. 2000: Biodiverzita, ekofenomény a geodiverzita. Vesmír, č. 79/ 2, Praha, str. 77-83.
- LOŽEK, V. 2005. Biodiverzita a geodiverzita [online]. Praha: Ochrana přírody, 60 č.7, AOPK ČR, s. 195 – 199. [cit. 2009-01-17]. Dostupné z <<http://www.ochranaprirody.cz/res/data/081/011528.pdf>>
- MANIS, G. A KOL. 2001. Landform & TRMIM .aml Scripts [online]. [cit. 2009-03-17]. Dostupné z <[http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform\\_aml](http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform_aml)>
- MANIS, G. A KOL. 2002. Pre-classification: An Ecologically Predictive Landform Model. [online]. [cit. 2009-03-17]. Dostupné z <[http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform\\_aml](http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform_aml)>
- MCBRATNEY, A., MINASNY, B. 2007. On measuring pedodiversity [online]. Sydney: Geoderma, č. 141/1-2, str. 149-154. [cit. 2009-03-19]. Dostupné z univerzitní licence <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00167061>>
- PACINA, J. 2005. Popis principů fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názorovou výuku [online]. Diplomová práce na katedře matematiky FAV ZČU Plzeň. 84 str.
- PHILLIPS, J.D., MARION, D.A. 2007. Soil geomorphic classification, soil taxonomy, and effects on soil richness assessments [online]. Geoderma vol.141/1-2, str. 89-97. [cit. 2009-04-01]. Dostupné z univerzitní licence <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00167061>>
- PROSSER, C. 2002. Terminology: speaking the same language. Earth heritage, č 18., Seabury Salmon, Shropshire, str. 24-25.
- QUITT, E. 1971. Klimatické oblasti Československa [kartografický dokument 1:500 000]. Brno: Československá akademie věd, geografický ústav, 1971. 1 s.



- RICH, P.M. 2000. Topoclimatic habitat models: Problems, Prospects and Research Needs. Paper from 4th International Conference of Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4) [online]. Banff, Alberta, Canada, September 2-8,2000. [cit. 2009-02-11]. Dostupné z <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=5733>
- RILEY, S.J., DEGLORIA, S., ELLIOT, R. 1999. A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. *Intermountain Journal of Science*, č.5/1-4, str.23-27.
- SHARPLES, C. 1995a: Geoconservation in forest management - principles and procedures. *Tasforests* č 7, str.. 37 - 50, Forestry Tasmania, Hobart.
- SHARPLES, C. 2002. Concepts and Principles of Geoconservation [online]. Tasmanian Parks & Wildlife Service website. 81 str. [cit. 2009-04-01]. Dostupné z [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)
- SCOTT, P.W. 2005. GeoValue: Valuing Geodiversity for Conservation. Initial Scoping Study Development of the Geodiversity Profile [online]. David Roche Geoconsulting. 103 str. [cit. 2009-03-12]. Dostupné z [http://www.mist.org.uk/research\\_projects/final\\_reports/final\\_report\\_ma\\_4\\_2\\_016a.pdf](http://www.mist.org.uk/research_projects/final_reports/final_report_ma_4_2_016a.pdf)
- STANLEY, M. 2002. Geodiversity – linking people, landscapes and their culture. Abstract for Natural and Cultural Landscapes Conference. Royal Irish Academy, Dublin.
- STANLEY, M. 2003. Geodiversity: Our foundation. *Geology Today*, č 19/3, Blackwell Publishing Ltd., UK, s.104-107.
- TÁSLER, R. 1979. *Geologie české části vnitrosudetské pánve*. 1. vyd. Praha: Academia, 1974. 292 s.
- TESAŘOVÁ, B. 2006. Pseudokrasové jeskyně Broumovska. Bakalářská práce na katedře fyzické geografie a geoekologie v Praze, 33 str.
- VAČKÁŘ, D. 2005. *Ukazatele změn biodiverzity*. 1. vyd. Praha: Academia, 298 s. ISBN 80-200-1386-5.
- XAVIER-DA-SILVA, J. 2004. Geodiversity: Some Simple Geoprocessing Indicators to Support Environmental Biodiversity Studies [online]. *Directions Magazine* article 16.4.2004 [cit. 2009-02-10]. Dostupné z [http://www.directionsmag.com/article.php?article\\_id=473&trv=1](http://www.directionsmag.com/article.php?article_id=473&trv=1)

- ZELENÝ, D. 2008. Pattern of plant species richness along the gradient of landscape topographical heterogeneity. Disertační práce na PřF Jihočeské university. str 61 – 86.

#### Internetové zdroje:

- Správa CHKO Broumovsko. <http://www.broumovsko.ochranaprirody.cz/>
- Světová síť geoparků UNESCO <http://www.worldgeopark.org/>
- Síť evropských geoparků <http://www.europeangeoparks.org/>
- Výzkum Správy jeskyní České republiky na podzemním systému Poseidon <http://www.caves.cz/cz/sprava/pece-o-jeskyně/vyzkum/programy/>

#### Použité softwary:

- ArcGIS 9.2 (ESRI) – univerzitní licence
- ArcInfo Workstation 9.2 – univerzitní licence
- Nástroje Hawth's Tools k ArcGIS 9 – dostupné z <http://www.spatial ecology.com/htools/tooldesc.php>
- Nástroje k výpočtu vlhkostních indexů pro ArcGIS 9 – dostupné z [http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform\\_aml](http://earth.gis.usu.edu/swgap/landform.html#landform_aml)
- Nástroje Patch Analyst 4 k ArcGIS 9 – dostupné z <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/download.htm>
- Grass GIS 6.3.0. (Open Source) - dostupné z <http://grass.itc.it/download/index.php>
- Turboveg 2.0 – dostupné z <http://www.sci.muni.cz/botany/vegsci/dbase.php?lang=cz>
- Microsoft Office Excel 2003
- Microsoft Office Word 2003

#### Použitá digitální data:

- Vektorové vrstvy výškopisu Zabaged1 Českého úřadu geodetického a kartografického 1:10 000, univerzitní licence
- Vektorová geologická mapa z databáze České geologické služby GEO ČR 50
- Vektorové vrstvy vodních toků a ploch Zabaged1 Českého úřadu geodetického a kartografického 1:10 000, WMS server královehradeckého kraje <http://gis.kr-kralovehradecky.cz>
- Vektorové vrstvy z mapování biotopů Natura 2000 za území CHKO Broumovsko (AOPK ČR)

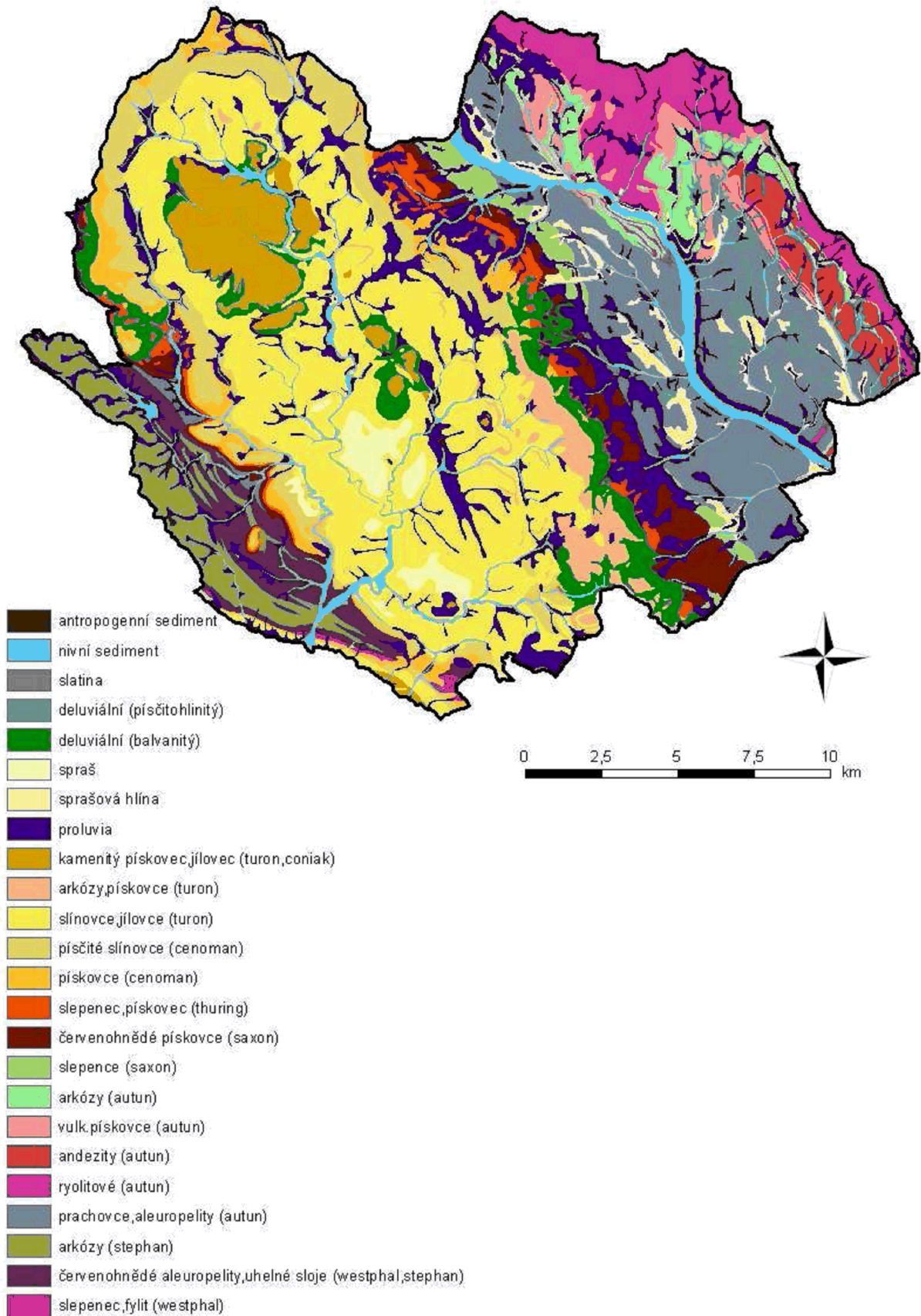
- Databázová tabulka fytoecnologických snímků za území CHKO Broumovsko (Česká národní fytoecnologická databáze, MUNI Brno)
- WMS server České informační agentury životního prostředí  
<http://www.geoportal.cenia.cz>

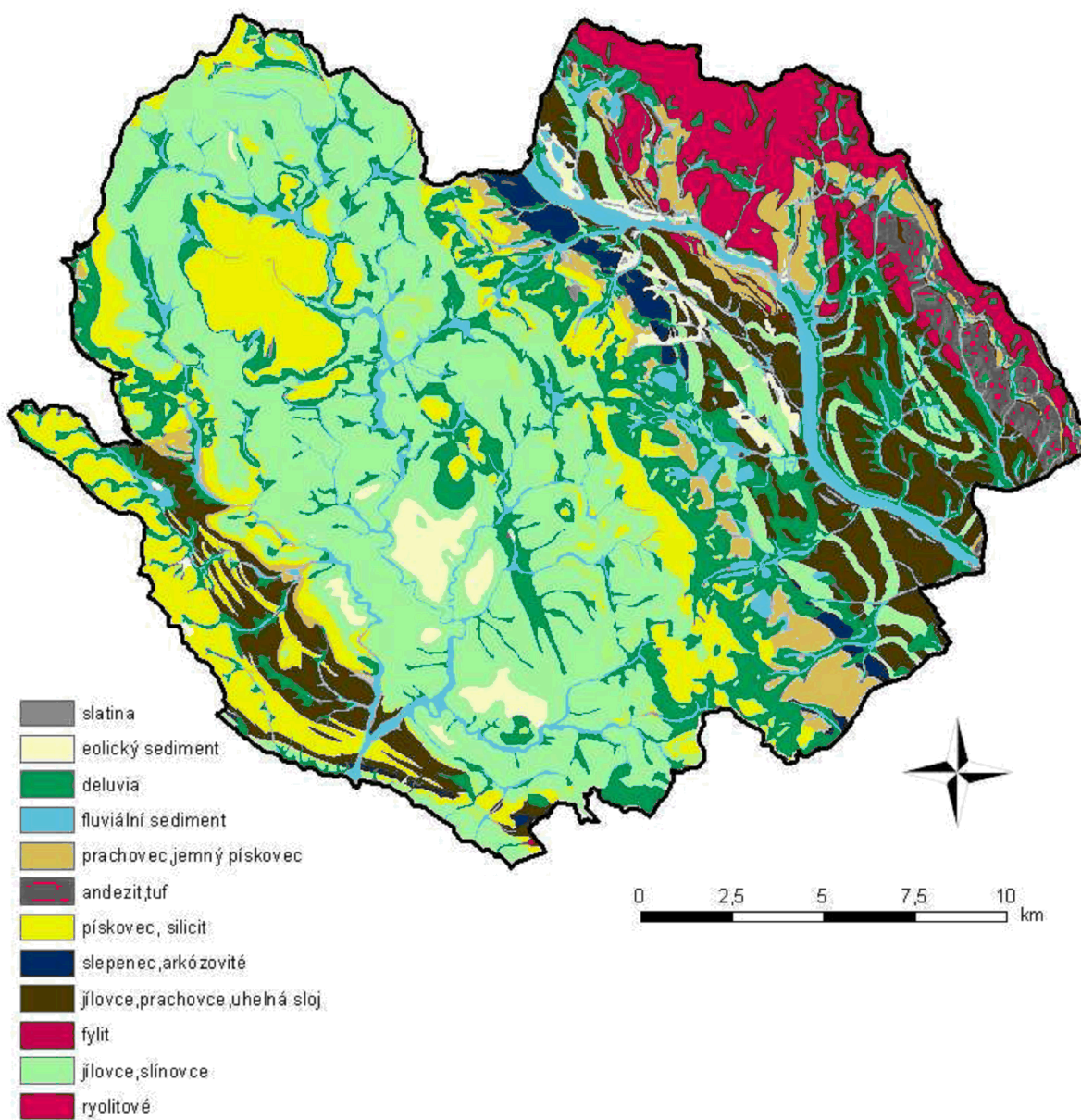
Použité analogové mapy:

- VYSOUDIL, M.1993. Topoklimatická mapa 1:50 000 Náchod 04-33, Meziměstí 04-31, Broumov 04-32, Martínkovice 04-34 s vysvětlivkami.[Analytická studie: pro OÚ Náchod, odbor životního prostředí a CHKO Broumovsko]
- TOMÁŠEK, M. 1993. Půdní mapa České republiky 1:50 000 Náchod 04-33, Meziměstí 04-31, Broumov 04-32, Martínkovice 04-34. [kartografický dokument]. Geindustria Praha

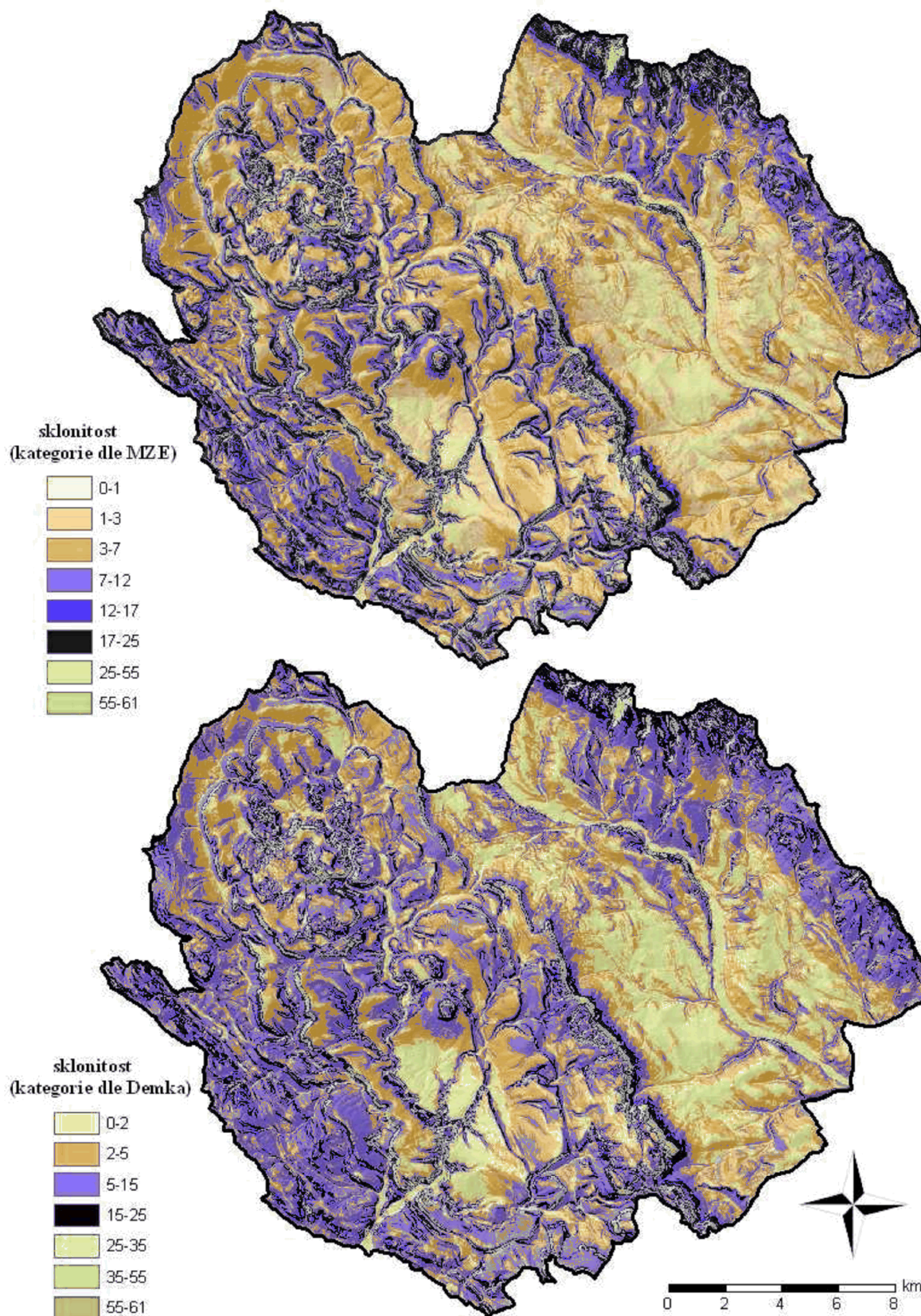
Příloha 1

Geologické mapy Broumovska (vlastní kategorizace z dat GEO ČR50)

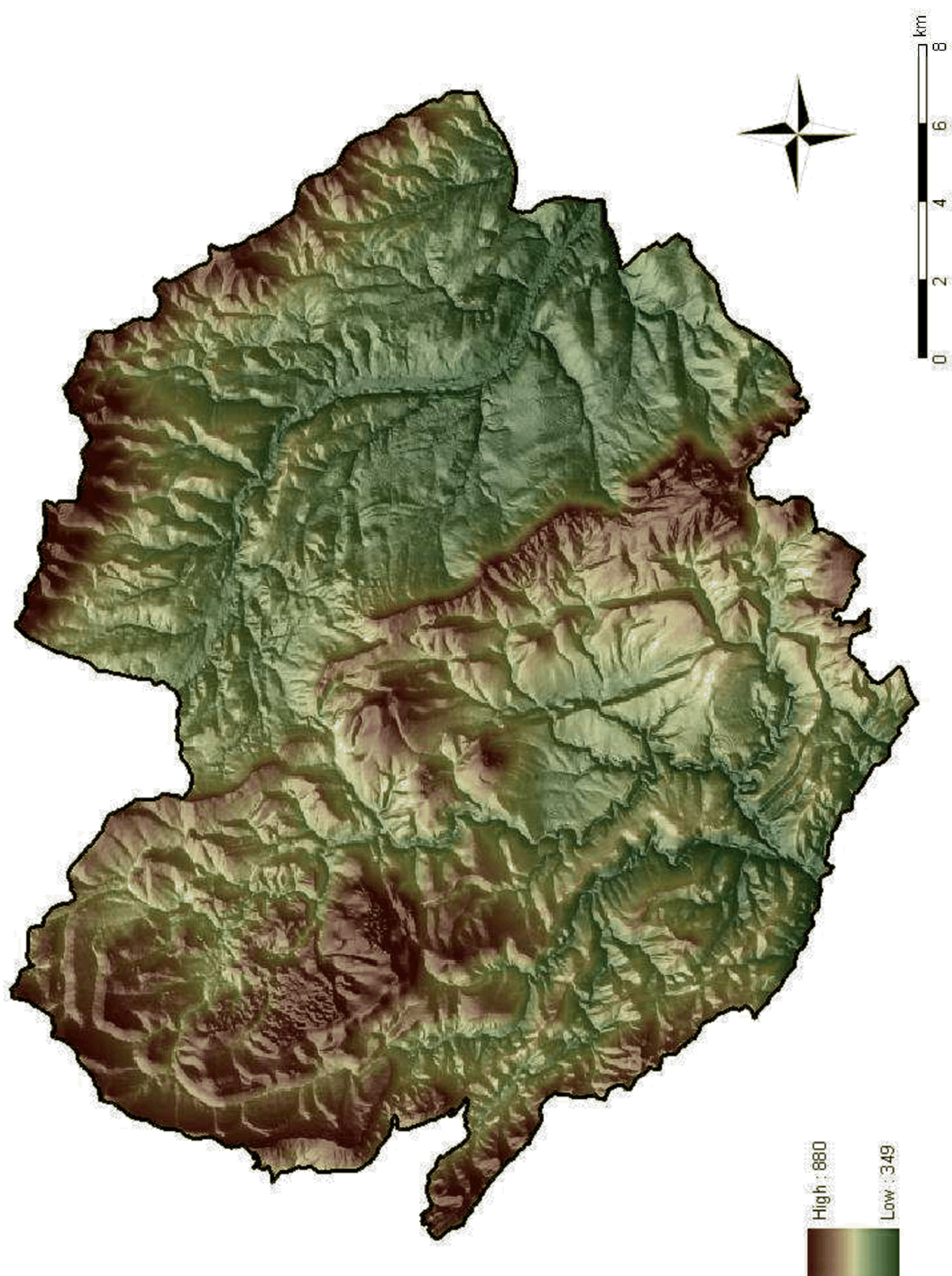




Příloha 2  
Mapy sklonitostí

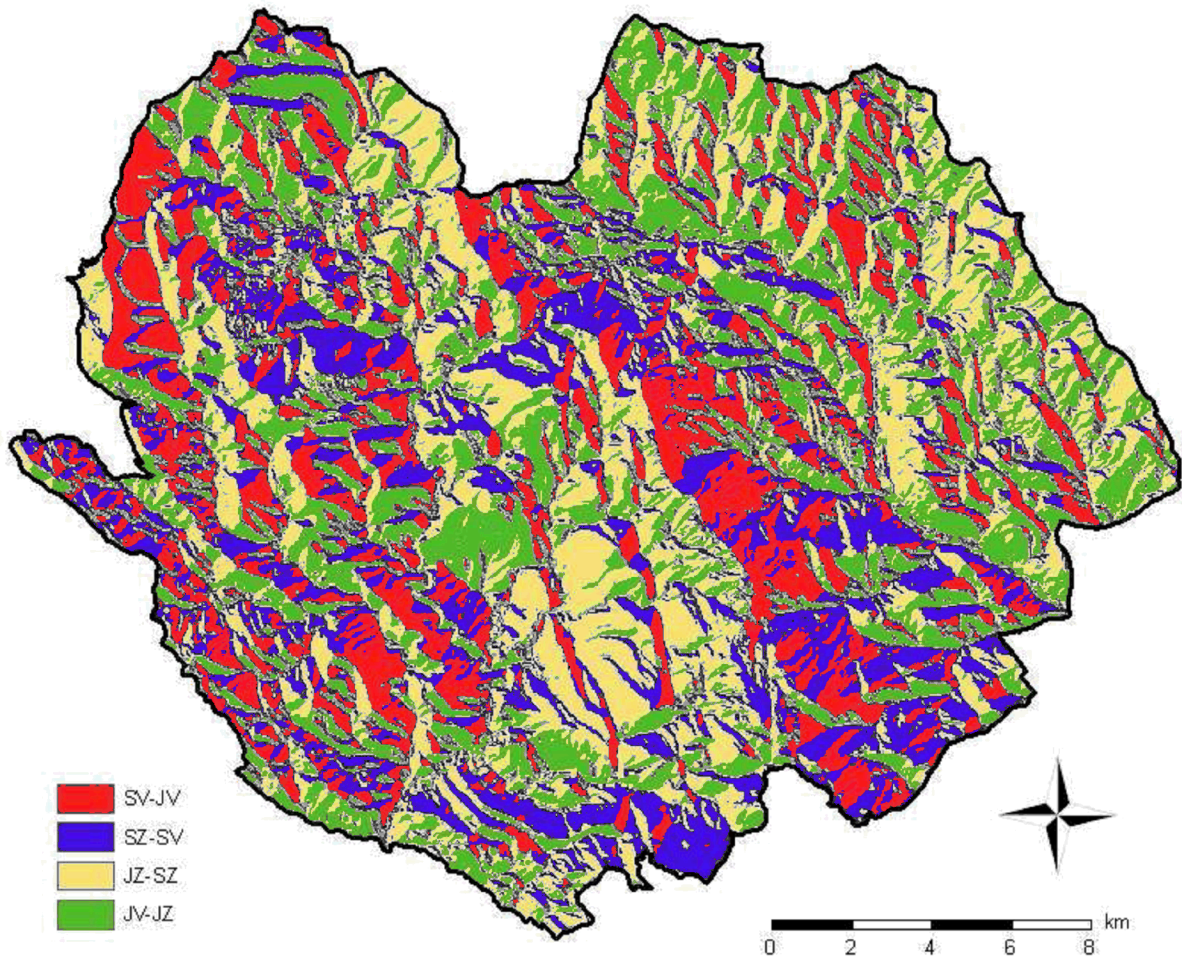


Příloha 3  
*Nadmořské výšky*



Příloha 4a

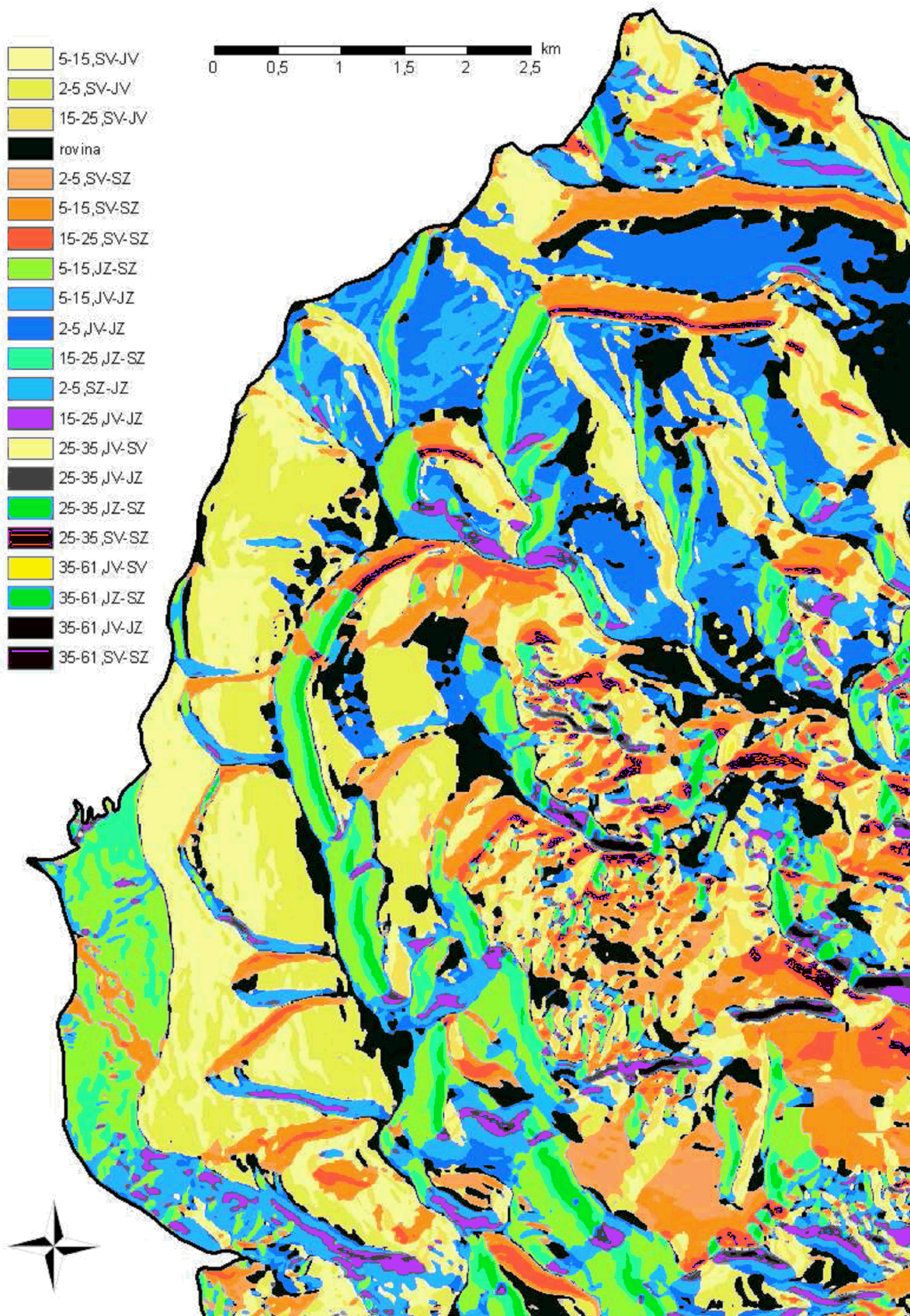
*Mapa orientace ke světovým stranám*





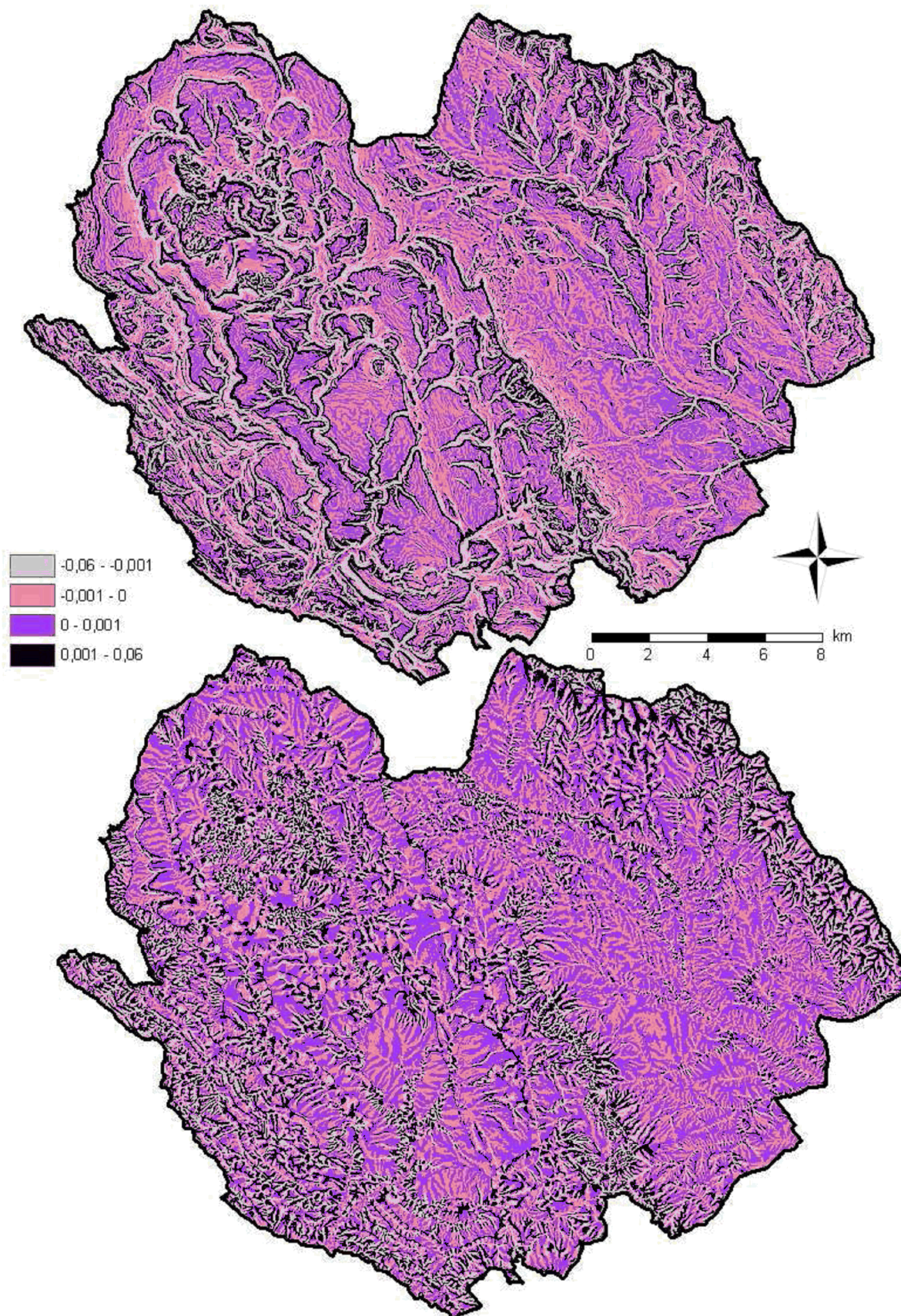
Příloha 4b

Ukázka mapy expozice (sklonitost ve stupních)



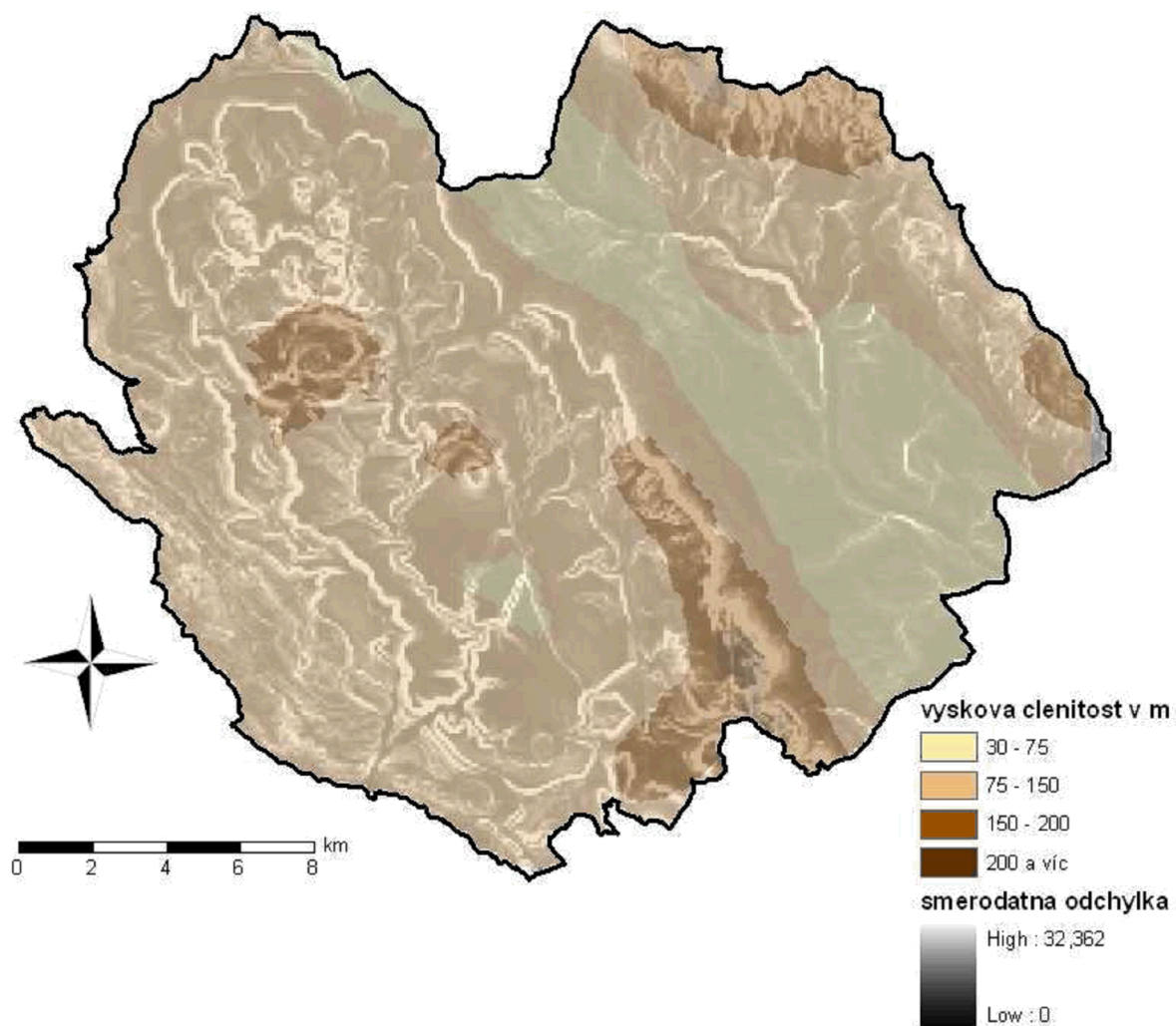
Příloha 5

Mapy profilové křivosti (nahore) a tangenciální křivosti (dole) ve stupních na 100 m



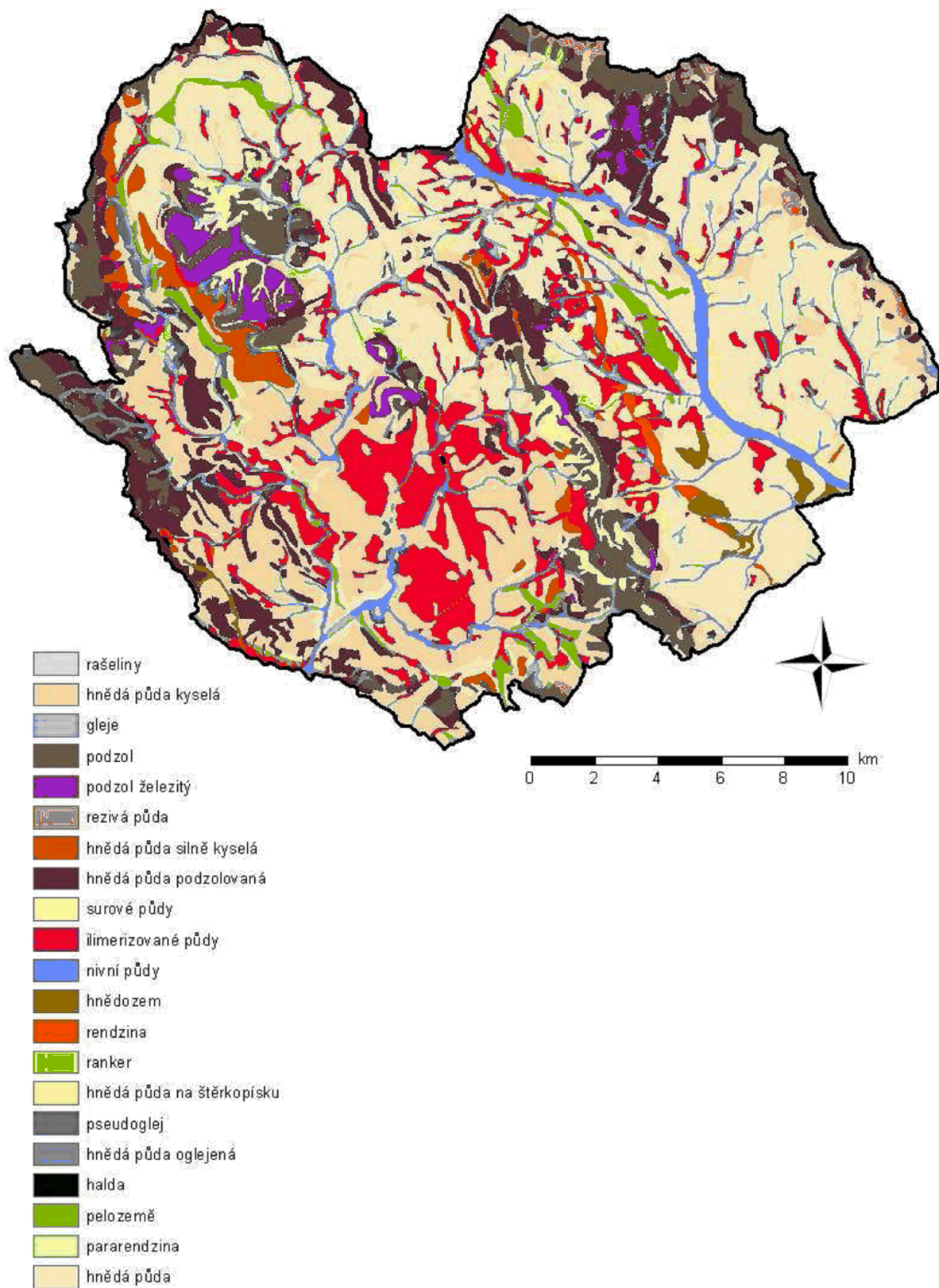
Příloha 6

*Mapa relativní výškové členitosti z pole 1x1 km a směrodatné odchytky nadmořských výšek poli 200m.*



Příloha 7

Půdní mapa



Příloha 8  
Mapy hydrologických charakteristik

