

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Daniel Albert

Variabilita morfometrických charakteristik vybraných typů údolních sítí

Morphometric variability of selected types of valley networks

Bakalářská práce

Praha 2014

Vedoucí práce: RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20.8. 2014

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli RNDr. Marku Křížkovi Ph.D. za jeho čas věnovaný konzultacím a konstruktivní kritice mé práce. Děkuji také za množství odborných rad a poskytnutou literaturu.

Zadání bakalářské práce

Daniel Albert

Téma práce

Variabilita morfometrických charakteristik vybraných typů údolních sítí

Cíle práce

Cílem práce je porovnat hodnoty morfometrických charakteristik jednotlivých typů údolních sítí.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Použité pracovní metody: rešerše odborné literatury /kroky1-4/, jednoduché GIS analýzy, popisná statistika

1. krok – vytvoření stručného přehledu typů údolních sítí;
2. krok - vytvoření stručného přehledu charakteristik použitých při morfometrických analýzách údolních sítí;
3. krok - vytvoření přehledu hodnot morfometrických charakteristik pro různé typy údolních sítí
4. krok - analýza a srovnání morfometrických charakteristik pro jednotlivé typy údolních sítí
5. krok – výběr příkladů typů údolních sítí v ČR a stanovení jejich morfometrických charakteristik a jejich srovnání.

Zájmové území: ČR

Datové zdroje: informační zdroje, DMÚ 25, letecké a družicové měřičské snímky - GEODIS, Google Earth.

Datum zadání:

Daniel Albert

RNDr. Marek Křížek, Ph.D.

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá morfometrickými charakteristikami používanými pro analýzy údolních sítí a porovnáním hodnot těchto charakteristik pro jednotlivé typy údolních sítí. Na základě rešerše odborné literatury byl vytvořen přehled morfometrických charakteristik a poté bylo pro účely srovnání vybráno těchto proměnných: váženého bifurkačního poměru, průměrného poměru délek, hustoty sítě, textury sítě, charakteristiky sítě a koeficientu zaoblení sítě. Ty byly vypočítány pro reálné typy údolních sítí z různých částí světa. Data byla získána vektorizací map těchto sítí v prostředí programu ArcGIS. Na závěr práce jsou výsledky konfrontovány s morfometrickou analýzou vybraných typů sítí v České republice.

Klíčová slova: údolí, údolní síť, typy údolních sítí, geomorfometrie, morfometrická analýza, morfometrické charakteristiky, geomorfologie, bifurkační poměr, poměr délek, hustota sítě, textura sítě, charakteristika sítě, koeficient zaoblení sítě

Abstract

The bachelor thesis is engaged in morphometric characteristics used for valley nets analysis and comparing values of this characteristics for individual types of valley networks. Based on the search of the books and articles there was created a summary of morphometric characteristics and then, for compare purposes, there were selected these features: weighted bifurcation ratio, mean length ratio, drainage density, drainage texture, form factor and circularity ratio. These features were calculated for real types of valley networks in different parts of the world. The data were obtained from vectorization of these nets in ArcGIS programme. In conclusion there are results confronted with morphometric analysis of selected types of valley networks in Czech republic.

Key words: valley, valley network, types of valley nets, geomorphometry, morphometric analysis, morphometric characteristics, bifuraciton ratio, lenght ratio, drainage density, drainage texture, form factor, circularity ratio

OBSAH

1. Úvod.....	7
2. Typy údolních sítí.....	8
3. Morfometrie údolních sítí.....	10
4. Metodika.....	14
4. 1. Data.....	14
4. 3. Vybrané typy údolních sítí v České republice.....	15
5. Vybrané charakteristiky území studovaných údolních sítí v České republice	16
5.1. Rovnoběžný typ.....	16
5.2. Pravoúhlý typ.....	17
5.3. Mřížovitý typ.....	18
5.4. Stromovitý typ.....	19
5.5. Prstencový typ.....	20
5.6. Radiální typ.....	21
6. Výsledky.....	22
6.1. Morfometrické charakteristiky údolních sítí světových lokalit.....	22
6.1.1. Vážený bifurkační poměr.....	22
6.1.2. Průměrný poměr délek.....	24
6.1.3. Hustota a síť.....	25
6.1.4. Textura sítě.....	26
6.1.5. Charakteristika sítě.....	27
6.1.6. Koeficient zaoblení sítě.....	28
6.2. Morfometrické charakteristiky vybraných typů údolních sítí v ČR.....	29
7. Diskuze.....	30
7.1. Vážený bifurkační poměr	31
7.2. Průměrný poměr délek	32
7.3. Hustota a textura sítě	33
7.4. Charakteristika sítě	34
7.5. Koeficient zaoblení sítě	34
8. Závěr.....	35

1. Úvod

Údolní síť, tedy makrostruktura tvořená ze samostatných propojených údolí, je významným prvkem krajiny a umožňuje pochopit hlavní krajinné procesy dané oblasti. Údolní síť často vytvářejí typické půdorysné vzory (typy sítí), které už samy o sobě poskytují určitou informaci o vývoji území. Síť lze navzájem porovnávat prostřednictvím mnoha morfometrických charakteristik, které hodnotí jejich tvar, plochu, délku, pokrytí údolími, větvení údolí a také reliéfové aspekty.

Cílem této práce je porovnat hodnoty morfometrických charakteristik jednotlivých typů údolních sítí. První část obsahuje rešerši odborné literatury, tedy vytvoření přehledu morfometrických charakteristik, které se používají při analýzách údolních sítí. Druhá část, skládající se z metodiky, výsledků a diskuze, se pak zabývá analýzou a vzájemným srovnáním jednotlivých typů sítí. Ty jsou porovnávány pomocí vybraných morfometrických charakteristik a výsledky jsou poté konfrontovány s výsledky stejných charakteristik vybraných typů údolních sítí na území České republiky.

2. Typy údolních sítí

Povrch všech kontinentů lze rozdělit na dva topografické elementy - interfluvium a údolí (McKnight, 1999). Podle Goudieho (2004b) se údolím nazývá deprese, která je spíše delší než širší a v délkovém rozměru se jednoznačně uklání od začátku ke konci údolí. Je to jakákoliv protáhlá plocha ohraničená vyššími svahy existující v mnoha velikostech a tvarech. Například rokle je malé údolí se strmými svahy, zatímco kaňon je rozsáhlé údolí s příkrými stěnami nebo srázy a útesy (Monroe, Wicander, Hazlett, 2007). Údolí lze také najít pod mořskou hladinou (Goudie, 2004b).

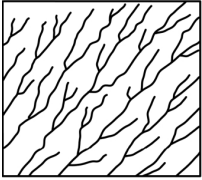
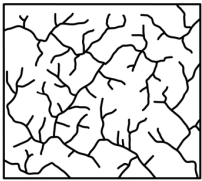

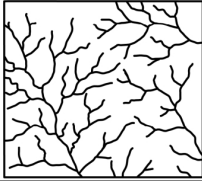
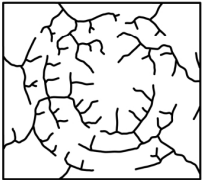
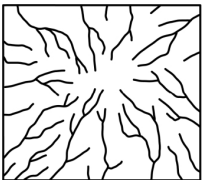
Subaerická údolí jsou často protékána vodními toky se sítí přítoků odvodňujících přilehlé výšiny (Monroe, Wicander, Hazlett, 2007). Na jejich vzniku se většinou podílí více faktorů, ale obecně lze údolí podle geneze rozdělit na tektonická a erozní. Tektonická údolí vznikají převážně endogenními procesy (zlomová, vrásná a příkopová údolí), zatímco erozní údolí formují exogenní síly (fluviální, glaciální, eolická a krasová údolí) (Kunský, 1935). Údolí mohou vznikat také periglaciální činností (Goudie, 2004a) a svahovými procesy (Demek, 1987b). Soustava několika propojených údolí vytváří údolní síť. Velikost, tvar a morfologie údolních sítí je ovlivněna především geologickým vývojem území, tedy jeho tektonikou, strukturou a litologií. Na tuto bázi dále působí četné erozní síly a v průběhu času se na místě méně odolných hornin vytvářejí údolní dna a z odolných se stávají interfluvia (Ritter, Kochel, Miller, 2011).

Lze rozlišit šest základních typů údolních sítí: rovnoběžnou, pravoúhlou, mřížovitou, stromovitou, prstencovou a radiální (Tab. 1). Tato klasifikace je založena čistě na půdorysné geometrii, nikoliv na genezi sítí (Fairbridge, 1968). Nejjednodušším typem je rovnoběžná síť, která je také iniciální typem, jelikož čas a geologie ještě neumožnily vznik složitějšího vzoru (Small, 1970). Oproti tomu nejvyvinutější a nejrozšířenější typ údolní sítě - stromovitá síť je charakteristická pro oblasti bez strukturní kontroly (Summerfield, 1997). Kromě těchto šesti typů ještě někteří autoři (Fairbridge, 1968; Small, 1970) vymezují nepravidelnou údolní síť. Ta vzniká kombinací různých faktorů, ale typická jsou pro ni neuspořádaná krátká údolí ohraničená morénovým materiálem a neodvodňované deprese (Babar, 2005). Lze ji tedy často najít v bývalých zaledněných oblastech, kde se nestačila rozvinout říční síť (Fairbridge, 1968). Bez ohledu na půdorysný typ sítě je ještě možné rozlišit pět typů údolí z hlediska vztahu ke sklonu reliéfu a k morfostruktuře (Tab. 2).

Tab. 2: Vztah údolí k reliéfu krajiny a morfostruktuře podle Demka (1987)

konekventní	svažují se shodně se sklonem georeliéfu; zpravidla nezávislé na morfostruktuře
subsekventní	svažují se shodně s úklonem vrstev; vázané na pruhy méně odolných hornin nebo tektonické linie; ústí do konekventních
resekventní	stejně jako konekventní, ale na strukturním povrchu nižší úrovně - ústí do subsekventních
obsekventní	opačný směr než resekventní; často vázány na tektonické linie
insekventní	nezávislé na sklonu georeliéfu, ani na morfostruktuře

Tab. 1: Typy údolních sítí. Pozn.: (1) Demek (1987b); (2) Fairbridge (1968); (3) Small (1970); (4) Summerfield (1997); vzory sítí – Howard (1967)

	Uspořádání údolí	Charakteristika	Př. ČR / Ev. / svět
<p>Rovnoběžná <i>(parallel)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • dlouhá, navzájem rovnoběžná údolí probíhající jedním směrem • přítoky pod ostrými úhly 	<ul style="list-style-type: none"> • výrazně skloněný reliéf a reliéf s paralelními topografickými prvky (vrásy, zlomy, drumliny atd.) (2) • většinou konsekventní vodní toky (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • povodí Bakovského potoka • přítoky horního toku Salice (Rakousko) • NP Mesa Verde (USA)
<p>Pravouhlá <i>(rectangular)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • síť rovnoměrně rozvinutých kolmých údolí (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • kerná a vrásno-zlomová pohoří (1) • závislost na síti puklin a zlomů v jinak homogenní vrstvě 	<ul style="list-style-type: none"> • řeka Jeřice • střední Rýn (soutok s Mohanem) • řeka Schroom (Adirondacké pohoří, USA)
<p>Mřížovitá <i>(trellis)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • síť navzájem kolmých údolí, jeden směr výrazně protažený (hlavní toky) ve druhém směru kratší přítoky (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • jednoduchá vrásná pohoří, ukloněné kry se střídáním méně odolných (hlavní údolí) a odolných vrstev (bariéry) (3) 	<ul style="list-style-type: none"> • horní část Vsetínských Bečvy • Švýcarský a Francouzský Jura • řeka Potomac (Appalačské pohoří)
<p>Stromovitá <i>(dendritic)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • množství náhodně orientovaných přítoků větvičích se do hlavního toku v půdorysné podobě stromu 	<ul style="list-style-type: none"> • mírně ukloněné, málo členité oblasti • bez deformačních projevů s homogenní litologií (nížiny, tabule) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vlára • Loira • Amazonka
<p>Prstencová <i>(annular)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • prstencovitě prohnuté vodní toky s krátkými přítoky pod pravými úhly 	<ul style="list-style-type: none"> • destruktivně porušené klenby, vulkány a pánve • vrstvy odolných a méně odolných hornin 	<ul style="list-style-type: none"> • soutok Želetavky s Dyjí • Temže • Black Hills (Jižní Dakota)
<p>Radiální <i>(radial)</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • odstředivá či dostředivá síť údolí 	<ul style="list-style-type: none"> • konvexní (odstředivá síť) a konkávní (dostředivá síť) tvary reliéfu • zejména klenby, vulkány a pánve 	<ul style="list-style-type: none"> • Javorský vrch • Hron a Slatina • Mount Egmont (Nový Zéland)

3. Morfometrie údolních sítí

Každou údolní síť lze kvantifikovat pomocí množiny matematických charakteristik, které je možné rozdělit podle toho, zda popisují délku, plochu, tvar či reliéf. Jsou to například délka sítě, její hustota, koeficient protažení sítě či koeficient reliéfu. Tyto proměnné jsou pro každou síť jedinečné a umožňují údolní sítě mezi sebou porovnávat. Porovnávat sítě je možné buď prostřednictvím topografických charakteristik a nebo pomocí bezrozměrných koeficientů, které jsou odvozeny z poměrů základních morfometrických charakteristik. Morfometrické charakteristiky jsou rozděleny do 4 kategorií podle toho, jakou poskytují o dané síti informaci (Tab. 3). Síťové charakteristiky se zabývají řádovostními poměry sítě, lineární popisují délky, areálové plochu a reliéfové mají navíc ještě výškový rozměr. Areálové charakteristiky jsou ještě členěny do 4 podkategorií: kategorie základní charakteristiky, kategorie charakteristiky popisující pokrytí území údolními, kategorie protažení sítě a kategorie zaoblení sítě.

Rozdělení do kategorií není striktní, neboť některé charakteristiky se v jistém smyslu prolínají a poskytují informace i z jiné kategorie. Příkladem může být obvod sítě, který lze použít jako indikátor velikosti sítě, ale i jejího tvaru (Khadri, 2014). Jiné charakteristiky jsou naopak téměř totožné, ale byly přidány z důvodu komplexního zhodnocení toho, jaké charakteristiky lze pro popis sítě použít. Jedná se například o hustotu sítě a konstantu rozvoje kanálu, což je pouze převrácená hodnota hustoty sítě. Dále byly přidány i některé čistě hydrologické charakteristiky jako např. intenzita odvodnění či infiltrační číslo, protože také poskytují určitou informaci o údolních sítích. Pro symbolické vyjádření je použito zkratk přejatých z anglické literatury – $A = area$, $P = perimeter$, $R = ratio$ atd.

Tab. 3a: Morfometrické charakteristiky údolních sítí

Pozn.: (1) Ritter, Kochel, Miller (2011); (2) Buzek (1979); (3) Goudie (1990); (4) Summerfield (1997); (5) Hugget (2007); (6) Verstappen (1983); (7) Brierley, Fryirs (2005); (8) Bridge (2003); (9) Ramaiah, Gopalkrishna, Vittala, Najeeb (2012); (10) Křížek, Kusák (2014); (11) Ghimire (2013); (12) Schumm (1956); (13) Miller (1953); (14) Strahler (1957); (15) Horton (1932); (16) Horton (1945); (17) Hack (1957); (18) Smart, Surkan (1967); (19) Faniran (1968); (20) Khadri (2014)

	Název	Vyjádření	Poznámka	Zdroj
SÍŤOVÉ	Celkový počet údolí v síti	N		
	Počet údolí určitého řádu	N_O	O = řád, dle systému absolut. řádovosti	
	Magnitudo hlavního údolí	$M = \frac{N+1}{2}$		(8)
	Bifurkační poměr (index větvení)	$R_b = \frac{N_O}{N_{O+1}}$		(12)
	Průměrný bifurkační poměr	$R_{bm} = \frac{\sum R_b}{O-1}$		(14)
	Vážený bifurkační poměr	$R_{bw} = \frac{R_{b1/2}(N_1+N_2) + R_{b2/3}(N_2+N_3) + \dots}{(N_1+N_2) + (N_2+N_3) + \dots}$		(21)
	Průměrná velikost úhlů mezi údolními	$J_{O \wedge O+1} = \frac{\sum J_{O \wedge O+1}}{N_{O+1}}$		

Tab. 3b: Morfometrické charakteristiky údolních sítí

Pozn.: (1) Ritter, Kochel, Miller (2011); (2) Buzek (1979); (3) Goudie (1990); (4) Summerfield (1997); (5) Hugget (2007); (6) Verstappen (1983); (7) Brierley, Fryirs (2005); (8) Bridge (2003); (9) Ramaiah, Gopalkrishna, Vittala, Najeeb (2012); (10) Křížek, Kusák (2014); (11) Ghimire (2013); (12) Schumm (1956); (13) Miller (1953); (14) Strahler (1957); (15) Horton (1932); (16) Horton (1945); (17) Hack (1957); (18) Smart, Surkan (1967); (19) Faniran (1968); (20) Khadri (2014)

LINEÁRNÍ	Délka sítě	L	nejdelší přímková vzdálenost paralelní k ose sítě (12); ve většině sítí platí vztah $L = 1,4 A^{0,6}$ (17)	(15)
	Šířka sítě	$W = \frac{A}{L}$	A = plocha sítě	(15)
	Celková délka údolí určitého řádu	L_o		(16)
	Délka hlavního údolí	L_1	měřena po údolnici	
	Údolní index (<i>wandering ratio</i>)	$R_v = \frac{L_1}{L}$	$R_v \geq 1$; čím větší hodnota, tím větší křivolakost údolí	(19)
	Průměrná délka údolí určitého řádu	$l_o = \frac{L_o}{N_o}$		(16)
	Celková délka všech údolí v síti	ΣL_o		
	Poměr délek údolí různých řádů	$R_l = \frac{l_o}{l_{o-1}}$		(16)
	Průměrný poměr délek	$R_{lm} = \frac{\Sigma R_l}{O - 1}$		
	Vážený poměr délek	$R_{lw} = \frac{R_{l2/l1}(L_1 + L_2) + R_{l3/l2}(L_2 + L_3) + \dots}{(L_1 + L_2) + (L_2 + L_3) + \dots}$		(21)
Homogenita údolí různých řádů	$3Ls_o \geq Ll_o$	Ls_o, Ll_o - nejkratší, nejdelší údolí určitého řádu; pokud nerovnice platí, jsou údolí homogenní	(10)	
AREÁLOVÉ ZÁKLADNÍ	Celková plocha sítě	A		
	Plocha sítě určitého řádu	A_o		
	Obvod údolní sítě	P	měřen po rozvodnici	
	Relativní obvod	$P_r = \frac{A}{P}$		(12)
	Poměr ploch údolí různých řádů	$R_A = \frac{A_{o+1}}{A_o}$	většinou se pohybuje v rozmezí 3 - 6	(8)
	Koeficient asymetrie sítě	$R_A = \frac{(A_L - A_P)}{(A_r + A_n)}$	$A_{L(P)}$ Plocha levé (pravé) strany sítě; $R_A > 0$ - levá strana sítě větší, $R_A < 0$ - pravá	(2)

Tab. 3c: Morfometrické charakteristiky údolních sítí

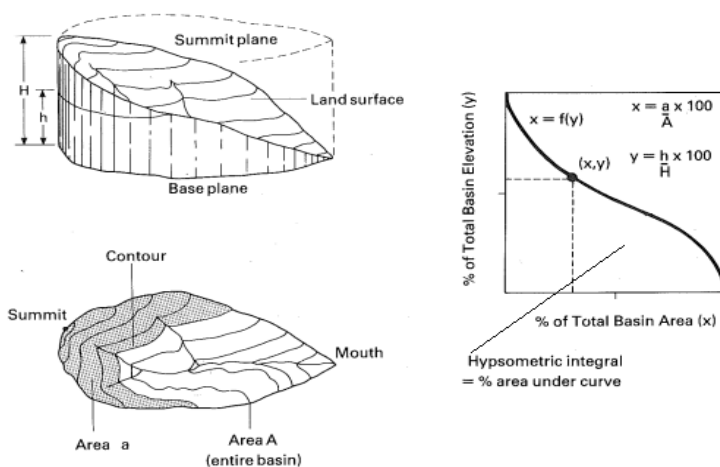
Pozn.: (1) Ritter, Kochel, Miller (2011); (2) Buzek (1979); (3) Goudie (1990); (4) Summerfield (1997); (5) Hugget (2007); (6) Verstappen (1983); (7) Brierley, Fryirs (2005); (8) Bridge (2003); (9) Ramaiah, Gopalkrishna, Vittala, Najeeb (2012); (10) Křížek, Kusák (2014); (11) Ghimire (2013); (12) Schumm (1956); (13) Miller (1953); (14) Strahler (1957); (15) Horton (1932); (16) Horton (1945); (17) Hack (1957); (18) Smart, Surkan (1967); (19) Faniran (1968); (20) Khadri (2014)

AREÁLOVÉ	POKRYTÍ ÚZEMÍ ÚDOLÍMI	Hustota údolní sítě	$D = \frac{\Sigma L_o}{A}$	vysoká hustota sítě je příznačná pro oblasti s málo odolnými horninami, příkré pramenné oblasti s velkým množstvím přítoků a semiaridní oblasti s řídkou vegetací (7)	(15)
		Konstanta rozvoje kanálu (<i>const. of channel maintenance</i>)	$C = \frac{1}{D}$		(12)
		Relativní hustota sítě	$D_r = \frac{F}{D^2}$	vysoká hodnota značí málo rozvinutou síť, tedy krátká údolí	(1)
		Četnost údolí	$F = \frac{N}{A}$	ve většině sítí platí vztah $F = 0,694 D^2$ (1)	(15)
		Intenzita odvodnění	$D_i = \frac{F}{D}$		(20)
		Infiltrační číslo	$I_f = FD$		(20)
		Textura sítě	$T = \frac{N}{P}$		(16)
		Koeficient textury	$R_T = \frac{N_1}{P}$		(12)
	PROTAŽENÍ SÍTĚ	Charakteristika sítě (<i>form factor</i>)	$R_F = \frac{A}{L^2}$	nízké hodnoty – protažená síť, vysoké - kruhovitá	(15)
		Koeficient protažení sítě (<i>elongation ratio</i>)	$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$	(průměr kruhu o stejné ploše jako plocha povodí / délka povodí); $1 \geq R_E > 0,9$ – kruhové sítě, $0,9 > R_E > 0,8$ – oválné, $R_E < 0,8$ – protažené (9)	(12)
		Koeficient prodloužení sítě	$R_{EL} = \frac{L^2}{W}$		(2)
	ZAOBLNĚNÍ SÍTĚ	Koeficient zaoblění sítě (<i>circularity ratio</i>)	$R_C = \frac{4\pi A}{P^2}$	plocha údolní sítě dělená plochou kruhu stejného obvodu; $R_C \leq 1$ (zcela kruhovitá síť)	(13)
		Gravelliův koeficient	$R_G = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$	vztah obvodu sítě k obvodu kruhu o stejné ploše; $KG \geq 1$; vyjadřuje míru kruhovitosti povodí	(2)
		Relativní zvlnění obvodu	$R_{CR} = \frac{P^2}{A}$		(3)

Tab. 3d: Morfometrické charakteristiky údolních sítí

Pozn.: (1) Ritter, Kochel, Miller (2011); (2) Buzek (1979); (3) Goudie (1990); (4) Summerfield (1997); (5) Hugget (2007); (6) Verstappen (1983); (7) Brierley, Fryirs (2005); (8) Bridge (2003); (9) Ramaiah, Gopalkrishna, Vittala, Najeeb (2012); (10) Křížek, Kusák (2014); (11) Ghimire (2013); (12) Schumm (1956); (13) Miller (1953); (14) Strahler (1957); (15) Horton (1932); (16) Horton(1945); (17) Hack (1957); (18) Smart, Surkan (1967); (19) Faniran (1968); (20) Khadri (2014)

RELJÉFOVÉ	Převýšení sítě	$H = h_{max} - h_{min}$	h_{max} - nejvyšší místo sítě; h_{min} - nejnižší místo sítě; nerepresentativní - může ovlivnit ieden izolovaný vrchol (3)	(12)
	Průměrné převýšení	$H_A = hP_m - h_{min}$	hP_m = průměrná výška obvodu sítě	(1)
	Průměrná výška sítě	$h_m = \frac{\sum fe}{\sum f}$	f = počet pixelů, e = výška pix.	(11)
	Průměrný sklon sítě	$S = \frac{\sum fs}{\sum f}$	s = sklon pixelu	(11)
	Sklonový poměr sítí různých řádů	$R_s = \frac{S_o}{S_{o+1}}$		(8)
	Koeficient reliéfu	$R_h = \frac{H}{L}$	vyjadřuje celkovou strmost sítě, čím vyšší hodnota, tím strmější; nerepresentativní H lze nahradit H_A	(12)
	Relativní koeficient reliéfu	$R_{hp} = \frac{H}{P}$	viz. R_h	(1)
	Hypsometrická křivka relativní výška relativní plocha	$x = f(y)$ $y = \frac{h}{H}$ $x = \frac{a}{A}$	vyjadřuje podíl plochy určitých výškových pásem na celkové ploše povodí, hodnota inflexního bodu křivky = nejčetnější výška sítě; h = výška určité vrstevnice nad pomocnou rovinou a = plocha sítě nad určitou vrstevnicí; viz. Obr. 1	(1)
Hypsometrický integrál	$HI = \frac{(h_m - h_{min})}{H}$	(plocha pod hypsografickou křivkou); většinou se pohybuje mezi 25 – 75%, vysoké hodnoty značí hornatý reliéf (4); podle (2) platí vztah $h_m = \frac{HI}{A}$	(11)	



Obr. 1: Hypsometrická analýza. (Summerfield, 1997)

4. Metodika

4. 1. Data

Pro získání dat potřebných k vytvoření Tab. 4 bylo využito literatury zabývající se popisem říčních sítí. Z vybraných článků byly staženy mapy povodí s dílčími subpovodími, která byla dále vektorizována v prostředí programu ArcGIS. Důvodem vlastní vektorizace byla nevhodná (či chybějící) klasifikace údolnic v originálech. Pro popis údolních sítí je vhodná Graveliova klasifikace absolutní řádovosti, podle které jsou primární údolí 1. řádu, do nich ústí sekundární údolí 2. řádu atd. Tento systém se používá od roku 1914, jeho nevýhodou je ale skutečnost, že dvě různá údolí stejného řádu se mohou morfometricky diametrálně lišit (Závoianu, 2009). Relativní klasifikace nejsou pro analýzu údolních sítí vhodné z toho důvodu, že řády údolí nejsou tvořeny celými údolními, ale pouze jejich úseky.

Druhotným důvodem vektorizace bylo vytvoření nových subpovodí, pokud bylo pro ohraničení určitého typu sítě potřeba rozdělit originální subpovodí, či pokud nebyly originální mapy rozčleněny vůbec. Pro označení subpovodí je použito originálních názvů (*např. SW10*). Pokud bylo originální subpovodí rozděleno na více částí, je k označení nové části přidáno písmeno *A* nebo *B* (*SW10A*) a pokud bylo vytvořeno zcela nové subpovodí, je označeno názvem, který pokračuje v originálním číslování, s přidaným písmenem *n* (*SW15n*). Zdrojové mapy jsou připojeny jako přílohy. První je originální mapa a vedle či pod ní jsou zobrazena upravená či nově vytvořená subpovodí.

Z těchto subpovodí bylo na základě tvaru údolních sítí určeno 6 základních typů sítí. Pro srovnání morfometrických charakteristik jednotlivých typů bylo použito vzorku 30 rovnoběžných, 30 pravoúhlých, 30 mřížovitých, 30 stromovitých a 10 prstencových a 10 radiálních sítí. Menší počet posledních dvou jmenovaných je dán tím, že i v krajině se vyskytují v mnohem menší míře. Přes 90 % sítí pochází z Indického subkontinentu. To z toho důvodu, že z této oblasti pochází velké množství článků zabývajících se popisem říčních sítí. Radiální typy sítí pocházejí z různých částí světa a jsou vázány na vulkanický reliéf. Pravoúhlé typy jsou většinou vázány na zlomové poruchy, u ostatních typů sítí nebyl prokázán významnější vliv reliéfu.

4.2. Srovnání jednotlivých typů

Z těchto dat na základě elementárních charakteristik zjištěných vektorizací (počet údolí určitého řádu, délka údolí určitého řádu, plocha sítě, obvod sítě a délka sítě) byly dopočítány dle vzorců z Tab. 3 další vybrané charakteristiky. Z každé kategorie, kromě reliéfových charakteristik, byla na základě jejich vzájemného porovnání vybrána jedna reprezentativní charakteristika, z charakteristik popisujících pokrytí sítě údolními byly vybrány dvě (Tab. 5). Kritérium výběru bylo zohlednění toho, zda není daná charakteristika ovlivněná různou velikostí studovaných sítí. Pokud ne a výsledky byly podobné, bylo vybrána ta charakteristika, která vykazovala ve vzájemném srovnání jednotlivých typů největší rozdíly.

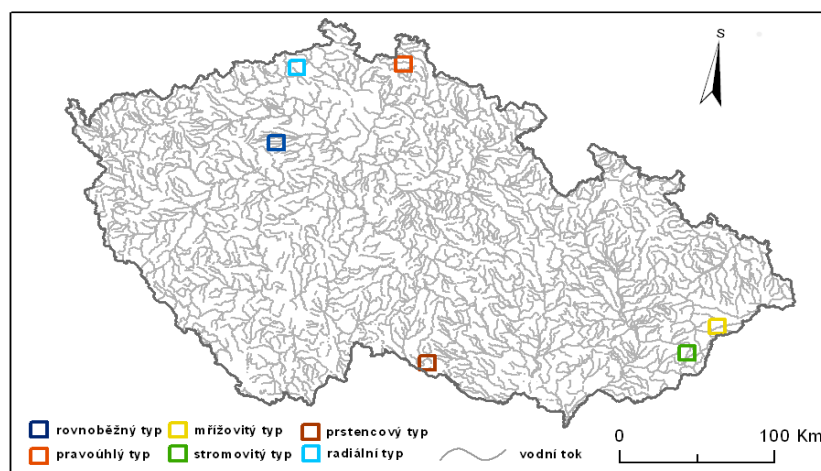
Tab 5.: Vybrané morfometrické charakteristiky

Kategorie	podkategorie	název	symbol
sít'ové charakteristiky		Bifurkační poměr	RbW
lineární charakteristiky		Prům. poměr délek	Rlm
areálové charakteristiky	charakteristiky popisující pokrytí údolními	Hustota sítě	D
		Textura sítě	T
	charakteristiky popisující protažení sítě	Charakteristika sítě	Rf
	charakteristiky popisující kruhovitosť sítě	Koeficient zaoblení	Rc

Pro účely srovnání jednotlivých typů údolních sítí byly vytvořeny 3 grafy pro každou vybranou charakteristiku. První graf ukazuje rozsah hodnot. Na druhém grafu jsou jako křivky vyneseny hodnoty jednotlivých typů sítí, seřazeny od nejnižších po nejvyšší. Z důvodu přehlednější interpretace byl vytvořen ještě sloupcový graf, který porovnává plochy pod těmito křivkami. V legendě má každý typ sítě zkratku podle prvního písmena anglického názvu (*P* – parallel, *R* – rectangular, *T* – trellis, *D* – dentritic, *A* – annular, *Rad* – radial). Tyto grafy jsou ve výsledcích uvedeny pod každou charakteristikou, s připojenou tabulkou maxima, minima a mediánu pro každý typ sítě (Obr. 2 – 7).

4. 3. Vybrané typy údolních sítí v České republice

Na území ČR bylo vybráno šest základních typů údolních sítí (Obr. 8). Všechny mají zhruba stejnou velikost 75km². U každého typu je uvedena základní charakteristika dané sítě, geomorfologie území, jeho vývoj a geologické poměry. Dále je připojena mapa údolních sítí s podkladem reliéfu a menší mapy zařazení do systému geomorfologických celků (ze které byl vypočítán % podíl příslušnosti území k určitému podcelku) a geologická mapa území v měřítku 1 : 500 000. (Obr. 9 – 14) U těchto šesti typů pak byly spočítány stejné vybrané charakteristiky jako u sítí ze světových lokalit. Hodnoty těchto charakteristik pro jednotlivé typy sítí jsou uvedeny v Tab. 6, typy sítí jsou pak porovnávány pomocí sloupcových grafů každé charakteristiky (Obr. 15) Navíc je uveden celkový počet údolí, který lze díky stejné ploše sítí v ČR také použít pro srovnání. bylo zjištěno gis analýzou



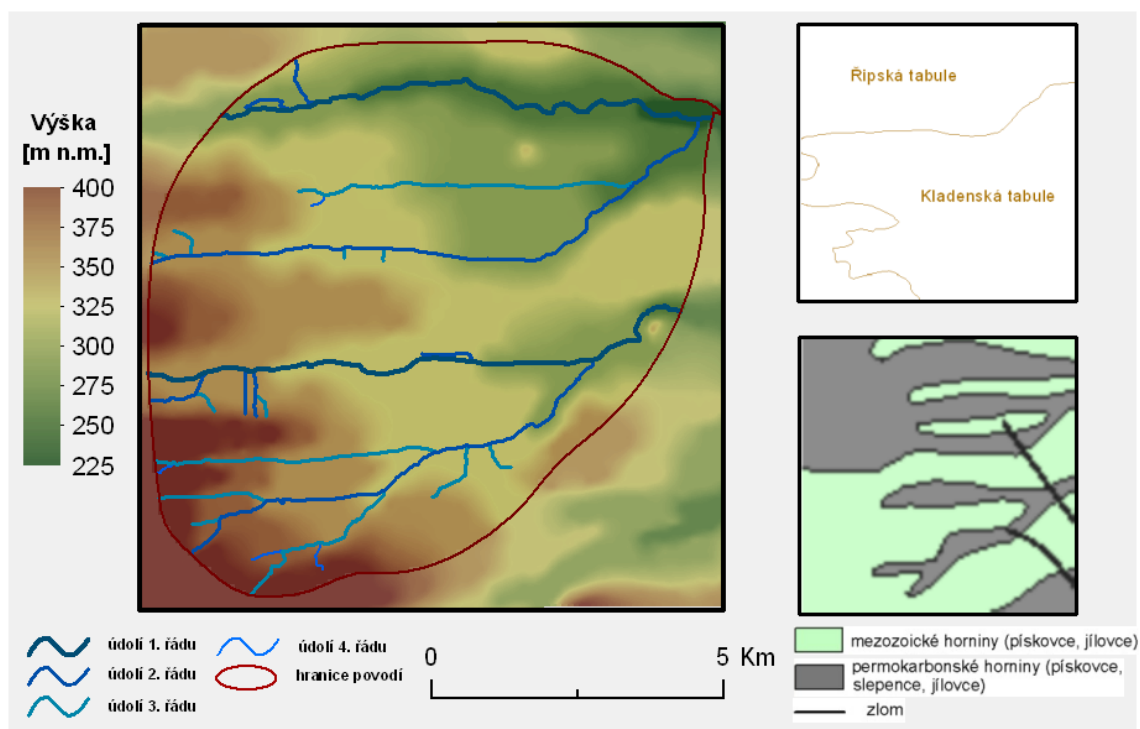
Obr. 8 – Poloha vybraných typů sítí na území ČR. Pozn.: ArcČR500 (1996), DIBAVOD (2006)

5. Vybrané charakteristiky území studovaných údolních sítí v České republice

5.1. Rovnoběžný typ

Vymezeným územím probíhá řada paralelních zaoblených rozvodních hřbetů s relikty strukturálních plošin. Široká svahová údolí, zahloubená zhruba 50 m do těchto hřbetů, se vyznačují většinou mírně skloněnými svahy a širokými údolními nivami (Balatka 1965c). Tento rozčleněný erozně denudační reliéf klesá od západu k východu na křídovém podloží, místy se sprašovými pokryvy, závějemi a ojedinělými neovulkanickými suky (Demek, 1987a).

Údolní síť leží asi ze 60 % v Kladenské tabuli a ze 35 % v Řipské tabuli, nepatrně zasahuje i do Řevničovské pahorkatiny. Prvně jmenovaný podcelek leží v Dolnoohárecké tabuli, která patří do oblasti Středočeské tabule, druhý podcelek leží v Pražské plošině náležící do Brdské oblasti (Balatka a Kalvoda, 2006). Údolní síť tvoří 7 paralelních údolí – Bakovského, Lotoušského, Byseňského, Červeného, Drneckého, Šternberského a Muclavského potoka, jmenováno od severu k jihu. Přítoky těchto potoků jsou nepoměrně kratší.



Obr. 9: Rovnoběžný typ sítě

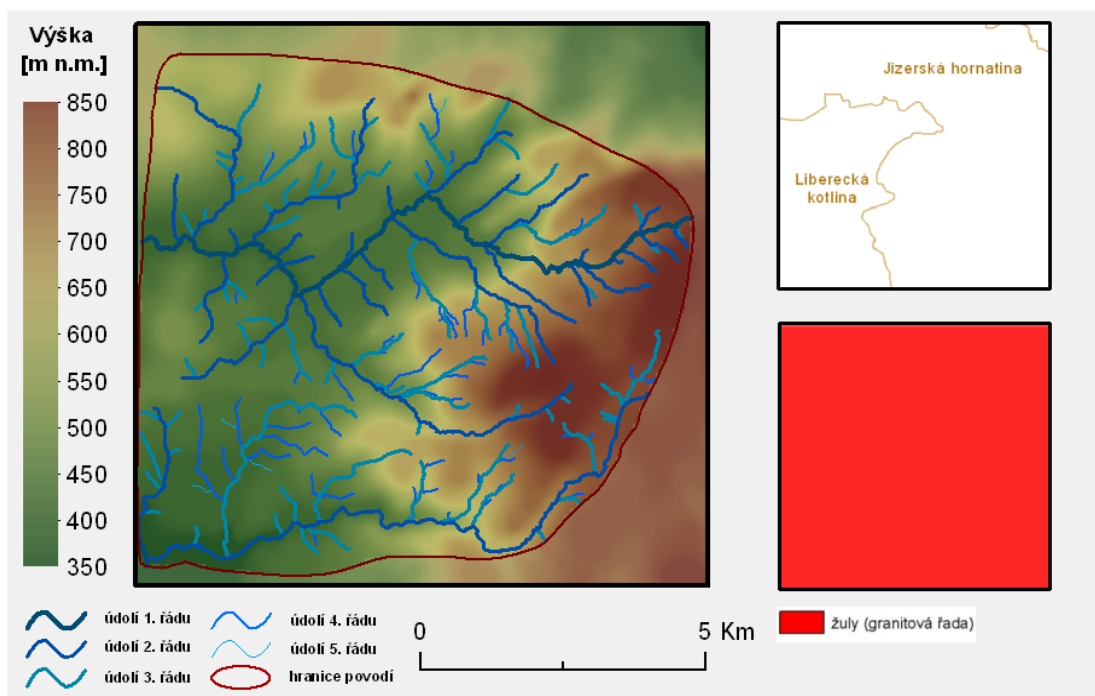
Pozn.: Topografický podklad - ArcČR500 (1996), DIBAVOD (2006);

geomorfologické jednotky - CENIA (2011); geologický podklad - Geologické a geovědní mapy [online].

5.2. Pravoúhlý typ

Vymezené území patří do Liberecké kotliny. Ta vznikla při tektonických pohybech, které vyzvedly kru Jizerských hor, a stala se sedimentačním prostorem miocenního jezera. Po zániku jezera byla výplň kotliny rozřezána. V době halštrovského zalednění pronikl do severní části této kotliny pevninský ledovec a vytvořil hrazené jezero, kde v glaciofluviálních sedimentech postupně vznikly tři terasy (Panoš, Štecl, 1965). Podloží obou podcelků tvoří převážně granitoidy krkonošsko-jizerského masivu, z menší části i horniny jeho krystalinického pláště (Demek, 1987a).

Území patří ze 70 % do Jizerské hornatiny, která spadá pod Jizerské hory, a ze 30 % do Liberecké kotliny, ležící v Žitavské pánvi. Oba tyto celky pak patří do Krkonošské oblasti (Balatka a Kalvoda, 2006). Údolní síť tvoří dvě hlavní údolí východo-západního směru. Osu severnějšího údolí tvoří Jeřice s výraznými pravými úhly a pravoúhlými přítoky - Malou Jeřicí, Fojtkou a Albrechtickým potokem. Síť přítoků těchto toků je opět výrazně pravoúhlá. Druhé údolí tvoří Černá Nisa s Radčickým potokem, síť je ovšem méně rozvětvená a také méně pravoúhlá. Půdorysné uspořádání údolní sítě je obrazem původních svahových procesů a svědčí o asymetrickém vyzdvižení Jizerského pohoří. Hluboké erozní zářezy rozčleňující jeho okrajové svahy mají velmi nevyrovnané spádové poměry, četné jsou peřeje a vodopády (Balatka, 1965b). Reliéf se uklání směrem do Liberecké kotliny ze severu a z východu. Přechází tak z příkrých svahů Jizerské hornatiny do mírných, úvalovitých sníženin, jimiž kotlinka zasahuje hluboko do pohoří.



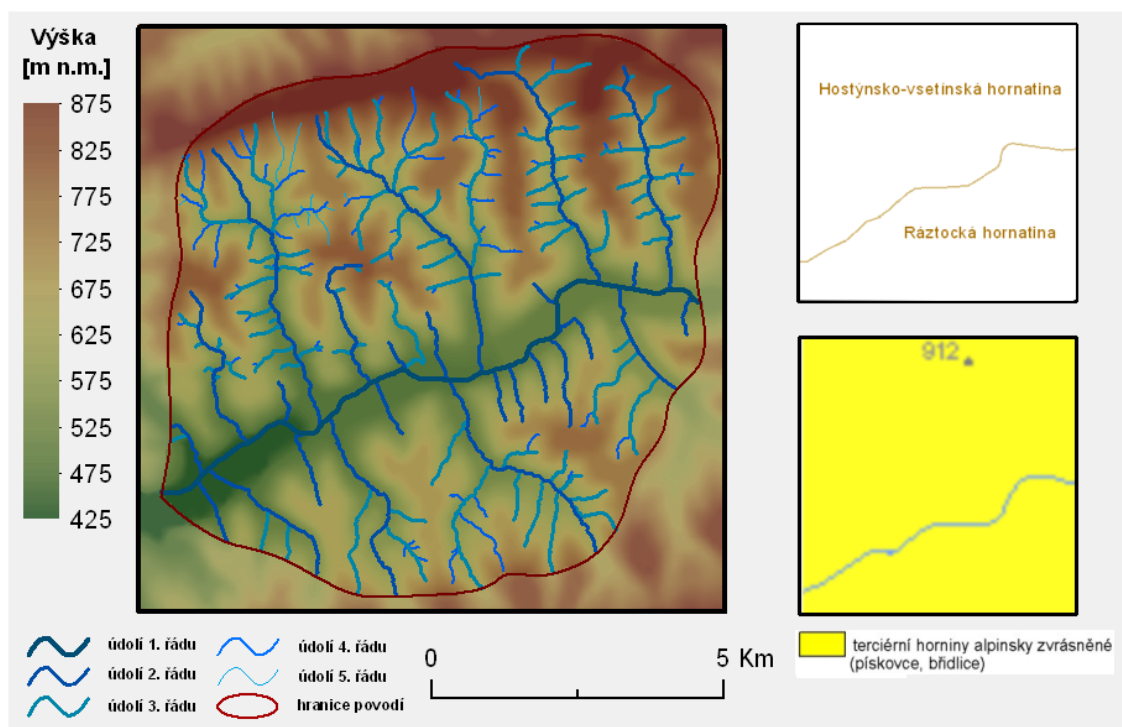
Obr. 10: Pravoúhlý typ sítě

Pozn.: Topografický podklad - ArcČR500 (1996), DIBAVOD (2006); geomorfologické jednotky - CENIA (2011); geologický podklad - Geologické a geovědní mapy [online].

5.3. Mřížovitý typ

Vymezená oblast se začala tvořit koncem eocénu, kdy se sedimentární obal okraje Českého masivu začal vrásnit a vytvořil nejprve mírné zvrásnění vnějšího podslezského příkrovu, na nějž se přesunul od jihovýchodu silnější zvrásněný slezský příkrov a oba byly hrnuty dopředu jihovýchodním magurským příkrovem. Údolí Vsetínské Bečvy vzniklo v podélné synklinále magurského flyše. Zdvih této oblasti před svrchním pliocénem způsobil rozčlenění pahorkatin a prohloubení členitosti pohoří. Tento reliéf pak modelovala říční a periglaciální činnost (Kunský, 1968). V údolí jsou zachovány zbytky akumulčních teras, na mnoha místech překrytých rozsáhlými náplavovými kužely (Stehlík, 1965).

Lokalita náleží ze 60 % k podcelku Vsetínské vrchy, patřícímu do Hostýnsko-vsetínské hornatiny, a ze 40 % k Ráztocké hornatině patřící do celku Javorníků. Ty spadají do oblasti Slovensko-moravských Karpat, zatímco celek Hostýnsko-vsetínská hornatina patří do Západních Beskyd (Balatka a Kalvoda, 2006). Typické jsou široce zaoblené rozvodní hřbety, hluboká zařiznutá údolí a četné sesuvy na svazích (Demek, 1987a). Osu sítě ve směru Z-V tvoří údolí Vsetínské Bečvy sevřené mezi hřebeny Vsetínských vrchů a Javorníků. Do něj ústí přibližně pod pravými úhly další údolí. Z těch velkých jsou to od prvního pravého přítoku proti směru hodinových ručiček tyto toky: Raťkov, Kobylská, Brodská, Lušová, Dinotice, Břežitá, Vranča a Velká Stanovnice (první levý přítok). Do těchto údolí ústí krátká údolí 3. řádu opět přibližně pod pravými úhly.



Obr. 11: Mřížovitý typ sítě

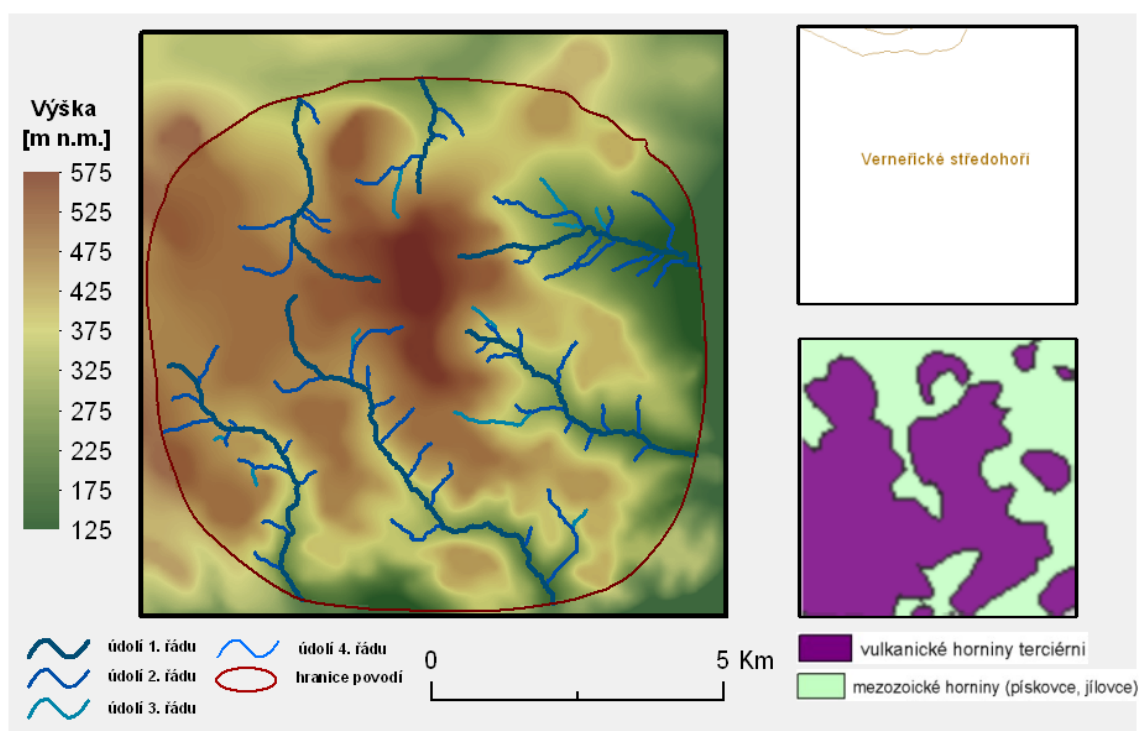
Pozn.: Topografický podklad - ArcČR500 (1996), DIBAVOD (2006);

geomorfologické jednotky - CENIA (2011); geologický podklad - Geologické a geovědní mapy [online].

5.6. Radiální typ

Javorský vrch je plochý, asymetrický strukturální hřbet vzniklý na reliktu lávového příkrovu nefelinického tefritu a pyroklastikách. Má příkřejší svahy (20° - 25°) a zvedá se nad mladotřetihorním zarovnaným povrchem (Demek, 1987a). Pomocí denudační úroveň leží ve výšce 480-520 m, nad ní ležící trachytové a tefritové suky naznačují průběh původního rozvodního hřbetu (Balatka, 1965a). Pro tuto oblast jsou četné tvary pleistocenního mrazového zvětrávání a odnosu vulkanitů (Demek, 1987a).

Území je situováno v severozápadní části Verneřického středohoří, patří dle Balatky a Kalvody (2006) do Českého středohoří v Podkrušnohorské oblasti. Údolní síť se odstředivě rozvíjí od Javorského vrchu (617 m n.m.) a hlavní údolí tvoří Červený potok, Račí potok, Poustka, Lužecký, Neštěmický a Žďárský potok (vyjmenováno ze severu po směru hodinových ručiček). Do těchto údolí se napojují již jen velmi krátké přítoky.



Obr. 14: Radiální typ sítě

Pozn.: Topografický podklad - ArcČR500 (1996), DIBAVOD (2006);

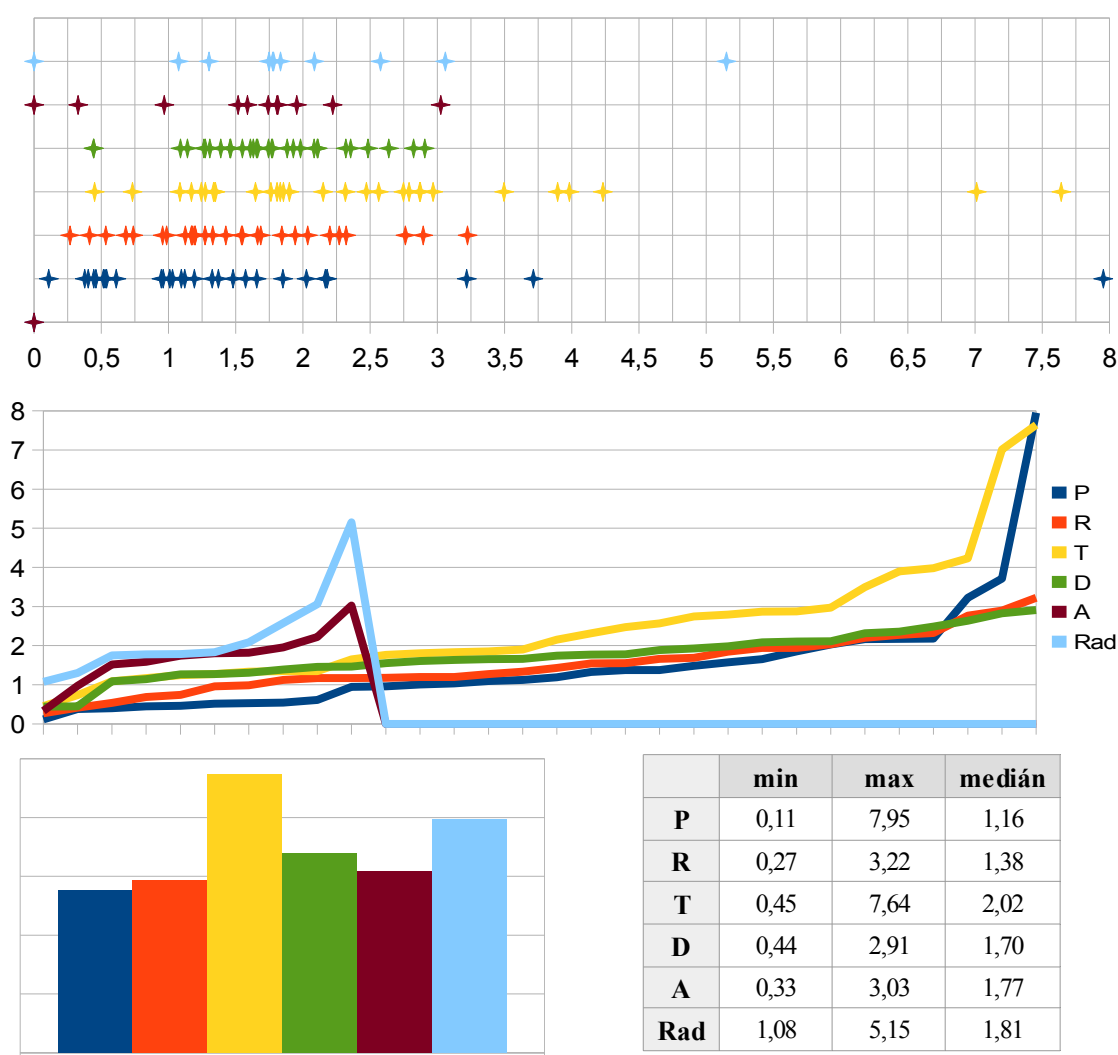
geomorfologické jednotky - CENIA (2011); geologický podklad - Geologické a geovědní mapy [online].

6. Výsledky

6.1. Morfometrické charakteristiky údolních sítí světových lokalit

6.1.1. Vážený bifurkační poměr

Ve vzájemném srovnání jednotlivých typů údolních sítí dosahuje bifurkační poměr výrazně vyšších hodnot u mřížovitého typu sítě a poté u radiálního typu (Obr. 2). Ostatní typy sítí mají následující pořadí: 3. stromovitá, 4. prstencová, 5. pravouhlá, 6. rovnoběžná; odstupňované bez výraznějších propadů. Z hlediska rozpětí hodnot má všech 6 typů údolních sítí společný interval této proměnné 1,08 – 3,03. 29 ze 30 hodnot stromovitého typu sítě spadá do tohoto intervalu, většina hodnot ostatních typů sítí leží pod jeho horní hranicí.

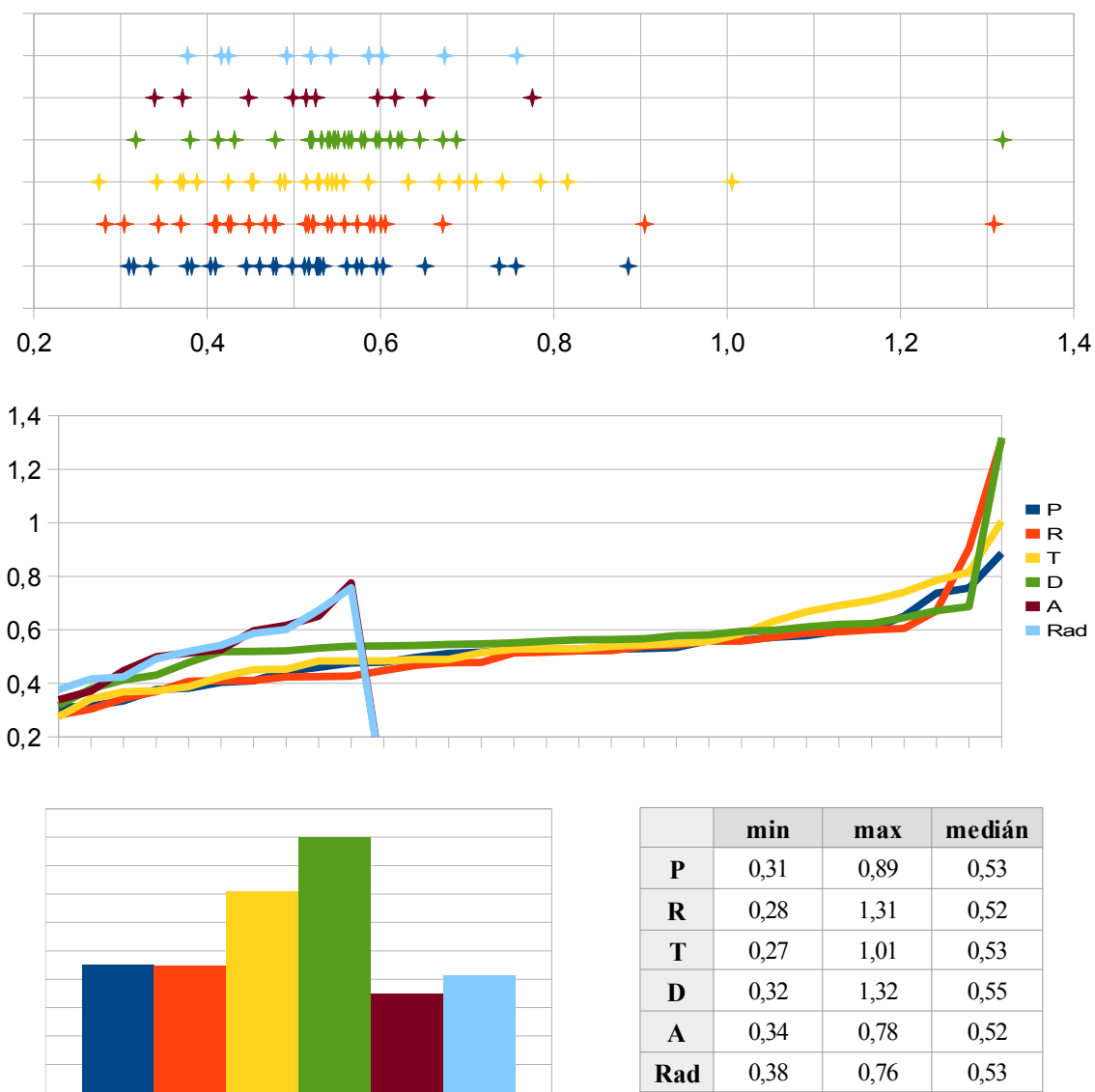


Obr. 2: Vážený bifurkační poměr hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravouhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální

6.1.2. Průměrný poměr délek

Výrazně vyšších hodnot průměrného poměru délek dosahuje stromovitý typ údolní sítě a za ním typ mřížovitý (Obr. 3). Většina hodnot těchto dvou typů údolních sítí se nachází velice blízko mediánu této charakteristiky, který je u všech typů téměř totožný. Hodnoty ostatních typů údolních sítí jsou od něj mnohem víc vzdáleny. Průměrné poměry délek pravoúhlého, rovnoběžného, radiálního a prstencového typu údolních sítí jsou celkově oproti prvním dvěma typům zhruba poloviční. Společný interval průměrného poměru délek všech typů určují hodnoty radiálního typu sítě - 0,38 – 0,76.

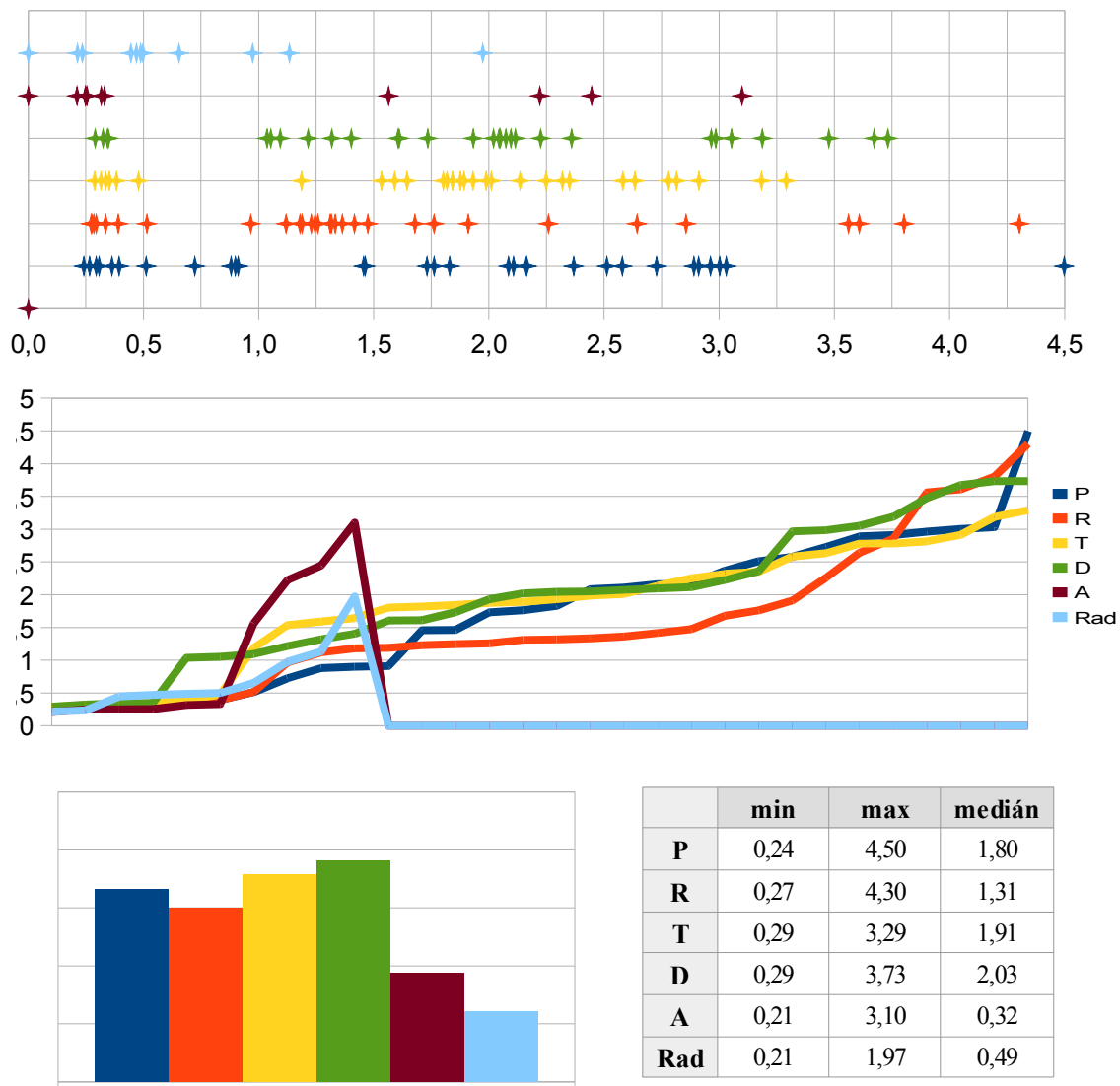


Obr. 3: Průměrný poměr délek hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravoúhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální

6.1.3. Hustota a síť

Nejvyšších hodnot hustoty sítě dosahuje stromovitý a mřížovitý typ údolní sítě, rozdíl mezi nimi je velmi těsný (Obr. 4). Následuje rovnoběžný a za ním pravoúhlý typ, opět s velmi těsným rozdílem. Prstencový typ údolní sítě dosahuje oproti stromovitému typu polovičních hodnot a radiální typ zhruba třetinových. Společný interval hustoty sítě všech typů je 0,29 - 1,97. Srovnání typů údolních sítí pomocí dalších ukazatelů hustoty sítě – četnosti údolí, intenzity odvodnění a infiltračního čísla bylo velmi podobné.

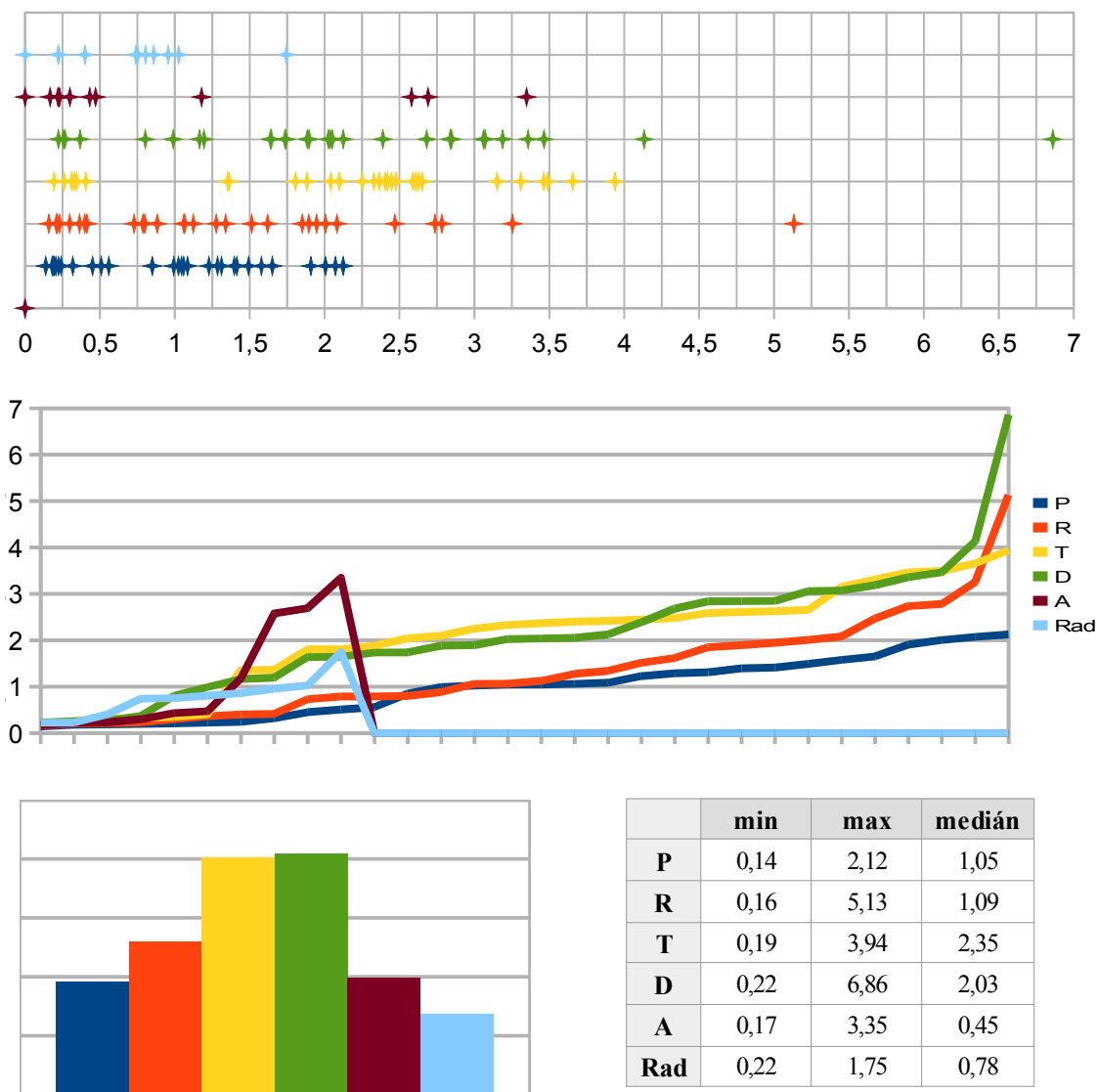


Obr. 4: Hustota sítě hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravoúhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální; hodnoty hustoty sítě jsou uvedeny v km/km^2 .

6.1.4. Textura sítě

Stromovitý a mřížovitý typ údolní sítě mají téměř totožné, nejvyšší hodnoty textury sítě (Obr. 5). S větším odstupem za nimi stojí pravoúhlý typ. Rovnoběžné a prstencové typy údolní sítě mají zhruba poloviční hodnoty oproti prvním dvěma, radiální typ vykazuje ještě menší hodnoty. Společný interval textury sítě všech typů je 0,22–1,75 a opět ho určují hodnoty radiálního typu sítě. Většina hodnot stromovitého a mřížovitého typu sítě se nachází nad ním.

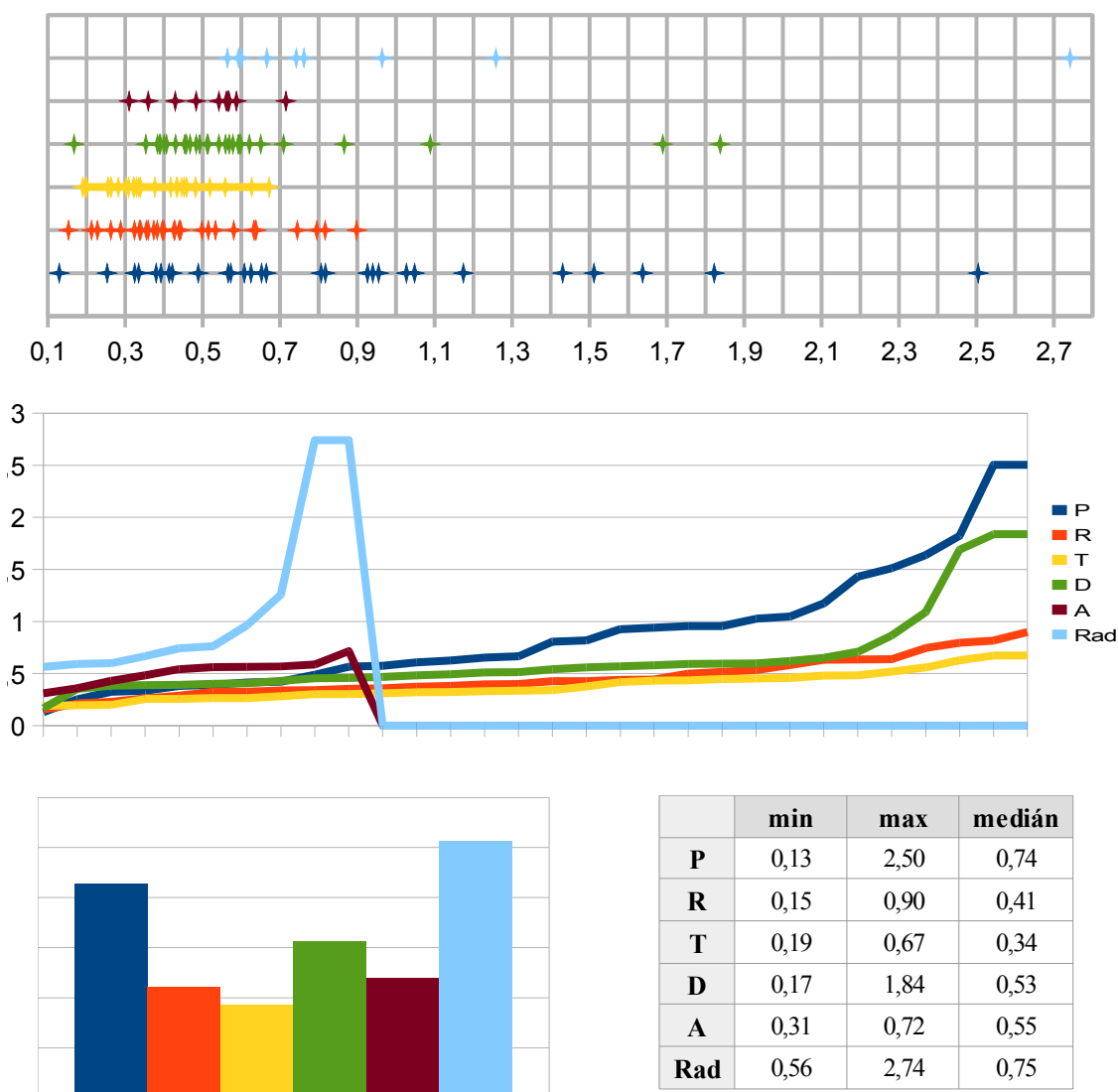


Obr. 5: Textura sítě hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravoúhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální

6.1.5. Charakteristika sítě

Nejvyšších hodnot charakteristiky sítě nabývá radiální typ údolní sítě, následuje rovnoběžný typ (Obr. 6). Již menších hodnot dosahuje stromovitý typ sítě a zbývající 3 typy vykazují méně než poloviční hodnoty oproti radiálnímu typu. Nejnižších hodnot této proměnné nabývá mřížovitý typ sítě. Z hlediska rozpětí hodnot má všech 6 typů údolních sítí společný interval charakteristiky sítě 0,56 – 0,67, hodnoty mřížovitého typu sítě jsou stejné nebo nižší než tento interval, většina hodnot, pravoúhlé, stromovité a prstencové sítě leží pod tímto intervalem a hodnoty radiální sítě jsou stejné nebo vyšší než tento interval. Hodnoty rovnoběžného typu jsou na tomto intervalu víceméně nezávislé. Velice podobné pořadí vykazoval i druhý ukazatel popisující protažení sítě - koeficient protažení sítě (*elongation ratio*).

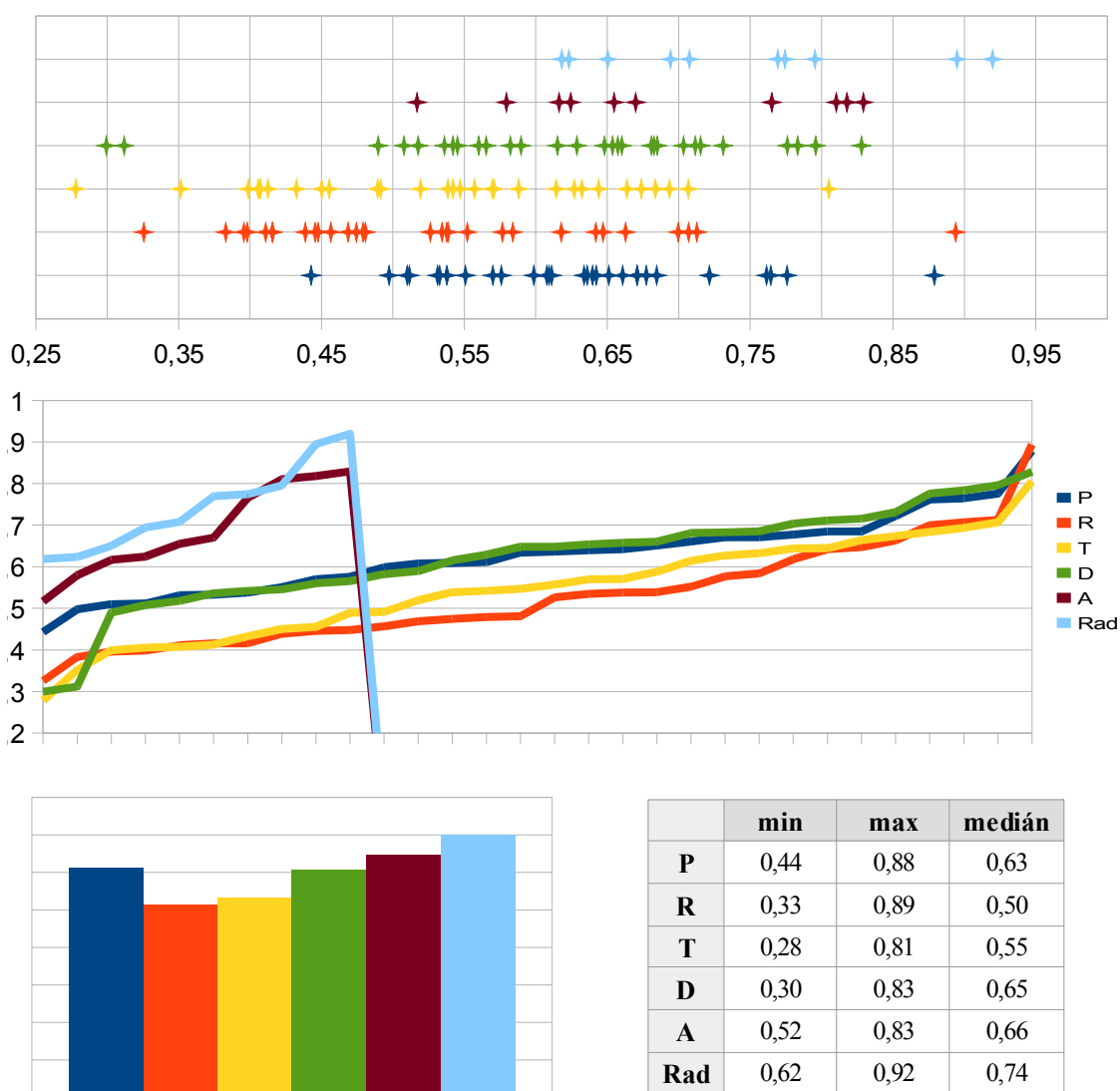


Obr. 6: Charakteristika sítě hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravoúhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální

6.1.6. Koefficient zaoblení sítě

Pořadí hodnot koeficientu zaoblení sítě je pro jednotlivé typy údolních sítí následující: 1. radiální, 2. prstencový, 3. rovnoběžný, 4. stromovitý, 5. mřížovitý a 6. pravoúhlý typ sítě (Obr. 7). Mezi jednotlivými typy jsou podobné propady. Společný interval koeficientu zaoblení všech typů údolních sítí je 0,62 – 0,81. Naprostá většina hodnot všech typů je menší než jeho horní hranice, většina hodnot mřížovitých a pravoúhlých typů sítí leží pod jeho spodní hranicí. Velice podobné pořadí vykazovaly i další ukazatele popisující kruhovitosť sítí – Graveliův koeficient a relativní zvlnění obvodu - ovšem s převrácenými hodnotami (nejvíce kruhovitě sítě měly nejnižší hodnoty).



Obr. 7: Koefficient zaoblení sítě hodnocených typů údolních sítí ze světových lokalit

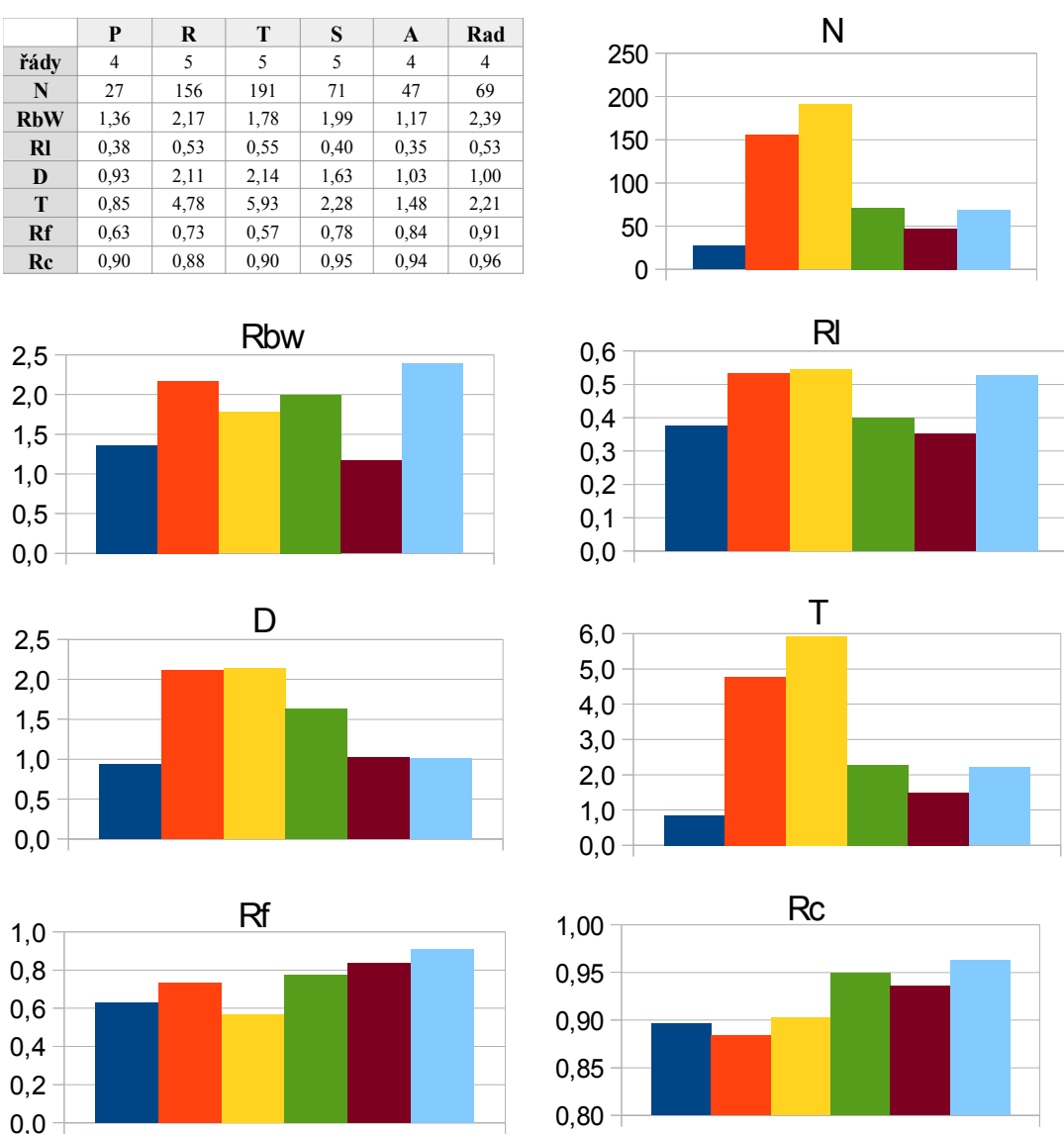
Pozn.: P – rovnoběžný typ, R – pravoúhlý, T – mřížovitý, D – stromovitý, A – prstencový, Rad – radiální

6.2. Morfometrické charakteristiky vybraných typů údolních sítí v ČR

Z prvního grafu N - celkového počtu údolí je vidět, že mřížovitý a pravoúhlý typ údolní sítě má zhruba 3x více údolí než ostatní typy sítí. To se odráží ve vyšších hodnotách váženého bifurkačního poměru, průměrného poměru délek, hustoty sítě a textury sítě. Tyto dva typy sítí mají naopak nízké hodnoty charakteristiky sítě a koeficientu zaoblení. Radiální typ údolní sítě nabývá vysokých hodnot bifurkačního poměru, poměru délek, charakteristiky sítě a koeficientu zaoblení sítě. Má ale malou hustotu a texturu sítě (stejně jako prstencový typ). Stromovitý typ je 3. v pořadí u váženého bifurkačního poměru, hustoty sítě, textury sítě a charakteristiky sítě, u poměru délek 4. a 2. u koeficientu zaoblení. Rovnoběžný typ údolní sítě je ve všech charakteristikách na 5.- 6. místě.

Tab. 6: Hodnoty vybraných morfometrických charakteristik jednotlivých typů sítí v ČR

	P	R	T	S	A	Rad
řády	4	5	5	5	4	4
N	27	156	191	71	47	69
Rbw	1,36	2,17	1,78	1,99	1,17	2,39
RI	0,38	0,53	0,55	0,40	0,35	0,53
D	0,93	2,11	2,14	1,63	1,03	1,00
T	0,85	4,78	5,93	2,28	1,48	2,21
Rf	0,63	0,73	0,57	0,78	0,84	0,91
Rc	0,90	0,88	0,90	0,95	0,94	0,96



Obr. 15: Hodnoty vybraných morfometrických charakteristik hodnocených typů sítí v ČR

Pozn.: N – celkový počet údolí; Rbw – vážený bifurkační poměr; Rlm – průměrný poměr délek; D – hustota sítě [km/km²]; T – textura sítě; Rf – charakteristika sítě; Rc – koeficient zaoblení sítě; barvy jedn. typů odpovídají legendě u předchozích grafů

7. Diskuze

Výsledky morfometrické analýzy jednotlivých typů údolních sítí ze světových lokalit jsou do jisté míry zkresleny nestejným počtem hodnocených typů sítí, dále samotnou vektorizací a také určením typu údolní sítě. Zařazení údolní sítě do určité kategorie bylo určováno na základě vizuální podobnosti se vzorem daného typu sítě (dle Howarda, 1967). To bylo ale ztíženo skutečností, že některé typy sítí sejevily po vizuální stránce na pomezí dvou typů.

Při výběru údolních sítí v České republice bylo využito opačného postupu – na základě typického vzoru daného typu sítě bylo vybráno území a následně morfometricky charakterizováno. Typy sítí v ČR jsou ale pro změnu zkresleny faktem, že od každého typu sítě byl vybrán jen jeden zástupce. Výsledky jsou tedy pouze orientační - jednalo se o cvičnou srovnávací analýzu.

Vybrané morfometrické charakteristiky se ukázaly pro vzájemné porovnání typů údolních sítí jako velmi vhodné, jelikož jsou (kromě hustoty sítí) bezrozměrné a tudíž nejsou ovlivněny různou velikostí studovaných území. To ale neznamená, že měřítko nemá na morfometrickou analýzu údolních sítí vliv. V případě této práce bylo měřítko na zdrojových mapách vždy dáno a nemohlo tedy u hodnocených údolních sítí dojít ke změně počtu údolí (a tudíž i ostatních charakteristik) se změnou měřítka. Z charakteristik, které jsou na měřítku zcela nezávislé lze uvést například *velikost úhlů mezi údolními a homegenitu údolí různých řádů* (Křížek, Kusák, 2014). Touto problematikou se také zabývá Dodds a Rothman (2000).

V následujících subkapitolách jsou v prvním odstavci diskutovány výsledky jednotlivých morfometrických charakteristik hodnocených údolních sítí ze světa, ve druhém odstavci jsou tyto výsledky konfrontovány s hodnotami typů údolních sítí v ČR.

7.1.Vážený bifurkační poměr $R_{bw} = \frac{R_{b1/2}(N_1 + N_2) + R_{b2/3}(N_2 + N_3) + \dots}{(N_1 + N_2) + (N_2 + N_3) + \dots}$

Bifurkační poměr (počet údolí určitého řádu / počet údolí vyššího řádu) je ukazatelem rozvětvenosti sítě. Lze hodnotit samostatné poměry jednotlivých, po sobě jdoucích řádů, ale tyto poměry jsou zejména u vyšších řádů často zkresleny. Ne všechny studované sítě totiž mají údolí vyššího řádu, jejich hodnoty se tedy rovnají 0. Toto zkreslení je eliminováno průměrným bifurkačním poměrem, který dělí součet všech bifurkačních poměrů dané sítě celkovým počtem řádů. Pro srovnání byl zvolen ještě přesnější vážený bifurkační poměr, jehož vahami jsou počty údolí jednotlivých řádů. Pořadí jednotlivých typů údolních sítí je nicméně totožné s průměrným bifurkačním poměrem, jen s většími rozdíly.

Je-li hodnota vyšší než 1, má daná síť vyšší počet údolí nižších řádů než počet údolí vyšších řádů – to má dle výsledků většina studovaných údolních sítí. Dalo by se předpokládat, že nejvíce rozvětvené budou stromovité a mřížovité typy sítí, u druhého jmenovaného je předpoklad splněn, mezi ním a stromovitým je ještě radiální typ sítě. To z toho důvodu, že má, na rozdíl od stromovitých a mřížovitých typů sítí, více údolí 1. řádu a tudíž i vysoký poměr údolí 1. řádů vůči 2. a 2. vůči 3. Rovnoběžné typy sítí sice také nabývají vysokých hodnot R_b $\frac{1}{2}$, ve vyšších řádech ale už tolik rozvětvené nejsou (viz. Burr, et al., 2013), jsou tedy na posledním místě ve vzájemném srovnání. V porovnání s pravoúhlými typy sítí je rozdíl nepatrný – ty jsou sice rozvětvené více - ale v žádném ze čtyř samostatných poměrů nenabývají extrému.

Typy vybraných údolní sítí v ČR dosahují odlišných hodnot této charakteristiky. Všechny sítě mají také vyšší počet údolí nižších řádů, ale pořadí je jiné z důvodu menších rozdílů mezi počty jednotlivých řádů u stromovitého, mřížovitého a pravoúhlého typu sítě. Proto jsou hodnoty těchto tří typů víceméně podobné, radiální (nejvyšší poměr) a rovnoběžný typ (druhý nejvyšší poměr) se od nich odlišují z důvodů uvedených výše. Prstencový typ údolní sítě má nejnižší poměr proto, že hlavní údolí 2. řádu - „prsteneček“ této sítě je velmi dlouhý.

7.2. Průměrný poměr délek

$$R_{lm} = \frac{\sum R_l}{O - 1}$$

Poměr délek popisuje vztah průměrné délky údolí určitého řádu *vůči* průměrné délce údolí nižšího řádu. Průměrný poměr délek dělí součet všech poměrů délek dané sítě celkovým počtem řádů. Stejně jako v případě bifurkačního poměru jsou samostatné poměry délek údolí vyšších řádů poměrně zkresleny, je proto použito pouze průměrného poměru délek údolí. Jak plyne z výsledků, téměř všechny zkoumané sítě mají hodnoty menší než 1, což znamená, že mají průměrně delší údolí nižších řádů než údolí vyšších řádů. Ve vzájemném srovnání ovšem dosahují výrazně vyšších hodnot stromovité a poté mřížovité typy sítí. To je dáno tím, že tyto dva typy údolní sítě mají i vyšší hodnoty bifurkačního poměru – mají tedy obecně vyšší počet údolí nižších řádů vůči údolím vyšších řádů. Tato skutečnost způsobuje menší rozdíly mezi délkami údolí jednotlivých řádů a tudíž vyšší poměr délek (hodnoty blízké 1). Rovnoběžné, pravoúhlé a zejména prstencové a radiální typy údolních sítí mají oproti prvním dvěma typům výrazně vyšší průměrnou délku údolí 1. řádu (ve vyšších řádech už ale tolik rozvětvené nejsou). To znamená vyšší rozdíly mezi délkami jednotlivých řádů a tudíž nižší poměr délek (hodnoty blízké 0). Tyto čtyři typy údolních sítí mají tedy (ve srovnání se stromovitým a mřížovitým typem) výrazně vyšší délky údolí nižších řádů než délky údolí vyšších řádů.

Ze stejných důvodů uvedených u váženého bifurkačního poměru hodnocených sítí v ČR jsou i rozdíly mezi jejich průměrnými poměry délek menší. Rozdíly mezi stromovitým, mřížovitým, pravoúhlým a radiálním typem se tedy vyrovnávají a pořadí je tak opět odlišné oproti typům sítí ze světových lokalit.

7.3. Hustota a textura sítě

$$D = \frac{\sum L_0}{A} \quad T = \frac{N}{P}$$

Obě tyto charakteristiky jsou ukazateli pokrytí plochy údolní sítě údolími, ale každá ji hodnotí trochu odlišně. Hustota sítě je součet délek všech údolí dělený plochou, zatímco textura sítě dělí celkový počet údolí v síti jejím obvodem. Tyto charakteristiky se navzájem ovlivňují, jelikož má-li údolní síť hodně údolí, bude mít také pravděpodobně vyšší součet délek. Tuto domněnku potvrzují i výsledky. Síť s vyšším počtem řádů a tedy i vyšším počtem údolí, která jsou tak celkově delší – stromovitá a mřížovitá síť – mají největší hustotu i texturu. Na druhé straně jsou typy sítí s menším počtem údolí, jejichž délky jsou také celkově kratší – radiální a prstencové typy.

Toto rozložení odpovídá příslušnosti jednotlivých typů údolních sítí k určitému reliéfu. Vysoká hustota sítě je (mimo jiné) příznačná pro semiaridní oblasti s řídkou vegetací (stromovitý typ sítě) a oblasti s málo odolnými horninami (mřížovitý typ sítě) (Brierley, Fryirs, 2005). Nízká hustota sítě je zase příznačná pro aridní oblasti (prstencový typ sítě) (Hugget, 2007). Výsledky hustoty a textury sítě jsou si tedy velmi podobné s jediným velkým rozdílem, kterým jsou hodnoty *paralelního* typu sítě. Ten má poměrně vysokou hustotu (3. nejvyšší), ale nízkou texturu (2. nejnižší). Je to dáno tím, že *paralelní* údolní sítě jsou sice málo rozvětvené, ale vzhledem k ploše jsou jejich údolí poměrně dlouhá. Na rozdíl od radiálních a prstencových typů sítí, které mají jak krátká, tak málo rozvětvená údolí. Nízké hodnoty textury sítě rovnoběžného typu údolní sítě korelují se skutečností, že údolní sítě ve strmých oblastech (typický reliéf pro rovnoběžný typ) mají obecně nízkou texturu (Khadri, Pande, 2014).

Výsledky srovnání hustoty a textury sítí hodnocených typů údolních sítí v ČR se oproti výsledkům světových sítí liší, jelikož vybraný stromovitý, mřížovitý a pravoúhlý typ je velice rozvětvený, což se odráží ve vysokých hodnotách všech charakteristik. Zajímavé je, že toto neplatí u hustoty sítě stromovitého typu. Nižší hodnoty jsou způsobeny tím, že vybraný stromovitý typ má sice vysoký bifurkační poměr ale celkový počet údolí vzhledem k obvodu sítě má výrazně nižší. Vybraný rovnoběžný typ sítě v ČR má málo poměrně krátkých údolí, dosahuje tedy, na rozdíl od světových lokalit, v obou těchto charakteristikách nejnižších hodnot.

7.4. Charakteristika sítě

$$R_F = \frac{A}{L^2}$$

Tato proměnná dělí plochu údolní sítě čtvercem její délky. Čím nižší hodnoty, tím protaženější je údolní síť. Dalo by se předpokládat, že nejméně protažené budou radiální a prstencové typy údolních sítí, jelikož mají už ze své podstaty kruhový půdorys. U prvního jmenovaného je předpoklad splněn, prstencový typ je ale ve srovnání až na čtvrtém místě. To je způsobeno tím, že „prstence“ této sítě jsou ve studovaném území často zploštělé, a proto je síť více protáhlá než kruhová. Překvapivé jsou vysoké hodnoty rovnoběžného typu (malá protaženost sítě). Stojí za tím fakt, že tvar těchto sítí se ve studovaných územích často podobá čtverci – navzájem rovnoběžná údolí ústí do na ně kolmého údolí 1. řádu. Dendritická síť má díky svému stromovitému charakteru vějířovitý půdorys, podle očekávání tedy stojí ve srovnání zhruba uprostřed. Očekávání splnil i mřížovitý typ sítě stojící na posledním místě, neboť tyto typy jsou často výrazně protažené - ve srovnání s radiálním typem zhruba 2x více. Protažený charakter mřížovitých typů údolních sítí uvádí i Mejía a Niemann, (2008). Srovnání tento typ údolních sítí s pravouhlým typem a vysvětluje, že zlomové poruchy podmiňující vznik těchto typů sítí jsou u mřížovitého typu sítě výrazně delší.

Výsledky této charakteristiky u vybraných typů sítí v ČR jsou zcela odlišné oproti výsledkům ze světových lokalit. Je to dáno tím, že díky stejné rozloze jednotlivých sítí jsou i poměrně malé rozdíly mezi jejich tvary. Není zde tedy prostor k tomu, aby se projevily výrazně protažené sítě. I přesto vychází jako nejvíce protažený mřížovitý typ údolní sítě a jako nejméně protažený radiální typ.

7.5 Koeficient zaoblení sítě

$$R_C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Tento ukazatel (plocha údolní sítě dělená plochou kruhu stejného obvodu) je velice podobný charakteristice sítě, ale byl zařazen pro srovnání, jelikož vykazuje trochu jiné pořadí jednotlivých typů údolních sítí. Nezohledňuje ani tak protažení sítě, jako spíše podobnost kruhu – čím vyšší hodnoty, tím více se tvar sítě blíží kruhu. Hodnota 1 značí zcela pravidelný kruh. Jelikož tato charakteristika nepřikládá takovou váhu protažení sítě, pořadí je více logické. Sítě kruhové už ze své podstaty – radiální a prstencová (v tomto případě neovlivněná zploštěním „prstenců“) – spolu se stromovitou a rovnoběžnou nabývají nejvyšších hodnot. Vysoké hodnoty posledních dvou jmenovaných jsou vysvětleny v předchozím bodě. Jako nejméně kruhový se jeví pravouhlý typ sítě, nicméně rozdíl hodnot mezi ním a mřížovitým typem je nepatrný.

Z důvodů stejných jako u předchozí charakteristiky, jsou i výsledky koeficientu zaoblení vybraných údolních sítí v ČR poměrně jiné. Jelikož byl vybrán od každé sítě jen jeden typ, nelze je příliš konfrontovat s výsledky ze světových lokalit. Radiální typ údolní sítě nicméně také vychází jako nejvíce kruhovitý, stejně jako hned za ním stojící prstencový a stromovitý typ, ovšem s prohozeným pořadím oproti sítím ve světě.

8. Závěr

Tato práce si kladla za cíl vypracovat na základě rešerše odborné literatury přehled morfometrických charakteristik používaných pro analýzy údolních sítí. Tento cíl byl splněn a z druhého úkolu – porovnání vybraných charakteristik pro jednotlivé typy údolních sítí – vyplývají následující skutečnosti:

- Všechny typy studovaných údolních sítí mají vyšší počet údolí nižších řádů než počet údolí vyšších řádů. Mřížovité typy sítí mají nejvyšší **vážený bifurkační poměr**, jsou tedy ze všech typů údolních sítí nejvíce rozvětvené. Druhý nejvyšší poměr mají radiální typy sítí, jejich hodnota je ale poměrně zkreslena vysokým počtem údolí 1. řádu. Následují stromovitý, prstencový a pravoúhlý typ. Nejméně rozvětvené jsou rovnoběžné typy sítí.
- Všechny typy studovaných údolních sítí mají průměrně delší údolí nižších řádů než údolí vyšších řádů. Nejvyšších hodnot **průměrného poměru délek** dosahují stromovité typy sítí následované mřížovitými. Ostatní čtyři typy sítí dosahují zhruba poloviční hodnot oproti stromovitému typu (mají oproti prvním dvěma jmenovaným výrazně vyšší délky údolí nižších řádů než délky údolí vyšších řádů).
- Nejvíce hustou síť mají stromovité a mřížovité typy sítí. Rovnoběžné typy mají také vysokou **hustotu sítě**, ale tento ukazatel pokrytí sítě údolími je (vzhledem k dlouhým údolím 1. řádu) pro tento typ poměrně zkreslený. Nejmenší hustotu sítě mají prstencové (cca poloviční oproti stromovitému typu) a radiální typy sítí (cca třetinovou).
- Nejvyšších hodnot **textury sítě** dosahují stromovité a mřížovité typy údolní sítě, prstencové zhruba polovičních oproti prvně jmenovanému a radiální zhruba třetinových. Výsledky jsou velice podobné hustotě sítě, jediným významným rozdílem jsou hodnoty rovnoběžného typu, který pro svou nízkou rozvětvenost dosahuje hodnot srovnatelných s prstencovým typem. Textura sítě je pro rovnoběžný typ údolní sítě reprezentativnějším ukazatelem.
- Dle ukazatele protaženosti sítě – **charakteristiky sítě** – jsou nejvíce protažené mřížovité, pravoúhlé a prstencové typy sítí. Výsledky posledně jmenovaného typu jsou ale poměrně zkreslené zploštěním „prstenců“ studovaných sítí. Stejně tak výsledky rovnoběžného typu (2. nejméně protažené) jsou zkresleny čtverci podobnými plochami studovaných sítí. Radiální typy údolních sítí jsou protažené nejméně.
- Dle ukazatele kruhovitosti sítě - **koeficientu zaoblení** – jsou nejvíce kruhové radiální a prstencové typy údolních sítí. Rovnoběžné typy jsou třetí v pořadí, jejich hodnoty jsou ale zkresleny – viz. předchozí bod. Nejméně kruhové jsou pravoúhlé a mřížovité typy údolních sítí.

Dalo by se shrnout, že stromovité a mřížovité typy údolních sítí dosahují nejvyšších hodnot bifurkačního poměru, poměru délek, hustoty sítě a textury sítě. Prstencové a radiální typy údolních sítí dosahují nejnižších hodnot poměru délek, hustoty a textury sítě a nejvyšších hodnot koeficientu zaoblení sítě.

Výsledky morfometrických charakteristik vybraných typů údolních sítí v České republice se poměrně liší, což je způsobeno nereprezentativním vzorkem hodnocených sítí. V budoucnu by bylo vhodné použít pro morfometrickou analýzu údolních sítí na území ČR pravidelnou hodnotící síť ve vhodném měřítku, stanoveném na základě přihlédnutí k ploše území, ploše geomorfologických jednotek a délce vodních toků. Takovou sítí může být například fraktální buněčný model, viz. Kusák (2013).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ALTAF, F., MERAJ, G., ROMSHOO, S. A. : (2013): Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. Hindawi Publishing Corporation Geography Journal, Article ID 178021, 14 s.
- BABAR, M. A. (2005): Hydrogeomorphology: Fundamentals, Application, Techniques. New India Publishing Agency, New Delhi, 248 s.
- BALATKA, B. (1965a): České středohoří. In DEMEK, J. et. al.: Geomorfologie Českých zemí. Československá akademie věd, Praha, s. 79 – 86.
- BALATKA, B. (1965b): Jizerské hory. In DEMEK, J. et. al.: Geomorfologie Českých zemí. Československá akademie věd, Praha, s. 94 – 96.
- BALATKA, B. (1965c): Pražská plošina. In DEMEK, J. et. al.: Geomorfologie Českých zemí. Československá akademie věd, Praha, s. 161 – 172.
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BALI, R., AGARWAL, K. K., ALI, S., RASTOGI, K. (2012): Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. Environmental Earth Science, 66, s. 1163–1174.
- BERTRAND, S. , STERKEN, M., RAMIREZ, V., BATIST, LEPOINT, M., FAGEL, N. (2010): Bulk organic geochemistry of sediments from Puyehue Lake and its watershed (Chile, 40°S): Implications for paleoenvironmental reconstructions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 294, s. 56–71.
- BOSE, A. S. Ch, SRIDHAR, P., GIRIDHAR, M.V.S. S., VISWANADH, G.K. (2012): Morphometric Analysis at Miniwatershed Level using GIS. International Journal of Civil Engineering Research, 3, s. 157-171.
- BRIERLEY, G. J., FRYIRS, K. A. (2005): Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. Blackwell, Oxford, 398 s.
- BRIDGE, J. S. (2003): Rivers and Floodplains, Forms, Processes, and Sedimentary Record. Blackwell, Malden, 491 s.
- BURR, M., DRUMMOND, S. A., CARTWRIGHT, R., BLACK, B. A., PERRON, J. T. (2013): Morphology of fluvial networks on Titan: Evidence for structural control. Icarus, 226, s. 742-759.
- BUZEK, L. (1979): Metody v geomorfologii. Pedagogická fakulta, Ostrava, 155 s.
- DEMEK, J. (1965): Českomoravská vrchovina. In DEMEK, J. et. al.: Geomorfologie Českých zemí. Československá akademie věd, Praha, s. 23 – 37.
- DEMEK, J. (1965b): Vizovická vrchovina. In DEMEK, J. et. al.: Geomorfologie Českých zemí. Československá akademie věd, Praha, s. 269 – 272.
- DEMEK, J. (1987a): Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.

- DEMEK, J. (1987b): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.
- DEMOULIN, A., ALTIN, T. B., A. BECKERS, A. (2013): Morphometric age estimate of the last phase of accelerated uplift in the Kazdag area (Biga Peninsula, NW Turkey). *Tectonophysics*, 608, s. 1380–1393.
- DODDS, P. S., ROTHMAN, D. H. (2000): Scaling, universality and geomorphology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28, s. 571–610 s.
- FANIRAN, A. (1968): The Index of Drainage Intensity - A Provisional New Drainage Factor. *Australian Journal of Science*, 31, s. 328-330.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1968): *The encyclopedia of geomorphology*. Reinhold, New York, 1295 s.
- GHIMIRE, M. (2013): Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. *Geomorphology*, 204, s. 192-207.
- GLASCOCK, M., KUZMIN, Y. V., GREBENNIKOV, A. V., POPOV, V. K., MEDVEDEV, V., SHEWKOMUD, I., ZAITSEV, N. (2011): Obsidian provenance for prehistoric complexes in the Amur River basin (Russian Far East). *Journal of Archaeological Science*, 38, s. 1832-1841.
- GOUDIE, A. et al. (1990): *Geomorphological techniques*. Unwin Hyman, London, 570 s.
- GOUDIE, A. S. (2004a): Alas. In GOUDIE, A. S. (ed.) et al.: *Encyclopedia of geomorphology*. Routledge, London, s. 13.
- GOUDIE, A. S. (2004b): Valley. In GOUDIE, A. S. (ed.) et al.: *Encyclopedia of geomorphology*. Routledge, London, s. 1089–1090.
- HACK, J. T. (1957): *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 294-B, s 45-97.
- HORTON, R. E. (1932): Drainage basin characteristics. *Transactions of American Geophysical Union*, 13, s. 350-361.
- HORTON, R. E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, s. 275-370.
- HOWARD, A. D. (1967): Drainage analysis in geological interpretation: A summation. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, 51, s. 2246-2259.
- HUGGET, R. J. (2007): *Fundamentals of geomorphology*. Routledge, New York, 458 s.
- CHADHA, D.K., NEUPANE B. R. (2011): Significance of Geomorphic Analysis of Watershed for Optimization of Recharge Structures. *UNESCO - Global Hydrogeological Solutions*, New Delhi, 101 s.
- CHLUPÁČ, I. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 s.
- JAVED, A., KHANDAY, M., RAIS, S. (2011): Watershed Prioritization Using Morphometric and Land Use/Land Cover Parameters: A Remote Sensing and GIS Based Approach. *Journal Geological Society of India*, 78, s. 63-75.
- KHADRI, S. F. R., PANDE, Ch, B. (2014): Morphometric analysis of mahesh river basin exposed in Akola and Buldhana districts, Maharashtra, India using remote sensing & gis techniques. *Golden Research Thoughts*, 3, 21 s.

- KŘÍŽEK, M., KUSÁK, M. (2014): Variability of the Morphometric Characteristics of Valley Networks Caused by Variations in a Scale. *AUC Geographica*, 1, s. 33 – 42.
- KUNSKÝ, J. (1935): *Geomorfologie*. Studentská tiskárna, Praha, 112 s.
- KUNSKÝ, J. (1968): *Fyzický zeměpis Československa*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 537 s.
- KUSÁK, M. (2013): *Morfologické charakteristiky údolní sítě povodí Modrého Nilu v Etiopské vysočině*. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze. 78 s.
- LLORET, C. DESSERT, J. GAILLARDET, P. ALBÉRIC, O. CRISPI, C. CHADUTEAU, M.F. BENEDETTI (2011): Comparison of dissolved inorganic and organic carbon yields and fluxes in the watersheds of tropical volcanic islands, examples from Guadeloupe (French West Indies). *Chemical Geology*, 280, s. 65–78.
- MAHADEVAIAH, T., NARENDRA, B. K. (2014): Prioritizing Subwatersheds from Drainage Morphometric Parameters for Erosion Studies in Chitravathi Watershed, Chickballapur District, Karnataka. *Nature Environment and Pollution Technology*, 13, s. 297-302.
- MANU, M. S., ANIRUDHAN, S. (2008): Drainage Characteristics of Achankovil River Basin, Kerala. *Journal Geological Society of India*, 71, s. 841-850.
- MCKNIGHT, T. L. (1999): *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 604 s.
- MILLER, V. C. (1953): A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area, Virginia and Tennessee. Department of Geology, Columbia University, 51 s.
- MEJÍA, A. I., NIEMANN, J. D. (2008): Identification and characterization of dendritic, parallel, pinnate, rectangular, and trellis networks based on deviations from planform self-similarity. *Journal of Geophysical Research*, 113.
- MONROE, J. S., WICANDER, R., HAZLETT, R. (2007): *Physical Geology: Exploring the Earth*, Thomson Books/Cole, Belmont, 690 s.
- NETOPIL, R. et al. (1984): *Fyzická geografie I*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 272 s.
- PANHALKAR, S.S., MALI S.P., PAWAR C.T. (2012): Morphometric analysis and watershed development prioritization of Hiranyakeshi Basin in Maharashtra, India. *International Journal of Environmental Sciences*, 3.
- PANOŠ, O., ŠTECL, O. (1965): Žitavská a Liberecká kotlina. In DEMEK, J. et. al.: *Geomorfologie Českých zemí*. Československá akademie věd, Praha, s. 91 – 93.
- PARVEEN, R., KUMAR, U., SINGH, V. K. (2012): Geomorphometric Characterization of Upper South Koel Basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. *Journal of Water Resource and Protection*, 4, s. 1042-1050.
- RAMAIAH, S. N., GOPALKRISHNA, G. S., VITTALA, S. S., NAJEEB, K. Md. (2012): Morphometric Analysis of Sub-basins in and Around Malur Taluk, Kolar District, Karnataka Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Nature Environment and Pollution Technology*, 11, s. 89-94.

- RIBOLINI, A., SPAGNOLO, M. (2008): Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French–Italian Alps). *Geomorphology*, 93, s. 253–266.
- RITTER, D. F., KOCHEL, R. C., MILLER, J. R. (2011): *Process Geomorphology*. Waveland Press, Long Grove, 652 s.
- REKHA, V. B., GEORGE, A.V., RITA, M. (2011): Morphometric Analysis and Micro-watershed Prioritization of Peruvanthanam Sub-watershed, the Manimala River Basin, Kerala, South India. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*, 3, s. 6 – 14 .
- SCHUMM, S.A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67, s. 597-646.
- SMALL, R. J. (1970): *The Study of Landforms: A Textbook of Geomorphology*. Cambridge University Press, Cambridge, 486 s.
- SMART, J. S., SURKAN, A. J. (1967): The relation between mainstream length and area in drainage basins. *Water Resources Research*, 3, s. 963-974.
- STEHLÍK, O. (1965): Vsetínské vrchy. In DEMEK, J. et. al.: *Geomorfologie Českých zemí*. Československá akademie věd, Praha, s. 262 – 265.
- STRAHLER, A.N. (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysical Union*, 38, s. 913-920.
- STRAHLER, A. N. (2011): *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York, 575 s.
- SUMMERFIELD, M. A. (1997): *Global Geomorphology*. Longman, Harlow, 537 s.
- TAMANG, D., DHAKAL, D., SHRESTHA, DG., SHARMA, N. (2012): Morphometric analysis and prioritization of miniwatersheds in Rongli watershed, Sikkim (India) using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Fundamental & Applied Sciences*, 1, s. 61-66.
- THOMAS, J., JOSEPH, S., THRIVIKRAMAJI, K.P. (2010): Morphometric aspects of a small tropical mountain river system, the southern Western Ghats, India. *International Journal of Digital Earth*, 3, s. 135- 156.
- VERSTAPPEN, H. Th. (1983): *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Elsevier, Amsterdam, 437 s.
- WILSON, J.S., CHANDRASEKAR, N., MAGESH, N.S. (2012): Morphometric Analysis of Major SubWatersheds in Aiyar & Karai Pottanar Basin, Central Tamil Nadu, India Using Remote Sensing & GIS Techniques. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 2.
- ZĂVOIANU , I., HERIȘANU, G., CRUCERU, N. (2009): Classification système for the hydrographical network. *Forum Geografic*, 8, s. 58–63.

OSTATNÍ ZDROJE

ArcČR500 1 : 500 000. ARCDATA PRAHA, s.r.o., Praha, 1998, Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha, 1996.

Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Ver. 2.0. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 2006.

Geologická a geomorfologická mapa. Ver. 1.3.0. CENIA, Česká informační agentura životního prostředí, Praha, 2011.

Geologické a geovědní mapy [online]. Provozovatel stránek Pavel Bokr. [cit. 2014-8-3].

Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/>