

Vplyv reliéfu na zrážkové pomery Bratislavy

Bc. Samuel Bacák, Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta

Abstract

Thesis investigates the influence of orography on spread of atmospheric precipitation on the area of Bratislava. On the basis of data from 14 rain gauge stations of Slovak Hydrometeorological Institute, from Bratislava and surroundings, were the individual stations compared relating to height above sea-level, and adherence to geomorphological units, from 2000-2017. In the results of thesis we analyzed the influence of relief on total precipitation in Bratislava. We focused mainly on the mentioned height above sea-level, computed pluviometric gradient for each stations. We further analyzed the spatial distribution of precipitation in terms of geomorphological division of Bratislava territory. At the end we summarized and evaluated achievable results.

Key words: atmospheric precipitation, Bratislava, relief, height above sea-level

Úvod

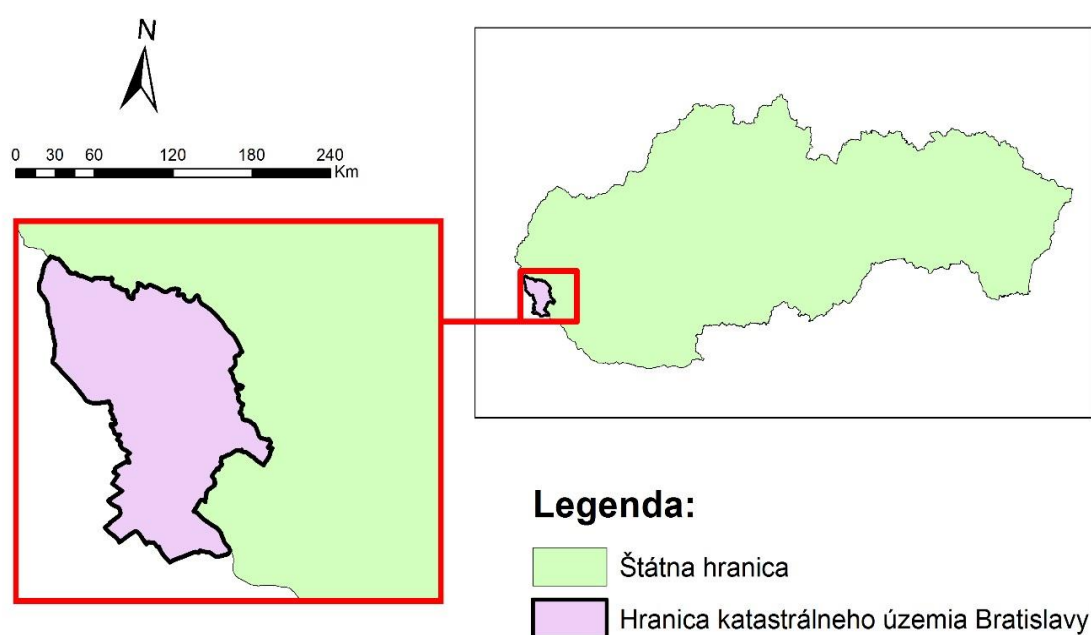
Počasie na našom území ovplyvňuje, tak ako na rôznych iných miestach na svete množstvo činiteľov. Napríklad od tlakových útvarov až po jeden veľký fenomén, a tým je zemský povrch. Ten dokáže pôsobiť na rôzne meteorologické prvky, predovšetkým na tie asi najsledovanejšie, a tými sú teplota a atmosférické zrážky. Zrážky sa tak stali sledovaným meteorologickým prvkom aj v našom prípade. Zo všetkých druhov zrážok druhov zrážok sú najznámejšími a najdôležitejšími dážď a sneh (Chromov 1968). Vplyv georeliéfu na zrážkové úhrny je predmetom výskumu v našej práci. Bratislava leží na okraji hrebeňa Malých Karpát, ktorý prebieha od juhozápadu smerom k severovýchodu (Konček 1979). Keďže územie Bratislavy je veľmi členité, dajú sa tu veľmi významne vykonávať pozorovania akurát tohto typu.

Zamerali sme sa najmä na vplyv nadmorskej výšky, keďže nadmorská výška (výška v metroch nad strednou hladinou svetového oceánu [m n. m.] je základnou morfometrickou veličinou (Minár, Machová 2010). Ďalej sme sa zamerali na vplyv geomorfologických celkov

zasahujúcich do katastrálneho územia Bratislavy. Naším sledovaným obdobím bolo obdobie rokov 2000 – 2017.

1 Metodika

Na začiatku sme si vyčlenili záujmové územie. Šlo teda o katastrálne územie Bratislavy.



Autor: Samuel Bacák, 3ZEKP

Zdroj: Atlas krajiny SR © Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica 2002

Obr. 1: Poloha katastrálneho územia Bratislavy na území Slovenska

Mapa katastrálneho územia Bratislavy bola vytvorená v programe ArcGIS.

Pre overenie vplyvov georeliéfu na zrážkové úhrny na území Bratislavy a v jej blízkom okolí, čo bolo hlavnou náplňou našej práce sme v prvom kroku formou žiadosti získali údaje zo zrážkomerných staníc zo SHMÚ. Konkrétne šlo o mesačné úhrny zrážok za obdobie rokov 2000 – 2017. Vzhľadom na chýbajúce údaje v niektorých staniciach, či už niektorých mesiacov alebo rokov, sme počet staníc zredukovali na 14. Na troch z nich sme mali taktiež neúplné obdobie, ale použili sme ich, ako aj ostatné z dôvodu ich reprezentatívnej polohy. Využili sme teda údaje z nasledovných staníc: Most pri Bratislave, Bratislava – letisko, Bratislava – Jarovce,

Bratislava – Devínska Nová Ves, Pezinok, Pezinok – Myslenice, Svätý Jur, Stupava, Stupava – Bezručova, Bratislava – Mudroňová ulica, Bratislava – Mlynská dolina, Borinka, Bratislava – Koliba a Malý Javorník. Tieto dáta boli počas celého výskumu spracovávané v programe Excel.

Pri analýze vplyvu nadmorskej výšky na zrážkové úhrny sme po vytvorení tabuľky priemerných ročných zrážkových úhrnov na jednotlivých staniciach a nadmorskej výšky k nim prislúchajúcej tieto dáta porovnali.

Tab. 1: Priemerné ročné zrážkové úhrny priliehajúce k nadmorskej výške jednotlivých zrážkomerných staníc za obdobie rokov 2000 – 2017 (zdroj: SHMÚ)

Zrážkomerná stanica	Nadmorská výška stanice (m n. m.)	Priemerný ročný úhrn (mm)
Most pri Bratislave	131	587,8
Bratislava - letisko	132	565,2
Bratislava - Jarovce	136	553,9
Bratislava - Devínska Nová Ves*	140	608,9
Pezinok - Myslenice	141	565,3
Svätý Jur	144	690,5
Pezinok	163	642,5
Stupava, Bezručova	175	660,4
Stupava*	179	625,8
Bratislava - Mlynská dolina	182	675,8
Bratislava - Mudroňová ulica**	205	641,6
Borinka	226	789,8
Bratislava - Koliba	286	700,9
Malý Javorník	586	795,4

* - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2010

** - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2008

Následne sme overili závislosť priemerných ročných úhrnov od nadmorskej výšky staníc, a to štatistickou metódou – lineárnou regresiou, kde sme určili koeficient determinácie r^2 v %, ktorý hovorí o tom, ako je táto závislosť silná, čiže slabá ($r^2 < 25$ %), stredne silná ($25 \leq r^2 < 49$ %) a silná ($r^2 \geq 49$ %) (Nováková 2012). Túto závislosť sme overili rovnakým postupom aj pre o čosi menší počet staníc. Vylúčili sme stanice, u ktorých sme predpokladali, že ležia buď v náveternej alebo záveternej polohe.

Prírastok zrážkového úhrnu pri zmene nadmorskej výšky o 100m nám predstavuje hodnota pluviometrického gradientu (Trizna 2004, s. 73). Na jej vyjadrenie sme najskôr použili vzťah podľa Gregora, aplikovaný pre polohy do 650m n. m., keďže aj naše stanice ležali maximálne vo výške 586m n. m. Vzorec gregorovej závislosti vyzerá nasledovne:

$$H_Z = \frac{1}{2}H_A + 560, \text{ kde}$$

H_Z je úhrn zrážok a H_A je nadmorská výška stanice.

Zrážkový gradient sme vypočítali aj ďalšími dvoma spôsobmi, kde sme pri prvom za pomoci lineárnej regresie v grafe v programe Excel odvodili závislosť zrážkových úhrnov od nadmorskej výšky. Odvodili sme teda vzťah pre naše sledované obdobie a pre naše stanice, ktorý vyzeral takto:

$$H_Z = 0,4662H_A + 556,16, \text{ kde}$$

H_Z je opäť úhrn zrážok a H_A je nadmorská výška stanice.

Druhým spôsobom výpočtu tohto gradientu bol vzťah, ktorý využil Trizna. Tento vzťah odvodil taktiež pomocou lineárnej regresie pre merania za obdobie 1951 – 1980 pre územie Slovenska, ale tiež vylúčením staníc, u ktorých sa dal predpokladať efekt náveternosti alebo záveternosti. Po následnom rozdelení súboru staníc podľa Gregora do 650m n. m. sme dostali nasledovný vzťah (Trizna 2004, s. 73):

$$H_Z = 0,6265H_A + 514,04$$

Vyjadрили sme taktiež rozdiely medzi oboma spôsobmi výpočtov a reálnymi úhrnmi zrážok. Výsledky výpočtov pluviometrického gradientu a ich porovnanie je znázornené v tabuľkách 2 a 3.

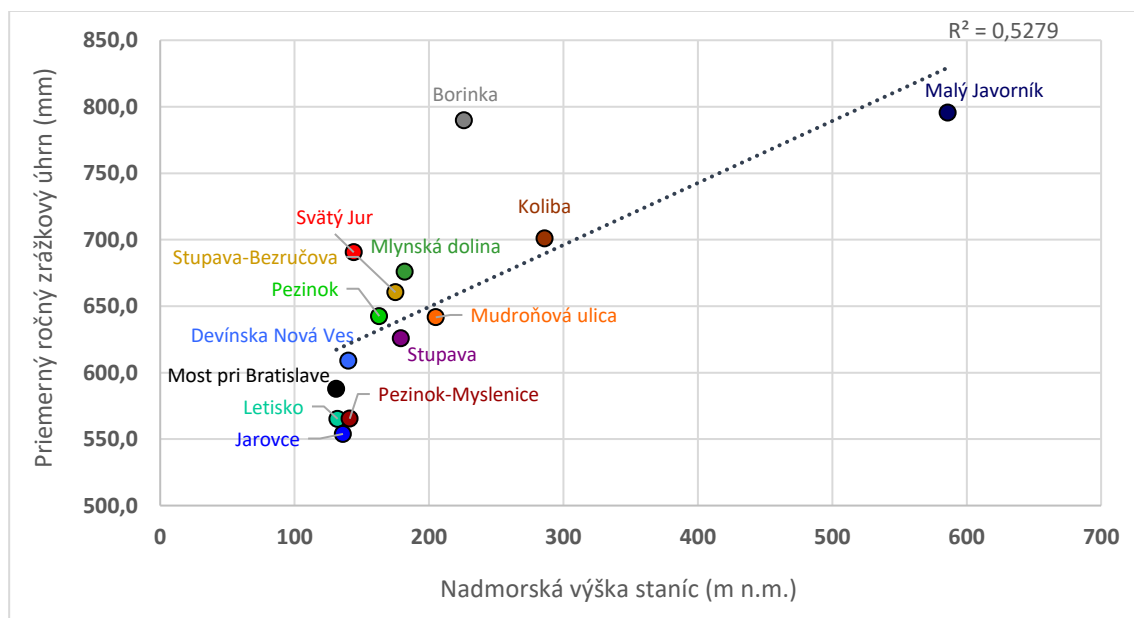
V ďalšom postupe práce sme porovnávali údaje na základe geomorfologického členenia katastrálneho územia Bratislavy, teda na základe polohy staníc v jednotlivých geomorfologických celkoch.

Na záver sme všetky výsledky práce vyhodnotili.

2 Výsledky práce

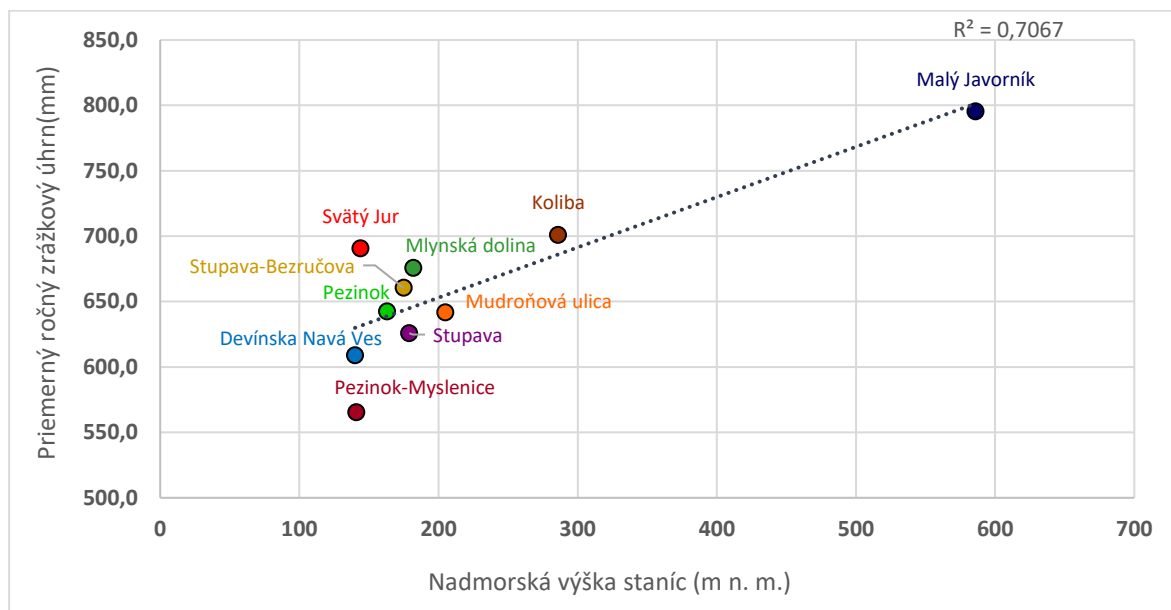
2.1 Vplyv nadmorskej výšky na rozloženie zrážok na území Bratislavy

Závislosť spomínaného priemerného ročného úhrnu od nadmorskej výšky staníc je znázornená aj na obrázku 2. Podľa výpočtu koeficientu determinácie r^2 sme zistili zrážkové úhrny sú od nadmorskej výšky závislé na 53 %. Ukázalo sa nám to pri priemernom ročnom úhrne na staniciach. Klasifikovali sme to teda ako silnú lineárnu závislosť, keďže táto hodnota sa nachádza v intervale $r^2 \geq 49$ (Nováková 2012, s. 59), aj keď sa nachádza blízko spodnej hranice tohto intervalu. Zvyšných 47 % nám mohlo predstavovať pôsobenie iných faktorov na úhrny, napr. krátkodobé intenzívne zrážky, ktoré sa mohli vyskytnúť na niektorých staniciach či rôzne iné poveternostné situácie, ktoré prevládali v danom časovom okamihu.



Obr. 2 Závislosť priemerných ročných úhrnov zrážok od nadmorskej výšky jednotlivých staníc

Túto väzbu medzi priemernými ročnými úhrnmi a nadmorskou výškou sme overili aj vyselektovaním staníc, u ktorých sa dalo predpokladať, že ležia buď v náveternej alebo záveternej polohe vzhľadom na pohorie Malé Karpaty a na prevládajúce severozápadné prúdenie. Tento vzťah je znázornený na obrázku 3.



Obr. 3 Závislosť priemerných ročných úhrnov zrážok od nadmorskej výšky staníc, zachovaných po vytriedení

Po vylúčení staníc na Podunajskej nížine ležiace čím ďalej od pohoria Malé Karpaty, čiže Bratislava – letisko, Bratislava – Jarovce, Most pri Bratislave a stanice Borinka, ktorá leží na náveternej strane Malých Karpát, a po výpočte koeficientu determinácie r^2 dostali 71 – percentnú závislosť priemerných ročných zrážkových úhrnov od nadmorskej výšky. Klasifikovali sme ju podľa Novákovej opäť ako silnú lineárnu závislosť. Oproti predchádzajúcemu výpočtu, kde sme použili všetky stanice to bol nárast o takmer 20 %. Tento výsledok nám výrazne svedčí aj o tom, že na zrážkové úhrny pôsobí nadmorská výška síce dosť výrazne, ale veľakrát ich ovplyvňuje aj náveterný alebo záveterný efekt.

Pluviometrický gradient

Prírastok zrážkových úhrnov s rastúcou nadmorskou výškou vyjadrujeme pomocou hodnoty zrážkového (pluviometrického gradientu), ktorý predstavuje nárast zrážkových úhrnov pri zmene nadmorskej výšky o 100m (Trizna 2004, s. 73). Ročný úhrn zrážok vzhľadom k nadmorskej výške vypočítaný pomocou vzťahu podľa Gregora, aplikovaný pre polohy do 650 m n. m., nám ukázal, že pri náraste nadmorskej výšky o 100 m pribudol ročný zrážkový úhrn o 50 mm. Všetky tieto hodnoty patriace k jednotlivým staniciam sme porovnali s reálne nameranými hodnotami. Tie hodnoty, ktoré sa najviac približovali k tým nameraným sme zvýraznili.

Tab. 2: Porovnanie zrážkového gradientu podľa Gregorovej závislosti s nameranými hodnotami v staniciach za obdobie rokov 2000 – 2017

Zrážkomerná stanica	Nadmorská výška stanice (m n. m.)	Priemerný ročný úhrn (mm)	Ročný úhrn zrážok podľa Gregora (mm)	Rozdiel (mm)
Most pri Bratislave	131	587,8	625,5	-37,7
Bratislava - letisko	132	565,2	626	-60,8
Bratislava - Jarovce	136	553,9	628	-74,1
Bratislava - Devínska Nová Ves*	140	608,9	630	-21,1
Pezinok - Myslenice	141	565,3	630,5	-65,2
Svätý Jur	144	690,5	632	58,5
Pezinok	163	642,5	641,5	1
Stupava, Bezručova	175	660,4	647,5	12,9
Stupava*	179	625,8	649,5	-23,7
Bratislava - Mlynská dolina	182	675,8	651	24,8
Bratislava - Mudroňová ulica**	205	641,6	662,5	-20,9
Borinka	226	789,8	673	116,8
Bratislava - Koliba	286	700,9	703	-2,1
Malý Javorník	586	795,4	853	-57,6

* - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2010

** - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2008

Celkovo sa nám takmer zhodovali len hodnoty na troch staniciach. Kladný rozdiel medzi nameranými hodnotami a gregorovými hodnotami reprezentuje červená farba a záporný modrá. Vyšší priemerný ročný úhrn ako mal Gregorov zrážkový gradient mali stanice Bratislava – Mlynská dolina, Svätý Jur a Borinka, ktorá mala priemerný ročný úhrn vyšší o viac ako 100 mm. Stanice Malý Javorník, Bratislava – letisko, Bratislava – Jarovce, Pezinok – Myslenice a Most pri Bratislave mali naopak nižšie úhrny ako by podľa Gregora mali mať. Nižšie úhrny mali aj stanice Bratislava – Devínska Nová Ves a Stupava, pri ktorých sme pozorovali len obdobie 2000 – 2010. Bratislava – Mudroňová ulica mala taktiež nižšie úhrny, ale pri nej bolo brané do úvahy len obdobie 2000 – 2008, pričom nám tu chýbal napríklad rok 2010, v ktorom spadlo veľa zrážok na takmer na celom území Slovenska.

Ročný úhrn zrážok vzhľadom na nadmorskú výšku sme vypočítali aj ďalšími spôsobmi. Využili sme lineárnu regresiu, pomocou ktorej sme odvodili závislosť priemerného ročného úhrnu zrážok od nadmorskej výšky. Pre výpočet spomínaného ročného úhrnu sme využili neskôr aj odvodený vzorec pre stanice na území Slovenska s údajmi za obdobie rokov 1951 - 1980, ktorý použil Trizna vo svojej práci (Trizna, 2004, s. 73). Obe využité vzťahy sme porovnali v tabuľke 7 s reálne nameranými hodnotami.

Tab. 3: Porovnanie jednotlivých zrážkových gradientov s reálne nameranými hodnotami za obdobie rokov 2000 - 2017

Zrážkomerná stanica	Nadmorská výška stanice (m n. m.)	Priemerný ročný úhrn (mm)	Potenciálny ročný úhrn zrážok (mm)	Rozdiel (mm)	Trizna	Rozdiel (mm)
Most pri Bratislave	131	588	617	-29	596	-8
Bratislava - letisko	132	565	618	-53	597	-32
Bratislava - Jarovce	136	554	620	-66	599	-45
Bratislava - Devínska Nová Ves*	140	609	621	-13	602	7
Pezinok - Myslenice	141	565	622	-57	602	-37
Svätý Jur	144	691	623	67	604	86
Pezinok	163	643	632	10	616	26
Stupava, Bezručova	175	660	638	23	624	37
Stupava*	179	626	640	-14	626	0
Bratislava - Mlynská dolina	182	676	641	35	628	48
Bratislava - Mudroňová ulica**	205	642	652	-10	642	-1
Borinka	226	790	662	128	656	134
Bratislava - Koliba	286	701	690	11	693	8
Malý Javorník	586	795	829	-34	881	-86

* - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2010

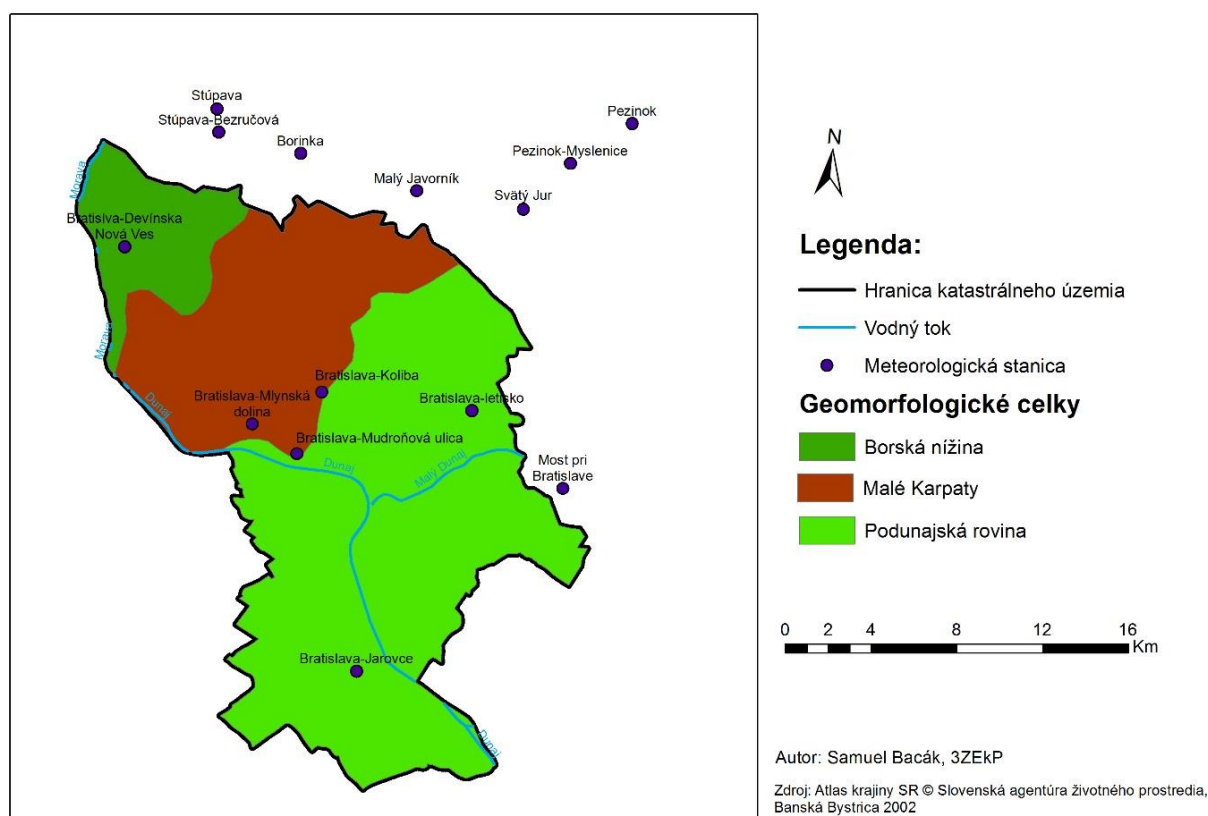
** - stanica s údajmi za obdobie rokov 2000 – 2008

V tabuľke 7 je znázornený zrážkový gradient pre jednotlivé stanice, ktorý sme získali vzťahom odvodeným na základe lineárnej regresie pre naše stanice a taktiež pre naše sledované obdobie. Pomenovali sme ho ako Potenciálny ročný úhrn zrážok. V tabuľke sú zobrazené a tiež porovnané výsledky gradientov, vypočítané podľa vzťahu, ktorý odvodil Trizna pre územie Slovenska a za obdobie 1951 – 1980, pričom vylúčil stanice, u ktorých sa dal predpokladať

efekt náveternosti alebo záveternosti. Opäť bol tento vzťah využitý pre polohy do 650 m n. m. Zvýraznené sú v oboch prípadoch hodnoty, ktoré sa najviac približovali tým reálnym, pričom sme brali do úvahy odchýlku maximálne 15 mm. Po oboch výpočtoch sa nám približovalo 5 hodnôt, čo je o 2 hodnoty viac ako to bolo pri gregorovom gradiente.

2.2 Priestorové rozloženie zrážok z hľadiska geomorfologického členenia územia Bratislavy

Stanice boli rozmiestnené vo všetkých geomorfologických celkoch na území Bratislavy aj mimo nej. Priemerný ročný zrážkový úhrn každej stanice sme priradili k celku, v ktorom ležala. Tieto údaje sme opäť vzájomne porovnali na základe tejto príslušnosti. Rozmiestnenie zrážkomerných staníc, z ktorých hodnoty sme porovnávali je možné vidieť na obrázku č. 4.



Obr. 4 Geomorfologické celky zasahujúce do katastrálneho územia Bratislavy s rozmiestnením zrážkomerných staníc

Z priemerných ročných zrážok, ktoré môžeme vidieť aj v tabuľke 1 a na základe geomorfologického členenia na obrázku 4, nám vyplynulo, že najnižšie úhrny mala väčšina staníc na Podunajskej rovine. Aj keď tieto stanice ležali v nízkych nadmorských výškach, výrazné záporné odchýlky (čiže chýbajúce zrážky) mali aj v zrážkových gradientoch, ktoré sme predošle vypočítali v našej práci (viď tabuľka 6 a 7). Spôsobené to mohlo byť najmä faktom, že Podunajská nížina leží v záveternej polohe Malých Karpát, keďže v oblasti Bratislavy prevláda severozápadné prúdenie (Šamaj, Valovič 1979, s.160). Zaujímavé je aj porovnanie staníc v rámci Malých Karpát. Borinka mala oproti ostatným vyšší sledovaný úhrn okrem Malého Javorníku, ktorý mal výšku o 300 m n. m. viac ako Borinka. Napriek tomuto výškovému rozdielu bol rozdiel v priemerných ročných zrážkach minimálny. Zapríčinené to mohlo byť pravdepodobne polohou Borinky v náveternej časti pohoria Malé Karpaty.

Záver

Pri overovaní vplyvu nadmorskej výšky ako jednej zo základných parametrov georeliéfu, sme zistili, že priemerných ročných zrážok bolo s narastajúcou výškou viac, ako sme aj pôvodne predpokladali. Na základe lineárnej regresie sme zistili, že zrážky sú od nadmorskej výšky silne závislé, a to na 53 %. Potvrdilo sa nám to pri priemerných ročných úhrnoch za obdobie rokov 2000 – 2017. Isté stanice nám aj napriek tomu pri prvom experimente vykazovali značné odchýlky. V ďalšom experimente sme vylúčili niektoré stanice, u ktorých sme predpokladali náveternú alebo záveternú polohu vzhľadom na Malé Karpaty, pričom z Podunajskej nížiny sme vyradili tie, ktoré ležali čím ďalej od pohoria. Dostali sme tak ešte vyššiu lineárnu závislosť a to 71 %. Z uvedených výsledkov nám vyplynulo, že priemerné ročné zrážky síce dosť významne záviseli od výšky nad hladinou mora, ale do istej miery na to vplývala aj poloha staníc voči pohoriu, teda či ležali na náveternej alebo záveternej strane.

Na výpočet pluviometrického gradientu sme využili vzťah podľa Gregora, ktorý nám ukázal, že pri náraste nadmorskej výšky o 100 m stúpa ročný úhrn zrážok o 50 mm. Pri porovnaní výpočtu s reálnymi úhrnmi sa nám približovali celkovo tri hodnoty. Zrážkový gradient sme určili takisto ďalšími dvoma spôsobmi, kde pri prvom sme pomocou lineárnej regresie odvodili vzťah, platný pre naše stanice a pre naše obdobie, a druhý vzorec, ktorý využil Trizna. Po porovnaní oboch spôsobov so skutočne nameranými údajmi sa približovalo už päť hodnôt, čo je o dve viac ako pri Gregorovom vzťahu. Z hľadiska rozdielov medzi nameranými

zrážkami a všetkými vypočítanými gradientmi, mali výraznejšie záporné rozdiely, teda zrážkový deficit väčšina staníc ležiacich na Podunajskej rovine.

Analyzovali sme aj priestorové rozloženie zrážok vzhľadom na geomorfologické členenie Bratislavy. Ukázalo sa nám, že v Podunajskej časti mesta bolo menej priemerných zrážok ako v ostatných častiach mesta, hlavne z dôvodu, že Podunajská nížina leží v záveternej polohe Malých Karpát pri prevládajúcom severozápadnom prúdení (Šamaj, Valovič 1979). Potvrdzuje nám to aj fakt, že pri predchádzajúcom skúmaní zrážkových gradientov, vykazovali tieto stanice zrážkový deficit. V rámci Malých Karpát ukázala zaujímavý rozdiel aj Borinka, ktorá mala v porovnaní hlavne s Kolibou a Malým Javorníkom výrazne vysoký úhrn, oproti Kolibe vyšší a oproti Malému Javorníku, ktorý leží najvyššie menší, ale s minimálnym rozdielom. Obe stanice ležali pritom vyššie. Opäť nám to napovedalo, že Borinka sa svojou polohou správala náveterne.

Z uvedených vplyvov reliéfu, teda z tých, ktoré sme brali do úvahy, nám značne vplývala nadmorská výška, ale popri tom sa významne podieľalo rozloženie geomorfologických celkov, najmä prítomnosť Malých Karpát, ktoré tvorili akúsi bariéru voči Podunajskej nížine pre prichádzajúce zrážky.

Zoznam použitej literatúry

Atlas krajiny SR © Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica 2002

CHROMOV, S. P. 1968. *Meteorológia a klimatológia*. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. 456 s.

KONČEK, M. 1979. Úvod. In: KONČEK, M. (zodp. red.). *Klíma a bioklíma Bratislavy*. Bratislava: Veda. S. 11-12.

MINÁR, J., MACHOVÁ, Z.: *Učebné texty z geomorfológie* [online]. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, 2010. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <http://fns.uniba.sk/Geomorfoskripta/>

NOVÁKOVÁ, G. 2012. *Štatistika pre geografov*. Bratislava: Geo-grafika. 147 s. ISBN 978-80-89317-19-6.

ŠAMAJ, F. & VALOVIČ, Š. 1979. Zrážkové pomery. In: KONČEK, M. (zodp. red.). *Klíma a bioklíma Bratislavy*. Bratislava: Veda. S. 159-177.

TRIZNA, M. 2012. *Klimageografia a hydrogeografia*. Bratislava: Geo-grafika. 144 s. ISBN 978-80-89317-20-2.