

ZBORNÍK VEDECKÝCH PRÍSPEVKOV

Z WORKSHOPU O PREDBEŽNÝCH VÝSLEDKOV RIEŠENIA
PROJEKTU ASFEU OP VÝSKUM A VÝVOJ:

VÝSKUM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY
NA DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH
VÔD V SR A VYTVORENIE EXPERTNÉHO GIS

27. – 28. MÁJ 2010, BANSKÁ ŠTIAVNICA

EDITOR: PETER MALÍK



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

ISBN 978-80-89343-32-4

ZBORNÍK VEDECKÝCH PRÍSPEVKOV

z workshopu o predbežných výsledkoch
riešenia projektu ASFEU OP Výskum a vývoj:

**VÝSKUM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA
DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD
V SR A VYTVORENIE EXPERTNÉHO GIS**

27. – 28. máj 2010

Banská Štiavnica

Editor: Peter MALÍK

© Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2010

ISBN 978-80-89343-32-4

OBSAH

PETER MALÍK

PROJEKT „VÝSKUM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD V SR A VYTvoreNIE EXPERTNÉHO GIS“ – ZAMERANIE A PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY RIEŠENIA.....	5
--	----------

PETER BAJTOŠ & PETER MALÍK

GIS PRÍRODNÝCH A VYUŽITELNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNEJ VODY AKO SÚČASŤ VÝSKUMU DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD V SR	8
--	----------

JAROMÍR ŠVASTA & PETER MALÍK

PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE PODMIENOK TVORBY ODTOKU A DOPLŇOVANIA PODZEMNÝCH VÔD NA ÚZEMÍ SLOVENSKA	25
---	-----------

MARTINA MORAVCOVÁ

REKONŠTRUKCIA PALEOEKOLOGICKÝCH A PALEOENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK NA ZÁKLADE STABILNÝCH IZOTOPOV	40
--	-----------

PETER BAJTOŠ

SÚČASNÉ POZNATKY O VPLYVE LESNATOSTI NA REŽIM ODTOKU A ICH VYUŽITIE V HYDROGEOLÓGII	53
--	-----------

MILOŠ GREGOR

VYUŽITIE MODULOV HYDROOFFICE 2010 NA ANALÝZU HYDROLOGICKÉHO SUCHA.....	58
---	-----------

BANSKÁ ŠTIAVNICA, 27. – 28. máj 2010

PROJEKT „VÝSKUM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD V SR A VYTVORENIE EXPERTNÉHO GIS“ – ZAMERANIE A PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY RIEŠENIA

Peter Malík ¹

¹ Oddelenie hydrogeológie a geotermálnej energie, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, peter.malik@geology.sk

Úvod

Cieľom projektu „Výskum dopadu klimatickej zmeny na dostupné množstvá podzemných vôd v SR a vytvorenie expertného GIS“ je vytvorenie expertného geografického informačného systému s prognózou vývoja využiteľných množstiev podzemných vôd pre scenáre klimatickej zmeny v mikroregiónoch. Cieľmi jeho jednotlivých aktivít sú: • Hodnotenie súčasného stavu podzemných vôd na Slovensku a inventarizácia výmerov množstiev podzemných vôd vystavených Ministerstvom životného prostredia SR; • Rešeršné spracovanie hodnotení stavu klímy v Strednej Európe a na území Slovenska a scenárov jeho vývoja podľa výsledkov IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change – Medzivládny panel pre klimatické zmeny), a spracovanie prác o klimatických pomeroch v Strednej Európe a na území Slovenska podľa výsledkov geologických výskumov; • Tvorba jednorozmerných a priestorových matematických modelov tvorby efektívnych zrážok a infiltračného vsakovania – tvorby podzemných vôd v rozličných klimatických situáciách; • Aplikácia matematických modelov s reálnymi dátami, ich verifikácia a spätná kalibrácia. • Zostavenie geografickej databázy výsledkov modelových riešení, zistených trendov a prognózovaných trendov zmien hladín a výdatností podzemných vôd pre hodnotené územie samosprávnych krajov a • Softvérové úpravy expertného geografického informačného systému o vplyve klimatických zmien na dostupné množstvá podzemnej vody v dotknutých samosprávnych krajinách Slovenska pre jeho zverejnenie, bez nutnosti inštalácie špeciálnych softvérov.



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ

Európsky fond regionálneho rozvoja – Operačný program výskum a vývoj
Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ
Projekt ASFEU / ŠGÚDŠ – ITMS 26220220002

V rokoch 2009 až 2012 bude Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) riešiť projekt „Výskum dopadu klimatickej zmeny na dostupné množstvá podzemných vôd v SR

a vytvorenie expertného GIS". Projekt je riešený na základe podpory Agentúry Ministerstva školstva SR pre štrukturálne fondy EÚ, s ITMS kódom projektu 26220220002.

CIELE PROJEKTU

Cieľom celého projektu je vytvorenie expertného geografického informačného systému s prognózou vývoja využiteľných množstiev podzemných vôd pre scenáre klimatickej zmeny v mikroregiónoch. Projekt bude zameraný na hodnotenie súčasného stavu podzemných vôd na Slovensku a inventarizácia výmerov množstiev podzemných vôd vystavených MŽP SR, rešeršné spracovanie hodnotení stavu klímy v Strednej Európe a na území Slovenska a scenárov jeho vývoja podľa výsledkov IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change), a spracovanie prác o klimatických pomeroch v Strednej Európe a na území Slovenska podľa výsledkov geologických výskumov. Následne majú byť v rámci projektu vytvorené modely tvorby efektívnych zrážok a infiltračného vsaku v rozličných klimatických situáciách. Tieto budú porovnávané s reálnymi dátami, verifikované a kalibrované. Na základe toho bude realizované zostavenie geografickej databázy modelových riešení, zistených trendov a prognózovaných trendov zmien hladín a výdatností podzemných vôd pre hodnotené územie samosprávnych krajov. Vo finálnej časti projektu budú vytvorené expertné geografické informačné systémy o vplyve klimatických zmien na dostupné množstvá podzemnej vody v dotknutých samosprávnych krajoch Slovenska, zverejniteľné na internete a prehliadateľné bez nutnosti inštalácie špeciálnych softvérov.

METODICKÉ PRÍSTUPY RIEŠENIA PROJEKTU

V prvej fáze riešenia sa vykoná spracovanie informačného prehľadu o súčasnom stave podzemných vôd na území Slovenskej republiky, o dostupných publikovaných materiáloch podávajúcich tieto hodnotenia, analýza spôsobu bilancovania množstiev podzemných vôd, návrhy na zmeny a doplnky v bilančných metódach. Bude realizovaná inventarizácia výmerov, stanovujúcich prírodné zdroje a využiteľné množstvá podzemných vôd, schválených Komisiou pre klasifikáciu zdrojov a zásob podzemných vôd MŽP SR (predtým Federálneho ministerstvá hospodárstvá ČSSR/ČaSFR), s dôrazom na dátum výpočtu, resp. stanovenia množstiev a ich spracovanie do databázy. V nadväznosti na to budú rešeršne spracované hodnotenia stavu klímy v Strednej Európe a na území Slovenska a scenárov jeho vývoja podľa výsledkov IPCC a extrahovanie dát relevantných pre formovanie sa množstiev podzemných vôd, ako aj rešeršné spracovanie prác o klimatických pomeroch v Strednej Európe a na území Slovenska podľa výsledkov geologických výskumov s dôrazom na geológiu kvartéru a výskum klimatického vývoja za posledných 10 000 a 100 000 rokov, s tvorbou klimatickej časovej osi pre územie Slovenskej republiky, s tvorbou priestorovej databázy retenčných vlastností pôd v priemerných a extrémnych klimatických podmienkach glaciálov/interglaciálov (štadiálov/interštadiálov). Za obdobie posledných uplynulých ~100 rokov budú tiež v spolupráci so Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ) zhodnotené trendy z klimatického monitoringu a monitorovania hladín podzemných vôd, vzťah časových sérií hladín podzemných vôd a výdatností zdrojov podzemných vôd pozorovaných SHMÚ k zisteným klimatickým zmenám.

Ďalšia fáza riešenia by mala priniesť priestorové modely tvorby efektívnych zrážok na Slovensku v rozličných klimatických situáciách, modely infiltračného vsaku a schopností formovania zásob podzemných vôd pre typické pôdne druhy rozšírené na Slovensku a typické meteorologické a morfológické situácie. Po odladení a verifikácii modelových riešení podľa skutočných prietokov a stavov hladín by mal byť tento priestorový infiltračný model aplikovaný pre rozličné klimatické situácie podľa klimatických scenárov (IPCC a iné; paleoklimatické scenáre pre obdobie holocénu, pleistocénu a pliocénu). Pre jednotlivé časové obdobia historických výpočtov množstiev podzemných, ako aj pre jednotlivé regióny

BANSKÁ ŠTIAVNICA, 27. – 28. máj 2010

s týmito výpočtami by mali byť vytvorené príslušné prepočtové koeficienty a na ich základe vytvorený expertný geografický informačný systém s funkciami prehľadu v súčasnosti platne schválených (Ministerstvom životného prostredia) využiteľných množstiev a prírodných zdrojov podzemných vôd s dátumom ich schválenia, koeficientom zmeny množstiev od tohto dátumu k súčasnosti, a prognózami ďalších zmien pri aplikácii medzinárodných klimatických scenárov na jednotlivé hydrogeologické rajóny a administratívne okresy územnosprávneho členenia Slovenskej republiky s výnimkou územia Bratislavského samosprávneho kraja.

PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY

Časový nástup riešenia mal v dôsledku odstraňovania formálnych diskrepancií sklz voči pôvodnému harmonogramu. V súčasnosti môžeme konštatovať spracovanie informačného prehľadu o súčasnom stave podzemných vôd na území Slovenskej republiky v prostredí GIS, ako aj prvé informácie o vzťahu trendov časových sérií výdatností zdrojov a hladín podzemných vôd pozorovaných SHMÚ k zisteným klimatickým zmenám, pri konfrontácii so stredoeurópskymi klimatickými pomermi podľa výsledkov kvartérnegeologických výskumov.

GIS PRÍRODNÝCH A VYUŽITEĽNÝCH MNOŽSTIEV PODZEMNEJ VODY AKO SÚČASŤ VÝSKUMU DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA DOSTUPNÉ MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD V SR

Peter Bajtoš¹ & Peter Malík²

¹ Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, RC Spišská Nová Ves; *peter.bajtos@geology.sk*

² Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava; *peter.malik@geology.sk*

Úvod

Na území Slovenska sa od roku 1969 ako súčasť štátnej vodohospodárskej bilancie hodnotia prírodné a využiteľné množstvá podzemnej vody v hydrogeologických rajónoch. Spôsob ich hodnotenia bol definovaný v Zásadách pre klasifikáciu zásob podzemných vôd na základe uznesenia vlády č. 159/1967 - množstvá podzemnej vody sú klasifikované podľa stupňa overenia a znalosti v kategóriách C2, C1, B a A. Tento spôsob hodnotenia bol neskôr modifikovaný Vyhláškou Ministerstva životného prostredia SR č. 141/2000 Z.z. ktorou sa vykonáva geologický zákon. Táto vyhláška, nahradená rovnomennou vyhláškou č. 51/2008 Z. z., určuje spôsob zisťovania množstiev podzemnej vody už len v troch kategóriách – A, B a C. Množstvá podzemnej vody sa kvantifikujú na základe hydrogeologického prieskumu hydrogeologického rajónu alebo jeho časti v príslušnej etape prieskumu (vyhľadávací HGP, podrobný, doplnkový). Formou rozhodnutí ich schvaľuje Komisia pre posudzovanie a schvaľovanie záverečných správ s výpočtami množstiev vôd a geotermálnej energie MŽP SR (ďalej len Hydrogeologická komisia), predtým Komisia pre klasifikáciu zdrojov a zásob podzemných vôd (KKZZ) resp. Komisia pre klasifikáciu množstiev podzemných vôd (KKMPzV), ktorú menoval minister životného prostredia SR prípisom č. j. 2204/92 zo dňa 5.11.1992.

Ako súčasť projektu štrukturálnych fondov EÚ agentúry ASFEU „Výskum dopadu klimatickej zmeny na dostupné množstvá podzemných vôd v SR a vytvorenie expertného GIS“ bol spracovaný informačný prehľad o množstvách podzemných vôd v hydrogeologických rajónoch, schválených Hydrogeologickou komisiou, formou relačnej databázy prepojenej s geografickým informačným systémom.

METODIKA PRÁČ

Pri zbere údajov počas naplňovania databázy boli ako hlavné zdroje informácií použité rozhodnutia Hydrogeologickej komisie o schválení množstiev podzemnej vody a dodatky k nim, i záverečné správy z hydrogeologických prieskumov s výpočtom množstiev podzemných vôd archivované v Geofonde ŠGÚDŠ Bratislava.

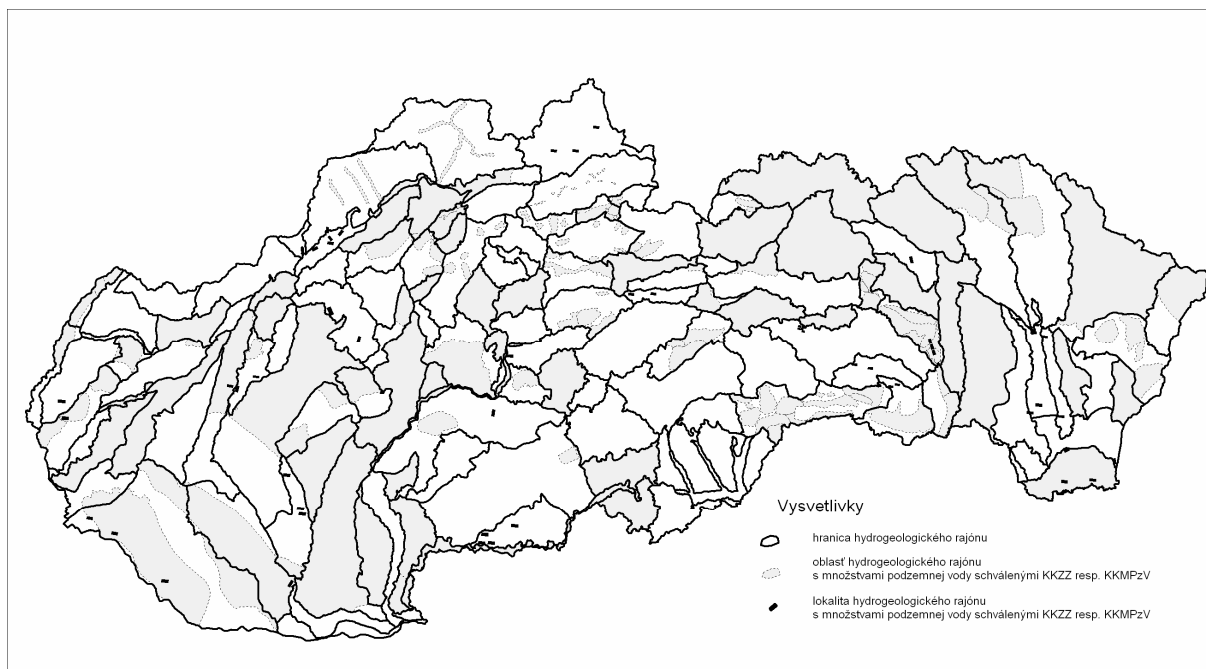
Získané informácie boli zaznamenávané do relačnej tabuľkovej databázy v preddefinovanej štruktúre (tab. 1). Prostredníctvom jednoznačného identifikátora (ID) sú tieto záznamy prepojené s priestorovými jednotkami, spracovanými v troch digitálnych vrstvách. Prvá z nich obsahuje priestorové ohraničenie všetkých hydrogeologických rajónov, druhá vymedzenie oblastí vnútri rajónov (niekedy sú tieto oblasti totožné s hydrogeologickými rajónmi) s výpočtami množstiev obvyčajnej podzemnej vody schválenými Hydrogeologickou komisiou a tretia ohraničenie lokalít s vypočítanými a komisiou schválenými množstvami podzemnej vody. Geografické súradnice objektov s topológiou polygónov sú definované v Křovákovom zobrazení (S-JTSK).

Tab.1: Štruktúra relačnej databázy množstiev podzemnej vody schválených KKZZ resp. KKMPzV

Označenie poľa	Typ poľa	Charakteristika poľa
ID	Char(10)	Jednoznačný identifikátor priestorovej jednotky – HG rajónu, oblasti resp. lokality v HG rajóne
OZNAC_RAJ	Char(13)	označenie HG rajónu
NAZOV_RAJ	Char(176)	názov HG rajónu
CISLO_RAJ	Integer	poradové číslo HG rajónu
Cast	Char(138)	vymedzenie časti HG rajónu
Lokalita	Char(81)	označenie lokality
Geografia	Char(51)	geomorfologický celok
Geologia	Char(36)	geologický útvar (kvartér, neogén, mezozoikum, paleozoikum)
PM_C2	Float	prírodné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C ₂
PM_C1	Float	prírodné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C ₁
PM_C	Float	prírodné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C
VM_C2	Float	využiteľné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C ₂
VM_C1	Float	využiteľné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C ₁
VM_C	Float	využiteľné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii C
VM_B	Float	využiteľné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii B
VM_A	Float	využiteľné množstvá podzemnej vody v l/s v kategórii A
Kvalita	Char(183)	kvalitatívna charakteristika podzemnej vody
Geofond	Char(33)	číslo záverečnej správy z hydrogeologického prieskumu v Geofonde Bratislava
Organiz	Char(45)	názov organizácie ktorá vykonala hydrogeologický prieskum
Rozh_KKZM	Char(115)	poradové číslo Rozhodnutia Hydrogeologickej komisie a prípadných ich doplnkov
Ozn_mapa	Char(12)	označenie v mape častí HG rajónu resp. jeho lokalít v ktorých boli stanovené výpočty množstiev podzemnej vody
Pozn	Char(44)	poznámky

VÝSLEDKY REALIZOVANÝCH PRÁČ

Výstupom realizovaných prác je priestorová databáza GIS výmerov množstiev podzemných vôd SR. Na území SR je vymedzených (Šuba et al., 1984 podľa neskorších modifikácií) celkovo 141 hydrogeologických rajónov (obr.1). Z nich neobsahuje vypočítané množstvá podzemnej vody, ktoré boli schválené Hydrogeologickou komisiou spolu 42 hydrogeologických rajónov, teda 29,8 % z celkového počtu. V 81 hydrogeologických rajónoch (57,5 % z celkového počtu) sú množstvá podzemnej vody vyčíslené podľa staršej kategorizácie (kategórie C₂, C₁, B a A), v štyroch rajónoch (2,8 %) sčasti podľa staršej a sčasti podľa novej, v 14 rajónoch (9,9 %) už podľa novej kategorizácie (kategórie C, B a A). Dátumom schválenia výmeru komisie prípadne posledného doplnku k nemu, spadajú do obdobia pred rokom 1980 2 hydrogeologické rajóny (2,1%), do obdobia rokov 1980 – 1990 36 rajónov (37,1%), 1990-2000 39 rajónov (40,2%) a do obdobia rokov 2000 – 2008 20 rajónov (20,6%). Prvý schválený výmer pochádza z roku 1969.



Obr. 1: Rozsah oblastí a lokalít s množstvami podzemných vôd schválených Hydrogeologickou komisiou v hydrogeologických rajónoch SR

Rozhodnutiami Hydrogeologickej komisie je na Slovensku k 31.12.2008 schválených spolu 69 785,76 l/s prírodných množstiev podzemnej vody (kategórie C₂, C₁ resp. C) a 46 704,33 l/s ich využiteľných množstiev (tab.2). Celkové množstvo využiteľných množstiev vyčíslené podľa staršej kategorizácie je 42 491,75 l/s, množstvo vyčíslené podľa novej kategorizácie dosahuje 4 212,58 l/s. Schválené množstvá podzemných vôd hydrogeologických rajónov podľa kategórií, s charakteristikou ich kvality a odkazom na zdroje informácií sú uvedené v tab.3.

Tab. 2: Prehľad množstiev podzemných vôd SR schválených Hydrogeologickou komisiou so stavom k 31.12.2008

	Prírodné množstvá (l/s)		Využiteľné množstvá (l/s)			
Staršia kategorizácia	C₂	C₁	C₂	C₁	B	A
	44 567,0	11 905,0	13 065,3	26 774,95	1 844,5	807,0
Novšia kategorizácia	C		C		B	A
	13 313,76		4 020,95		191,63	-
Spolu	C₂, C₁, C		C₂, C₁, C		B	A
	69 785,76		43 861,20		2 036,13	807,0

ZÁVER

Súčasťou riešenia projektu štrukturálnych fondov EÚ agentúry ASFEU „Výskum dopadu klimatickej zmeny na dostupné množstvá podzemných vôd v SR a vytvorenie expertného GIS“ bolo zostavenie digitálnej geograficky orientovanej databázy množstiev podzemnej vody v SR schválených Hydrogeologickou komisiou.

Tab. 3: Prehľad množstiev podzemných vôd schválených Hydrogeologickou komisiou podľa hydrogeologických rájónov v SR so stavom k 31.12.2008

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
Q 001	Dolnomoravský úval	kvartér	103			116					Vyšší obsah Fe a Mn	-	SHMÚ Bratislava	471-16/3-86
Q 004	Záhorská nížina	kvartér	-	-		130			-		Zvýšený obsah Fe a Mn, vhodné až po jednoduchšej úprave.	17 399	GÚDŠ Bratislava	922-39/3-69 dopl.č.2: 720-16/7-86
QN 007	Záhorská nížina	kvartér	440	-		393	552		-		Zvýšený obsah Fe a Mn, vhodné až po jednoduchšej úprave.	17 399 41 845 52 359	GÚDŠ Bratislava, IGHP Bratislava	922-39/3-69 dopl.č.1: nemá č.j. dopl.č.2: 720/16/7-86 dopl.č.3: 61/96
QN 006	Záhorská nížina	kvartér neogén	297	-		98	89		-		Je agresívna	-	IGHP Bratislava	113-16/30-91
QN 005	Záhorská nížina	neogén	-	-		-	57		-		Prítomnosť metánu.	55 802	IGHP Bratislava	413-16/2-86
Q 052	Podunajská nížina	kvartér	-	-		1170	18 730		500	600	Horizontálna i vertikálna variabilita chemizmu podzemných vôd.	29201 42826 55803 54703 37962	IGHP Bratislava VZ Bratislava	107-39/2-73 129-16/3-83 dopl.č.2: 782-16/11-85 242-16/6-82 dopl.č.1: 87-16/4-89 107-39/2-73 dopl.č.1: 1014-16/10-81
Q 048	Podunajská nížina	kvartér	919			-	488				Ojedinelé zvýšený obsah Fe a NH ₄	36070 39251	VZ Bratislava	44-39/1-76 dopl.č.1: 632-16/6-83 dopl.č.2: 637-16/9-85
QN 059	Podunajská nížina	kvartér neogén	304	-		494	-		-		Vyšší obsah NO ₃ , Cl, SO ₄ a bakteriologická závadnosť.	64 547	IGHP Bratislava	366-16/9-87

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonáva-juca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
Q 074	Podunajská nížina	neogén kvartér	-	-	-	-	90	496	-	-	Podzemné vody sú prevažne Ca-HCO ₃ typu s vyšším obsahom Mg, Fe, Mn, NO ₂ , NH ₄ , Cl. Vody prevažne nevyhovujú STN.	45474, 70932 80446	VZ Bratislava IGHP š.p. Žilina o.z. Bratislava	180-16/20-89 22/2001
N 049	Podunajská nížina	neogén	965	-	-	164	133	-	-	-	Zvýšené obsahy NH ₄	75 962	IGHP Bratislava	59-16/2-91
N 058	Podunajská nížina		465	-	-	164.5	123.5	-	-	-	Zvýšený obsah NH ₄ , Fe, Mn	80438 80939	IGHP Bratislava GEOS Bratislava	9/96 dopl.č.1: 31/99 dopl.č.2: 34/99
NQ 073	Podunajská nížina	neogén	130	-	-	63	-	-	-	-	Typ Ca-HCO ₃ až Na-HCO ₃ , vyžaduje úpravu pre vyššie koncent. Fe, Mn, NH ₄ , NO ₃	-	VZ Bratislava	48/99
Q 072	Podunajská nížina	kvartér, neogén	-	-	-	9	-	-	-	-	Voda je nevyraz. Typu Ca-Mg-HCO ₃ , zvýšený obsah Fe, Mn, NH ₄ , nevyhovuje norme.	-	VZ Bratislava	49/99
NQ 071	Podunajská nížina	neogén	380	-	-	64	92	-	-	-	vyššie obsahy Mn, Fe	-	IGHP Bratislava	103-16/5-89
MN 053	Malé Karpaty	mezozoikum	-	-	-	-	37	-	60	-	Vyhovuje ČSN	63 591	VZ Bratislava	42-16/11-90
M 054	Malé Karpaty	mezozoikum	180	-	-	110	-	-	-	-	Vyhovuje ČSN	-	SHMÚ Bratislava	33-16/8-90
MG 047	Považský Inovec	mezozoikum	-	-	-	189	4	50	61.16	121.56	Podzemná voda je Mg-Ca-HCO ₃ typu, stredne mineralizovaná, slabó alkalická. Vyhovuje STN	85 780	Geospektrum s.r.o., Bratislava	795-16/9-86 62-16/4-91 64/96 1/2004

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
MG 070	Tribeč	mezozoikum a paleozoikum	414	-		47	229		-	-	Väčšinou vyhovuje bez úpravy	62993 70289	IGHP Bratislava	598-16/5-86
MG 069	Tribeč	mezozoikum a paleozoikum	441	-		24	114		-	-	Väčšinou vyhovuje bez úpravy	70 289	IGHP Bratislava	149-16/12-89
MP 066	Strážovské vrchy	mezozoikum	-	-		45	-		135	-	Zčasti zvýšený obsah NO ₃	67463 63538	VZ Bratislava	584-16/16-88 34-16/9-90
QN 067	Hornonitrianska kotlina	kvartér neogén	315			21	54				Sčasti vyžaduje úpravu odželezovaním, ČSN 830 611	-	IGHP š.p. Žilina, závod Žilina	16/96
M 064	Žiar - pohorie	mezozoikum	564			10	181.85				Voda vykazuje zvýšený obsah mezofilných, kolimorných a fekálnych baktérií	85 703	Hydropol Bratislava	12/2004
Q 080	Horehronské podolie	kvartér	1000			227					Zvýšené Fe a Mn a bakteriologická závadnosť.	81 479	VZ Bratislava	1-16/1-88
N 087	Žiarska kotlina	neogén	115			17					Nevyhovuje ČSN 830 611 (Fe, Mn)	-	VZ š.p. Bratislava	14/97
V 082	Kremnické vrchy	neogén	2945			163.7	242.4				Vyhovuje ČSN až na občas zvýšený obsah Fe	74 655 82 082	IGHP Žilina INGEO Žilina	47-15/12-90 d.č.1: 21/2000
V 083	Poľana	neogén	408			98	104				Zvýšený obsah Mn a Fe	-	IGHP Žilina	17-16/3-90 dpol.č.1: 31-16/6-90
V 088	Štiavnické vrchy a Javorie	neogén mezozoikum	206			198.4	13.2				Prevažne vyhovuje norme	68350 80441	IGHP Bratislava GP SNV	32-16/7-90 16/99
N 061	Ipeľská pahorkatina	neogén	94	-		-	-		-	-	Vyššia mineralizácia a bakteriálna závadnosť.	58 410	IGHP Bratislava	960-16/14-84

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonáva-juca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
N 062	Ipeľská pahorkatina	neogén	12	-		-	-		-	-	Zvýšený obsah Fe, Mn.	58 410	IGHP Bratislava	960-16/14-84
Q 091	Ipeľská niva	kvartér	315			221					Zvýšený obsah Fe, Mn, Cl, NO ₃ , SO ₄ .	66 390	IGHP Bratislava	400-16/7-88
NQ 095	Ipeľská kotlina	neogén	93			40	39				Voda je typu Ca-Mg-HCO ₃ , zvýšený obsah Mn, bakteriologický závažná.	81486	GEOS Bratislava	42/99
NV 092	Cerová vrchovina	neogén	127			26.6					Zvýšené hodnoty NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , Fe, Mn, Ca.	-	INGEO Žilina	21/99
PM 040	Javorníky a SV časť Bielych Karpät	kvartér		603		66	59.5		22		Väčšinou nevyhovuje ČSN (NO ₃ , Fe, Mn)	66806 64057 52361	IGHP Žilina VZ Praha	62-16/4-91 58-16/1-91 599-16/6-86 5/97
PQ 028	Javorníky	paleogén kvartér	4 872			202					Zvýšené obsahy Fe, Mn, NO ₂ .	-	VZ Bratislava	48-15/13-90
QN 037	Iľavská kotlina	kvartér neogén		14		-	6		268	-	Zčasti vyšší obsah NO ₃	67765 70934 66806	VZ Bratislava IGHP Žilina	16/14-89 104-16/6-89 35-16/10-90 61-16/3-91
Q 039	Považské podolie	kvartér		950		457					Nevyhovuje ČSN 830 611	81 482	IGHP š.p. Žilina	12/97
M 032	Žilinská kotlina a priľahlé oblasti Malá Fatra	mezozoikum	955	-		52	252		-	-	Výhovuje STN	38088 -	IGHP Žilina Ingeo Žilina	385-16/4-84 dopl.č.1: 841-16/14-85 dopl.č.2: 53-16/2-89 dopl.č.3: 28/96 dopl.č.4: 14/99, 11/96

Tab. 3: pokračovanie tabuľky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
M 035	Žilinská kotlina a priľahlé oblasti	mezozoikum bazálny paleogén	1 174	-		495	238		224	-	Voda je typu Ca-HCO ₃	38 088	IGHP Žilina	385-16/4-84 dopl.č.1: 841-16/14-85 dopl.č.2: 53-16/2-89 dopl.č.3: 28/96 dopl.č.4: 14/99
MP 026	Žilinská kotlina a priľahlé oblasti	paleogén, mezozoikum	479	-		3.6	-		-	-	Zvýšené NH ₄ , Cl	80 437	Ingeo Žilina	12/99 13/99
QP 029	Žilinská kotlina a priľahlé oblasti	paleogén kvartér	1 095	-		100.5	265.4		-	-	Zvýšené NO ₃ , NO ₂ , Fe, Mn	80 437	Ingeo Žilina	385-16/4-84 dopl.č.1: 841-16/14-85 dopl.č.2: 53-16/2-89 dopl.č.3: 28/96 dopl.č.4: 14/99
MP 034	Žilinská kotlina a priľahlé oblasti	paleogén mezozoikum	235	-		112	94		-	-	Vcelku vyhovuje norme	80 437	Ingeo Žilina	385-16/4-84 dopl.č.1: 841-16/14-85 dopl.č.2: 53-16/2-89 dopl.č.3: 28/96 dopl.č.4: 14/99
MG 030	Malá Fatra	kryštalínium, mezozoikum, karbón	739	-		205	-		-	-	vyhovuje STN	62 048	IGHP Žilina	840-16/13-85
MG 031	Malá Fatra	kryštalínium mezozoikum	729	-		24	-		-	-	vyhovuje STN	62 048	IGHP Žilina	840-16/13-85

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM _{C₂} (l/s)	PM _{C₁} (l/s)	PM _C (l/s)	VM _{C₂} (l/s)	VM _{C₁} (l/s)	VM _C (l/s)	VM _B (l/s)	VM _A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonáva-juca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
QP 033	Turčianska kotlina	kvartér	555			360	110				Podzemné vody sú prevažne Ca-Mg-HCO ₃ typu. Je tu možnosť povrchového, chemického i bakteriologického znečistenia. Vyzaduje čističnú úpravu.	33690, 45262, 63661	IGHP Žilina	478-16/7-82 dopl.č. 1: -469-1647-89 dopl.č. 2: 29/96 dopl.č. 3: 35/97 dopl.č. 4: 36/97
M 023	Veľká Fatra	mezozoikum	3510			198	588				Vyhovuje STN	80 445	INGEO a.s. Žilina	29/97
PN 025	Oravská kotlina	paleogén neogén	105			30					Voda je typu Ca-HCO ₃ so zvýšeným obsahom Fe, Mn, NH ₄ , NO ₃ .	81 484	IGHP Žilina	43/99
PQ 018	Oravská vrchovina	kvartér	145			130					Voda je typu Ca-HCO ₃ so zvýšeným obsahom NO ₃ a ropných látok.	41 359	IGHP Žilina	639-16/6-80
M 019	Chočské vrchy	mezozoikum	378			74.5	168.5				Voda vyhovuje ČSN. Pre zabezpečenie bakteriologickej nezávadnosti bude treba stanoviť pásma hygienickej ochrany a odstrániť zdroj znečistenia.	57 593	IGHP Žilina	995-16/16-84 104-16/6-89

Tab. 3: pokračovanie tabuľky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
M 015	Západné Tatry	mezozoikum	438	-		98.8	229.7		-		Voda vyhovuje ČSN. Pre zabezpečenie bakteriologickej nezávadnosti bude treba stanoviť pásma hygienickej ochrany a odstrániť zdroj znečistenia.	57 593	IGHP Žilina	995-16/16-84
MG 014	Západné Tatry	mezozoikum	108	-		27.7	18.8		-		Voda vyhovuje ČSN. Pre zabezpečenie bakteriologickej nezávadnosti bude treba stanoviť pásma hygienickej ochrany a odstrániť zdroj znečistenia.	57 593	IGHP Žilina	995-16/16-84
MG 142	Belianske Tatry	mezozoikum kryštalinikum	1062			233	90				Vyhovuje ČSN s úpravou bakteriologických vlastností.	54 273	SHMÚ Bratislava	1008-16/12-83 dopl. č. 1: 619-16/9-84 dopl. č. 2: 62/96
QG 009	Liptovská kotlina	kvartér	-	-		109	15		35	-	Chemizmus podzemných vôd nie je jednotný, ojedinelé sa vyskytuje Fe a Mn vo zvýšenom množstve.	30 411	IGHP Žilina	892-39/8-73 dopl.č.1: 269-16/2-84
QP 016	Liptovská kotlina	kvartér	-	-		173	160		-	-	Chemizmus podzemných vôd nie je jednotný, ojedinelé sa vyskytuje Fe a Mn vo zvýšenom množstve.	30 411	IGHP Žilina	892-39/8-73 dopl.č.1: 269-16/2-84

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvár	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonáva-juca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
MG 013	Nizke Tatry	mezozoikum a kryštalinikum	110	760		-	10		303	207	Vyhovuje pre zásobovanie bez predbežnej úpravy	58 614	Geoconsult Košice	784-16/14-85 13/97
MG 012	Nizke Tatry	mezozoikum a kryštalinikum	77	-		-	42		-	-	Vyhovuje ČSN	66 389	IGHP Žilina	510-16/14-88
M 010	Nizke Tatry	mezozoikum	1 768	-		310	326		-	-		-		5111-16/15-88
MG 076	Nizke Tatry	kryštalinikum a mezozoikum	960	-		767	-		-	-	Vyhovuje ČSN	-	SHMÚ Bratislava	509-16/13-88 dopl.č.509-16/13-88
MG 017	Nizke Tatry	mezozoikum	855	-		113.8	173.5		-	-	Nevyhovuje STN pre zvýšené obsahy Fe a SO ₄ .	-	IGHP š.p. Žilina, závod Žilina	15/96
MG 078	Veporské vrchy	mezozoikum				-	-		32		Vyhovuje ČSN 830 611	63 614	VZ Bratislava	60/96
M 126	Muránska planina	mezozoikum	1 659			197	246				Typ Ca-HCO ₃ s celkovou mineralizáciou 200-400 mg/l ⁻¹ Vyhovuje bez úpravy.	82 169	SHMU Bratislava, GSSR Bratislava	647-16/8-83 dopl.č.1: 1007-16/11-83 632-16/11-87 dopl.č.1: 20/2000
MG 116	Slovenský raj a Havranie vrchy	mezozoikum paleozoikum	1428			214.6	130.2				Vyhovuje STN	83 668	INGEO a.s. Žilina	35/02
PQ 115	Hornádska kotlina Popradská kotlina	mezozoikum paleogén kvartér			177.8		50	80.4			Kvalita vody je dobrá, lokálne zvýšené obsahy NO ₂ , Fe, Mn	54291 -	IGHP Košice INGEO-ighp, s.r.o., Žilina	618-16/8-84

Tab. 3: pokračovanie tabuľky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
MG 121	Branisko	mezozoikum, paleozoikum	237			49	93				Podzemná voda vyhovuje poväčšine STN. Občas sú zvýšené obsahy Mn a NH ₄	41 344	IGHP Košice	579-39/2-78 dopl. Č.1: 31/96
MG 117	Galmus	mezozoikum paleozoikum	309			96	31				Väčšinou vyhovuje ČSN	76 972 80 442	Geoconsult Košice, GP SNV	126-16/33-91 dopl.č.1: 18/99
G 118	Slovenské rudohorie	paleozoikum					2.3				Vody sú petrogénne, vadózne, solná zložka je v korelácii s mineralogicko-petrografickým charakterom prostredia.	80 442	GP SNV	17/99
MG 124	Čierna hora	kryštalinikum, mezozoikum, kvartér	654	179		466	53				Typ vody Ca-HCO ₃ s celkovou mineralizáciou 0,12 – 0,77 g.l ⁻¹ . Vyhovuje bez úpravy	55 481 75 889	IGHP Košice	550-16/4-83 dopl.č.1: 125-16/32-91
MQ 129	Slovenský kras a Turňanská kotlina	mezozoikum	3420			9.8	830.6		147.5		Podzemné vody krasu sú typu Ca-HCO ₃ s celkovou mineralizáciou 0,3-0,6 g/l a sú väčšinou vhodné pre vodárenské využitie bez ďalšej úpravy. Ide len o mierne bakteriologické znečistenie.	38731, 41343, 51583, 63898, 81474	IGHP Žilina, INGE O Žilina	489-39/77 dopl.č.1: nemá č.j. dopl.č.2: 296-16/5-88 20/99
P 119	Levočské vrchy	kvartér paleogén	761	932		143	99				Prevažne vyhovuje ČSN 830 611	66 203	IGHP š.p. Žilina, závod Košice	164-16/16-89

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ (l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
QP 120	Spišsko-šarišské medzihorje	kvartér							30		Vyhovuje ČSN	49 408	VZ Prešov	555-16/86
P 122	Šarišská vrchovina	paleogén	64	459		112.6	34.5							63/97
NQ 138	Košická kotlina	kvartér	47	-		272	-		-	-	Vyšší obsah Fe, Mn, NO ₃ , NO ₂ a PO ₄	58 173	IGHP Košice	794-16/8-86
Q 125	Košická kotlina	kvartér	285	-		685	-		-	-	Zvýšený obsah Mn, Cl, SO ₄ , NO ₃ .	62 431	VZ Prešov	16/15-89
P 109	Čergovské pohorie	paleogén	541	1298		143	40		55		Vyhovuje STN	64 150	Geoconsult a.s. Košice	367-16/10-87 dopl. Č. 1. 4/97
VN 111	Slanské pohorie	neogén		2424	-	184.7	34.5	154	-		Zvýšený obsah Fe a Mn.	70 873 56 143	SHMU Bratislava IGHP Košice ŠGUDŠ Bratislava	624-16/5-86 61/97 6/2004
Q 103	Východoslovenská nížina	kvartér	-	-		100	105		-	-	Zvýšený obsah Fe, Mn, NH ₄ a bakteriálna závadnosť.	44 868	IGHP Košice	240-16/4-82
QN 104	Východoslovenská nížina	kvartér, neogén	-	69		97	368		-	-	Zvýšené obsahy Fe, Mn, NH ₄ , agresívny CO ₂ a ropné látky.	54619 80622	IGHP Košice Geoconsult KE	424-16/6-85 dopl. č. 1.: 19/99
N 107	Východoslovenská nížina	neogén	19	-		20	2		-	-	Podľa ČSN 830 611 má zvýšené obsahy Fe, Mn, NH ₄ .	51106 -	VZ Prešov IGHP Š.p. Žilina závod Košice	796-16/10-86
QN 106	Východoslovenská nížina	neogén kvartér	75	-		47	68		-	-	Zvýšené obsahy Fe, Mn, NH ₄ , NO ₃ , bakteriologická závadnosť	-	IGHP Košice VZ Prešov	842-16/15-85 dopl. č. 1.: 798-16/12-86 dopl. č. 2.: 7/96

Tab. 3: pokračovanie tabuľky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
Q 108	Východoslovenská nížina	kvartér	996	-		729	-		-	-	Zvýšený obsah Fe, Mn, NH ₄ menej NO ₃ , sporadická bakteriálna závadnosť.	83 133	Geokonzult a.s. Košice	33/02
QN 102	Východoslovenská nížina	neogén kvartér	167	-		242	-		-	-	Prevažne nevyhovuje ČSN 830 611(NO ₃ , NO ₂ , Fe, Mn)	-	VZ š.p. Prešov	11/97
VNP 100	Vihorlat	neovulkanity neogén	1117			174.5	125.5				Podzemná voda je vhodná pre zásobovanie bez úpravy. Len miestami je zvýšený obsah Fe a Mn a zvýšená teplota vody.	41 342	IGHP Košice	901-39/4-78
PQ 105	Nízke Beskydy	paleogén	506	420		205	49		-	-	Vyžaduje odstránenie Fe a Mn.	75964	IGHP Košice	639-16/14-87 dopl.č.1: 10-16/1-90
PQ 110	Nízke Beskydy	kvartér, paleogén	101	931		228	108		-	-	Väčšinou vyhovuje ČSN	73287 75964	IGHP Košice VZ Prešov	638-16/13-87 dopl.č.1: 406-16/8-88 dopl.č.2: 11-16/2-90
QPM 097	Nízke Beskydy	paleogén kvartér	65	2 866		190	40		-	-	Prevažne vyhovuje STN, niekde sú prekročené obsahy Fe, Mn, NH ₄ .	83137	Geokonzult a.s. Košice	
P 098	Nízke Beskydy	paleogén	535	-		-	-		-	-	Vyhovuje ČSN, zvýšené obsahy Fe a Mn	-	IGHP š.p. Žilina, závod Košice	5/96
MG 055	Pezinské Karpaty	kryštalinikum mezozoikum			1060			128	-	-	Zvýšené obsahy Fe, Mn		Geokonzult a.s. Košice	10/2004
NM 044	Myjavská pahorkatina	neogén kvartér			683.7			99.03	-	-	-	-	B&J ESO spol. s r.o. Bratislava	20/2005

Tab. 3: pokračovanie tabulky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvár	PM _{C₂} (l/s)	PM _{C₁} (l/s)	PM _C (l/s)	VM _{C₂} (l/s)	VM _{C₁} (l/s)	VM _C (l/s)	VM _B (l/s)	VM _A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
QM 038	Trenčianska kotlina				764			631	-	-	Voda nie vždy vyhovuje STN pre obsahy Fe, Mn, NO ₂ , NO ₃ , NH ₄	83 132	Geokonzult a.s. Košice	32/02
MG 046	Považský Inovec	mezozoikum paleozoikum			397,8			126,42	-	-	Voda je prevažne dobrej kvality. Zložkami zhoršujúcimi kvalitu vody sú najmä NO ₃ , PO ₄ , CHSKMn, Mn, NO ₂ .	-	ŠGÚDŠ Bratislava	21/2006
V 086	Vtáčnik a Pohronský Inovec	neogén			2 955			250	-	-	Prevažne vyhovuje norme	84 838	Geokonzult a.s. Košice	44-16/34-94 8/2004
MP 079	Kremnické vrchy a Z časti Zvolenskej kotliny	mezozoikum paleogén			485			29	-	-	Vody väčšinou vyhovujú STN	83 227	INGEO a.s. Žilina	59/2001
M 024	Veľká Fatra, Nízke Tatry, Starohorské vrchy	mezozoikum			2348			908,82	-	-	-	87 979	INGEO - iĝnp Žilina	25/2007
V 094	Krupinská planina, Ostrôžok a Pôtorská pahorkatina	mezozoikum			154			-	7,5	-	vyhovuje STN	86 334	HYDRO-COMP Bratislava	22/2006
NQ 090	Lučenská kotlina	kvarter neogén			240,4			49,09	-	-	Nevyhovuje STN pre zvýšený obsah CHSK - Mn, NO ₂ , NO ₃ , Mn, Fe, Cl, SO ₄ , aj stopových prvkov	84 839	INGEO - iĝnp s.r.o. Žilina	5/2004

Tab. 3: pokračovanie tabuľky

HG rajón	Geografické začlenenie	Geologický útvar	PM C ₂ (l/s)	PM C ₁ (l/s)	PM C (l/s)	VM C ₂ l/s)	VM C ₁ (l/s)	VM C (l/s)	VM B (l/s)	VM A (l/s)	Kvalita vody STN (ČSN) 757 111	Ev. č. správ v Geofonde	Vykonávajúca organizácia	Rozhodnutie KKZMPzV p.č., doplnky
QG 139	Vysoké Tatry	kvarter mezozoikum kryštalinikum			1114			271.03	95.57	-		-	ŠGÚDŠ Bratislava	26/2007
PQ 141	Spišská Magura	paleogén kvarter			2745			419	-	-	-	-	GEO Slovakia s.r.o.Košice	15/2005
G 137	Volovské vrchy	paleozoikum			-			1.2	-	-	Voda nevyhovuje STN pre obsahy Fe, Mn resp. ²²² Rn	82 794	GSSR Bratislava	24/2001
NQ 138	Košická kotlina	mezozoikum paleozoikum						7.8	-	-	Zčasti nevyhovujúce obsahy Mn	82 794	GSSR Bratislava	23/2001
NQ 123	Košická kotlina	neogén			-			309	-	-	Zvýšená mineralizácia, obsahy Mn, Fe, NH ₄ , NO ₂ , Ca, Mg	84 768	ŠGÚDŠ Bratislava	6/2004

V 141 hydrogeologických rajónoch je so stavom k 31.12.2008 schválených spolu 69 785,76 l/s prírodných množstiev podzemnej vody a 46 704,33 l/s ich využiteľných množstiev. Prevažná časť zo schválených využiteľných množstiev podzemných vôd (90,8 %) je vyčíslená podľa dnes už neplatného (staršieho) spôsobu kategorizácie. Preto je v súčasnosti vysoko aktuálna potreba prehodnotenia využiteľných množstiev podzemných vôd SR so zreteľom na globálnu klimatickú zmenu a jej lokálne prejavy.

Dosiahnuté prezentované výsledky budú tvoriť priamy vstup pre nasledujúcu aktivitu projektu ASFEU, ktorou je zostavenie expertného GIS s prehľadom schválených množstiev podzemných vôd v súčasnosti, ovplyvnených už zistenými zmenami a s prognózovanými zmenami podľa predmodelovaných scenárov vývoja klímy.

LITERATÚRA

- Kolektív autorov, 2009: Správa o vodohospodárskej bilancii vôd v SR za rok 2008. SHMÚ Bratislava, 106 s.
- Šuba et al., 1984: Hydrogeologická rajonizácia Slovenska. SHMÚ Bratislava, 308 s.
- Znášiková, B., Gargulák, M., Legáthová, A., 2009: Prehľad množstiev podzemnej vody hydrogeologických celkov Slovenskej republiky k 1. januáru 2009. ŠGÚDŠ Bratislava, 50 s.

PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE PODMIENOK TVORBY ODTOKU A DOPLŇOVANIA PODZEMNÝCH VÔD NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

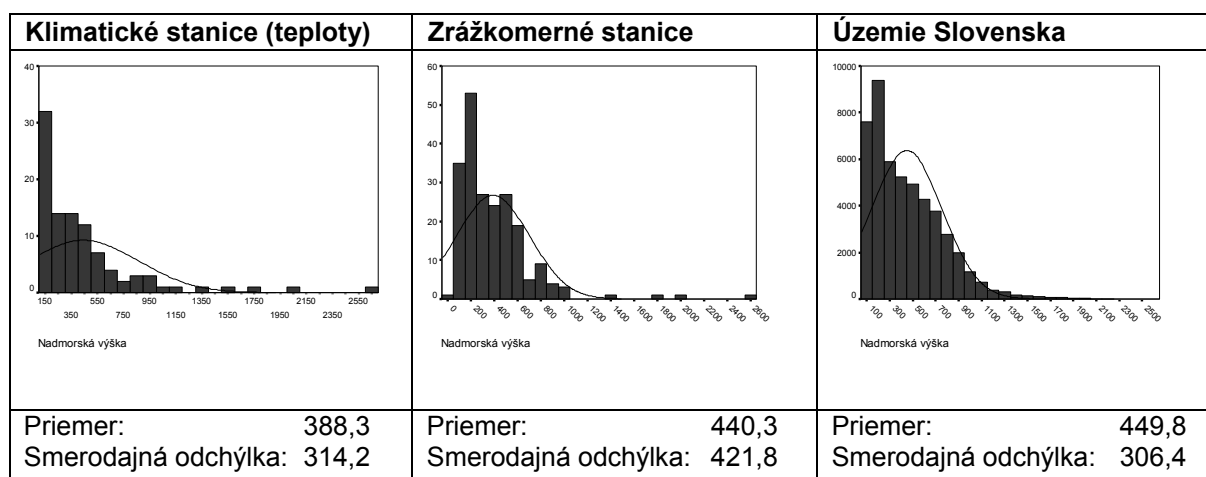
Jaromír Švasta¹ & Peter Malík¹

¹ Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava 11;
jaromir.svasta@geology.sk, peter.malik@geology.sk

Úvod

Efektívne zrážky, t.j. tá časť zrážkových úhrnov, ktorá je schopná infiltrovať do horninového prostredia, hrajú popri hydrogeologických pomeroch a hydraulických parametroch kolektorských hornín kľúčovú úlohu pri hodnotení doplňovania podzemných vôd. Ich veľkosť je daná rozdielom zrážkových úhrnov a reálnej evapotranspirácie v území.

Priemerné mesačné teploty vzduchu a priemerné mesačné zrážkové úhrny sú dva kľúčové parametre vstupujúce do výpočtu reálnej evapotranspirácie. Je však všeobecne známe, že teplota vzduchu ako aj zrážkové úhrny sú značne komplexnou kombináciou termodynamických, dynamických a mikrofyzikálnych atmosférických procesov, ovplyvnených komplikovanou interakciou s reliéfom, ktoré sú premenlivé v rámci širokého rozsahu priestorových a časových mierok. Fundamentálnym problémom hydrológie preto je odhad teploty a zrážok na nemonitorovaných miestach používajúc údaje z okolitých meteorologických staníc. Získanie hodnoverných údajov je obzvlášť náročné v miestach s riedkou monitorovacou sieťou alebo v oblastiach kde teplotné a zrážkové charakteristiky sa výrazne menia s meniacou sa polohou. Táto situácia často nastáva najmä v hornatých oblastiach, kde je nedostatok meteorologických staníc situovaných vo vyšších nadmorských výškach a kde orografické efekty môžu byť veľmi významné. Porovnaním distribúcie nadmorských výšok meteorologických staníc a celého územia Slovenska (obr. 1) sa meteorologická sieť môže javiť navrhnutá vhodne, no keďže prevažná väčšina staníc sa nachádza v miestach do 800 m n.m., odhad klimatických činiteľov v hornatých oblastiach je takto veľmi sťažený.



Obr. 1: Histogramy rozdelenia nadmorských výšok klimatických a zrážkomerných staníc v porovnaní s rozdelením nadmorských výšok celého územia Slovenska.

Problematikou regionalizácie klimatických charakteristík v priestore sa vo svete zaoberalo už mnoho autorov, ich prístupy siahajú od jednoduchých algoritmov až po vysoko sofistikované procedúry. Celý rad prehľadov, kompilácií a dokonca porovnávacích analýz je dostupný

v prácach: Creutin J.D & Obled, 1982, Tabios & Salas (1985), Hevesi et al. (1992a), Daly et al. (1994), Willmott & Matsuura (1995), Kravchenko (1996), Thornton (1997), Bolstad (1998), van Dieppen & Van der Voet (1998), Tveito et al., 2000), Hofierka et al., 2002), Auer et al., 2005), Adam et al., 2006.

Všeobecne možno prístupy k regionalizácii klimatických charakteristík v priestore rozdeliť na dve základné skupiny: deterministické a stochastické. Deterministické metódy používajú na vysvetlenie priestorových fenoménov fyzikálne modely, zatiaľ čo stochastické metódy používajú teóriu pravdepodobnosti a do priestorových vzťahov zakomponávajú náhodné javy. Tradičným spôsobom interpolácie teploty a zrážok, kedy sa hodnota v medziľahlom priestore odhadovala na základe údajov z niekoľkých najbližších staníc, je prakticky nemožné vystihnúť ich lokálnu variabilitu. V našej práci sme prijali predpoklad, že teploty i zrážky možno opísať ako spolupôsobenie deterministických i stochastických procesov. Deterministický komponent vyjadruje procesy, ktoré platia všeobecne pre celé územie, zatiaľ čo miestna variabilita je zistená geoštatisticky z rezíduí získaných po odstránení globálneho trendu.

VSTUPNÉ DÁTA A ICH KVALITA

Základnými vstupnými údajmi do analýzy boli priemerné mesačné teploty vzduchu z 98 klimatických staníc a mesačné zrážkové úhrny z 211 zrážkomerných staníc pre obdobie rokov 1951-1980, publikované v zborníku Slovenského hydrometeorologického ústavu (Kolektív autorov, 1991). Údaje z ostatných staníc sme bohužiaľ nemali k dispozícii. Polohy klimatických a zrážkomerných staníc boli získané z internetovej stránky SHMÚ (<http://www.shmu.sk>). V analýze bolo použitých aj viacero parametrov odzrkadľujúcich morfológiu terénu, pre tento účel bol použitý digitálny model reliéfu (DMR) SRTM (USGS (2002)) s rozlíšením 3 uhlové sekundy. Hodnoty poľnej vodnej kapacity, potrebné pre výpočet reálnej evapotranspirácie, boli odvodené konfrontáciou DMR a digitálnych podkladov VÚPOP pre Národnú správu o implementácii rámcovej smernice o vodách v oblasti podzemných vôd (Kullman et al., 2005).

PRIESTOROVÁ ANALÝZA, METÓDY A VÝSLEDKY

Výpočet reálnej evapotranspirácie pre celé územie Slovenska prebiehal v štyroch krokoch:

- interpolácia priemerných mesačných teplôt vzduchu,
- interpolácia mesačných zrážkových úhrnov,
- výpočet potenciálnej evapotranspirácie v mesačných krokoch podľa Thornthwaita,
- výpočet reálnej evapotranspirácie v mesačných krokoch,
- výpočet efektívnych zrážok.

Teploty a zrážky namerané na klimatických staniciach sú výsledkom pôsobenia fyzikálnych procesov v atmosfére ovplyvnených lokálnymi javmi. Preto sme sa rozhodli v analýze použiť metódu reziduálneho krigovania, taktiež nazývaného detrendované krigovanie, ktoré je veľmi vhodné práve na analýzy distribúcie environmentálnych premenných – Creutin J.D & Obled (1982), Tabios & Salas (1985), Hevesi et al. (1992a), Kravchenko (1996), Thornton (1997), Bolstad (1998), Sitková (2000), Gonzalez-Hidalgo (2001), Tveito (2002), Li (2003), Auer et al. (2005), Ustrnul & Czekierda (2005).

Krigovanie je geoštatistická interpolačná metóda, ktorá optimalizuje interpoláciu klasifikovaním priestorovej variancie do troch komponentov (Burroughs & McDonnell (1998)): a) deterministickej variancie (rozličné hladiny alebo trendy), ktorá je použitá ako vedľajšia, „mäkká“ informácia, b) priestorovo korelovanej, avšak ťažko opísateľnej variancie a nakoniec c) nekorelovateľného šumu. Modelovanie variogramu je nevyhnutnou a podstatnou súčasťou

krigovania. Model variogramu zviditeľňuje priestorovú koreláciu v dátach a slúži ako podklad pre priradenie váh a vyhľadávacieho polomeru pre samotné krigovanie.

Hlavnou výhodou krigovania oproti jednoduchším deterministickým metódam je to, že umožňuje presnejší odhad teplôt a zrážok na nemonitorovaných územiach použitím informácií z okolitých staníc takým spôsobom, že využíva aj priestorovú korelačnú štruktúru teplotných a zrážkových polí. Ďalšou silnou stránkou krigovania je minimalizácia odhadovanej variancie, čo spätne umožňuje analýzu interpolačnej chyby.

V tejto práci sme na definovanie trendu v teplotných a zrážkových dátach zvolili lineárnu regresiu. Keďže sme študovali vplyv viacerých premenných, použili sme krokovú regresiu (Tveito et al., 2000).

INTERPOLÁCIA PRIEMERNÝCH MESAČNÝCH TEPLÔT VZDUCHU

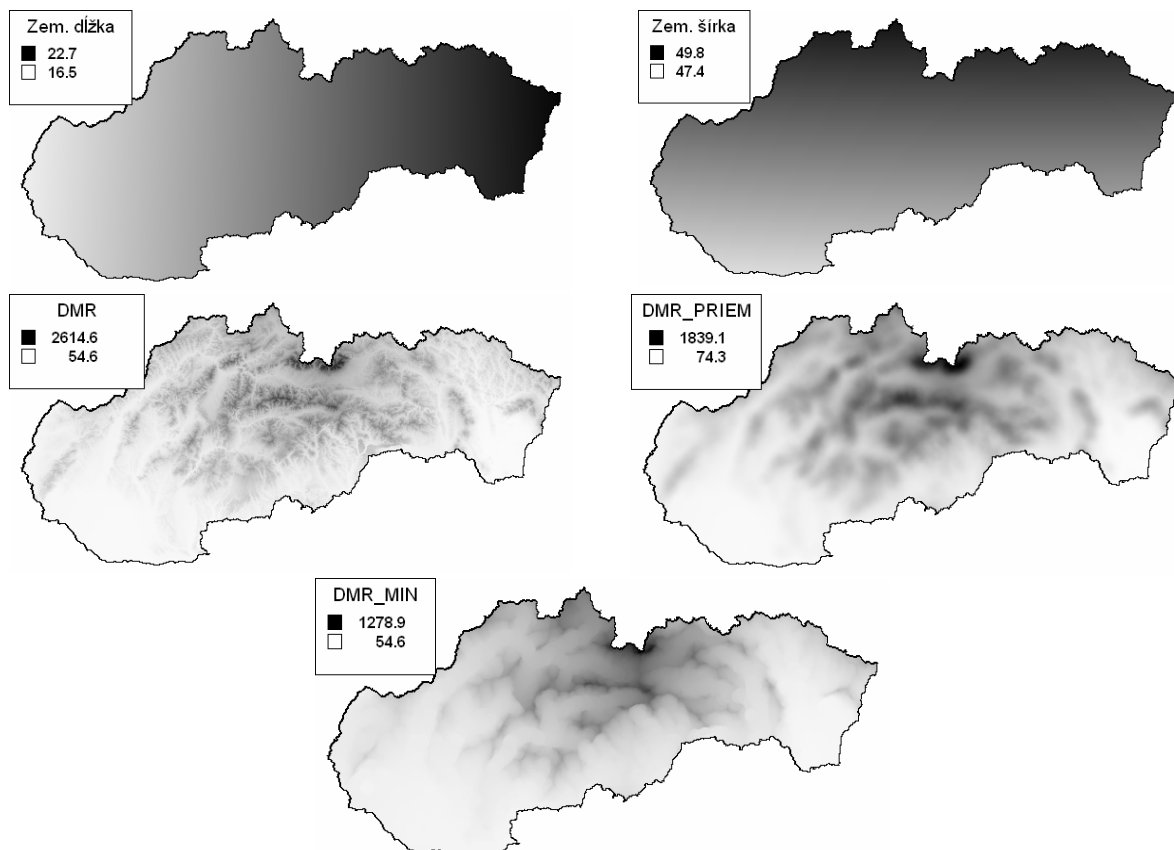
Na území Slovenska možno v teplotách vzduchu sledovať viacero závislostí. Najvýraznejšia je závislosť od nadmorskej výšky stanice, ktorá býva vyjadrená vertikálnym teplotným gradientom v jednotkách $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$. Vertikálny teplotný gradient sa mení nielen v čase ale aj lokálne, jeho hodnoty kolíšu v širokom rozmedzí od hodnôt pod globálnym gradientom $-0,0065^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ až po kladné hodnoty v čase teplotných inverzií. Nadmorská výška stanice však nevystihuje úplne variácie v priemerných mesačných teplotách, tieto do značnej miery závisia aj od lokálnych geomorfologických podmienok (Tveito et al., 2000). Preto boli okrem nadmorskej výšky do krokovej regresie zahrnuté ďalšie dve topografické premenné, a to priemerná nadmorská výška v okruhu 5 km a minimálna nadmorská výška v tom istom okruhu, ktoré obe slúžia ako nepriame indikátory vplyvu terénu v mezoškále. Idea vychádzala z toho, že stanice vo väčších nadmorských výškach (napr. na vrchoch kopcov) odrážajú v porovnaní s okolím iné vplyvy než stanice v menších výškach (napr. v dolinách).

Atlantický oceán funguje ako akumulátor tepla, čo ovplyvňuje teplotné pomery v celej Európe. Úplne protichodný teplotný režim majú rozsiahle vnútoruské roviny s extrémnymi sezónnymi výkyvmi teplôt. Oba tieto vplyvy sa na našom území stretávajú, priebeh najvýraznejšej zmeny je približne v smere východ-západ. Na vyjadrenie kontinentality bola preto do krokovej lineárnej regresie ako ďalšia premenná vybraná zemepisná dĺžka.

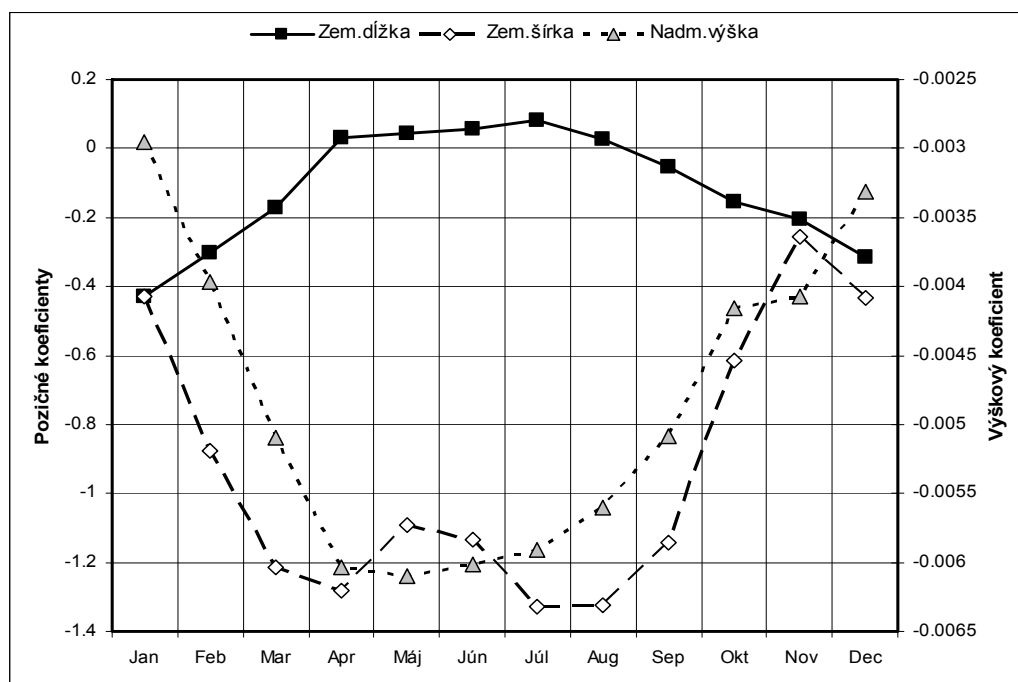
Ostatnou premennou vstupujúcou do krokovej regresie je zemepisná šírka, ktorá vyjadruje severo-južný gradient teplôt, čiže slnečné žiarenie.

Počas samotnej krokovej regresie sa však nepreukázala významnejšia korelácia s DMR_MIN a DMR_MEAN, tieto dva parametre neboli do analýzy zahrnuté. Výsledné regresné koeficienty pre jednotlivé parametre sú na obr. 3. Z grafu je evidentný rozdiel v závislosti teploty vzduchu od všetkých troch parametrov počas letných a zimných mesiacov. Zjavný je vplyv kontinentality vyjadrený parametrom zemepisnej dĺžky, ktorý má v zime záporné a v lete kladné hodnoty. V jarných až letných mesiacoch sa vertikálny teplotný gradient blíži globálnemu gradientu $-0,0065^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$, v zime naopak smeruje k hodnotám blízkym hodnote suchého adiabatického gradientu $-0,001^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$, čo je pravdepodobne spôsobené častým výskytom inverzií.

BANSKÁ ŠTIAVNICA, 27. – 28. máj 2010



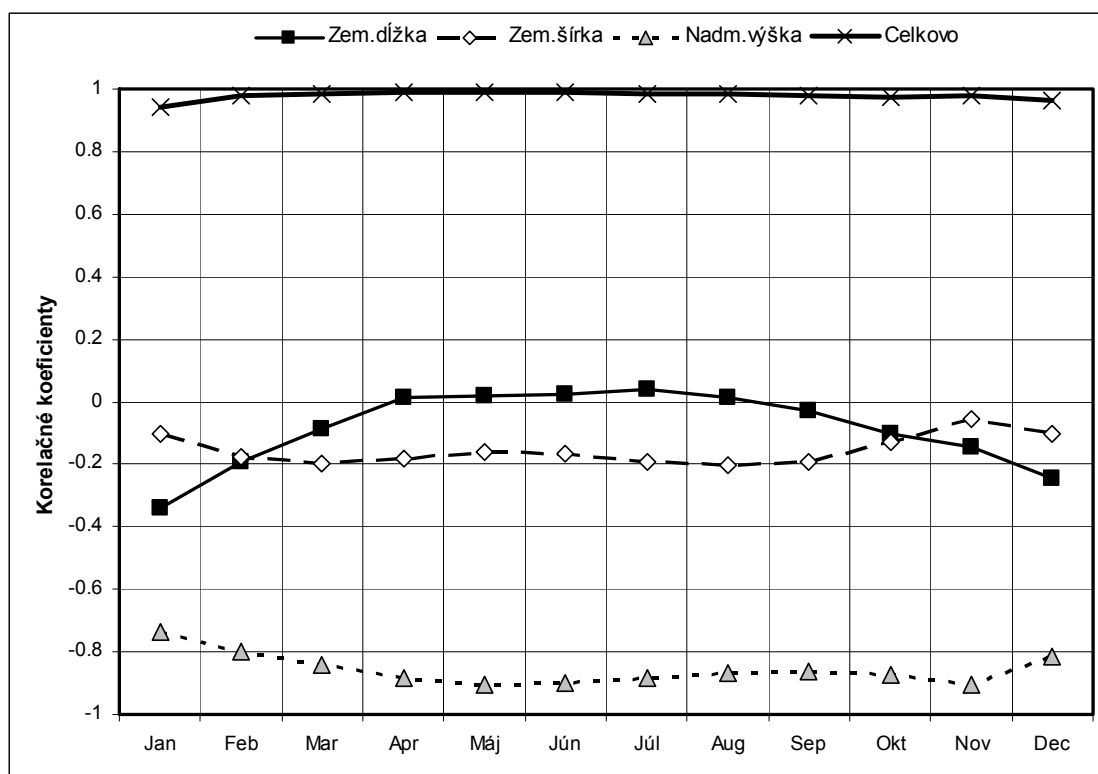
Obr. 2: Rastrové mapy piatich parametrov použitých v krokovej regresii na zistenie trendu v priemerných mesačných teplotách i mesačných zrážkach



Obr. 3: Mesačná variabilita pozičných (zem. šírka a dĺžka) a výškových regresných koeficientov pre teploty vzduchu

BANSKÁ ŠTIAVNICA, 27. – 28. máj 2010

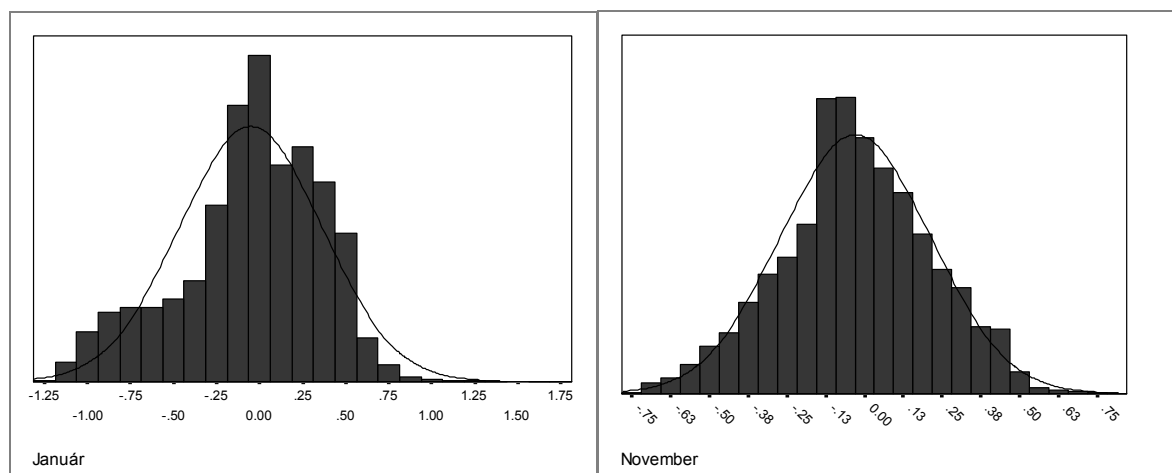
Korelačné koeficienty na obr. 4 dokumentujú vhodnosť použitia zvolených parametrov, koeficient determinácie celého štatistického modelu je v rozsahu od 0,892 do 0,977. Korelácie pre jednotlivé parametre nie sú v priebehu roka konštantné, parametre majú v priebehu roka premenlivú dôležitosť. Korelácie zemepisnej šírky sú najslabšie počas zimy. To je pravdepodobne spôsobené veľkými gradientami medzi východnou a západnou časťou Slovenska v tomto období, spôsobených dlhotrvajúcimi tlakovými výšami nad Ruskom hraničiacimi s nížami nad západnou Európou. V tomto období dochádza k výskytu veľmi nízkych teplôt vo východnej časti, zatiaľ čo na západe je variabilita teplôt nižšia kvôli akumulácii tepla v oceáne.



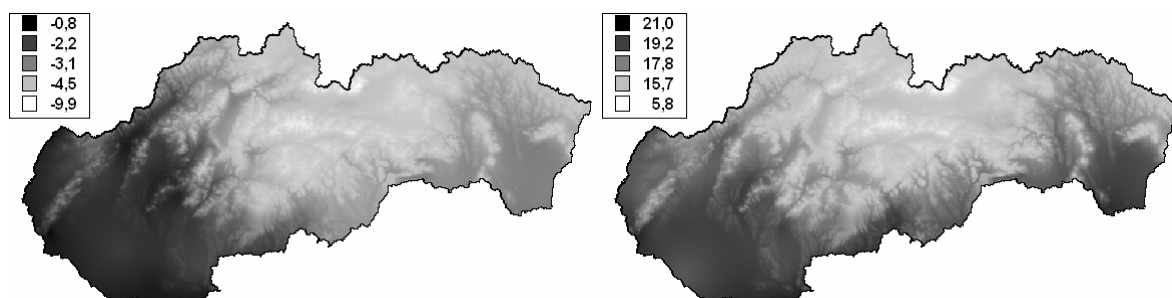
Obr. 4: Mesačná variabilita pozičných a výškových korelačných koeficientov pre teploty vzduchu

Rezíduá získané po odstránení trendu boli pre každý mesiac a taktiež pre priemerné ročné teploty krigované do rastra s rozmermi bunky 1000 x 1000 m. Táto veľkosť je postačujúca vzhľadom na nízku varianciu výsledných dát. Na obr. 5 sú znázornené početnosti krigovaných rezíduí pre dva mesiace s najvyššou a najnižšou varianciou. Rozsah rezíduí je v priemere od -1,38 do 1,03 °C, čo svedčí o dobre identifikovanom trende.

Na obr. 6 sú výsledné rastrové mapy priemerných mesačných teplôt pre mesiac január a august, na ktorých je možné demonštrovať výrazný vplyv kontinentality na klímu Slovenska. V zime sú východné časti Slovenska oproti miestam s rovnakou zemepisnou šírkou na západe o takmer 1,5 °C chladnejšie, v lete naopak takmer o 0,5 °C teplejšie.



Obr. 5: Histogramy krigovaných rezíduí teplôt vzduchu pre január a november

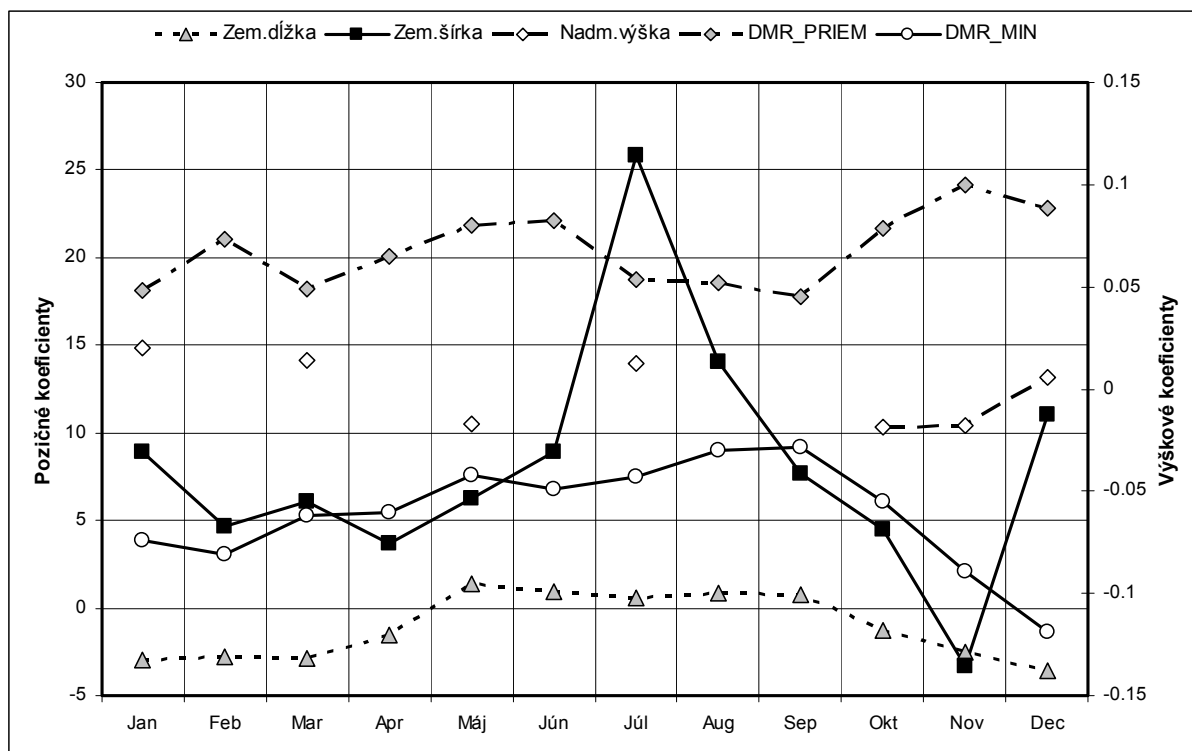


Obr. 6: Interpolované priemerné teploty vzduchu, príklady pre mesiac január (vľavo) a august

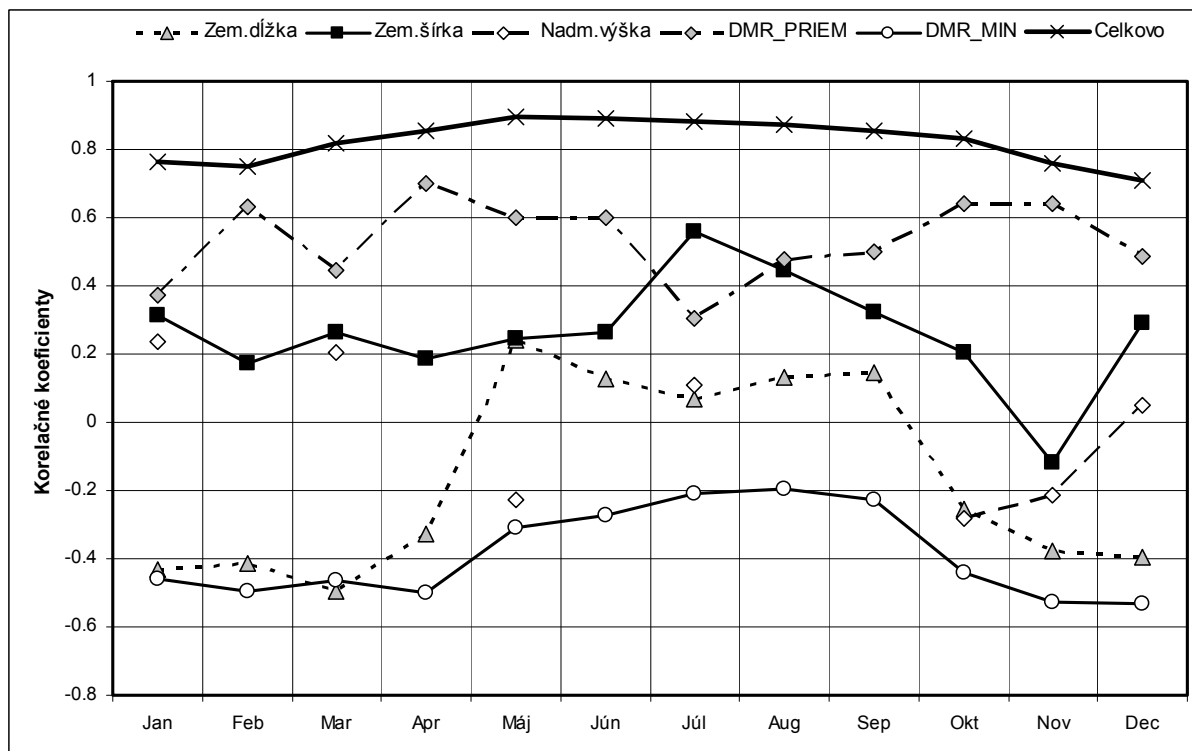
INTERPOLÁCIA PRIEMERNÝCH MESAČNÝCH ZRÁŽKOVÝCH ÚHRNOV

Pri zrážkových úhrnoch sme postupovali identicky ako pri teplotách, t.j. použité bolo opäť reziduálne krigovanie, pričom globálny trend bol identifikovaný krokovou lineárnou regresiou tých istých piatich parametrov: zemepisnej šírky a dĺžky, nadmorskej výšky staníc, DMR_PRIEM a DMR_MIN (obr. 2). Priestorová variabilita zrážok je značne vyššia ako u teplôt, pretože je lokálne ovplyvnená okrem iného aj prevládajúcim typom cirkulácie vzdušných mäs. Situáciu navyše komplikujú ťažkosti pri presnom meraní zrážkových úhrnov najmä na vysoko situovaných staniciach na vrcholoch hrebeňov a hôr, kde je problém zachytiť zrážku pri častých silných vetroch. Tieto okolnosti sa odrazili na menšej parciálnej i celkovej korelácii (obr. 8) pri krokovej regresii piatich parametrov.

BANSKÁ ŠTIAVNICA, 27. – 28. máj 2010



Obr. 7: Mesačná variabilita pozičných a výškových regresných koeficientov pre zrážkové úhrny



Obr. 8: Mesačná variabilita pozičných a výškových korelačných koeficientov pre zrážkové úhrny

Podobne ako pri zrážkach môžeme sledovať meniacu sa závislosť zrážok od zemepisnej dĺžky, kde v zime pozorujeme zvyšovanie zrážkových úhrnov smerom na východ, v lete je tento trend mierne opačný (obr. 7).

Na overenie výsledkov a zistenie chyby odhadovaných hodnôt bola vykonaná krížová analýza, pri ktorej sa z celého súboru vyberie jedno pozorovanie pre ktoré sa porovná nameraná hodnota s odhadovanou a proces sa opakuje pre všetky pozorovania.

VÝPOČET POTENCIÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE

Pre určenie priemernej potenciálnej evapotranspirácie E_p bol vybraný výpočet podľa Thornthwaita (1948, 1955), s mesačným krokom hodnotenia. Táto metóda výpočtu mesačnej potenciálnej evapotranspirácie vychádza z ľahko získateľných podkladových údajov: z priemernej teploty vzduchu (meranej v tieni) a z teoretickej dĺžky slnečného žiarenia (astronomický údaj v závislosti na období a na zemepisnej šírke hodnotenej oblasti). Priemerná mesačná teplota vzduchu vstupuje do výpočtu explicitne, jej prostredníctvom sa stanovujú hodnoty mesačných termických indexov a z nich sa sumáciou stanovuje komplexná funkcia ročného termického indexu. Hodnota korekčného koeficientu závisí od zemepisnej šírky a jeho hodnoty pre jednotlivé mesiace sú spracované tabelárne (Kullman et al., 2002). Priradenie teoretickej dĺžky slnečného žiarenia a priemernej teploty vzduchu a následný výpočet potenciálnej evapotranspirácie E_p boli realizované pre každý objekt rastra s rozmermi bunky 1000 x 1000 m, pre ktorý boli v predchádzajúcich výpočtoch krigované priemerné mesačné teploty obdobia rokov 1951 – 1980.

VÝPOČET REÁLNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE

Hodnotenie reálnej evapotranspirácie E_R môže vychádzať z akejkoľvek výpočtovej metódy podávajúcej správne výsledky o mesačnej potenciálnej evapotranspirácii (E_p). Pre určenie priemernej reálnej evapotranspirácie sme si vybrali výpočet potenciálnej evapotranspirácie podľa Thornthwaita (1948, 1955), s mesačným krokom hodnotenia. Táto metóda sa podľa Kullmana et al. (1997) resp. Kullmana (2000) v porovnaní s referenčnými hodnotami javí ako najpresnejšia. Pri výpočte reálnej mesačnej evapotranspirácie z potenciálnej mesačnej evapotranspirácie skúmame 3 možné vzťahy medzi mesačnými zrážkovými úhrnmi Z a potenciálnou mesačnou evapotranspiráciou E_p , z ktorých sa odvíja riešenie veľkosti E_R .

a) $E_p < Z \Rightarrow E_R = E_p$

V tomto prípade rozdiel medzi Z a E_p zvyšuje zásoby pôdnej vody až do úplného nasýtenia pôdy a zvyšok je k dispozícii pre povrchový odtok a pre infiltráciu.

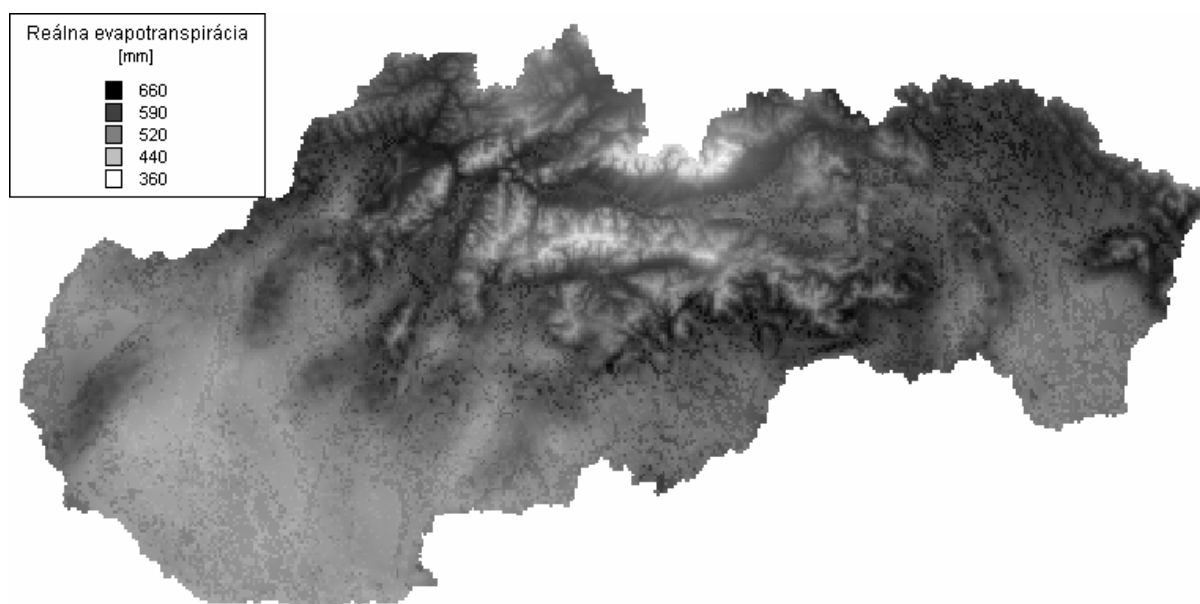
b) $E_p = Z \Rightarrow E_R = E_p = Z$

V prípade b) sa zásoby pôdnej vody nemenia a úhrn zrážok sa spotrebuje v plnom rozsahu na pokrytie reálnej evapotranspirácie

c) $E_p > Z \Rightarrow E_R = Z + \text{časť alebo celé zásoby pôdnej vody}$

Ak je veľkosť zrážkových úhrnov menšia než hodnota potenciálnej evapotranspirácie (prípade c), na pokrytie evapotranspirácie sa využíva celý úhrn zrážok za hodnotené obdobie a dochádza k znižovaniu (úbytku) zásob pôdnej vody ($E_p = Z + \Delta R_p$). Ak na krytie výparu nepostačuje súčet zrážok a zásob pôdnej vody (ak zásoby pôdnej vody sú úplne vyprázdnené), potom je hodnota $E_p - E_R$ deficitom dopĺňania (Kullman et al., 2002). Výpočet reálnej evapotranspirácie E_R bol takisto ako v predchádzajúcom prípade výpočtu E_p realizovaný pre každý objekt rastra s rozmermi bunky 1000 x 1000 m, pre ktorý boli vypočítané priemerné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie v období rokov 1951 – 1980 a stanovené hodnoty mesačných zrážkových úhrnov pre to isté obdobie. Hodnoty poľnej

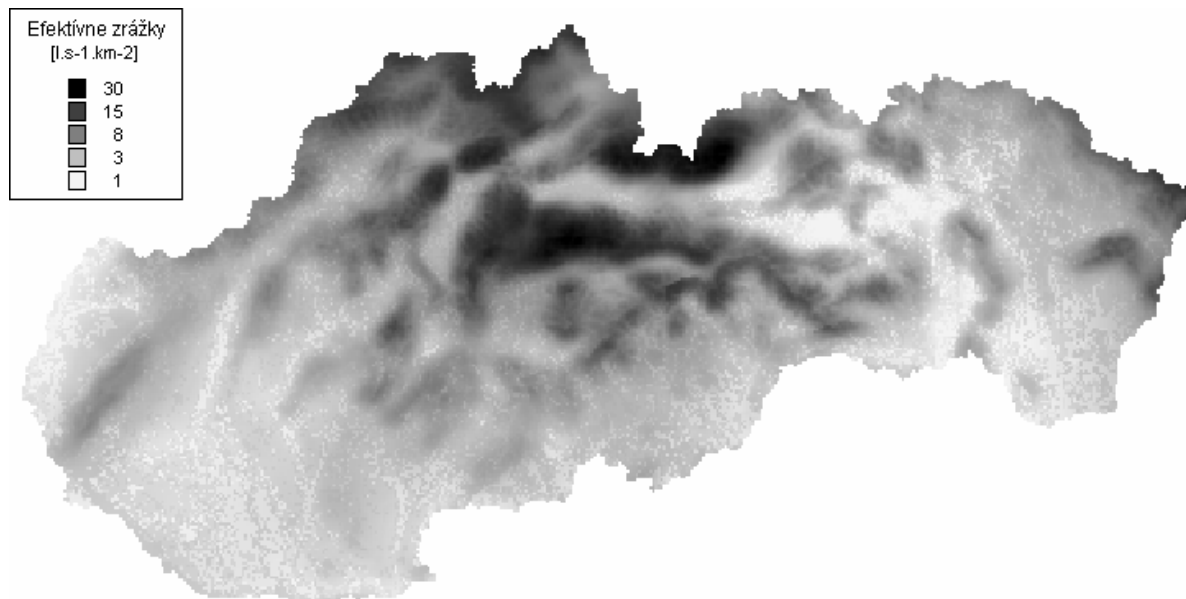
vodnej kapacity, vstupujúce do výpočtu reálnej evapotranspirácie, boli odvodené konfrontáciou DMR s pedologickými podkladmi VÚPOP pre Národnú správu o implementácii rámcovej smernice o vodách v oblasti podzemných vôd (retenčnou schopnosťou pôd; Kullman et al., 2005). Podľa príslušnosti mediánovej hodnoty reklasifikovaného pedologického gridu k jednej z možných 5 kategórií VÚPOP boli jednotlivým bunkám gridu priradené hodnoty poľnej vodnej kapacity v intervale od 80 do 120 mm. Pre prekonanie počítačovej nerovnováhy medzi vstupmi a výstupmi vo výpočte bol pri použití tých istých hodnôt priemerných mesačných zrážkových úhrnov a priemerných mesačných hodnôt potenciálnej evapotranspirácie E_p výpočet realizovaný pre dva ročné cykly, pričom sa za výsledné brali do úvahy iba hodnoty vypočítané pre druhý ročný cyklus. Výsledky tohto výpočtu pre celkove 50179 buniek rastra 1000 x 1000 m sú na obr. 9. Výsledná mapa reálnej evapotranspirácie na obr. 9 je v súlade s bodovými údajmi publikovanými inými autormi (Tomlain, 1997).



Obr. 9: Rastrová mapa priemernej ročnej reálnej evapotranspirácie v rokoch 1951-1980 pre územie Slovenska.

EFEKTÍVNE ZRÁŽKY

Hodnota efektívnych zrážok, t.j. tej časti zrážkových úhrnov, ktorá je schopná tvoriť odtok povrchových vôd alebo infiltrovať do horninového prostredia bola napokon stanovená jednoducho ako rozdiel zrážkových úhrnov a reálnej evapotranspirácie v území (obr. 10). Výsledná rastrová mapa zobrazujúca hodnoty priemerných efektívnych zrážok v jednotkách $[l.s^{-1}.km^{-2}]$ poskytuje realistické hodnoty efektívnych zrážok na Slovensku pre obdobie rokov 1951 - 1980. Na obr. 11 sú tie isté hodnoty priemerných efektívnych zrážok (1951-1980) znázornené v rozmere [mm]. Nami vypočítaná priemerná hodnota efektívnych zrážok pre územie Slovenska má pre obdobie rokov 1951-1980 veľkosť 176,5 mm ($5,60 l.s^{-1}.km^{-2}$), pri priemerných zrážkach 721,9 mm a priemernej reálnej evapotranspirácii 545,5 mm (priemerný ročný potenciálny výpar metódou Thornthwaita je 638,3 mm). Priemerný ročný objem zrážok spadnutých na územie Slovenska by bol potom $35,395 km^3$, a podiel nevyparenej vody cca 24,4 % ($8,653 km^3$).

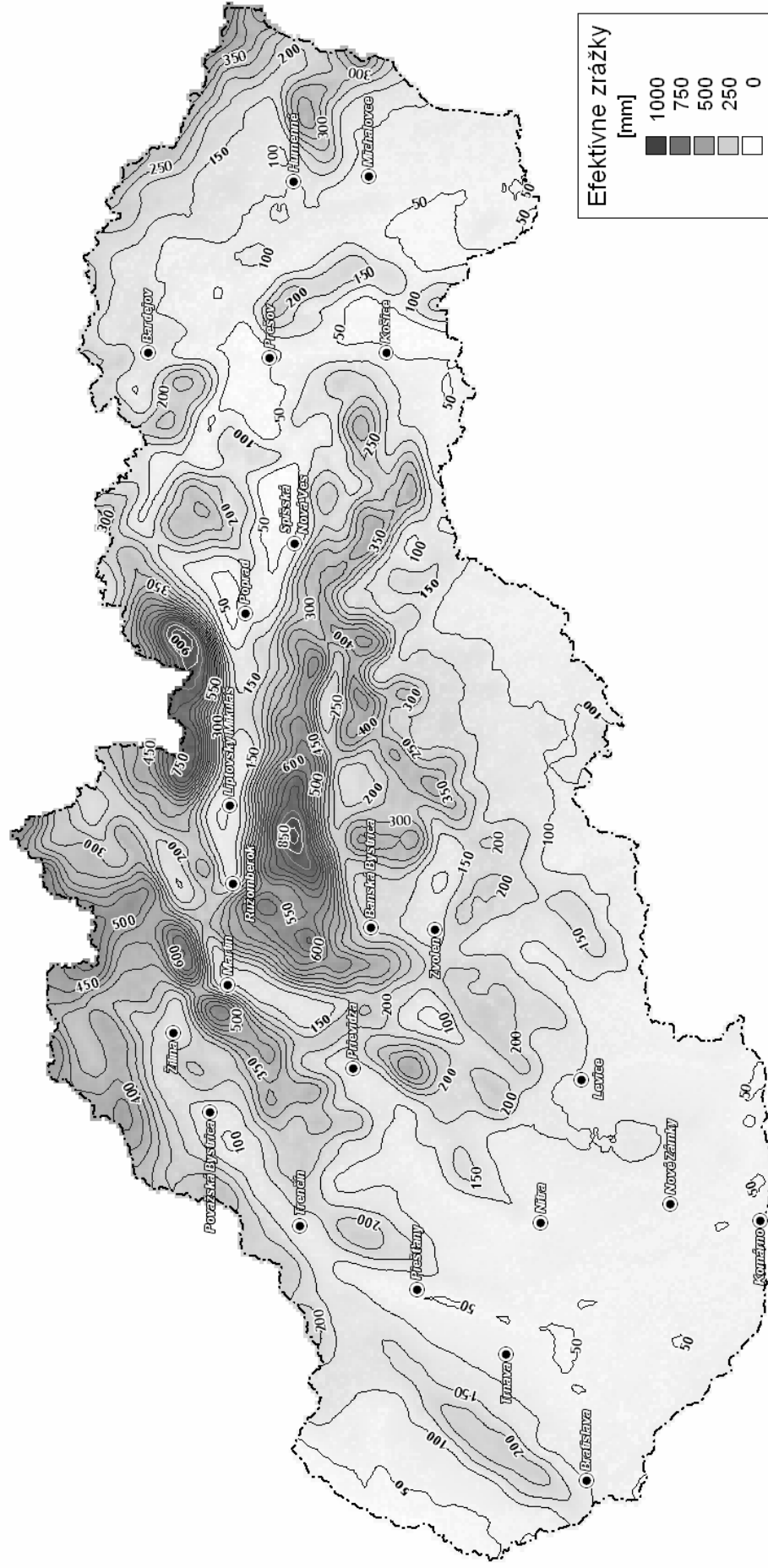


Obr. 10: Rastrová mapa priemerných ročných efektívnych zrážok v rokoch 1951-1980 na území Slovenska, uvádzaných v jednotkách $[l.s^{-1}.km^{-2}]$

ODTOK PODZEMNÝCH VÔD

Tvorba podzemných vôd (a ich následný odtok) sú síce závislé od hodnoty efektívnych zrážok, ale zároveň závisia aj od vlastností horninového prostredia, charakteru pôdneho pokryvu, geomorfologických charakteristík (sklonitosti) územia, drsnosti reliéfu a ďalších faktorov. V najväčšej miere je však schopnosť tejto (neodparenej) časti zrážok infiltrovať do horninového prostredia a vytvoriť tak zásobu podzemných vôd determinovaná vlastnosťami horninového prostredia. Prerozdeľovanie efektívnych zrážok na povrchový a podzemný odtok závisí od hydraulických vlastností horninového prostredia – pri využití poznatkov o plošnom odtoku podzemných vôd z väčšieho počtu povodí a poznatkov o geologickej stavbe a morfolologickej skladbe povodí by v budúcnosti bolo možné dospieť k pomerne presným hodnotám koeficientu prerozdelenia povrchového a podzemného odtoku pre základné litologické typy, ako aj pre rôzne kategórie sklonitosti terénu v kombinácii s geologickou stavbou.

Pre tieto ciele by mohol v blízkej budúcnosti poslúžiť spracovaný prehľad odtoku podzemných vôd, resp. merného odtoku podzemných vôd stanoveného jednotnou metódou (Killeho metóda, metóda lokálneho minima pri použití vhodnej dĺžky časového kroku N a hodnoty bodu zvratu f – o veľkosti 30 dní je nádej na jej korelovateľnosť s Killeho metódou, jednotné stanovenie merného odtoku pomocou čiar nedostúpenia s 330-dennou až 300-dennou veľkosťou). Takto stanovené pomerné zastúpenie podzemného odtoku na celkovom odtoku (baseflow index) pre jednotlivé typy povodí a zohľadňovaní vyššie uvedených vlastností by malo podať prehľad o tvorbe podzemných vôd na našom území. Hustota pozorovacej siete prietokov na povrchových tokoch u nás by mala umožniť vyčíslenie aspoň najelementárnejších orientačných kritérií pre tvorbu podzemných vôd v jednotlivých základných typoch zvodnencov na Slovensku.



Obr. 11: Mapa priemerných efektívnych zrážok v rokoch 1951-1980 na území Slovenska, uvádzaných v jednotkách [mm]. Základný interval izočiár je 50 mm

DISKUSIA

Výsledky vypočítaných hodnôt potenciálnej a reálnej evapotranspirácie E_P a E_R boli konfrontované s hodnotami pre obdobie rokov 1951-1980 publikovanými v zborníku Slovenského hydrometeorologického ústavu (Kolektív autorov, 1991) pre 49 staníc. Od hodnôt E_P a E_R vypočítaných pre príslušné bunky gridu, v ktorých sa tieto stanice nachádzajú, boli odčítané „zborníkové“ hodnoty E_P a E_R . V prípade dát publikovaných v zborníku SHMÚ vykonal výpočet E_P a E_R J. Tomlain metódou, ktorú navrhli Budyko (1974) a Zubenoková (1976; Tomlain in Kolektív autorov, 1991).

Priemerný rozdiel hodnôt potenciálnej evapotranspirácie E_P má veľkosť +54 mm (t. j. nami vypočítané hodnoty E_P boli priemerne o 54 mm vyššie), s relatívnou chybou 9,2 %. Ukazuje sa, že v prípade potenciálnej evapotranspirácie je výrazný trend zvyšovania veľkosti odchýlok so zemepisnou šírkou, ako aj s nadmorskou výškou, čo signalizuje rozdielne zohľadňovanie parametra teploty vo výpočte. V prípade vyšších hodnôt potenciálnej evapotranspirácie E_P (okolo 700 mm) sa však výsledky oboch výpočtov začínajú zhodovať.

V prípade rozdielu vypočítaných a publikovaných hodnôt reálnej evapotranspirácie E_R má tento priemernú veľkosť len +16 mm, s relatívnou chybou 3,5 %. Nami vypočítané hodnoty E_R boli teda priemerne o 16 mm vyššie. Veľkosť rozdielov však nekoreluje ani s nadmorskou výškou, ani s polohou staníc definovanou zemepisnou dĺžkou alebo zemepisnou šírkou. Je zjavné, že obe metódy vychádzajú z rozdielnych vstupných údajov, avšak nami použitá metóda má menšie nároky na počet a objemy meraných, resp. odvodzovaných parametrov (merné vlhkosti vzduchu, radiačná bilancia).

ZÁVER

Praktické dôsledky stanovenia priemerných hodnôt efektívnych zrážok pre jednotlivé regióny sú z hydrogeologického hľadiska zaujímavé nielen v spojení s tvorbou množstiev podzemnej vody, ale aj pri riešeníach kvalitatívnych problémov. Do popredia vtedy vystupuje klimatický dekontaminačný potenciál územia – znižovanie koncentrácie znečisťujúcich látok jednoduchým riedením. Ako príklad môžeme uviesť rozdielne koncentrácie dusičnanov v poľnohospodársky analogicky využívaných územiach (Kordík, 2003, Vrana a Malík, 2003), keď v oblasti okresu Martin je priemerná hodnota koncentrácií NO_3^- 14,6 mg.l⁻¹ (248 vzoriek) a v okrese Poltár 31,5 mg.l⁻¹ (177 vzoriek). Podobne je to aj pri porovnaní okresu Liptovský Mikuláš, kde dosahujú koncentrácie NO_3^- priemernú hodnotu 7,2 mg.l⁻¹ (432 vzoriek) s okresom Revúca s priemerom 20,6 mg.l⁻¹ (244 vzoriek).

Každé riešenie kvantitatívnych hydrogeologických vzťahov numerickým modelovaním si takisto vyžaduje ako jednu zo základných vstupných hodnôt veľkosť efektívnych zrážok (ktoré si však, žiaľ, mnohí dodnes zamieňajú s veľkosťou zrážkových úhrnov, čím vzniklo už veľa omylov a nepresností). Pri zbežnom pohľade na obr. č. 10 alebo 11 prichádzame k poznaniu, že väčšina vodného bohatstva Slovenska sa vytvára v oblasti Vysokých Tatier (vrátane Západných a Belianskych Tatier), Malej a Veľkej Fatry a západnej časti Nízkych Tatier a Slovenských Beskyd. Prekvapuje i vysoká úroveň efektívnych zrážok v oblasti Bukovských vrchov. Pri porovnaní niektorých regiónov zisťujeme, že kým v oblasti Krivánskej Malej Fatry sa hodnoty efektívnych zrážok pohybujú od 249 mm do 723 mm s priemernou hodnotou v oblasti 497 mm (7,9 až 22,9 l.s⁻¹.km⁻², resp. 15,8 l.s⁻¹.km⁻²), v oblasti južnej časti Podunajskej nížiny je to 26 – 130 mm s priemerom 64 mm (0,8 – 4,2 l.s⁻¹.km⁻², resp. 2,0 l.s⁻¹.km⁻²). V oblasti Belianskych Tatier sú efektívne zrážky od 383 mm do 968 mm so strednou hodnotou 738 mm (12,1 – 30,7 l.s⁻¹.km⁻²; 23,4 l.s⁻¹.km⁻²), vo Východoslovenskej nížine 17 – 250 mm s priemerom 76 mm (0,5 – 7,9 l.s⁻¹.km⁻²; 2,4 l.s⁻¹.km⁻²). V prípade Malých Karpát s priemernou nadmorskou výškou 373 m dosahujú hodnoty efektívnych zrážok priemer 184 mm (5,9 l.s⁻¹.km⁻²), v pohorí Branisko s o cca 450 vyšším priemerom nadmorskej výšky 825 m je to však len 138 mm (4,4 l.s⁻¹.km⁻²)

v dôsledku zrážkového tieňa Vysokých Tatier.

Treba však zdôrazniť, že takto vypočítaná hodnota efektívnych zrážok bola stanovená ako dlhodobý priemer pre roky 1951 – 1980 a nezohľadňuje odchýlky v klimatických charakteristikách jednotlivých rokov a iných období. Prezentované výsledky sú aplikovateľné iba pri regionálnych štúdiách väčšieho plošného dosahu a časového rozsahu, pre detailnejšie štúdie je potrebné korigovať priestorové hodnotenia zrážok a teplôt vzduchu s údajmi spracovanými v tejto oblasti na SHMÚ Bratislava. Ako už bolo spomenuté v úvode, podklady použité pre tento výpočet pozostávali z údajov o mesačných teplotách vzduchu z 98 klimatických staníc a mesačných zrážkových úhrnoch z 211 zrážkomerných staníc. V súčasnosti pozoruje Slovenský hydrometeorologický ústav teploty vzduchu na 105 klimatických staniciach a zrážkové úhrny na 680 zrážkomerných staniciach. Napriek ich pretrvávajúcej neekvivalentnej výškovej distribúcii s územím SR je jednoznačné, že tu existuje potenciál pre ďalšie spresňovanie údajov o priestorovej distribúcii zrážok a tým aj o distribúcii hodnôt potenciálnej a reálnej evapotranspirácie a efektívnych zrážok. Takisto bude vhodné v budúcnosti sa zamerať aj na časové rozdelenie efektívnych zrážok a na tomto základe sa pokúsiť charakterizovať väčšie plošné jednotky z hľadiska ich potenciálu pre dopĺňovanie množstiev podzemných vôd.

Samotné prerozdelenie efektívnych zrážok na povrchový a podzemný odtok závisí od hydraulických vlastností horninového prostredia a od morfológických charakteristík terénu, najmä od jeho sklonitosti. Pri využití poznatkov o plošnom odtoku podzemných vôd z väčšieho počtu povodí a poznatkov o geologickej stavbe a morfológickej skladbe povodí by v budúcnosti bolo možné dospieť k pomerne presným hodnotám koeficientu prerozdelenia povrchového a podzemného odtoku pre základné litologické typy a sklonitosti terénu.

Výsledkom geoštatistickej analýzy klimatických parametrov je súbor máp priemerných mesačných a ročných efektívnych zrážok pre celé územie Slovenska. Mapy vďaka svojej veľmi dobrej zhode s meranými hodnotami a vysokému rozlíšeniu, ktoré je možné ďalej zjemňovať, poskytujú hodnotný materiál predurčený na použitie v mnohých regionálnych i lokálnych hydrogeologických štúdiách.

Pri aplikácii metodických postupov na výpočet efektívnych zrážok boli vo veľkej miere využívané geografické informačné systémy, ktoré sa ukázali ako veľmi vhodný nástroj na vykonávanie detailných odhadov klimatických parametrov v priestore a poskytujú excelentné možnosti vizualizácie geoinformácií. Výsledné mapy sú vytvorené v univerzálnom rastrovom dátovom formáte, čím sa možnosti ich priamej aplikácie v GIS výrazne zvyšujú.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- ADAM, J.C., CLARK, E.A., LETTENMAIER, D.P., WOOD, E.F. 2006: Correction of Global Precipitation Products for Orographic Effects, *J. Clim.*, 19(1), 15-38.
- ATLAS KRAJINY SLOVENSKEJ REPUBLIKY. 1. vyd. Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica, 2002, 344 s.
- AUER, I., BÖHM, R., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., MÜLLER-WESTERMEIER, G., CEGNAR, T., DOLINAR, M., GAJIC-CAPKA, M., ZANINOVIC, K., MAUGERI, M., BRUNETTI, M., NANNI, T., CARRER, M., MERCALLI, L., MAJSTOROVIC, Z., BEGERT, M., MOISSELIN, J.-M., CERON, J.-P., BOCHNICEK, O., ZITARI, B., NOLA, P., 2005: A high resolution temperature climatology for the Greater Alpine Region (GAR). *Proceedings of the 28th International Conference on Alpine Meteorology (23-27 May 2005, Zadar (HR))*. In *Croatian Meteorological Journal*, 40, 593-596.
- BOLSTAD, P.V., SWIFT, L., COLLINS, F., RÉGNIÈRE, J. 1998: Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. *Agricultural and Forest Meteorology* 91, 161-176.
- BUDYKO, M.I. 1974: *Klimat i žizň*. Gidrometeoizdat. Leningrad, 1974.

- BURROUGHS, P.P. & McDONNEL, R.A. 1998: Principles of Geographic Information Systems, Oxford University Press, pp. 299.
- COMRIE, A.C. & BROYLESZ, B. 2002: Variability and spatial modeling of fine-scale precipitation data for the Sonoran Desert of south-west Arizona. *Journal of Arid Environments* 50: 573–592.
- CRESSIE, N.A.C. 1993: Statistics for spatial data. John Wiley & Sons, Inc., New York
- CREUTIN, J.D. & OBLED, C. 1982: Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water Resour. Res.*, 18(2), 413-431.
- Daly, C., Neilson R.P. and Philips D.L., 1994. A statistical-topographical model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology* 31, 661-676.
- GONZALEZ-HIDALGO, J.C., De LUIS, M., RAVENTOS, J., SANCHEZ, J.R. 2001: Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a Western mediterranean area. *Int. J. Climatol.* 21: 843–860.
- HEVESI, J.A., FLINT, A.L., ISTOK, J.D. 1992a.: Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. 1. Structural-analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 661-67.
- HEVESI, J.A., FLINT, A.L., ISTOK, J.D. 1992b: Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. 2. Isohyetal maps. *Journal of Applied Meteorology*, 31, 677-688.
- HOFIERKA J., PARAJKA J., MITASOVÁ H., MITAS L. 2002: Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. *Transactions in GIS*, Vol. 6(2), 135-150.
- HRVOL', J., LAPIN, M., TOMLAIN, J. 2001: Changes and variability in solar radiation and evapotranspiration in Slovakia in 1951-2000. *Acta Meteorol. Univ. Comen.*, XXX, 31-58.
- ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M. 1989: Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- KOLEKTÍV Autorov, 1991: Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave, Zväzok 33/I. Klimatické pomery na Slovensku. Vybrané charakteristiky. ISBN 80-05-00888-0, Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 208 s.
- KORDÍK, J. 2003: Stanovenie prírodných požadových koncentrácií dusičnanov s využitím poznatkov o charaktere ich distribúcie v podzemných vodách Slovenska. *Podzemná voda* IX. / 2003 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 5-13.
- KRAVCHENKO, A., ZHANG, R., TUNG, Y-K. 1996: Estimation of Mean Annual Precipitation in Wyoming Using Geostatistical Analysis. *Proceedings WWRC-96-04. Proceedings of American Geophysical Union 16th Annual Hydrology Days*, April 15-18, 1996, Fort Collins, Colorado, pp. 271-282.
- KULLMAN, E., st., in VRANA, K., & SIMPSON, R. 2000: Koncept manažmentu povrchových a podzemných vôd v hraničnom regióne. Záverečná správa projektu ZZ 96 21.03. Manuskript – Archív Úradu vlády Slovenskej republiky. 133 s.
- KULLMAN, E., st., KISSANE, S., ŠALAGA, I. 1997: Evaluation of Groundwater Resources in Slovakia. PHARE Project No. EU/95/WAT/31. PM Consulting Engineers. Manuskript. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 459 s.
- KULLMAN, E., ml., MALÍK, P., BODIŠ, D., HORNÁČKOVÁ-PATSCHOVÁ, A., HALABUK, A., BUJNOVSKÝ, R., HOLUBEC, M., KÚTNIK, P., PORÁZIKOVÁ, K. 2005: Národná správa 2004, časť Podzemná voda, pripravená pracovnou skupinou Implementácia rámcovej smernice o vodách v oblasti podzemných vôd. Ministerstvo životného prostredia SR, 88 s.
- KULLMAN, E., ST., BODIŠ, D., JETEL, J., KOVAŘÍK, K., KULLMAN, E., ml., MALÍK, P. 2002: Metodické postupy pri stanovovaní výpočtu množstiev podzemných vôd. In: SCHERER,

- S. et al., 2004: Mezozoikum a paleozoikum SZ časti Považského Inovca, vyhľadávaci hydrogeologický prieskum. Manuskript – Archív ŠGÚDŠ Bratislava, nestránkované
- LI, S., TARBOTON, D., McKEE, M. 2003: GIS-based temperature interpolation for distributed modeling of reference evapotranspiration. Poster presented at 23rd AGU Hydrology Days, Fort Collins, Colorado, March 31 - April 2.
- NOVÁK, V. 2001: Evapotranspirácia a jej rozdelenia na území Slovenska. Životné prostredie, 3, ÚKE SAV Bratislava.
- PARAJKA, J. 1999: Mapping long-term mean annual precipitation in Slovakia using geostatistical procedures. Int. Conf. Problems in Fluid Mechanics and Hydrology, Institute of Hydrodynamics AS CR, 424-430.
- PARAJKA, J. & SZOLGAY, J. 1998: Grid-based mapping of long-term mean annual potential and actual evapotranspiration in Slovakia. IAHS-AISH Pub. 248, p.123-129.
- SITKOVÁ, Z. 2000: Metodické aspekty priestorového rozloženia klimatických prvkov v horskej oblasti. Bioklimatológia a životné prostredie. XIII, Košice
- STAHL, K., MOORE, R.D., McKENDRY, I.G. 2005: Lapse rates of climate variables for different atmospheric circulation conditions. Headwater 2005. Bergen, Norway. June 2005
- TABIOS, G.Q. & SALAS, J.D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resour. Bull. 21:365–380
- THORNTHWAITE, C.W., & MATHER, J.R. 1955: The water balance. Publ. in Climatol. 8, s. 1 104
- THORNTHWAITE, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rew. 38, s. 55-94
- THORNTON, P.E., RUNNING, S.W., WHITE, M.A. 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. Journal of Hydrology, 190, 214-251.
- TOMLAIN, J. 1997: Rozloženie evapotranspirácie na území Slovenska za obdobie 1961-1990. In: Podzemná voda, roč. 3, 1997, 1.- s. 5-23.
- TVEITO, O.E. 2002: Spatial distribution of winter temperatures in Norway related to topography and large-scale atmospheric circulation, PUB Kick off meeting, Brasilia, Brazil 20-22.November 2002
- TVEITO, O.E., FØRLAND, E.J., HEINO, R., HANSSEN-BAUER, I., ALEXANDERSSON, H., DAHLSTRÖM, B., DREBS, A., KERN-HANSEN, C., JÓNSSON, T., VAARBY LAURSEN, E., WESTMAN, Y., 2000: Nordic temperature maps (Nordklim), DNMI KLIMA Rep. No. 9
- USGS, 2002: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Elevation Dataset. U.S. Geological Survey, Sioux Falls, SD, <http://srtm.usgs.gov/>.
- USTRNUL, Z. & CZEKIERDA, D. 2005: Application of GIS for the development of climatological air temperature maps: an example from Poland. Meteorol. Appl. 12, 43–50.
- Van DIEPPEN, C. & Van der VOET, P. 1998. Application of simple interpolation methods in agrometeorology. Proc. of the Cost 79 workshop "Dealing on Spatialisation". Toulouse, Sept 1996. EU Cost 79 publication. Edited by B. Gozzini. And M. Hims. Luxembourg, 1998. pp 3-18.
- VRANA, K., & MALÍK, P. 2003: EU Nitrate Directive – identification of the vulnerable zones in the territory of Slovakia. Productional and Environmental Aspects of Nitrogen Use in Agricultural Land. Findings of heretofore research in China and Slovakia. Proc. Soil Science and Conservation Research Institute, Bratislava, 2003, 67-81.
- WACKERNAGEL, H., 1998: Multivariate Geostatistics. Springer, New York, Berlin, Heidelberg
- WILLMOTT, C.J. & MATSUURA, K., 1995: Smart Interpolation of Annually Averaged Air Temperature in the United States. Journal of Applied Meteorology, 34, 2577-2586.
- ZUBENOK, L. I. 1976: Isparenije na kontinentach. Gidrometeoizdat. Leningrad, 1976.

REKONŠTRUKCIA PALEOEKOLOGICKÝCH A PALEOENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK NA ZÁKLADE STABILNÝCH IZOTOPOV

Martina Moravcová¹

¹ Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava 11;
martina.moravcova@geology.sk

Úvod

V súčasnosti vzrastá čoraz viac záujem o zaznamenanie sezónnych a krátkotrvajúcich klimatických zmien a ich dopad na lokálne ekosystémy. Medzi významné nástroje umožňujúce rekonštruovať tieto krátkotrvajúce klimatické fluktuácie patria izotopové analýzy biominerálov. Po uhynutí zvierat, je možné na základe izotopových analýz študovať jeho tkanivá a získať tak hodnotné paleoenvironmentálne údaje. Zuby a kosti obsahujú biogénny fosfát (tzv. hydroxylapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$), cieľovú zložku, najvhodnejšiu pre izotopové štúdium. Kostný fosfát je však veľmi porózny a preto náchylný na infiltráciu vody a iných nečistôt. Následná alterácia vedie k ťažkostiam pri priamom štúdiu tejto hmoty. Zubná sklovina a dentín sú na druhej strane husté a majú menšiu porozitu. Takéto vlastnosti podporujú rezistenciu voči zmenám a robia tak sklovinu a dentín významným materiálom pre izotopové štúdie (Koch et al., 1994).

IZOTOPY

Ako vyzeralo prírodné prostredie v minulosti, aká bola tepota, koľko veľa pršalo, čím sa živili pravekí ľudia a zvieratá, to sú otázky, ktoré zaujímajú nielen odborníkov, vedcov ale aj laickú spoločnosť. Ako to bolo v minulosti, sa môžeme dozvedieť z rôznych zdrojov – napríklad skamenelín živočíchov a rastlín, rôznych typov sedimentov, artefaktov ale aj izotopov.

Izotopy (z gréckej predpony iso- (rovnaké-) a topos (miesto) istého chemického prvku sú atómy tohto prvku s rovnakými protónovými číslami, ale s rôznymi počtami neutrónov (teda s rôznymi nukleónovými číslami).

Izotopy toho istého prvku majú prakticky rovnaké chemické vlastnosti; hlavný rozdiel je v tom, že ťažšie izotopy reagujú trochu pomalšie. Tento efekt je najvýraznejší pri izotopoch vodíka - deutéria a trícia. Pri ťažších prvkoch s väčším počtom nukleónov je relatívny rozdiel omnoho menší a jeho vplyv zvyčajne zanedbateľný.

Fyzikálne vlastnosti izotopov sú podobné. Rozdiel je, okrem ich hmotnosti a teda hustoty ich zlúčenín, ich stálosť. Niektoré izotopy totiž nie sú stabilné a podliehajú rádioaktívnemu rozpadu, ako napríklad vodík. Má dva stabilné izotopy – prícium a deutérium a jeden nestabilný izotop – trícium.

VYJADROVANIE MNOŽSTVA STABILNÉHO IZOTOPU

Množstvo stabilného izotopu je typicky vyjadrované v delta zápise (δ), čo je množstvo stabilného izotopu vyjadrené relatívne ku štandardu:

$$\delta = [(R_{\text{vzorky}}/R_{\text{štandardu}}) - 1] \times 1000 \text{ ‰}$$

kde R je molárový pomer ťažšieho izotopu k ľahšiemu, napríklad:

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ alebo } \text{D}/\text{H} \text{ alebo } {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$$

Pre najpoužívanejšie ľahké izotopy sa používajú medzinárodné štandardy (Ehleringer & Cerling, 2002):

H	SMOW a	R = 0,0001558
C	PDB b	R = 0,0112372
N	AIR c	R = 0,0036765
O	SMOV	R = 0,0020052
S	CDT d	R = 0,0450045

a Standard Mean Ocean Water (SMOW)

b Pee Dee Belemnite (PDB)

c Atmospheric Air (AIR)

d Canyon Diablo Triolite (CDT)

Pretože ľahšie izotopy reagujú rýchlejšie ako ťažšie izotopy, veľa chemických a fyzikálnych procesov vyúsťuje do izotopovej frakcionácie. Počas nekompletnej reakcie, reakčný produkt má tendenciu byť spotrebovaný (obsahuje viac ľahšieho izotopu), zatiaľ čo nezreagovaný materiál má tendenciu byť obohatený (obsahuje viac ťažšieho izotopu) (McKechnie, 2004).

VYUŽITIE STABILNÝCH IZOTOPOV PRI ŠTÚDIU GLOBÁLNYCH ZMIEN

Stabilné izotopy sa do organizmu dostávajú prostredníctvom výživy – pevnej potravy a tekutín (voda, materské mlieko) – a sú postupne zabudovávané do tkanív kostí a zubov. Medzi nuklidy (izotopy), ktoré paleontológov a bioarcheológov zaujímajú najviac, patrí $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ a $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. Ich prirodzenými zdrojmi sú atmosféra, voda a geologický podklad, odkiaľ vstupujú do tel rastlín a živočíchov a podieľajú sa na stavbe ich tkanív.

Stabilné izotopy sú významné z niekoľkých dôležitých aspektov pri výskume globálnych zmien.

1. Jednou dôležitou oblasťou využitia stabilných izotopov je **rekonštrukcia minulých environmentálnych podmienok**, ktorá je možné vtedy, keď je zlúčenina usadená a uchovaná po dlhý čas. Niektoré bežné príklady zahŕňajú ľadovcové profily, kosti a zuby cicavcov, schránky mäkkýšov alebo letokruhy stromov.
2. Ďalším významným využitím stabilných izotopov je **rekonštrukcia paleopotravy zvierat a rekonštrukcia štruktúry ekosystému, štruktúra potravinovej siete a trofických úrovní**. Izotopové zloženie zvieracích tkanív odráža ich potravný zdroj. Zatiaľ čo mäkké tkanivá a srst po smrti rozpadnú, zuby a kosti je možné použiť na rekonštrukciu paleopotravy. Podobne pre ekosystémy platí, že izotopové zloženie pôdnej organickej hmoty odráža rastlinnú pokrývku, ktorá sa rozkladala na povrchu tejto pôdy v minulosti.
3. Ďalej sa dajú izotopy využiť pri **rekonštrukcii migrácie zvierat alebo ľudí** a tiež ako stopovače pre **identifikáciu pôvodu materiálu**.

IZOTOPY KYSLÍKU

Kyslík (lat. oxygenium) je chemický prvok v periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku O a protónové číslo 8. Je to bezfarebný plyn. V kvapalnom a tuhom stave má svetlomodrá farbu. Vo vode je slaboz rozpustný. Táto skutočnosť má veľký význam, pre život vodných organizmov, pretože im umožňuje dýchanie. Kyslík je veľmi reaktívny prvok. Reakcie zlučovania kyslíka s látkami sú často exotermické. Základnou vlastnosťou kyslíka je, že sa správa ako silné oxidačné činidlo. Až na halogény, vzácne plyny a niektoré ušľachtilé kovy sa kyslík zlučuje

priamo so všetkými prvkami. Na začatie uvedených reakcií treba spravidla vyššiu teplotu, potom však už uvoľnené reakčné teplo stačí na ich samovoľný priebeh.

Ak sú exotermické reakcie látok s kyslíkom sprevádzané vývojom svetla, označujú sa ako horenie. Aby sa látka zapálila, musí sa zohriať na zápalnú teplotu, ktorá je pri rôznych látkach rôzna. Dodaným teplom vyparená látka reaguje s kyslíkom, pričom sa uvoľňuje také veľké reakčné teplo, že sa tuhé súčasti spalných produktov rozžeravia a svietia. Sálavým teplom sa potom vyparujú ďalšie množstvá látky, spaľujú sa atď., až kým látka nezhorí. Kyslík bol objavený v roku 1774.

Kyslík je na našej zemeguli najrozšíreným prvkom. Pre celkový obsah kyslíka v litosfére, hydrosfére a atmosfére sa udáva 58,0 mólových %. Molekulový kyslík O₂ sa nachádza v atmosfére, kde je jeho obsah 23,0 hm. %, t.j. 20,8 obj. %. Podstatne väčšie množstvo kyslíka je viazané vo vode (H₂O), v horninách a v živých organizmoch, ktorých je stálou a nevyhnutnou súčasťou (biogénny prvok). Kyslík sa v prírode nachádza v tripletovom stave, vďaka čomu nereaguje pri bežných podmienkach s väčšinou prírodných látok (sú obvyčajne singletové) a tým je možná existencia života v oxidačnom prostredí.

Vo vesmíre je zastúpenie kyslíka podstatne nižšie. Na 1 000 atómov vodíka pripadá iba jeden atóm kyslíka.

Prírodne sa vyskytujúci kyslík je zložený z troch stabilných izotopov: ¹⁶O, ¹⁷O, a ¹⁸O. Pričom ¹⁶O je najhojnejší (99,762 %) ([www. environmentalchemistry.com](http://www.environmentalchemistry.com)). Známe izotopy kyslíka majú hmotnostné číslo pohybujúce sa od 12 do 24 (<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/09/070913170108.htm>).

Korelácia medzi kyslíkovým izotopovým zložením cicavčích mineralizovaných tkanív a kyslíkovými izotopmi prímanej meteorickej vody bolo stanovené Longinellim (1984). Tento vzťah sa líši pre rôzne druhy fauny a musí byť kalibrovaný pre daný druh. Dovoľuje rekonštrukciu kyslíkového izotopového zloženia vody, ktorú pili ľudia alebo zvieratá a poskytuje ďalšie izotopové indikátory najmä pre oblasti so značnou nadmorskou výškou alebo oblasti naprieč rozvodím. Toto je možné vďaka tomu, že kyslíkové izotopové zloženie zrážok sa systematicky mení s nadmorskou výškou a zemepisnou šírkou – napríklad sa stáva izotopicky ľahšie (znižovanie δ¹⁸O) so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou (Faure, 1986; Rozanski et al., 1993; Fricke et al., 1998).

Izotopové analýzy zubnej skloviny je možné použiť k rekonštrukcii paleoklimatickým a paleoenvironmentálnym podmienkam (Hoppe et al., 2004).

Počiatkové údaje predstavujú kyslíkové izotopové pomery v karbonáte zubnej skloviny a dentínu v porovnaní so štandardom Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB). Najprv je potrebné tieto údaje konvertované späť na prvotný pomer ¹⁶O k ¹⁸O.

$$R_{\text{vzorky}} = (\delta^{18}\text{O}/1000 + 1) \times R_{\text{VPDB štandardu}}$$

Tieto údaje sú potom rekalibrované relatívne ku SMOW štandardu (Standard Mean Ocean Water):

$$\delta^{18}\text{O} = (R_{\text{vzorky}}/R_{\text{SMOW štandard}} - 1) \times 1000\text{‰}$$

$$^{16}\text{O}/^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} = 2,00672 \times 10^{-3}$$

$$^{16}\text{O}/^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 2,0052 \times 10^{-3}$$

Izotopové údaje obdržané z laboratória väčšinou predstavujú výsledky z karbonátovej časti skloviny a dentínu. Nato aby sme vypočítali δ¹⁸O zrážok, je nevyhnutné konvertovať karbonátové hodnoty skloviny a dentínu na fosfátové hodnoty skloviny a dentínu. Na tento prepočet sa využívajú vzťahy:

$$\delta^{18}\text{O}_p = 0,98 \times \delta^{18}\text{O}_c - 8,5 \text{ (pre } Mammuthus \text{ primigenius) (Iacumin et al. (1996))}$$

Vzájomný vzťah medzi $\delta^{18}\text{O}$ prijatej vody a hodnotami $\delta^{18}\text{O}$ apatitu skloviny a dentínu sa líšia medzi druhmi, čo je spôsobené metabolickými rozdielmi a intenzitou prijatej vody. Publikované prepočítavacie vzorce pre mamuty a kone:

$$\delta^{18}\text{O}_w = [\delta^{18}\text{O}_p - 23,3 (\pm 0,7)] / 0,94 (\pm 0,10) \text{ (pre } Mammuthus \text{ primigenius) (Aylife et al., 1992),}$$

pre *Mammuthus primigenius* je možné použiť tiež vzťah, ktorý udáva Jones et al., (2001):

$$\delta^{18}\text{O}_w = [\delta^{18}\text{O}_p - 23,9] / 0,88$$

Tieto vzorce boli použité na výpočet $\delta^{18}\text{O}$ prijatej vody.

Pomocou vzťahu uvedených vzorcov je potom možné vypočítať paleoteplotu:

$$T = [\delta^{18}\text{O}_w + 14,35] / (0,59 \pm 0,09) \quad r^2 = 0,49 \text{ Rozansky et al. (1992)}$$

Vysvetlivky:

R = molárny pomer ťažšieho izotopu k ľahšiemu

SMOW = medzinárodný štandard (Standard Mean Ocean Water)

PDB = medzinárodný štandard (Pee Dee Belemnite)

$\delta^{18}\text{O}_p$ = hodnota izotopového pomeru $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ fosfátovej zložky skloviny alebo dentínu

$\delta^{18}\text{O}_c$ = hodnota izotopového pomeru $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ karbonátovej zložky skloviny alebo dentínu

$\delta^{18}\text{O}_w$ = hodnota izotopového pomeru $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ zrážok

VYUŽITIE IZOTOPOV KYSLÍKA

KLIMATOSTRATIGRAFIA

Obdobie kvartéru sa už tradične delí na obdobia glaciálov a interglaciálov. Glaciály predstavujú časovo predĺžené sumárne chladné klimatické fázy, charakteristické významnou expanziou kontinentálnych a horských ľadovcov. Detailnejšie sa členia na kratšie obdobia štádiálov a interštádiálov. Štádiály znamenali v rámci glaciálov kratšie chladné epizódy, počas ktorých sa vyskytli výraznejšie lokálne postupy ľadovcov a interštádiály zasa relatívne krátkodobé a menej výrazné teplejšie epizódy. Interglaciály boli teplé časovo predĺžené klimatické intervaly, počas ktorých teploty v teplotných maximách dosahovali hodnoty zhodné alebo vyššie v porovnaní s tepelnými hodnotami počas holocénu.

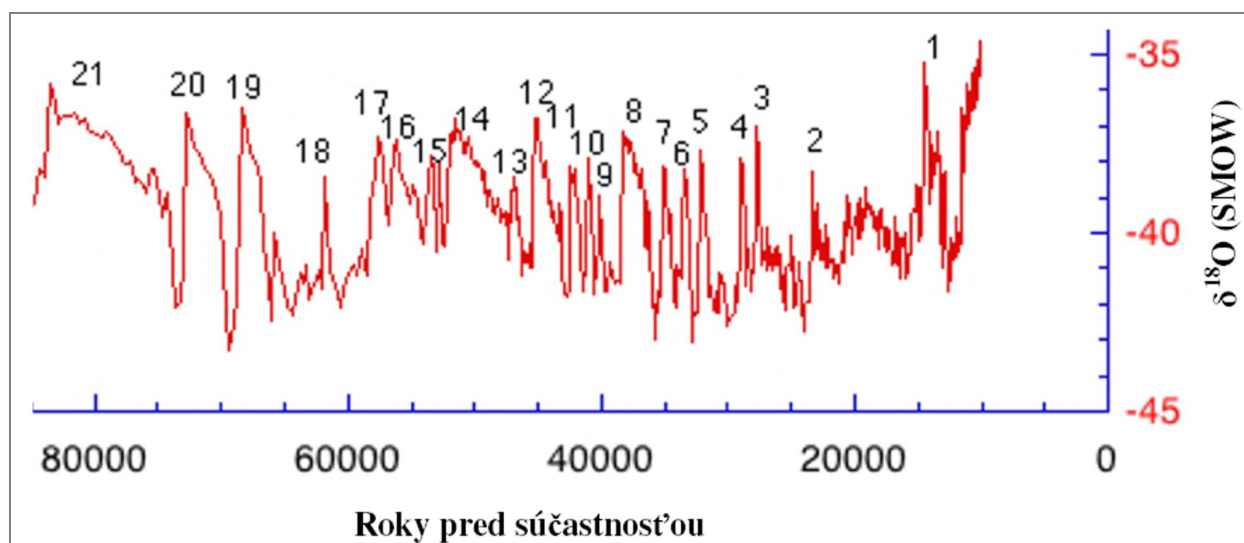
Napriek uvedenému však istým problémom zostáva skutočnosť, že paleobotanické rozlíšenie medzi interglaciálom a interštádiálom sa v rámci rôznych geografických provincií javí ako nejasné, ba dokonca až zavádzajúce. Napr. na Britských ostrovoch sa zo skorých kvartérnych chladných období nenachádza dôkaz pre aktivitu ľadovcov (Bowen et al., 1986) a tento prípad je typický tiež pre mnohé iné časti sveta (Dawson, 1992). V dôsledku uvedených nezrovnalostí je preto výhodnejšie pre hlavné kvartérne klimatické epizódy používať termíny ako „chladné klimatické štádium“, resp. „mierne klimatické štádium“. Ani tieto termíny však nie sú celkom príznačné, či dokonale a majú taktiež svoje vlastné problémy, týkajúce sa napr. kvantifikácie klimatických zmien, definovania hranice medzi teplými a chladnými epizódami, alebo získavania protikladných proxy údajov pre niekdajšiu klímu a i. Ďalším problémom sa tiež môže javiť fakt, že v arídnych a semiarídnych oblastiach sa klimatické zmeny počas kvartéru prejavovali iba suchými klimatickými epizódami interpluviálov v striedaní s obdobiami veľkých zrážok

tzv. pluvíálov. V neposlednej miere je tu aj historický problém novej terminológie, keď sa objavujú prípady, v ktorých nie je možné vyhnúť sa tradičnej terminológií (Lowe & Walker, 1997).

Medzi dôležité termíny, často využívané v kvartérnej terminológii patria tzv. „eventy“. Ide o náhle krátkodobé klimatické výkyvy, trvajúce niekedy iba niekoľko desaťročí, počas ktorých nastávajú rozsiahle a markantné klimatické zmeny. Zaznamenané sú dokonca v ľadovcových jadrách vrto. K typickým príkladom eventov patrí napríklad mladší dryas na konci posledného glaciálu alebo tzv. event z obdobia pred 8 200 rokmi. Známe sú aj ďalšie a výraznejšie eventy, napr. Dansgaard-Oeschgerove alebo Heinrichove eventy (Alley et al., 2003; Cox, 2005; Dressler & Parson, 2006).

DANSGAARD-OESCHGEROVE EVENTY

Pre klimatický záznam v priebehu strednej časti viselského glaciálu sú charakteristické rýchle klimatické eventy tretieho rádu, tzv. Dansgaard/Oeschgerove (D/O) oscilácie (obr. 1). Tieto oscilácie takmer úplne chýbajú v iniciálnej a terminálnej fáze glaciálneho maxima. Medzi 110 000 – 23 000 rokmi BP bolo rozoznaných až 24 takýchto fluktuácií, počas ktorých priemerné ročné teploty kolísali v rozmedzí okolo 5° – 8° C. V oblasti severnej hemisféry majú eventy podobu rýchlych teplých epizód. Objavili sa náhle, počas niekoľkých desaťročí a trvali cca 500 – 2000 rokov. Teplotný rozdiel medzi teplými a studenými fázami dosahoval až 7° C. Každá epizóda bola nasledovaná postupným ochladením počas dlhej periódy (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993; Grip 1993; Grootes et al., 1993).



Obr. 1: Náhle teplé klimatické **Dansgaard-Oeschgerove** eventy, zaznamenané ľadovcových jadrách vrto z Grónska (www.ncdc.noaa.gov/paleo/abrupt/data_glacial2.html).

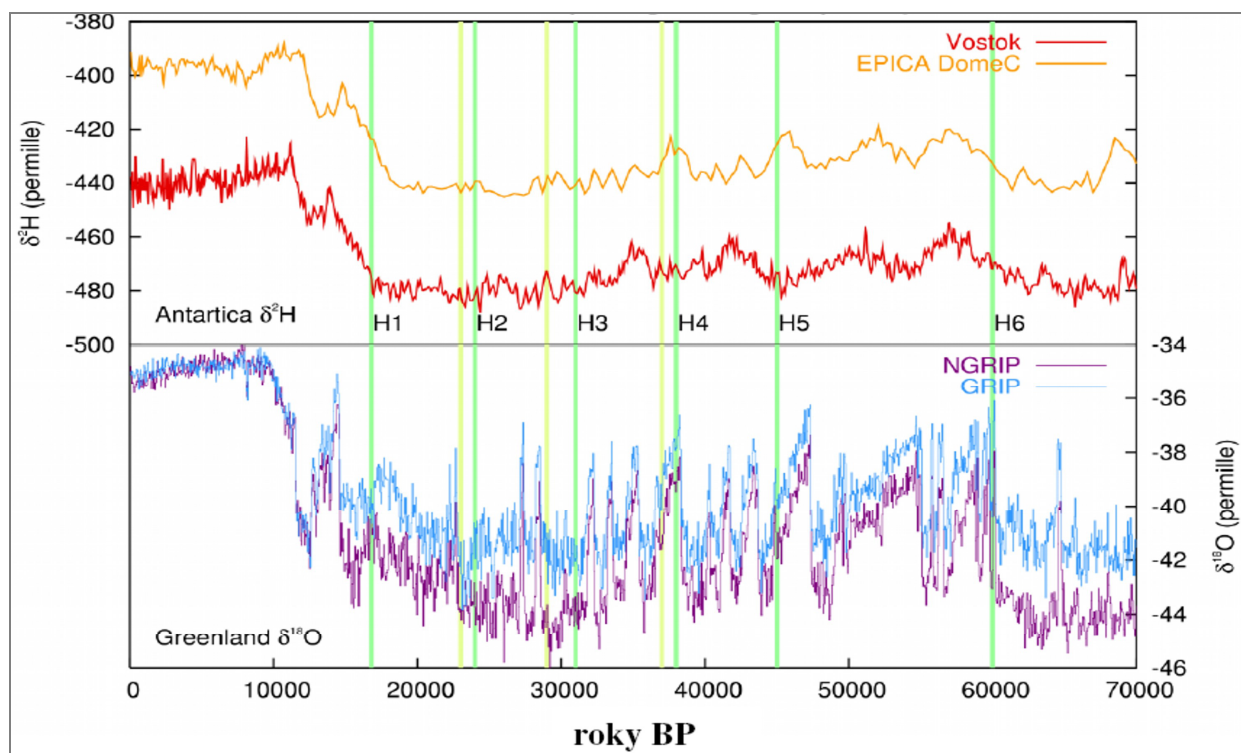
HEINRICHOVE EVENTY

Ako Heinrichove eventy (obr. 2) sú označované náhle klimatické epizódy, ku ktorým dochádzalo mnohonásobne v priebehu posledného würmského (viselského) glaciálu. Zistené boli na základe merania izotopov ^2H a ^{18}O z ľadovcových jadier vrto z Anktartídy a Grónska. Za hlavnú príčinu vzniku eventov sa pokladá tzv. „telenie“ sa ľadovcov, t.j. ich vytápanie a enormný rozpad na okrajoch vo forme krýh a blokov. Rýchle šírenie sa ľadovcov môže totiž vyústiť do uloženia sa tenkých vrstvičiek sedimentov na povrchu i v telesách, čo znižuje albédo (odraz) slnečného žiarenia a zvyšuje topenie sa ľadovcov. Sedimenty z topiaceho sa ľadu ostávajú pri pobrežiach,

resp. pri morskej hladine. Vplyvom topenia dochádza jednak k náhlemu globálnemu zvýšeniu morskej hladiny až o niekoľko metrov, ako aj k zvýšeniu teploty morskej vody v prúdoch a tým aj k náhlemu otepleniu sledovanej severnej hemisféry.

Následnou reakciou na takýto teplotný event, môže byť zvýšenie prítomnosti atmosférických cyklón so zvýšenou vlhkosťou, čo sa prejavuje zvyšujúcou sa rýchlosťou akumulácie snehu. To mohlo umožniť opätovný nárast ľadovcov a ich návrat do predošlých plošných rozmerov, čím nastala nová chladná fáza (Heinrich, 1988; Bond et al., 1993).

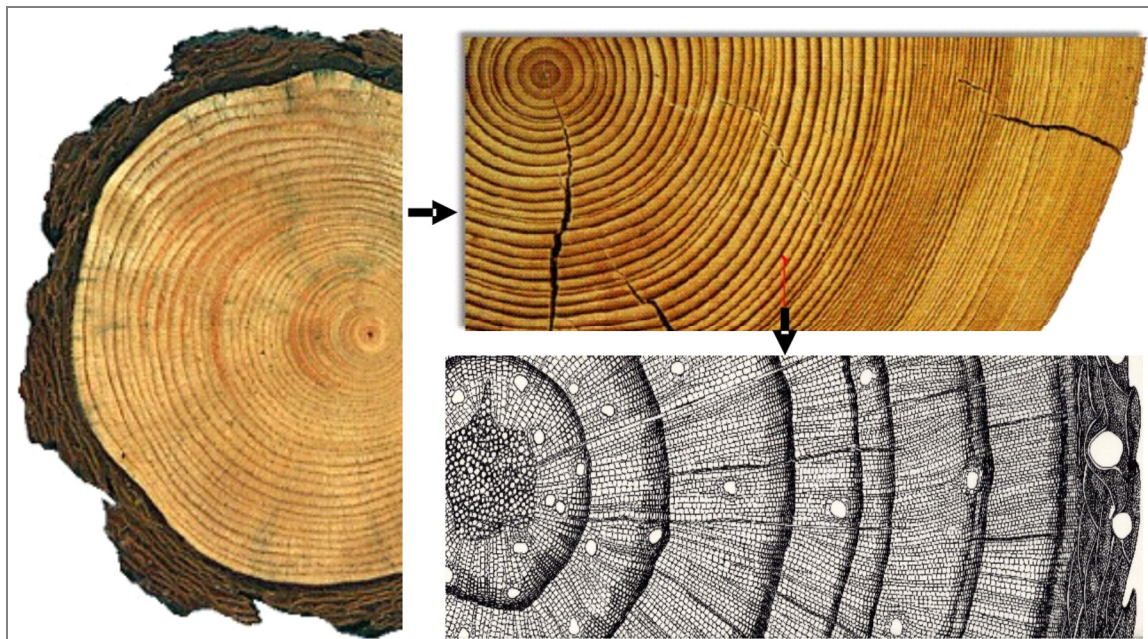
Na obr. 2 sú pre porovnanie zobrazené eventy z ľadovcových jadier vrtov Vostok, EPICA domeC, NGRIP a GRIP, pričom z posledne menovaných dvoch vrtov sú viditeľné aj záznamy vyššie uvedených lokalizovaných Dansgaard-Oeschgerových eventov.



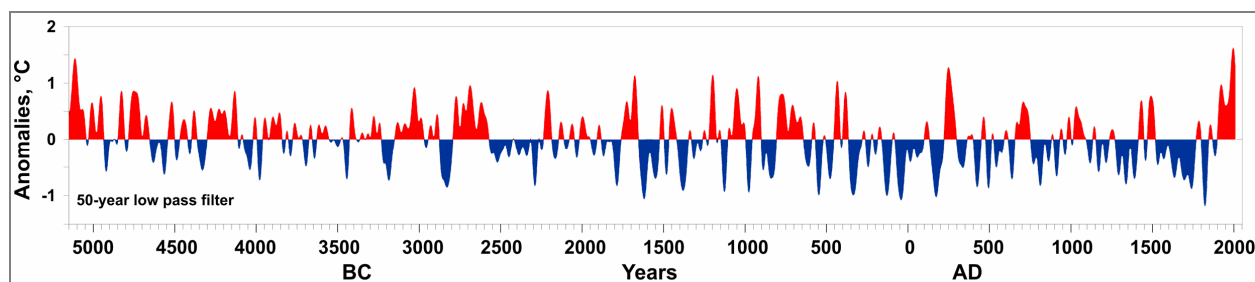
Obr. 2: Teplotné proxy údaje z Antarktických (červená, oranžová) a Grónskych (bordová, modrá) ľadovcových vrtov. Heinrichove eventy označujú zelené a žlté vertikálne čiary. Dansgaard-Oeschger eventy sú zreteľnejšie viditeľné na vyhodnoteniach $\delta^{18}\text{O}$ z Grónskych vrtov NGRIP a GRIP. Vyhodnotenie: Leland McInnes s použitím Gnuplot a na základe nasledujúcich údajov: Vostok (červená): <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/vostok/deutnat.txt>; EPICA DomeC (oranžová): ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc_dd.txt; GRIP (modrá): <http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/grip-ss09sea-cl-50yr.stp>; NGRIP (bordová): http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/NGRIP_d18O_50yrs.txt; zelená vertikála (Hemming, 2004); žltá vertikála (Bond & Lotti, 1995).

IZOTOPOVÁ DENDROKLIMATOLÓGIA

Izotopová dendroklimatológia je založená na pomere izotopov O_2 , C a H. Vodíkové a kyslíkové izotopové zloženie u rastlín je určené izotopovým zložením vody využívané rastlinami. Existuje priamy vzťah medzi teplotami a pomermi D/H a $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ v zrážkach. Z toho dôvodu môžu byť v letokruhoch (obr. 3) využité ako klimatické proxy indikátory $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^{13}\text{C}$ (Bradley, 1985) (obr. 4).



Obr. 3: Znáozornenie letokruhov stromu



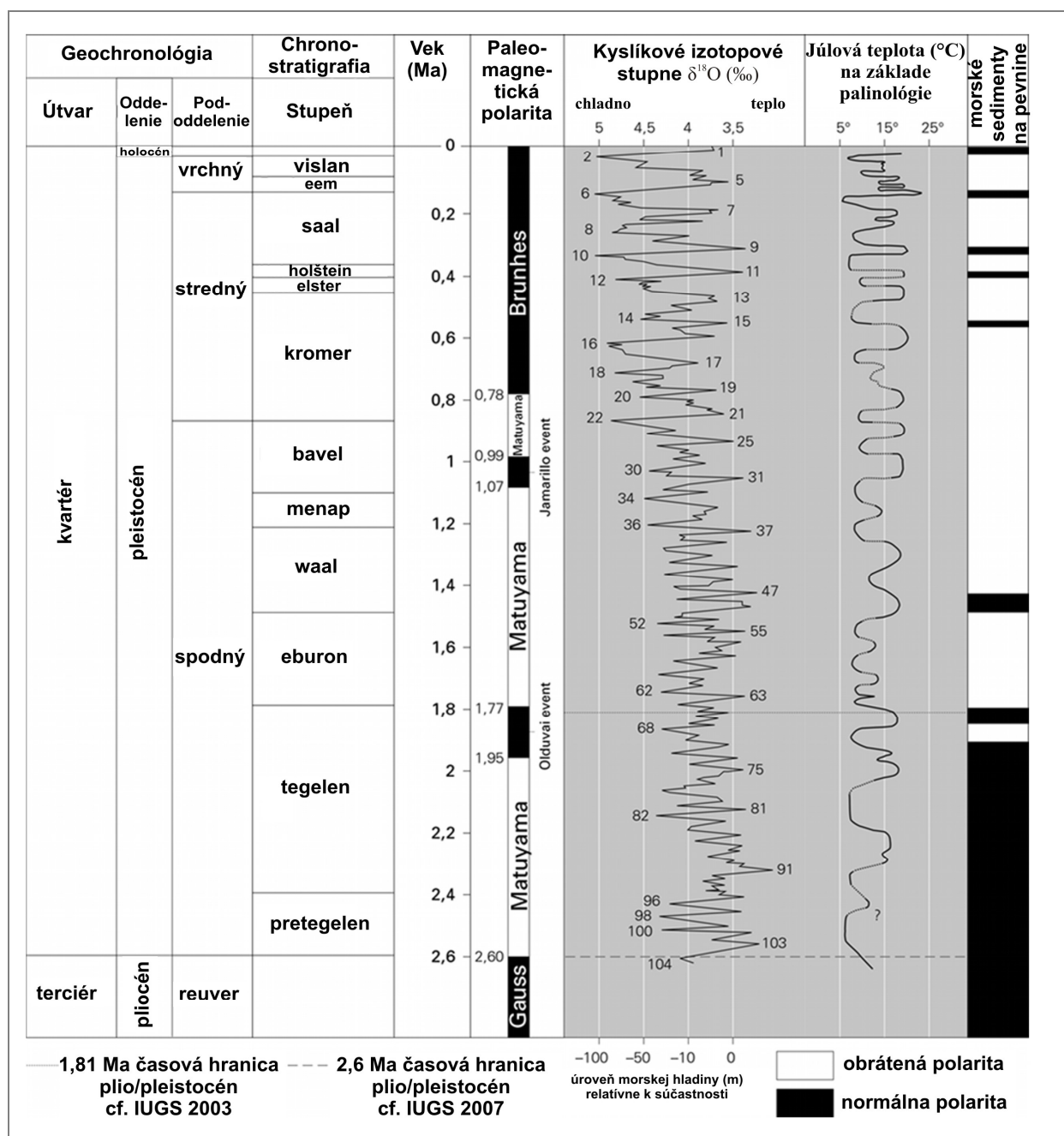
Obr. 4: Variácie letokruhov stromov transformované do letných teplotných anomálií za posledných 7 000 rokov, založené na holocénnych vzorkách z Jamalského poloostrova a súčasných ihličnanov zo Sibíra (Hantemirov and Shiyatov, 2002)

KYSLÍKOVÁ IZOTOPOVÁ STRATIGRAFIA

V hlbokooceánskych pelitických sedimentoch tvoria izotopy kyslíka proxy záznamy dlhotrvajúcich klimatických zmien a prostredníctvom mikrofauny a flóry, obsiahnutej v týchto sedimentoch, je možné získať absolútny záznam meniacich sa izotopových pomerov v čase. Zmeny pomerov izotopov kyslíka poskytujú dôkazy o glaciálnych a interglaciálnych osciláciách a taktiež tvoria základ pre stratigrafické delenie a korelácie na veľké vzdialenosti.

Na základe vrtných jadier z rôznych lokalít sveta bola vypracovaná globálne použiteľná schéma a krivka kyslíkových izotopových stupňov – marine isotope stages (MIS), – oxygen isotope stages (OIS), ktoré zobrazuje tab. 1.

Klimatické zmeny počas kvartéru boli veľa viacej dynamickejšie, ako jednoduché oscilácie, ktoré znázorňuje donedávna využívaný model štyroch glaciálov/troch interglaciálov. Záznamy izotopu kyslíka zo schránok morských foraminifer naznačujú najmenej dvadsať hlavných klimatických fluktuácií počas tohto obdobia (Shackleton and Opdyke, 1973).



Tab. 1: Geochronológia, chronostratigrafia, paleomagnetizmus, kyslíkové izotopové stupne a júlová paleoteplota (na základe peľových analýz) v období kvartéru. Teplé klimatické fázy sú na krivke zobrazené v tabuľke reprezentované ľahšími hodnotami $\delta^{18}\text{O}$ a chladnejšie fázy ťažšími hodnotami $\delta^{18}\text{O}$ (podľa Berendsena, 2004)

ĽADOVCOVÁ KLIMATOLÓGIA

Metóda je založená na odpočte identifikovateľných ročných prírastkov ľadu v danom profile (vrte) (obr. 5). V ľadovcových vrtoch sa môže odpočtom prírastkov vytvoriť chronológia pre celý rozsah vrtu. Okrem vizuálnych znakov môže byť identifikované aj kolísanie ďalších parametrov, ako napr. ročné kolísanie v zastúpení izotopových pomerov $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$, kolísanie elektrickej vodivosti ľadu, obsahu prachu a mikročastíc, kolísanie prvkového zloženia (Budd et al., 1989).

Vo veľkých hĺbkach ľadovca však ročné prírastky splývajú, preto je obtiažne ich detekovať. To znamená, že u veľmi hrubého ľadovca nie je možné prírastkovú metódu využiť. V Grónskom ľadovci, kde bola akumulácia snehu pomerne rýchla, bolo v rámci projektu GRIP po jednotlivých rokoch od povrchu zistený vek, siahajúci až k 14 500 BP (Johnsen et al., 1992) a pomocou čiastočnej interpolácie u starších vrstiev až do 40 500 BP. Naopak v niektorých oblastiach Antarktického ľadovca, kde sú ročné akumulácie snehu nízke, dochádza k povrchovému odnosu a difúzií izotopov do firnu, čo sťažuje štúdium chronológie.



Obr. 5: Odoberanie ľadovcových jadier v Grónsku (Riebeek, 2006)

Najväčší potenciál má datovanie ľadovcových vrtov pre neskorý glaciál (14 000 – 9 000 BP). V ľadovcovom vrte GISP2 sú klimatické zmeny doprevádzané kolísaním koncentrácií prachu (vzrastajúca eolická aktivita v priebehu chladných období) a zmenami v hrúbke ročných vrstiev ľadu, odrážajúcimi kolísanie akumulačnej rýchlosti (napr. snehové zrážky). Z vrtu (obr. 6) sú jasne rozpoznateľné také klimatické epizódy ako je prechod z najstaršieho dryasu do interštadiálu bölling (14 680 ± 400 ľadovcových rokov BP), koniec mladšieho dryasu (11 640 ± 250 rokov BP) a trvanie mladšieho dryasu (štadiál) 1 300 ± 70 rokov (Alley et al., 1993).



Obr. 6: 19 cm úsek ľadovcového vrtného jadra z projektu GISP ukazujúci „ročné“ vrstvy. Tento úsek pochádza z hĺbky 1,855 m a obsahuje 11 vrstiev so svetlejšími „letnými“ a tmavšími „zimnými“ vrstvičkami.

IZOTOPY KYSLÍKU $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ – REKONŠTRUKCIA PALEOTEPLY

Kyslíkové izotopové pomery sa primárne využívajú pri determinácii návykov pitia a fyziologických procesoch a môžu priniesť informáciu, napríklad o lokálnych zrážkach (Wang et al., 1993). Pevninské cicavce precipitujú ich kosterné časti za stálej teploty $\approx 37^\circ\text{C}$. Kyslíkové izotopové zloženie bioapatitu je preto závislé len na izotopovom zložení vody cicavčieho tela (Longinelli, 1984). $\delta^{18}\text{O}$ telesnej vody je zase spojená s izotopovým zložením prijatej vody z prírodného prostredia, ktorá zvyčajne korešponduje s priemernými hodnotami $\delta^{18}\text{O}$ regionálnych zrážok. Izotopové zloženie meteorickej vody koreluje s regionálnymi ročnými teplotami (Dansgaard, 1964). Kyslíkové izotopové zloženie fosílného kostrového materiálu obsahuje informácie o minulých teplotách atmosféry v terestrických prostrediach. Zo všetkých kostrových častí je zubná sklovina všeobecne považovaná za najrezistentnejšiu voči post-depozičným alteráciám a preto je aj preferovaným materiálom pre izotopový výskum (Ayliffe et al., 1992, 1994; Bryant et al., 1994, 1996; Koch et al., 1997; Lee-Thorp & Sponheimer, 2003; Zazzo et al., 2004).

Prijatá voda v teplých podnebiach má viac ťažšieho izotopu ^{18}O (vyšší izotopový pomer) a v chladných podnebiach má viac ľahšieho izotopu ^{16}O (nižšie izotopové pomery). Môžeme porovnať kyslíkové izotopové pomery v zuboch s pomermi z vody z rôznych oblastí a zistíme kde mohol jedinec žiť v čase formovania sa jeho dentície.

ZÁVER

Prírodné izotopy sa využívajú už mnoho rokov v rôznych odvetviach od biológie a lekárstva, cez štúdium životného prostredia a kontrolu kvality potravín a liekov až k čisto technickým aplikáciám. Ich primárnou výhodou je úplná neškodnosť človeku i prostrediu, pretože nie sú rádioaktívne a prirodzene sa vyskytujú v prírode.

Význam izotopového zloženia sa javuje i pri identifikácii klimatických podmienok, za akých bola infiltrovaná konkrétna podzemná voda. Takým spôsobom – najmä z analýz pomeru izotopov ^{18}O a ^{16}O , ako aj ^2H a ^1H , môžeme usudzovať o prevládajúcom podnebí v čase jej infiltrácie. V kombinácii s datovaniami vekov vôd pomocou ďalších metód (najčastejšie rádioaktívnymi izotopmi ^{14}C alebo ^3H) môžeme vystopovať teplotné pomery v konkrétnom (absolútnom) čase, kedy došlo k vstupu tejto vody do hydrogeologického systému. Poznatky, získané z takto analyzovaných zdrojov môžu predstavovať cenný materiál, zhodnotiteľný pri bádaniach v rámci projektu „Výskum dopadu klimatickej zmeny na dostupné množstvá podzemných vôd v SR a vytvorenie expertného GIS“. V týchto prípadoch sa vyhodnocuje priamo voda, teda organizmami „nespracovaná“ surovina, ktorá však – v často zmenených klimatických podmienkach – slúži životu na povrchu našej planéty v súčasnosti.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Alley, R. Meese, C. A. Shuman, A. J. Gow, K. C. Taylor, P. M. Grootes, J. W. C. White, M. Ram, E. D. Waddington, P. A. Mayewski, and G. A. Zielinski (1993): Abrupt accumulation increase at the Younger Dryas termination in the GISP2 ice core, *Nature* 362, 527-529.
- Alley, R., Marotzke, J., Nordhaus, W. D., Overpeck, J. T., M. Peteet, D., Pielke Jr., R. A., Pierrehumbert, R. T., Rhines, P. B., Stocker, T. F., Talley, L. D., Wallace, J. M. (2003): Abrupt Climate Change. *Science*, 299, 5615, 2005-2010.
- Ayliffe, L. K., Chivas, A. R. and Leakey, M. G. (1994): The retention of primary oxygen isotope compositions of fossil elephant skeletal phosphate. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 58, 5291–5298.
- Ayliffe, L. K., Lister, A. M. and Chivas, A. R. (1992): The preservation of glacial-interglacial climatic signatures in the oxygen isotopes of elephant skeletal phosphate. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, 179-191.
- Ayliffe, L. K., Lister, A. M. and Chivas, A. R. (1992): The preservation of glacial-interglacial climatic signatures in the oxygen isotopes of elephant skeletal phosphate. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 99, 179-191.
- Berendsen, H. J. A. 2004: De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie. *Fysische geografie van Nederland*. Vierde geheel herziene druk met CD-ROM. Assen, Koninklijke Van Gorcum.
- Bond, G. and Lotti, R. (1995): Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science*, 267, 1005-1010.
- Bond, G., Broecker, W., Johnsen, S., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J. and Bonani, G. (1993): Correlation between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature* 365, 143 – 147.
- Bowen, D. Q., Rose, J., McCabe, A. M. and Sutherland, D. G. (1986): Correlation of Quaternary glaciations in England, Ireland, Scotland and Wales. *Quaternary Science Reviews*, 5, 299-340.
- Bradley, R.S., 1985. *Quaternary Palaeoclimatology: Methods of Palaeoclimatic Reconstruction*. Unwin Hyman, London, 472.
- Bryant, J. D., Froelich, P. N., Showers, W. J. and Genna, B. J. (1996): Biologic and climatic signals in the oxygen isotopic composition of Eocene–Oligocene equid enamel phosphate. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126, 75– 89.
- Bryant, J. D., Luz, B. and Froelich, P. N. (1994): Oxygen isotope composition of fossil horse tooth phosphate as a record of continental paleoclimate. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 107, 303– 316.
- Budd, W. F., Andrews, J. T., Finkel, R. C., Fireman, E. L., Graf, W., Hammer, C. U., Jouzel, J., Raynaud, D., Reeh, N., Shoji, H., Stauffer, B. and Weertman, J. 1989: Group Report. How can an ice core chronology be established? In Oeschger, H. and Langway, C. C. eds: *The environmental record in glacier and ice sheets*. Wiley and Sons, 177, 192.
- Cox, J. D. (2005): *Climate Crash: Abrupt Climate Change and What It Means for Our Future*. Washington DC, Joseph Henry Press, 224.
- Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436– 468.
- Dansgaard, W., Johnsen, S., Clausen, H., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Hammer, C., Hvidberg, C., Steffensen, J., Sveinbjornsdottir, A., Jouzel, J., Bong, G. (1993): Evidence for general instability in past climate from a 250 kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- Dawson, A. G. (1992): *Ice Age Earth: Late Quaternary Geology and Climate*. Routledge, London, 293.
- Dressler, A.E. and Parson, E.A. (2006): *The science and politics of global climate change: a guide to the debate*. Cambridge: Cambridge University Press, 190.
- Ehleringer, J. R. and Cerling, T. E. (2002): The Earth system: biological and ecological dimensions of global environmental change. *Stable Isotopes*. Volume 2., 544-550 In: *Encyclopedia of Global Environmental Change*. (Ed): Mooney, H. A. and Canadell, J. G., John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

- Faure, G. (1986): Principles of Isotope Geology. Wiley & Sons, New York, 589 pp.
- Fricke, H. C., Clyde, W. C. and O'Neil, J. R. (1998): Intra-tooth variations in delta O-18 (PO4) of mammalian tooth enamel as a record of seasonal variations in continental climate variables. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 62(11): 1839-1850.
- ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc_dd.txt
- <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/vostok/deutnat.txt>
- GRIP Greenland Ice-Core Project Members (1993): Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 364, 203-207.
- Grootes, P. M., Stuiver, M., White, J. W. C., Johnsen, S. J. and Jouzel, J. (1993): Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland Ice cores. *Nature*, 366, 552-554.
- Hantemirov, R. M. and Shiyatov, S. G. (2002): A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia. *Holocene* 12, 6.
- Heinrich, H. (1988): Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research*, 29, 142-152.
- Hemming, S. R. (2004): Heinrich events: Massive late pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint. *Reviews of Geophysics*, 42, RG1005.
- Hoppe, K. A., Stover, S. M., Pascoe, J. R. and Amundson, R. (2004): Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 206, 355 – 365.
- Iacumin, P., Bocherens, H., Mariotti, A. and Longinelli, A. (1996): Oxygen isotope analyses of coexisting carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth and Planetary Science Letters*, 142, 1-6.
- <http://www.environmentalchemistry.com>
- <http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/grip-ss09sea-cl-50yr.stp>
- http://www.glaciology.gfy.ku.dk/data/NGRIP_d18O_50yrs.txt
- <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/09/070913170108.htm>
- <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/09/070913170108.htm>
- Johnsen, S. J., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N., Hammer, C. U., Iversen, P., Jouzel, J., Stauffer, B. and Steffensen, J. P. (1992): Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.
- Johnsen, S. J., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N., Hammer, C. U., Iversen, P., Jouzel, J., Stauffer, B. and Steffensen, J. P. (1992): Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.
- Jones, A., O'Connell, T., Young, E., Scott, K., Buckingham, C., Iacumin, P. and Brasier, M. (2001): Biochemical data from well preserved 200ka collagen and skeletal remains. *Earth and Planetary Science Letters*, 5976, 1-7.
- Koch, P. L., Fogel, M. L. and Tuross, N. (1994): Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes . In: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 63-92.
- Koch, P., Tuross, N. and Fogel, M. (1997): The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science*, 24, 417– 429.
- Lee-Thorp, J. and Sponheimer, M. (2003): Three case studies used to reassess the reliability of fossil bone and enamel isotope signals for paleodietary studies. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, 208–216.
- Longinelli, A. (1984): Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 48, 385-390.
- Longinelli, A. (1984): Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 48, 385-390.

- Lowe, J. J. and Walker, M. J. C. (1997): *Reconstructing Quaternary Environments* 2nd edition. Pearson Education, Edinburgh, 446.
- McKechnie A. E. (2004): Stable isotopes: powerful new tools for animal ecologists. *South African Journal of Science*, 100, 131-134.
- Riebeek, H. (2006). *Paleoclimatology: The Ice Core Record*. Retrieved November 11, 2006, from the National Aeronautics and Space Administration Web site: http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Paleoclimatology_IceCores/.
- Rozanski, K., Araguas-Araguas, L. and Gonfiantini, R., 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: P.K. Swart, K.C. Lohmann, J. McKenzie, S. Savin (Eds.), *Climate Change in Continental Isotopic Records*, Geophysical Monographs 78, 1993, pp. 1-36.
- Rozanski, K., Araguds-Araguds, L. and Gonfiantini, R. (1992): Relation between long-term trends of 180 isotope composition of precipitation and climate. *Science*, 258, 981-985.
- Shackleton, N. J. and Opdyke, N. D., (1973): Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28 – 238: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 105 and 106 year scale. *Quaternary Research*, 3, 39-55.
- wang, Y., Cerling, T. E., Quade, J., Bowman, J. R., Smith, G. A. and Lindsay, E. H. (1993): Stable Isotopes of Paleosols and Fossil Teeth as Paleoecology and Paleoclimate Indicators: An Example from the St. David Formation. *Climate Change in Continental Isotopic Records*. Geophysical Monograph 78, Arizona, 241-248.
- www.ncdc.noaa.gov/paleo/abrupt/data_glacial2.html
- Zazzo, A., Le'cuyer, C. and Mariotti, A. (2004): Experimentally-controlled carbon and oxygen isotope exchange between bioapatites and water under inorganic and microbially-mediated conditions. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 68, 1 –12.

SÚČASNÉ POZNATKY O VPLYVE LESNATOSTI NA REŽIM ODTOKU A ICH VYUŽITIE V HYDROGEOLOGII

Peter Bajtoš¹

¹ Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, RC Spišská Nová Ves; peter.bajtos@geology.sk

Úvod

Vplyv lesnatosti povodia na odtok je predmetom štúdia lesnícko-hydrologického výskumu už dlhé obdobie. Vďaka zložitosti procesu tvorby odtoku vody z povodia však dosiaľ jeho výsledok nie je jednoznačný. Zatiaľ čo prevažuje zhoda v názore na priaznivý vplyv lesa na vyrovnanosť odtoku z povodia, názory na vplyv lesnatosti na výšku odtoku zostávajú nejednotné. Navyše, čo je dôležité pre hydrogeologickú prax, chýbajú využiteľné poznatky o vplyve lesnatosti na výšku podzemného odtoku. Tento príspevok si kladie za cieľ podnietiť záujem hydrogeológov o túto problematiku, predložením výsledkov orientačného štúdia vplyvu lesnatosti na odtokové charakteristiky vybraných povodí východného Slovenska metódou viacnásobnej regresnej analýzy. Východiskom tohto štúdia boli práce na hydrogeologickej časti projektu ROBINWOOD (Bajtoš et al., 2006), zamerané na zhodnotenie súčasného stavu poznatkov o význame lesných porastov pri tvorbe zásob podzemných vôd v povodiach a formovaní zrážkovo-odtokových procesov, aktivitách negatívne ovplyvňujúcich hydrogeologické systémy a úlohe legislatívnych nástrojov pri ochrane hydrologických ekosystémov a hydrosféry.

DOTERAJŠIE POZNATKY O VPLYVE LESA NA ODTOK Z POVODÍ

Lesnícko-hydrologický výskum sa začal v roku 1900 pozorovaním tzv. párových povodí Sperbelgraben a Rappengraben, neskôr v roku 1929 pokračoval v Kýchovej a Zdechovke (in. Valtýni 1997), a potvrdil priaznivý vplyv lesov na znižovanie kulminačných prietokov. Výskumom v 88 povodiach rôznej veľkosti a lesnatosti v bývalom ZSSR (Idzon 1961) sa zistilo, že v 44 prípadoch odtieklo viac vody zo zalesnených povodí, v 24 prípadoch bol odtok z lesnatých povodí menší ako z nezalesnených a v 20 prípadoch boli ročné odtoky premenlivé. Podľa Zachara (et al., 1984) zvýšenie lesnatosti povodia zapríčinilo zväčšenie odtoku len vo veľkých povodiach, zatiaľ čo v malých povodiach tomu bolo naopak (rozdiel medzi veľkým a malým povodím v citovanej práci neudaný). Na zväčšenie odtokového množstva vody po odlesnení povodia poukázal (Hibbert 1976), po vyhodnotení pokusov s odlesňovaním čiastkových povodí v Cowete, Oregone a Colorade.

Záver analyzy odtoku zo 137 rôzne zalesnených povodí na území Slovenska (Valtýni, 1980) poukazujú na zistenie závislosti výšky odtoku a lesnatosti. V povodiach s veľkosťou rozlohy 15 – 45 km² (priemerne 30 km²) sa úmerne so zväčšovaním lesnatosti L povodia znižovali hodnoty maximálneho merného odtoku $q_{\max}$ i priemerného merného odtoku q_a . Závislosť $q_{\max} = f(L)$ bola najvýraznejšia v povodiach s retenčne málo účinnými horninami (flyš) a relatívne malou lesnatosťou. Závislosť $q_a = f(L)$ zas bola výraznejšia v povodiach vlhkých a chladných oblastí, v porovnaní s teplými a suchými oblasťami. Valtýni (1986) uvádza, že najvýraznejšie je výškou lesnatosti ovplyvnený maximálny špecifický odtok vo flyšových oblastiach, kde aj malý pokles lesnatosti spôsobí výrazné zvýšenie rozkolísanosti odtoku zvýšením maxím. Vplyv zmeny lesnatosti na odtok je najnižší v povodiach budovaných karbonátmi, kde v porovnaní s flyšom je približne o polovicu nižší (l. c.). Podľa Midriaka (1992) dosahuje povrchový odtok v ihličnatých lesoch (smrek, jedľa, borovica, smrekovec) na Slovensku od 22 do 782 (priemerne 255) l/ha za deň čo je 0,07 – 2,52 (priemerne 0,99 %) z množstva zrážok spadnutých na voľnú plochu bez lesného porastu. O niečo vyšší (l. c.) je odtok z listnatých lesov (buk, dub, hrab) s 34 – 1080 (priemerne 323) l/ha z deň, t. j. 0,14 – 5,03 (priemerne 1,52) % zrážok.

Na základe párovej porovnávacej štatistickej analýzy odtoku z dvoch malých povodí Bobrovo (lesnatosť 45 %) a Veľká Voda (lesnatosť 95 %) v kaldere Poľany, zaznamenávaného v období rokov 1995 – 2000, boli zistené rozdiely v hodnotách priemerného denného odtoku (Závacká – Merganič, 2003). Dokázané bolo, že vyplývajú z 50 % rozdielu v ich lesnatosti. Konštatované bolo, že vyššia lesnatosť sa prejavila tlmením kulminačných prietokov i zvýšením priemerného ročného špecifického odtoku.

METODIKA HODNOTENIA A POUŽITÉ ÚDAJE

Štatistickou analýzou sme študovali závislosť základných odtokových charakteristík vybraných povrchových tokov od charakteristickej nadmorskej výšky ich povodia, jeho lesnatosti a stupňa prietočnosti ich horninového podložia. Keďže ide o skúmanie vzťahu medzi závislou premennou a viacerými nezávislými premennými, aplikovaná bola viacnásobná regresná analýza. Pojem viacnásobná regresia (multiple regression) prvýkrát použil Pearson v roku 1908. Na rozdiel od jednoduchšej regresie, definovanej v lineárnej forme rovnicou $Y = a + b \cdot X$ (a – konštanta, b – regresný koeficient B), v prípade viacerých nezávislých premenných regresná čiara nemôže byť zobrazená v dvojrozmernom priestore v podobe grafu. Výpočtom sa určuje lineárna rovnica tvaru $Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_p \cdot X_p$, v ktorej každý regresný koeficient reprezentuje príspevok príslušnej nezávislej premennej X k predpovedi hodnoty závislej premennej Y . V našom prípade sme pre výpočet rovnice viacnásobnej regresie použili softvérový systém na analýzu údajov Statistica v7.1 (StatSoft, 2005).

Pre hodnotenie boli použité základné údaje o odtoku z povodí pozorovaných v základnej monitorovacej sieti SHMÚ, publikované v hydrologických ročenkách za rok 1996 (Deáková et al., 1997) a 2003 (Blaškovičová et al., 2004). Pre hodnotenie boli použité: priemerný ročný prietok povrchového toku v monitorovanom profile Q_p , minimálny mesačný priemer prietoku toku v príslušnom roku Q_{mm} a minimálna hodnota denného prietoku v roku (minimálny ročný prietok) Q_{mr} . Ako závislé premenné boli testované nasledovné charakteristiky, odvodené od predošlých pomocou známej plochy príslušných povodí P (km^2): merný ročný odtok z povodia $q_p = Q_p / P$, merný mesačný minimálny odtok $q_{mm} = Q_{mm} / P$ a merný minimálny ročný odtok $q_{mr} = Q_{mr} / P$. Do hodnotenia boli zahrnuté záverové časti povodí tokov, lokalizované na území východného Slovenska v povodí Slanej (3), Hornádu (22), Popradu (10), Bodvy (5) a Bodrogu (23), spolu 63 povodí. Plocha hodnotených povodí dosahovala 12,5 – 306 km^2 , v priemere 99,5 km^2 . Z hľadiska ročných zrážkových úhrnov Slovenska bol rok 1996 normálny (839 mm = 110 % dlhodobého normálu), rok 2003 veľmi suchý (573 mm = 74,5 %).

Charakteristická nadmorská výška príslušného povodia bola určená ako nadmorská výška miesta v polovičnej dĺžke hlavného toku povodia. Zistené hodnoty sa pohybovali v intervale 130 – 910 m n.m. s priemerom 443 m n.m.

Lesnatosť povodia predstavuje percentuálny podiel plochy povodia pokrytý lesným porastom. Pre hodnotené povodia sme ich odvodili na mapovom podklade krajinej pokrývky M 1:500 000 (Feranec, 1995 in Atlas krajiny SR, 2002), vizuálne interpretovanom zo satelitných snímok. Lesný porast zahŕňa nerozčlenené listnaté, ihličnaté, zmiešané lesy a kosodrevinu. Zostatok plochy povodí tvoria kroviny a/alebo prirodzené lúky, poľnohospodárske areály, v menšej miere urbanizované a priemyselné areály prípadne mokrade. V hodnotených povodiach lesnatosť dosahovala 19,7 – 90,3 %, v priemere 57 %.

Prostredníctvom prietočnosti hornín sa hodnotí miera schopnosti horninového prostredia akumulovať podzemnú vodu a umožňovať jej prúdenie. Stupeň prietočnosti horninových telies možno kvantifikovať pomocou parametra - koeficienta prietočnosti T , ktorý vyjadruje objemový prietok vody zvodneným kolektorom jednotkovej šírky a zvodnenej hrúbky pri jednotkovej hydraulickom gradiente. Vo veľkých mierkach vyjadrujeme mieru prietočnosti T_s v štyroch stupňoch: ($T_s = 1$) nízka s $T < 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, (2) mierna s $T = 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, (3) vysoká s $T = 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a (4) veľmi vysoká $T > 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Prietočnosť horninového podložia

hodnotených povodí je vyjadrená ako vážený priemer stupňa prietochnosti T_s hydrogeologických jednotiek, vyjadrených v digitálnej verzii hydrogeologickej mapy Slovenska (Malík et al. in Atlas krajiny SR) mierky 1 : 750 000. Takto určený stupeň prietochnosti horninového prostredia hodnotených povodí sa pohybuje v intervale 1,0 – 3,87, v priemere dosahuje hodnotu $T_s = 1,94$.

VÝSLEDKY VIACNÁSOBNEJ REGRESNEJ ANALÝZY VPLYVU LESNATOSTI NA ODTOK Z POVODÍ VÝCHODNÉHO SLOVENSKA

Viacnásobnou regresnou analýzou sme odvodili rovnice, popisujúce vzťah medzi závislou premennou (odtokové charakteristiky povodí q_p , q_{mm} resp. q_{mr}) a tromi nezávislými premennými – charakteristickou nadmorskou výškou povodia NV, lesnatosťou povodia L a jeho stupňom prietochnosti T_s . Rovnice boli odvodené pre súbory odtokových charakteristík z roku 1996 a 2003, sú uvedené v tab. 1., spolu s ich najvýznamnejšími štatistickými parametrami.

Tab. 1: Rovnice vzťahu odtokových charakteristík hodnotených povodí k ich nadmorskej výške NV, lesnatosti L a stupňu prietochnosti T_s odvodené viacnásobnou regresnou analýzou

	R	R ²	S _{est}	β _{NV}	β _L	β _{Ts}	^{SP} R _{NV}	^{SP} R _L	^{SP} R _T
$q_{rm}^{1996} = 0,0024 \cdot NV + 0,0064 \cdot L - 0,4436 \cdot Ts + 0,7247$	0,698	0,487	0,56	0,563	0,168	-0,321	0,506	0,148	-0,299
$q_{mm}^{1996} = 0,0018 \cdot NV + 0,0186 \cdot L - 0,3530 \cdot Ts + 0,9920$	0,497	0,247	1,06	0,282	0,297	-0,16	0,265	0,273	-0,147
$q_p^{1996} = 0,0090 \cdot NV + 0,01072 \cdot L - 0,9200 \cdot Ts + 1,1847$	0,691	0,477	3,29	0,381	0,461	-0,11	0,358	0,424	-0,103
$q_{rm}^{2003} = 0,0017 \cdot NV + 0,0101 \cdot L - 0,1018 \cdot Ts - 0,3520$	0,703	0,495	0,43	0,527	0,311	-0,08	0,483	0,247	-0,064
$q_{mm}^{2003} = 0,0028 \cdot NV + 0,0181 \cdot L - 0,0720 \cdot Ts - 0,8436$	0,761	0,578	0,59	0,562	0,363	-0,04	0,515	0,288	-0,030
$q_p^{2003} = 0,0042 \cdot NV + 0,0266 \cdot L - 0,9285 \cdot T + 3,7490$	0,433	0,187	2,47	0,286	0,178	-0,15	0,262	0,141	-0,128

pozn.: tučným písmom sú zvýraznené štatisticky významné koeficienty parciálnej korelácie

Zistená bola kladná korelácia medzi skúmanými závislými premennými a nadmorskou výškou povodia NV aj lesnatosťou L, ktorá je s výnimkou jednej (pre q_p^{2003}) štatisticky významná. Záporná korelácia voči stupňu prietochnosti povodí je štatisticky nevýznamná, s výnimkou prípadu pre q_{rm}^{1996} . Parciálne korelácie, hodnotené prostredníctvom štandardizovaného koeficienta regresie β alebo semi-parciálneho koeficienta regresie ^{SP}R naznačujú významný vplyv lesnatosti povodia na jeho odtokové charakteristiky. Koeficient β , na rozdiel od neštandardizovaného B-koeficienta regresie, umožňuje porovnať relatívny príspevok každej nezávislej premennej v odhade závislej premennej. Tento príspevok je v prípade vzťahu pre q_{mm}^{1996} a q_p^{1996} dokonca väčší ako nepochybne významný vplyv nadmorskej výšky. Na praktické vzájomné porovnanie významu jednotlivých nezávislých premenných vo vzťahu je však vhodnejší koeficient ^{SP}R, ktorý po umocnení na druhú vyjadruje podiel rozptylu spôsobeného príslušnou nezávislou premennou vzhľadom k celkovému rozptylu závislej premennej. Porovnaním hodnôt tohto koeficientu pre nadmorskú výšku povodia ^{SP}R_{NV} a lesnatosť ^{SP}R_L zisťujeme, že vo väčšine odvodených vzťahov dominuje vplyv nadmorskej výšky nad vplyvom lesnatosti - najvýraznejšie vo vzťahu pre q_{rm}^{1996} kde je ich podiel 3,4. Vo vzťahoch pre q_{mm}^{1996} a q_p^{1996} však mierne dominuje vplyv lesnatosti. V porovnaní s menovanými premennými má posledná nezávislá premenná - stupeň prietochnosti hornín v povodí T_s - pravdepodobne menší vplyv na hodnotené odtokové charakteristiky.

DISKUSIA A ZÁVER

Výsledky vykonanej viacnásobnej regresnej analýzy potvrdzujú doterajšie poznatky, že lesnatosť povodia môže mať významný vplyv na jeho odtokové charakteristiky. Mieru tohto vplyvu si demonštrujeme na príklade modelového povodia s priemernými (vzhľadom

k študovanému súboru) nezávislými premennými - s rozlohou $P = 100 \text{ km}^2$, charakteristickou nadmorskou výškou 443 m n. m. a stupňom prietochnosti $T_s = 1,94$. V roku 2003 by podľa odvodenej rovnice merný minimálny ročný odtok q_{rm}^{2003} (tab. 1) pravdepodobne dosahoval hodnotu blízku $0,46 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ pri lesnatosti povodia $L = 25 \%$, $0,71 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ pri $L = 50 \%$, $1,36 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ pri $L = 75 \%$ a $1,21 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ pri $L = 100 \%$. Zvýšenie lesnatosti o 25 % by teda v tomto prípade zodpovedalo nárastu merného odtoku o 55 % a zvýšenie minimálneho prietoku v meranom profile o 25 l/s. Obdobne by 25 % nárast lesnatosti zodpovedal v roku 2003 nárastu merného mesačného minimálneho odtoku q_{mm} o 64 % a prietoku o 43 l/s, i nárastu merného ročného odtoku z povodia q_p o 15 % a nárastu priemerného ročného prietoku o 67 l/s.

Uvedené údaje naznačujú významný pozitívny vplyv lesnatosti na retenčnú schopnosť povodia, pričom miera tohto vplyvu sa môže blížiť zjavne významnej miere vplyvu nadmorskej výšky. Rastúca nadmorská výška povodia pritom nepriamo zohľadňuje viacero fyzicko - klimatologických charakteristík kladne ovplyvňujúcich výšku odtoku, hlavne nárast zrážkového úhrnu a pokles výparu vďaka klesajúcej priemernej teplote ovzdušia. Študované odtokové charakteristiky q_{rm} a q_{mm} reprezentujú obdobia nízkych prietokov, kedy podstatnú časť vody odtekajúcej z povodia tvorí podzemný odtok. Preto môžeme uvedené zistenia v zásade aplikovať i na podzemný odtok a predpokladať, že lesnatosť povodia má významný pozitívny vplyv na tvorbu podzemného odtoku. V tejto súvislosti je potrebné zdôrazniť, že pri regionálnych hydrogeologických štúdiách, zohľadňujúcich podzemný odtok v území, treba prihliadať i na tento faktor. Príkladom je stanovenie regionálnych hodnôt prietochnosti hornín z hodnôt podzemného odtoku a fyzicko-geografických parametrov povodia pri zostavovaní hydrogeologickej mapy.

Výsledky štúdia miery vplyvu lesnatosti na odtokové charakteristiky hodnotených povodií uvedené v tomto príspevku je potrebné považovať za predbežné. Naznačeným spôsobom je potrebné hodnotiť ako závislé premenné priamo hodnoty merného podzemného odtoku, získaného separáciou hydrogramov tokov. Taktiež je potrebné vhodným spôsobom spresniť vstupné hodnoty závislých premenných a hodnotenie rozšíriť o zrážkovo-klimatické údaje.

LITERATÚRA

- ATLAS KRAJINY SLOVENSKEJ REPUBLIKY. 1. vyd. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 2002, 344 s.
- BAJTOŠ, P., CICMANOVÁ, S., PRAMUKA, S., ZÁHOROVÁ, Ľ., 2006: Projekt ROBINWOOD. Komponent 2 – Hydrogeológia. Správa za východné Slovensko. www.vucpo.sk
- BLÁŠKOVIČOVÁ, L., PODOLINSKÁ, J., LIOVÁ, S., FABIŠÍKOVÁ, M., ĽUPTÁK, Ľ., RISCHANEKOVÁ, M., MARIKOVIČOVÁ, J., 2004: Hydrologická ročenka. Povrchové vody, 2003. SHMÚ Bratislava, 177 s.
- DEÁKOVÁ, K., RISCHANEKOVÁ, M., PODOLINSKÁ, J., HROŠÁR, M., MARIKOVIČOVÁ, J., 1997: Hydrologická ročenka. Povrchové vody. SHMÚ Bratislava, 161 s.
- HIBBERT, A. R., 1967: Forest treatment effect on water yield. In: W.E. Sopper and H. W. Lull (Edition), International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon, Oxford, pp. 527-543.
- IZDON, P. F., 1961: Obučenie fyzicko-geografických faktorov pri ocene vlivania lesistosti na godovoj stok rek. Trudy Lab. Lesovedeniya, AN SSSR, č.3.
- MIDRIAK, R. A KOL., 1981: Diferencované obhospodarovanie lesa podľa integrovaných funkcií. Lesnícke štúdie, č. 31, Príroda, Bratislava.
- STATSOFT, INC. (2005). STATISTICA Cz [Softwarový systém na analýzu dát], verze 7.1. www.statsoft.cz
- VALTÝNI, J., 1980: Vplyv lesnatosti povodia na odtok. Vodohosp. Čas., 28, 286-297.
- VALTÝNI, J., 1986: Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. Lesnícke štúdie VÚLH vo Zvolene, 38, 68 s.
- VALTÝNI, J., 1998: Príspevok k poznaniu vplyvu lesnatosti malého povodia na odtok. Lesnictví – Forestry, 44, 1998, 1, s. 23-31.

- VALTÝNI, J., 1997: Príspevok k spresneniu obsahu vodohospodárskej funkcie lesa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XXXIX, s. 237-245.
- ZACHAR, D. A KOL., 1984: Lesnícke meliorácie. Príroda, Bratislava.
- ZÁVACKÁ, M., MERGANIČ, J., 2003: Vplyv lesa na odtok vody z malého povodia. Acta facultatis forestalis, XLV, Zvolen, s. 101-112.

VYUŽITIE MODULOV HYDROOFFICE 2010 NA ANALÝZU HYDROLOGICKÉHO SUCHA

Miloš Gregor^{1, 2}

¹ Katedra hydrogeológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského

² Oddelenie hydrogeológie a geotermálnej energie, Štátny Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava; *milos.gregor@geology.sk*

Úvod

Vývoj špecializovaných programov má v súčasnosti veľký význam. Používanie štandardných programov, ako napríklad MS Excel, nie je vhodné alebo efektívne pri každej aplikácii, predovšetkým pri používaní zložitejších analýz a výpočtov. V tomto prípade je výhodné používať špecializované programy, ktoré umožňujú nielen výpočty prevádzať, ale obsahujú aj množstvo rôznych nástrojov pre následné spracovávanie a interpretáciu výsledkov. V rámci príspevku sú predstavené nové programy, ktorých úlohou je spracovávať, analyzovať a interpretovať časové rady hodnôt hydrologických parametrov pre hodnotenie hydrologického sucha. Ide o nasledovné programy:

- FDC 2.1
- AMn 2.0
- BFI+ 2.0
- RC 4.0
- FlowComp 2.0
- TLM 2.1
- TS Editor 2.0

Všetky programy sú vytvorené ako *.exe aplikácie, pracujúce pod operačným systémom MS Windows XP/Vista/7. Vzhľadom na rýchly vývoj v oblasti programovacích jazykov a softvérových technológií boli programy vyvíjané pod platformou MS.NET 2.0 a .NET 3.5 Framework, ktoré poskytujú možnosti rýchleho a komfortného vývoja jadra algoritmov jednotlivých programov. Preto treba pri používaní MS Windows XP do počítača doinštalovať podporný balík (.NET 2.0 a .NET 3.5 Framework), ktoré je možné zdarma stiahnuť na oficiálnej stránke spoločnosti Microsoft. V novších operačných systémoch sú už tieto platformy štandardne zabudované. Vstupné dáta sú do programov importované z textových súborov a výsledky je možné z programov exportovať v štandardných súborových formátoch (*.xls, *.txt, *.doc, *.rtf).

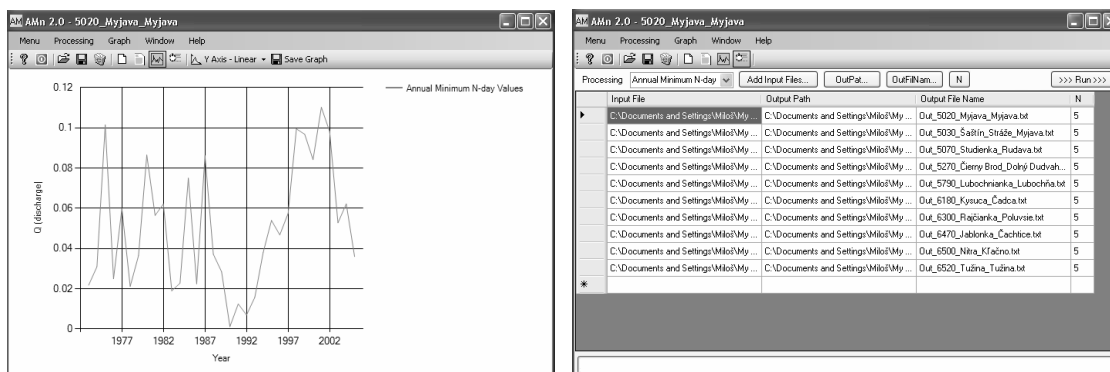
Tieto aplikácie však nie sú distribuované samostatne ale ako ucelený balík programov pod názvom HydroOffice v aktuálne ukončovanej verzii 2010. V rámci tohto balíka tvoria jednotlivé opisované programy samostatné moduly. Pre potreby distribúcie, aktualizácie sú využívané možnosti internetovej siete, pomocou ktorej sú jednotlivé moduly stiahnutelné priamo z programu HydroOffice. V súčasnej dobe je internetová stránka spolu s automatizovanými aktualizáčnymi službami vo vývoji a v krátkom čase budú spustené zo stránky www.hydrooffice.org.

V nasledujúcom texte sú popísané jednotlivé softvérové moduly, ktoré tvoria základný aplikačný balík softvéru HydroOffice 2010.

AMn 2.0

Modul AMn 2.0 bol vytvorený pre automatizovaný výpočet priemerných ročných minimálnych a maximálnych N-denných hodnôt z časového radu. Priemerné ročné minimálne N-denné

prietoky sú často využívaným parametrom pri analýzach hydrologického sucha, z ktorých sú následne derivované charakteristiky nízkych prietokov. Program pre tento účel vyžaduje časový rad priemerných denných hodnôt prietokov. Program výpočty zobrazuje v tabuľkovej a grafickej forme (obr. 1). V tabuľkovej forme program vypíše jednotlivé priemerné N-denné prietoky v rokoch, začiatok a koniec obdobia najnižšieho N-denného prietoku, najnižší a najvyšší prietok v rámci kroku N-dní. V grafickej forme program vykreslí graf hodnôt priemerných ročných minimálnych N-denných prietokov v jednotlivých rokoch. Program AMn 2.0 tiež obsahuje funkciu pre automatizované spracovávanie neobmedzeného množstva vstupných súborov bez nutnosti zásahu zo strany užívateľa.

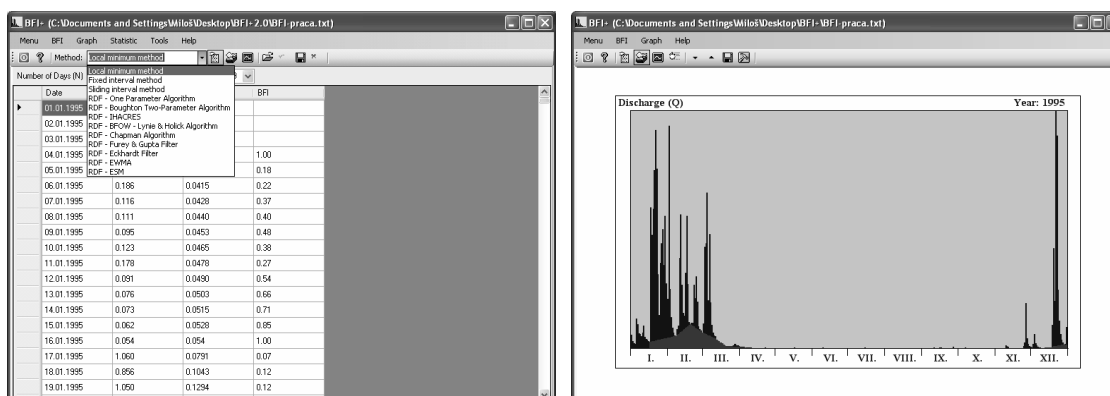


Obr. 1: Príklad okien programu AMn 2.0 (vľavo – grafická forma prezentácie výsledkov; vpravo – nástroj pre hromadné spracovávanie časových radov)

BFI+ 2.0

Modul BFI+ v druhej verzii slúži na separovanie základného odtoku z celkového odtoku povodia (obr. 2). Pre tento účel je v programe možné použiť 10 metód separácie (Gregor, 2008):

- Local Minimum Method
- Fixed Interval Method
- Sliding Interval Method
- Rekurzívne digitálne filtre
 - Jedno-parametrový algoritmus
 - Boughtonov dvojparametrový algoritmus
 - IHACRES – troj-parametrový algoritmus
 - Algoritmus Lyne- Hollick
 - Chapmanov algoritmus
 - Furey – Guptov filter
 - EWMA algoritmus

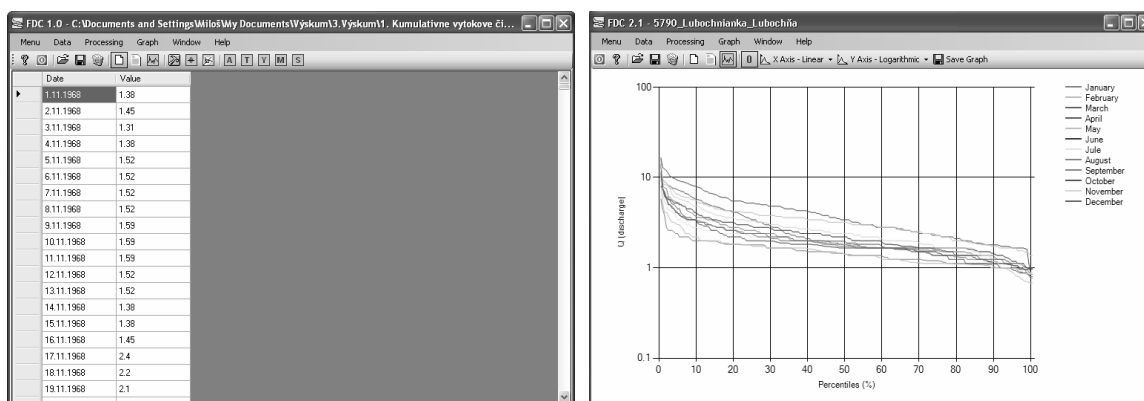


Obr. 2: Príklad okien programu BFI+ 2.0 (vľavo – tabuľka vstupných dát a výsledkov; vpravo – grafická prezentácia výsledkov)

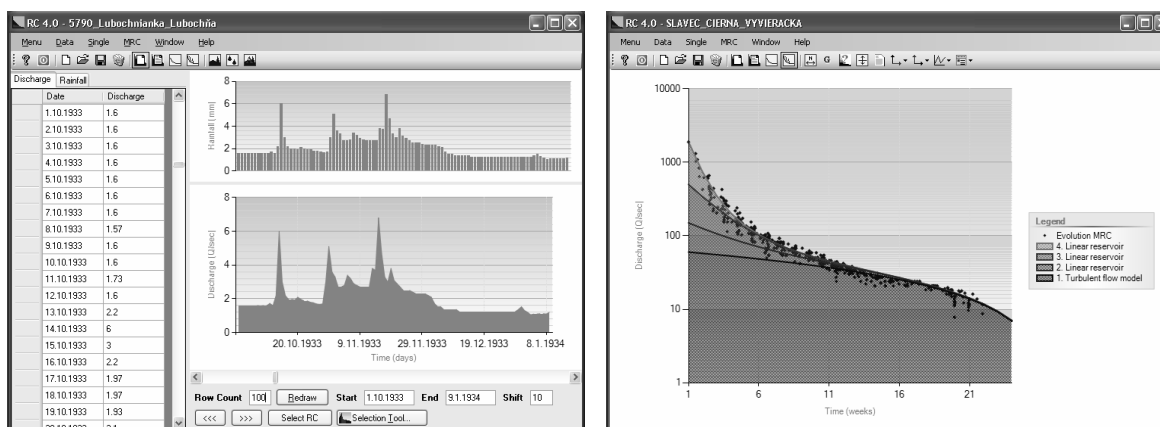
Okrem separácie základného odtoku a výpočtu BFI indexu program obsahuje množstvo nástrojov na ďalšie analýzy, klasifikácie a štatistické spracovávanie jednotlivých zložiek odtoku povodia. Program obsahuje viacero zlepšení vzhľadom k iným programom, napríklad umožňuje jednotlivé parametre digitálnych rekurzívnych filtrov graficky kalibrovať na vybranej časti časového radu, či umožňuje používať časové rady spred roka 1900. Program tiež obsahuje nástroj pre hromadné, automatizované separácie základného odtoku, pričom užívateľ zadá v tabuľke vstupné súbory, filtračné parametre a program následne automaticky separuje základný odtok a vytvára štatistické výstupy bez nutnosti zásahu zo strany užívateľa. Týmto spôsobom je možné automatizovane separovať základný odtok na neobmedzenom množstve vstupných súborov.

FDC 2.1

Modul FDC 2.1 slúži na tvorbu čiar prekročenia (obr. 3). Metodika tvorby čiar prekročenia je prebraná z publikácie Tallaksen & Van Lanen (2004). Program umožňuje pri tvorbe čiar prekročenia vynechávať nulové prietoky, čo sa napríklad používa pri občasných vodných tokoch. V programe je možné pre tvorbu čiar prekročenia používať celé časové rady, jednotlivé roky, mesiace alebo filtrované hodnoty z časového radu. Filtrovať môžeme dáta pomocou formulára, na ktorom je možné kombinovať filtre podľa rokov, vybraných mesiacov a dní v roku.



Obr. 3: Príklad okien programu FDC 2.1 (vľavo – okno vstupných dát; vpravo – grafická forma prezentácie výsledkov)



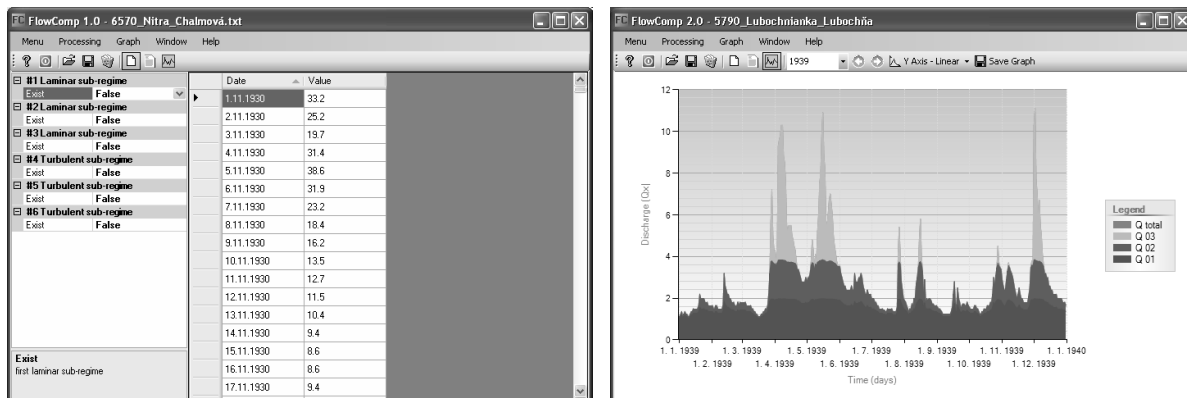
Obr. 4: Okná programu RC 4.0 (hore – analýza vstupných dát; dole – analýza výtokovej čiary)

Rc 4.0

Modul RC 4.0 bol vytvorený pre automatizáciu a urýchlenie prác spätých s analýzou výtokových čiar. Ako vstupné dáta sú používané časové rady denných alebo týždenných hodnôt prietokov povrchových tokov alebo výdatností prameňov a denné úhrny zrážok (obr. 4). Separovať výtokové čiary je možné manuálne alebo automaticky pomocou nastaviteľného algoritmu. Program umožňuje analyzovať výtokové koeficienty pre individuálne výtokové čiary alebo pre skladané výtokové čiary. Do programu bolo implementovaných 14 výtokových modelov, pričom je možné vytvoriť superpozíciu ľubovoľných štyroch výtokových subrežimov v jednej výtokovej čiare. Výber výtokových modelov bol robený s ohľadom na čo najväčšiu aplikovateľnosť programu v reálnych prírodných podmienkach. Pre tvorbu skladaných výtokových čiar je možné použiť nástroj na ich manuálne skladanie alebo v aktuálnej verzii novú doposiaľ nepublikovanú metódu založenú na hybridnom genetickom algoritme. Táto nová metóda odstraňuje množstvo problémov, ktoré sa vyskytli pri predchádzajúcich metódach tvorby skladaných výtokových čiar, ako napríklad neúplnosť vybraných výtokových čiar, chybné merania, malý počet výtokových čiar, zložitý režim odtoku či ovplyvnenie tvaru výtokovej čiar autorom. Vzhľadom k rozsahu bude táto metóda predstavená v samostatnom článku. Nová verzia modulu obsahuje zlepšený a rozšírený nástroj ukladania výsledkov z analýzy. Pri ukladaní výsledkov bola využitá nová technológia založená na XML jazyku a v prípade, že užívateľ chce jednotlivé analýzy ukončiť a pokračovať v nich neskôr, je možné uložiť do projektového súboru všetky čiastkové výsledky a neskôr v nich pokračovať.

FLOWCOMP 2.0

Modul FlowComp slúži na separáciu zložiek odtoku z povodia alebo hydrogeologickej štruktúry v časovom rade meraných hodnôt. Vstupné dáta pre program sú časový rad prietokov povrchových tokov alebo výdatností prameňov a výtokové koeficienty s hodnotami počiatočných výdatností subrežimov získaných z analýz výtokových čiar. Program následne iteračnými metódami separuje jednotlivé zložky odtoku v časovom rade (obr. 5).

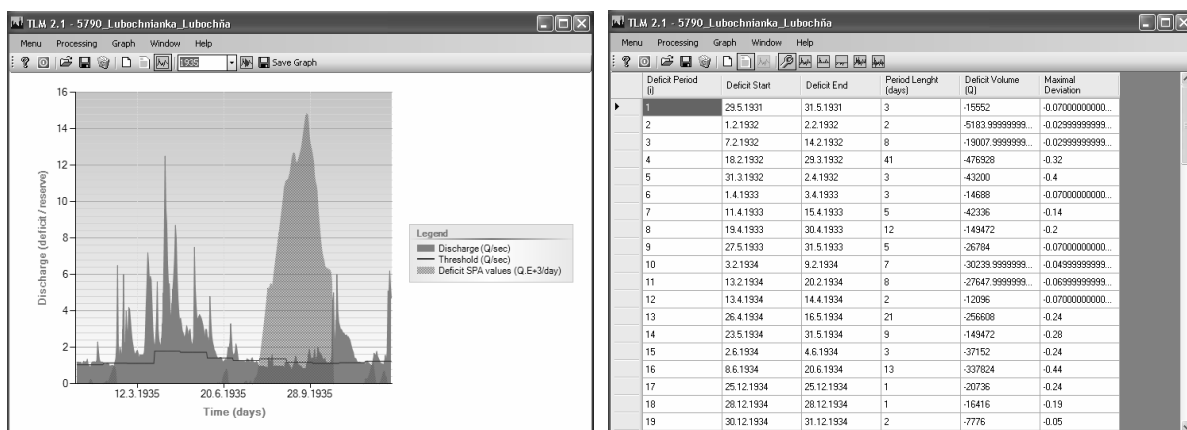


Obr. 5: Príklad okien programu FlowComp (vľavo – vstupné dáta pre výpočet, vpravo – výsledky separácie zložiek odtoku v čase)

TLM 2.1

Modul TLM 2.0 slúži na výpočet a analýzu deficitných charakteristík hydrologického sucha pomocou hraničných metód (obr. 6). Program umožňuje rýchlo a jednoducho zadávať hraničné úrovne (threshold level). Hraničnú hodnotu je možné definovať v podobe priemernej hodnoty, mediánovej hodnoty, vybraného percentilu z čiar prekročenia alebo užívateľom priamo zadanej hodnoty. Hraničné úrovne je možné stanoviť pre celý rok, jednotlivé mesiace, dni v roku, N-denné periódy v roku a vybrané sezóny (jedna až štyri), pričom sezóny môžu prekračovať jednotlivé roky. Takisto je možné do programu importovať iné špecifické, užívateľom definované

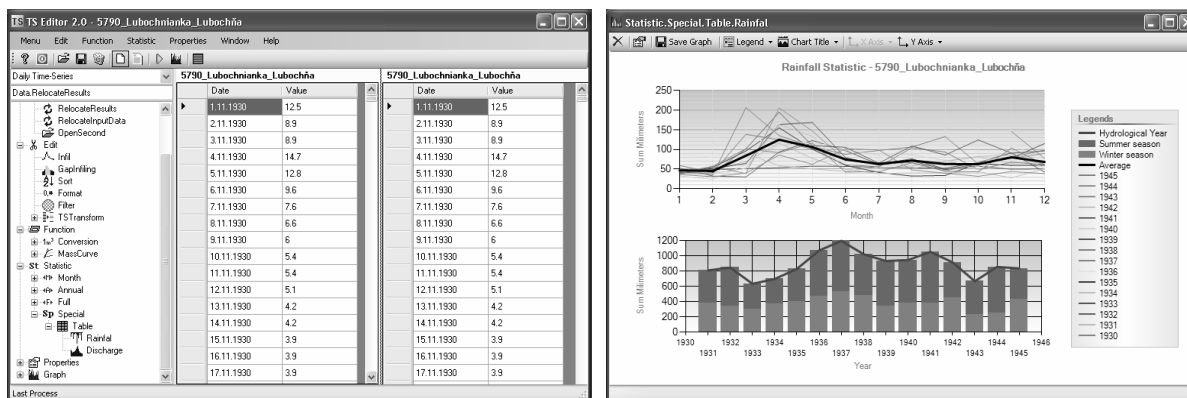
hodnoty hraničných úrovní. Program umožňuje vypočítať buď časový rad denných deficitných objemov odtoku alebo parametre jednotlivých deficitných období (napr. celková dĺžka deficitného obdobia, maximálny deficit, začiatok a koniec deficitného obdobia, atď.). Všetky výsledky je možné graficky analyzovať v ročnom časovom kroku. Okrem toho program obsahuje nástroj na analýzu deficitných charakteristík metódou SPA (sequent peak algorithm). Napriek tomu, že program bol vytvorený pre potreby analýzy hydrologického sucha, jednotlivé metodiky je možné použiť nielen na analýzu nízkych ale tiež na analýzu vysokých hodnôt v časovom rade.



Obr. 6: Príklad okien programu TLM 2.1 (vľavo – grafická forma prezentácie výsledkov, vpravo – tabuľková forma analýzy štatistických charakteristík hydrologického sucha)

TS EDITOR 2.0

Posledným modulom je program TS Editor v aktuálnej druhej verzii. Modul TS Editor je komplexný nástroj slúžiaci na spracovávanie časových radov (obr. 7). Vo svojej druhej verzii obsahuje viac ako 250 kombinovateľných funkcií a je možné s ním spracovávať hodinové, denné a týždenné časové rady hodnôt. Medzi jeho hlavné funkcie patrí:

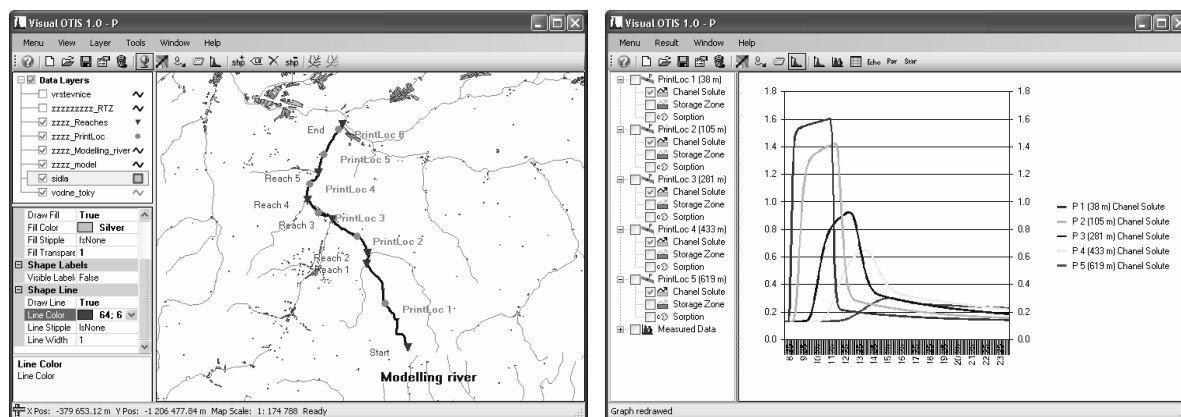


Obr. 7: Príklad okien programu TS Editor 2.0 (vľavo – okno vstupných dát so stromom funkcií, vpravo – možnosti vizualizácie výsledkov analýz)

- Dopĺňanie hodnôt lineárnou interpoláciou, pomocou ďalšieho podobného časového radu, zoradovanie hodnôt, ich formátovanie, filtrovanie a transformácia
- Konverzia jednotiek, tvorba súčtových čiar (jednoduché, dvojité)
- Štatistické analýzy (mesačné, ročné, dlhodobé a špecifické)
- Kontrola úplnosti časových radov
- Vizualizácia časových radov a výsledkov ich spracovania

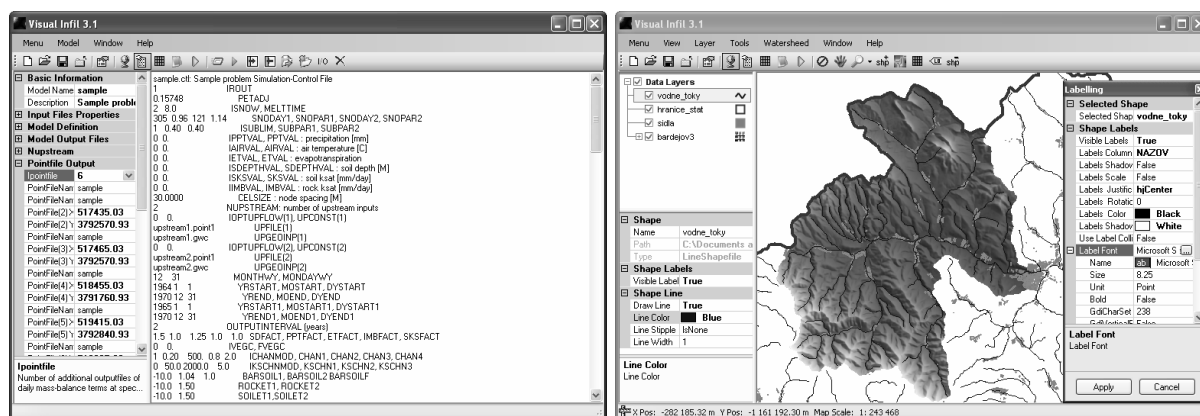
PRIPRAVOVANÉ MODULY

Okrem opísaných modulov boli vytvorené aj ďalšie dva moduly. Oba moduly slúžia na pre- a post- procesing dát k existujúcim modelom. Prvý modul, slúžiaci na modelovanie kvality vôd vo vodnom toku, je Visual OTIS.



Obr. 8: Príklad okien programu Visual OTIS 1.0 (vľavo – GIS implementovaný v programe Visual OTIS, vpravo – analýza modelovaných výsledkov)

Modul slúži na spravovanie vstupných dát a vizualizáciu výsledkov pre USGS model pod názvom OTIS (Runkel, 1998). Program obsahuje nástroje pre definovanie vstupných dát z GIS prostredia a dynamicky generovaných tabuliek. Po ukončení modelu môže užívateľ do programu načítať výsledky modelovania a tie ďalej analyzovať (obr. 8). Model OTIS slúži na jednodimenziálne modelovanie transportu rozpustných látok vo vodnom toku. Geometriu modelu je možné získavať priamo v prostredí GIS. Model umožňuje definovať veľmi variabilné hydrodynamické podmienky zo zahrnutím bočných prítokov do vodného toku a zdržaním časti vôd v riečnych sedimentoch. Okrem priameho modelovania model umožňuje prevádzať inverzné modelovanie, ktorým môžeme spätne určiť hydraulické a hydrogeochemické parametre modelovaného vodného toku.



Obr. 9: Príklad okien programu TS Editor 2.0 (vľavo – nastavenie parametrov modelu, vpravo – prostredie GIS programu Visual Infil).

Druhým modulom je nástroj Visual Infil, slúžiaci na spracovávanie dát pri modelovaní infiltrácie vôd v povodí pomocou existujúceho modelu Infil 3.0 (USGS, 2008). Ide o rozsiahlejší model, umožňujúci modelovať infiltráciu povrchových a zrážkových vôd pod koreňovú zónu (obr. 9). Modul Visual Infil tvorí jeden z najrozsiahlejších modulov. Program obsahuje plnohodnotné GIS prostredie, nástroje na definíciu všetkých parametrov, umožňuje kontrolovať správnosť

nastavenia modelu, úplnosť vstupných dát a umožňuje spravovať výsledky modelu, pričom ich je možné späť importovať do prostredia GIS alebo analyzovať v tabuľkovej a grafickej forme.

Oba moduly sú už vytvorené a v súčasnej dobe sú v testovacej fáze. Okrem nich je v štádiu vývoja modul pod názvom HactarGen, využívajúci metódy a prvky umelej inteligencie, slúžiaci na analýzu a spracovávanie hydrologických a hydrogeologických problémov. Uvedený modul využíva metódy genetického programovania, ktoré umožňujú automatizovane a samostatne vyhľadávať a hodnotiť vzťahy medzi vybranými hydrologickými prvkami a parametrami. Využitelný je napríklad pri regionalizácii hydrologických parametrov, klasifikácii priestorových prvkov, modelovaní zrážkovo-odtokových vzťahov, výpočte chýbajúcich hodnôt v časových radoch a množstve iných optimalizačných úloh.

ZÁVER

V predošlom texte bol predstavený softvér HydroOffice v pripravovanej verzii 2010. V súčasnej verzii obsahuje viac ako 170 000 riadkov kódu a jeho veľkosť dosahuje okolo 30 MB. Spektrum možností a metód, ktoré je možné v programoch použiť, je skutočne veľké a preto užívateľ musí poznať danú problematiku na dostatočnej úrovni, aby si vybral vhodnú metódu riešenia a dostal adekvátne výsledky. Jednotlivé moduly využívajú rovnakú štruktúru vstupných dát, čo zvyšuje efektívnosť kombinovaného využitia jednotlivých modulov. Rovnako je vizuálna štruktúra jednotlivých modulov unifikovaná, čo uľahčuje prechod medzi jednotlivými programami. V súčasnej dobe program obsahuje 8 modulov a dva sú v testovacom štádiu vývoja. Vývoj nových a aktualizácia existujúcich modulov bude pokračovať aj v budúcnosti.

LITERATÚRA

- GREGOR, M., 1998: Vývoj programov na analýzu časových radov výdatností prameňov a prietokov vodných tokov. Podzemná voda, XIV 2/2008, SAH Bratislava, s. 191-200
- RUNKEL, R.L. (1998), "One-Dimensional Transport Model with Inflow and Storage (OTIS): A Solute Transport Model for Streams and Rivers." U.S. GEOLOGICAL SURVEY Water-Resources Investigations Report 98-4018, 73 p.
- TALLAKSEN, L.M., VAN LANEN, H.A.J., VAN eds., 2004: Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V, pp. 579
- USGS, 2008: Documentation of computer program INFIL3.0 – A distributed-parameter watershed model to estimate net infiltration below the root zone. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5006, ONLINE ONLY, 98 p.

WORKSHOP O PREDBEŽNÝCH VÝSLEDKoch RIEŠENIA
PROJEKTU ASFEU OP VÝSKUM A VÝVOJ

**VÝSKUM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA DOSTUPNÉ
MNOŽSTVÁ PODZEMNÝCH VÔD V SR
A VYTvoreNIE EXPERTNÉHO GIS**

ZBORNÍK VEDECKÝCH PRÍSPEVKOV

Editor: Peter Malík

Náklad: 200 výtlačkov

Vydal: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2010

Text neprešiel jazykovou úpravou

ISBN 978-80-89343-32-4