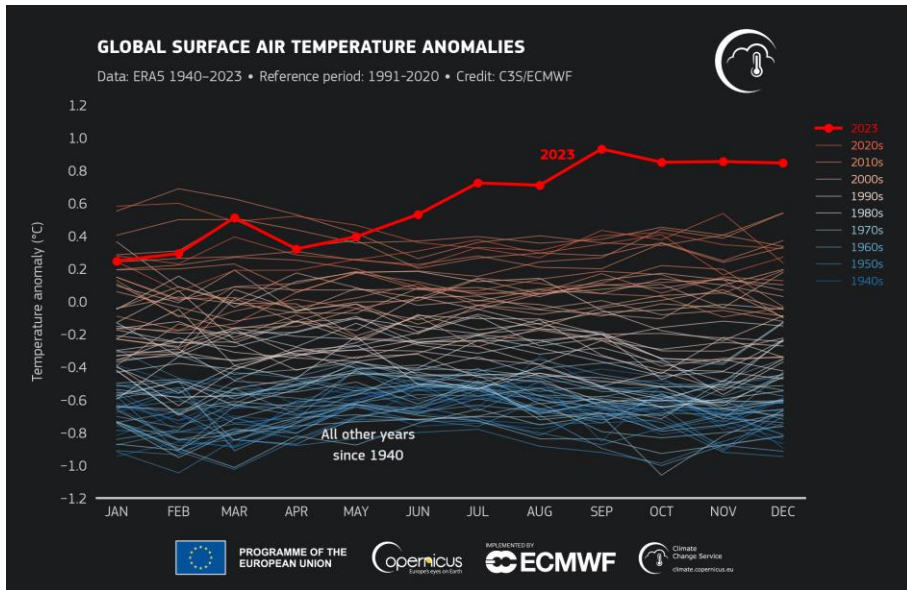


Hodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny na režim podzemnej vody

RNDr. Zuzana Horvátová, PhD., RNDr. Anna Patschová, PhD., Mgr. Vladimír Chudoba, PhD.

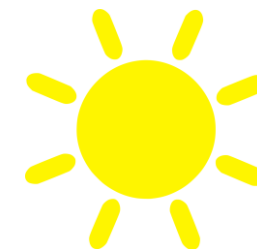
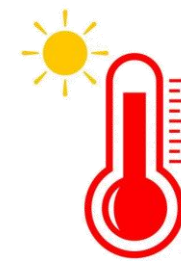
KLIMATICKÁ ZMENA



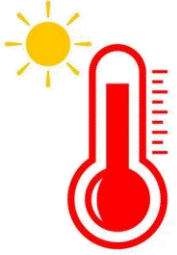
- za posledných 150 rokov je vplyv rastúcej koncentrácie skleníkových plynov na globálnu klímu nepopierateľný (6. Hodnotiaca správa IPCC – AR6 IPCC, 2022 – 2023)
- Za toto obdobie sa globálny priemer teploty zvýšil o **1,1 °C** (v AR6 sa uvádza $+1,09 \text{ °C} \pm 0,11 \text{ °C}$), pričom otepľovanie akceleruje predovšetkým v posledných 30 rokoch (najmä po roku 1985)
- Hladina svetových oceánov vzrástla o takmer **30 cm**, došlo k zásadnému **ústupu** morského **zaľadnenia** v Arktíde, ústupu horských ľadovcov v Alpách, Andách či Himalájach, **zmenila sa frekvencia a amplitúda extrémov teploty a zrážok** a došlo k posunu klimatických zón bližšie k zemským pólom
- Odozva klimatického systému na nárast globálnej teploty je nelineárna, teda s **každým čiastkovým nárastom teploty zmeny extrémov počasia budú intenzívnejšie**.
- S rastúcim globálnym otepľovaním sa očakáva **zintenzívnenie globálneho kolobehu vody**, vrátane **variability** napr. zintenzívnenie dažďov a sucha či zintenzívnenie teplotných extrémov.

ZMENA KLIMATICKÝCH PODMIENOK V SR

- V rámci SR priemerná ročná teplota vzduchu vzrástla o **2 °C** za obdobie **1881-2017** (MŽP SR, 2017).
- **nárast teploty bol zaznamenaný vo všetkých sledovaných monitorovacích staniach na Slovensku** od 1 - 2,6 °C v rokoch 1950 - 2020 (Šadlaková, 2023), pričom sa **najviac otepľuje v lete** (napr. v auguste až o 2 °C) a na jar o 1,7 - 1,8 °C (Faško et al., 2022), najvýraznejší nárast teploty vzduchu z pozorovaní si možno všimnúť **od cca. 1980 resp. 1990** (Lapin a Damborská, 2021, Výberči et al., 2018, MŽP, 2017, Kolláriková et al., 2013).
- V štúdiách sa potvrdil **stúpajúci trend výskytu teplých a tropických dní** (Šadlaková, 2023), teplých období (Výberči et al., 2018) ako aj **rastúci trend výskytu vln horúčav** vrátane zosilnenia ich intenzity.
- Zaznamenal sa **celkový pokles priemerného ročného úhrnu zrážok o 5,6 %** (www.shmu.sk) s výraznou priestorovou variabilitou.
- **Najviac klesol celkový úhrn zrážok na juhu krajiny o viac ako 10 %**, naopak **na severe vzrástol úhrn o 3 %** (MŽP, 2017, www.shmu.sk). Dochádza tiež k **sezónnemu prerozdeleniu zrážok**.
- Na Slovensku vidíme **trend častejšieho výskytu extrémneho denného úhrnu zrážok** (MŽP SR, 2017, www.shmu.sk).
- Zvyšujúca sa teplota vzduchu má dopad aj na vzdušnú vlhkosť. **Relatívna vlhkosť vzduchu na Slovensku od začiatku merania klesla podľa SHMÚ o 5%** (www.shmu.sk). Pokles je výrazný najmä v južných oblastiach Slovenska (Lapin a Damborská, 2021).



ZMENA KLIMATICKÝCH PODMIENOK V SR



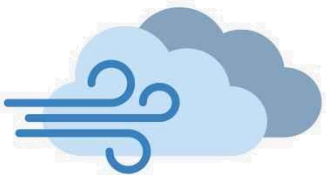
- Na základe výstupov klimatických modelov sa očakáva, že ročný priemer teploty vzduchu by sa mal na Slovensku (a v strednej Európe) v časovom horizonte **do roku 2050 o približne 2,0 – 2,5 °C, do roku 2100 o 3,5 – 4,0 °C**, čo predstavuje presun teplotných pomerov Podunajskej nížiny na Liptov (MŽP SR, 2017).



- Prebieha **postupná dezertifikácia** na juhu krajiny, kde sa **znižuje pôdna vlhkosť a zvyšuje sa evapotranspirácia** (MŽP SR, 2017).



- Podľa Damborskej et al. (2006) sa **početnosť dní bez zrážok bude zvyšovať**, ale naopak **početnosť dní s nízkym úhrnom zrážok znižovať do roku 2100**. Rovnako sa bude **predlžovať málo zrážkové obdobie**.



- Predpokladá sa tiež **skorý nástup letného počasia s redukciou zrážok, ktoré spôsobuje ničivé suchá už v máji**.
- V letnom období na nížinách Slovenska sa predpokladá **výskyt suchých období, ktoré budú prerušované krátkymi intenzívnymi dažďami**, pri predikcii je zjavný nárast početností dní s extrémnym úhrnom zrážok nad 25 mm
- Lapin a Damborská (2021) predpokladajú ďalší pokles relatívnej vlhkosti vzduchu a **zvyšujúcu sa evapotranspiráciu s negatívnym dopadom na hydrologickú bilanciu**.

ZMENA KLIMATICKÝCH PODMIENOK V SR

Práve **nedostatočná kumulácia snehovej pokrývky je jedným z prejavov zmeny klímy aj na Slovensku.** Tento jej nedostatok sa potom prejavuje napríklad predlžovaním obdobia s výskytom sucha.

V podmienkach Slovenska sú pozorované významné zmeny v procese vytvárania a zotrvania snehovej pokrývky.



Napriek tomu, že v porovnaní s minulosťou v súčasnosti padá v zime, prevažne viac zrážok, teplotné podmienky spôsobujú, že v celkovom úhrne zrážok **rastie podiel kvapalných a zmiešaných zrážok na úkor tuhých zrážok.**

Výskyt snehovej pokrývky je viac prerušovaný a menej kontinuálny.

Dôsledkom je **výrazne kratšie trvanie trvalej snehovej pokrývky** a toto sa prejavuje vo všetkých regiónoch Slovenska.

Zmena klímy spôsobuje, že v súčasnosti je dosť **pravidelne prerušovaný výskyt snehovej pokrývky v hlavnej fáze zimnej sezóny** a na jej začiatku a konci sa vyskytuje sporadickejšie ako v minulosti.

Praktickým dôsledkom je **urýchľovanie nástupu sucha na jar** a jeho **zvýrazňovanie v priebehu leta.**

ZMENA KLIMATICKÝCH PODMIENOK V SR

Riziko negatívneho dopadu klimatickej zmeny na vodné hospodárstvo (Zdroj: 7. národná správa SR o zmene klímy)

Prognózy scenárov zmeny klímy v Siedmej národnej správy o zmene klímy SR sa uvádzajú, že do roku 2100 by mali poklesnúť využiteľné vodné zdroje na Slovensku o 30 – 50 %.

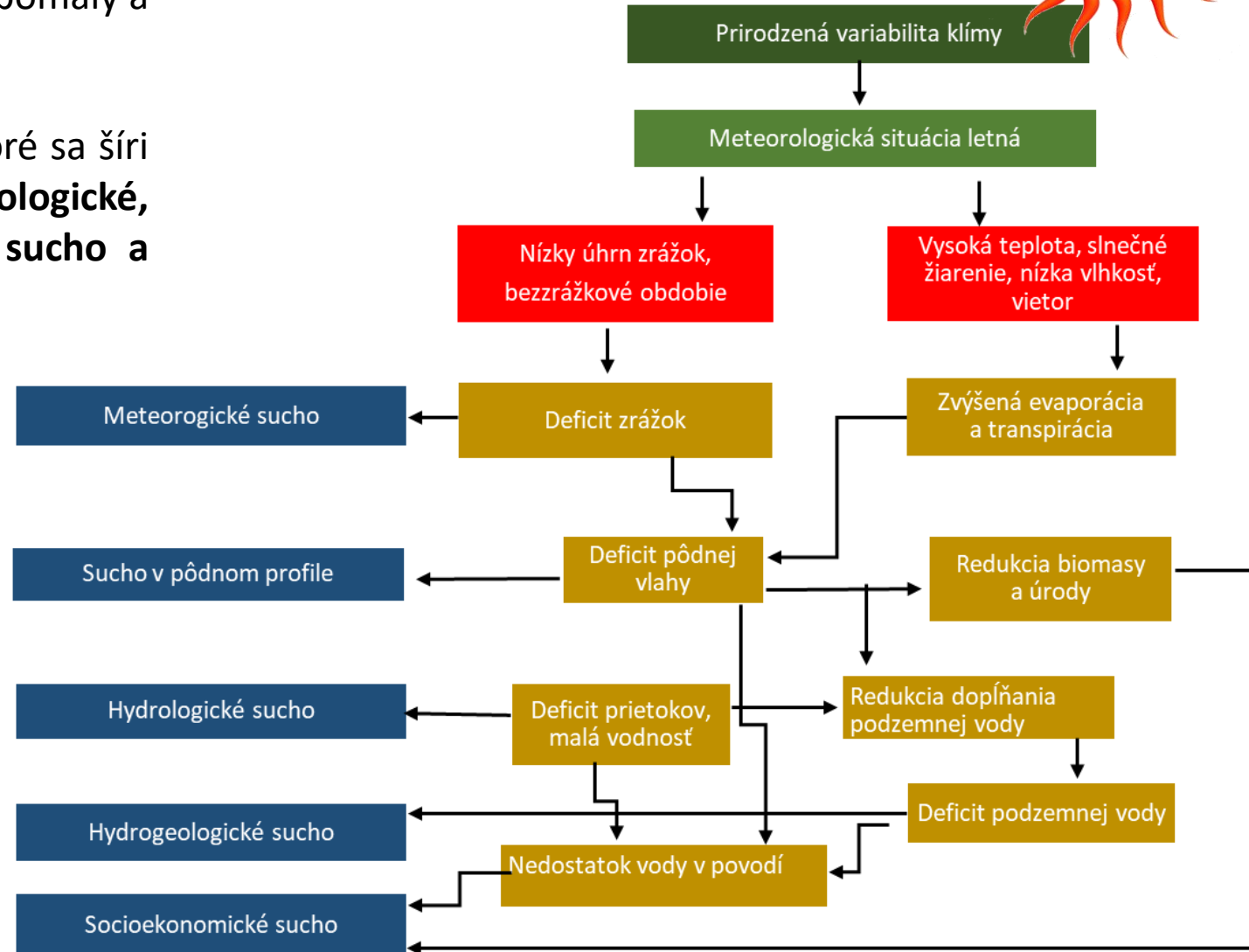
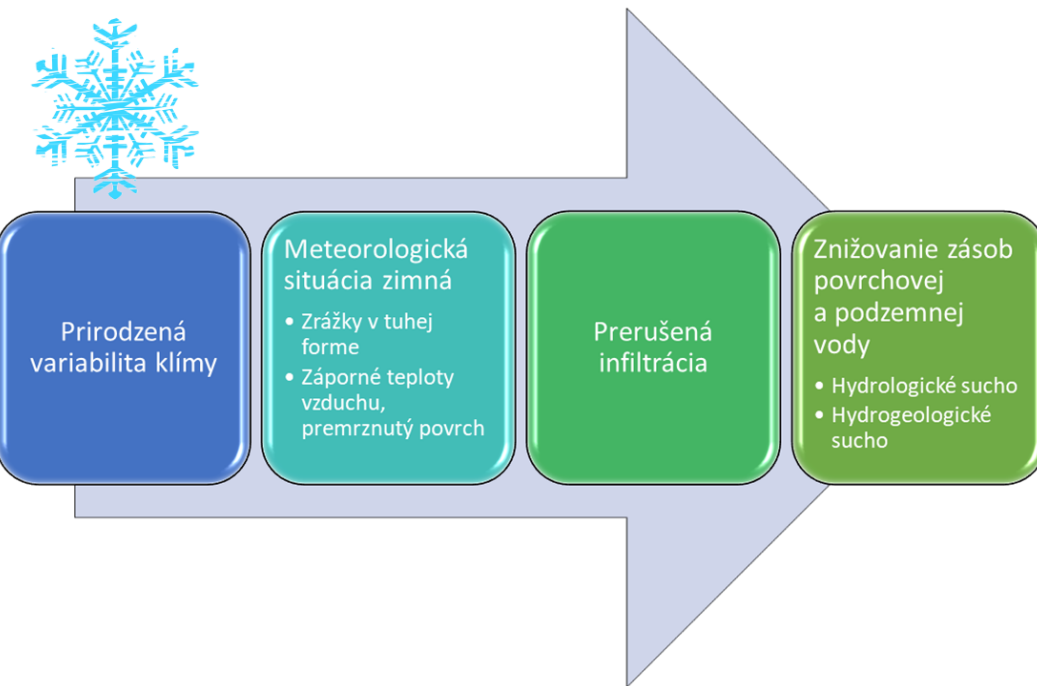
Číslo regiónu	Geomorfologické jednotky	Riziko negatívneho dopadu klimatickej zmeny
1	Malé Karpaty, Biele Karpaty, Považský Inovec, Záhorská nížina, Podunajská nížina, Považské podolie, Podunajská pahorkatina, Pohronský Inovec	stredné riziko
2	Lučensko-košická zníženina, Krupinská planina, Javorie, Matransko-slanská oblasť a príľahlé kotliny	veľmi vysoké riziko
3	Východoslovenská nížina, Vihorlatské vrchy	vysoké riziko
4	Poloniny, Nízke Beskydy, Východné Beskydy, Spišská Magura	vysoké riziko
5	Stredné Beskydy, Západné Beskydy, Javorníky	vysoké riziko
6	Vysoké Tatry, Nízke Tatry, Chočské vrchy, Malá Fatra- Krivánska a príľahlé kotliny	stredné riziko
7	Slovenské Rudohorie, Branisko a príľahlé kotliny	veľmi vysoké riziko
8	Veľká Fatra, Malá Fatra-Lúčansk, Kremnické vrchy, Štiavnické vrchy, Starohorské vrchy, Poľana a príľahlé kotliny	stredné riziko
9	Vtáčnik, Tríbeč, Strážovské vrchy, Žiar	stredné riziko

DEFINÍCIA SUCHA



Problematika sucha je komplexná, sucho nastupuje pomaly a môže trvať niekoľko mesiacov až roky.

Pri deficite zrážok vzniká **meteorologické sucho**, ktoré sa šíri ďalej v hydrologickom cykle a vzniká **hydrologické, poľnohospodárke/ekologické a hydrogeologické sucho** a následne i **socioekonomické sucho**.



HYDROGEOLOGICKÉ SUCHO

Hydrogeologické sucho je možné analyzovať využitím troch premenných

(van Lanen et al., 1996, Tate, Gustard, 2000 a van Lanen, Peters, 2000 in Fendeková, M, Ženišová, Z., 2010)

1. **Prítok ku hladine podzemnej vody (I)**
2. **Hladina podzemnej vody (f)**
3. **Odtok podzemnej vody (Q),**

ktoré reprezentujú **prítok, zásoby a odtok vody** z rezervoáru podzemnej vody.

Hladina podzemnej vody charakterizuje okamžité zásoby.

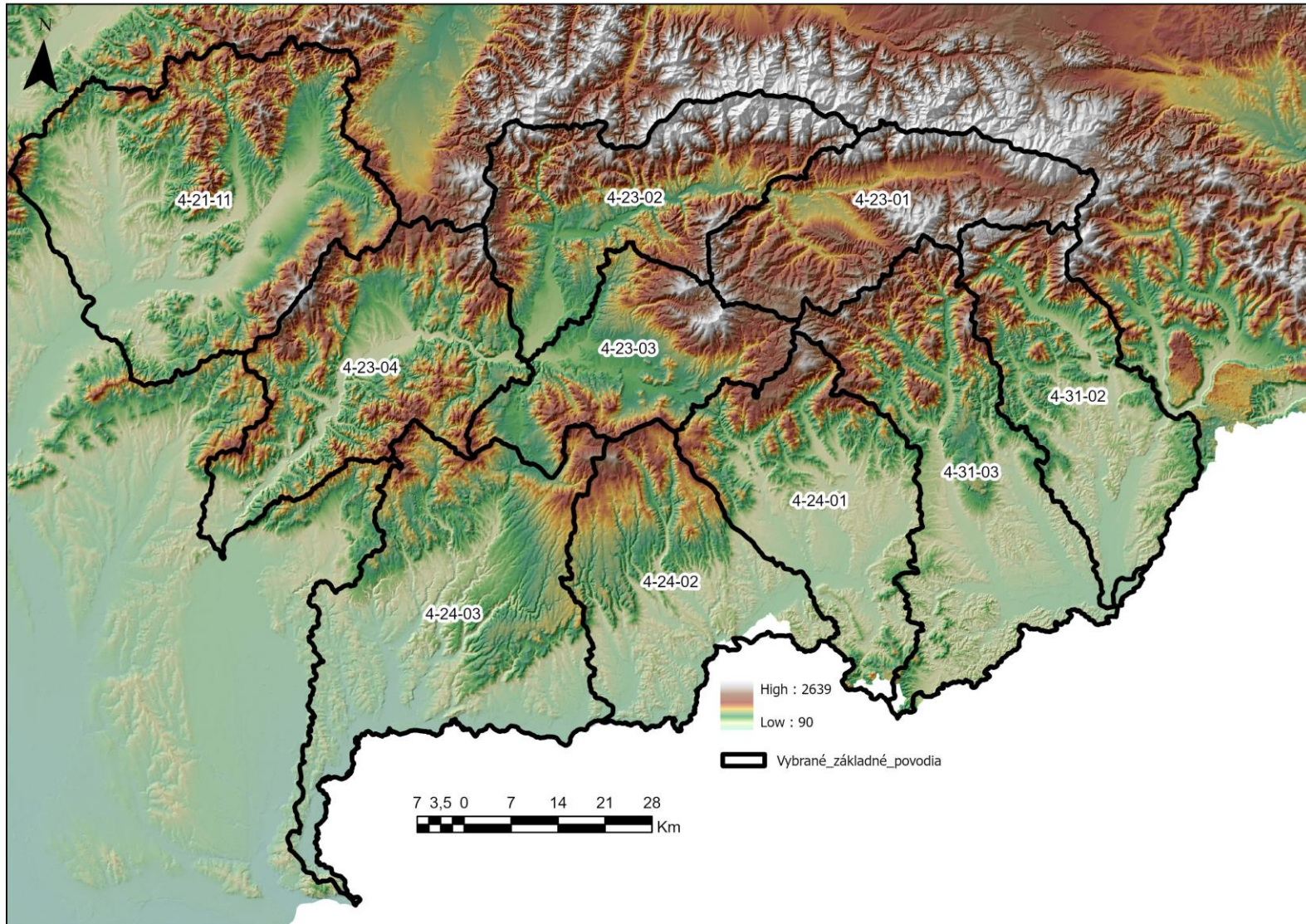
Prítok ku hladine podzemnej vody a odtok podzemnej vody (s výnimkou výdatnosti prameňa) nemôžeme merať priamo, musia byť odvodené z iných nameraných premenných alebo simulované.

Zimný prítok je všeobecne najdôležitejší, pretože najviac determinuje dopĺňanie zásob podzemnej vody a kolísanie hladiny podzemnej vody.



HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA

záujmová oblasť

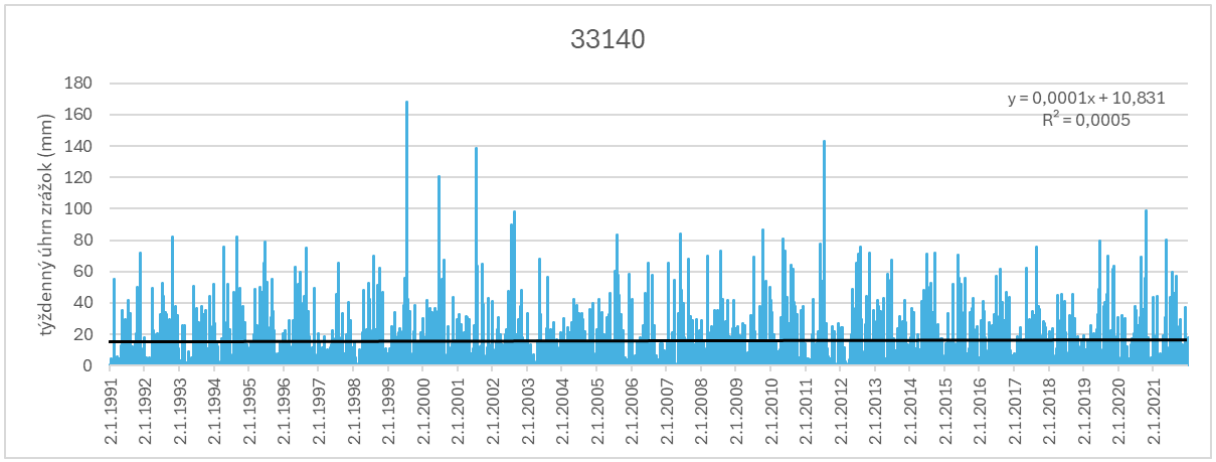


číslo povodia	Názov čiastkového povodia
4-23-01	Hron pod Čierny Hron
4-23-02	Hron od Čierneho Hrona po Slatinu
4-23-03	Slatina
4-23-04	Hron od Slatiny po hať vo Veľkých Kozmálovciach
4-24-01	Ipeľ pod Babský a Krivánsky potok
4-24-02	Ipeľ od Babského a Krivánskeho potoka pod Krtíš
4-24-03	Ipeľ od Krtíša po ústie do Dunaja
4-21-11	Nitra pod Bebravu
4-31-02	Slaná od Štítnika po Rimavu
4-31-03	Rimava a časť povodia Slanej od Rimavy po štátnu hranicu

HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA – meteorologické sucho

ZRÁŽKY 30 ročné obdobie 1991 – 2021, sucho: SPI pod -1,0

Časové obdobie Season	Mesiac Month												Ročné obdobie Season				Polrok Halfyear		Rok Year	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	jar spring	leto summer	jeseň autumn	zima winter	teplý warm	chladný cold		
1991	5.2	99.5	8.0	27.5	63.8	104.8	96.8	54.7	29.7	75.9	119.0	34.6	99	256	225		377		680	
1992	13.8	14.0	91.8	56.9	29.9	82.3	103.9	74.4	80.8	145.3	60.8	46.1	179	261	287	62	428	349	800	
1993	30.1	30.3	5.6	12.4	70.1	69.5	57.3	76.6	52.5	59.6	56.9	122.5	88	203	169	107	338	318	643	
1994	63.8	12.2	44.9	131.9	128.9	38.9	54.2	135.5	93.8	109.3	40.3	28.1	306	229	243	199	583	360	882	
1995	42.3	55.6	88.9	60.0	109.6	159.0	84.0	105.6	80.1	6.9	24.4	49.6	259	349	111	126	598	365	866	
1996	51.0	34.9	27.1	87.4	137.5	161.5	58.7	148.3	74.2	29.9	63.4	29.1	252	369	168	136	668	194	903	
1997	22.4	42.4	15.1	26.5	54.7	78.2	125.7	45.2	47.5	40.2	113.5	35.6	96	249	201	94	378	202	647	
1998	27.9	1.5	25.4	92.2	43.0	116.6	106.1	44.7	128.5	149.2	51.9	24.1	161	267	330	65	531	244	811	
1999	18.9	68.4	40.1	69.0	51.6	115.1	255.3	71.6	29.9	58.6	32.0	67.8	161	442	121	111	593	353	878	
2000	37.7	68.1	106.6	74.1	85.1	189.4	163.4	81.4	31.6	27.3	98.5	62.1	266	434	157	174	625	371	1025	
2001	87.4	28.3	86.6	76.2	21.9	57.8	248.6	27.2	140.1	10.2	68.4	61.4	185	334	219	178	572	390	914	
2002	22.1	71.0	27.3	26.2	44.2	77.3	187.6	198.9	50.7	139.5	43.8	46.0	98	464	234	155	585	260	935	
2003	51.5	12.5	7.3	27.4	110.5	19.8	94.8	36.8	38.2	61.7	30.0	30.1	145	151	130	110	328	301	521	
2004	58.5	56.8	37.8	51.4	108.5	133.7	120.8	50.5	29.7	60.4	63.6	40.1	198	305	154	145	495	275	812	
2005	56.9	65.8	27.9	87.4	85.4	27.5	160.7	163.1	85.1	9.7	62.4	131.4	201	351	157	163	609	315	963	
2006	23.0	30.4	51.9	35.3	112.1	127.4	81.2	113.7	12.9	20.9	33.7	12.9	199	322	68	185	483	309	655	
2007	113.0	55.1	91.4	1.4	154.4	119.7	31.2	138.1	83.0	23.8	46.2	41.6	247	289	153	181	528	327	899	
2008	60.0	29.2	95.0	55.4	73.1	78.7	144.3	83.9	46.6	77.8	44.3	99.8	224	307	169	131	482	296	888	
2009	44.9	43.7	89.4	16.8	49.3	117.7	54.5	46.6	48.3	119.9	77.4	111.8	156	219	246	188	333	400	820	
2010	52.7	35.6	12.1	48.9	220.2	123.0	164.5	121.1	105.3	30.1	115.2	68.5	281	409	251	200	783	410	1097	
2011	13.4	8.4	62.9	22.4	51.0	178.2	233.8	52.0	6.1	48.3	1.7	70.7	136	464	56	90	544	299	749	
2012	57.9	16.1	3.9	48.3	58.5	118.8	219.2	39.9	3.2	147.5	51.1	55.2	111	378	234	145	520	199	852	
2013	93.2	83.7	78.0	22.3	153.4	170.7	38.1	50.2	57.0	37.3	89.9	15.7	254	259	184	232	492	509	890	
2014	66.8	51.6	39.4	62.2	123.4	54.4	154.5	155.8	100.4	70.8	25.9	34.4	225	365	197	134	651	301	940	
2015	53.2	14.8	72.2	21.3	150.5	76.2	99.2	19.0	60.0	83.5	63.4	9.7	244	194	207	102	426	271	723	
2016	45.7	121.2	15.3	57.9	69.4	114.8	140.6	96.5	59.4	107.0	65.4	14.0	143	352	232	177	539	339	907	
2017	21.0	41.3	42.4	88.5	81.9	79.0	87.9	120.8	99.8	61.0	78.1	42.5	213	288	239	76	558	291	844	
2018	41.2	33.2	63.5	46.3	108.9	91.2	27.5	89.9	77.0	46.4	19.3	51.8	219	209	143	117	441	320	696	
2019	31.3	25.9	45.7	49.1	92.8	127.4	53.9	84.8	126.7	31.4	171.0	47.6	188	266	329	109	535	220	888	
2020	11.7	75.2	43.9	10.8	51.2	114.8	75.1	147.1	101.1	157.0	16.6	60.7	106	337	275	135	500	381	865	
2021	45.0	55.7	12.6	46.5	134.4	78.2	122.0	182.7	60.1	13.4	51.2	43.8	194	383	125	161	624	348	846	
Priemer	44.0	43.3	47.1	49.7	91.3	103.3	117.6	92.1	66.8	66.4	60.6	51.3	188.0	313.0	193.9	138.6	520.8	312.7	833.5	
Average																				
Smerodajná odchýlka	24.5	25.9	31.1	28.9	44.2	42.0	62.6	47.8	33.6	45.6	35.0	30.1	60.4	81.4	65.9	42.6	104.2	68.9	122.0	
Standard deviation																				
Šikmosť	0.8	0.8	0.3	0.7	0.8	0.1	0.7	0.5	0.3	0.7	1.1	1.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.4	-0.5	
Skew																				
Špicatosť	0.8	1.0	-1.2	0.5	0.6	-0.4	-0.3	-0.7	-0.5	-0.7	1.9	1.2	-1.0	-0.6	-0.1	-0.6	0.2	0.8	0.4	
Kurt																				

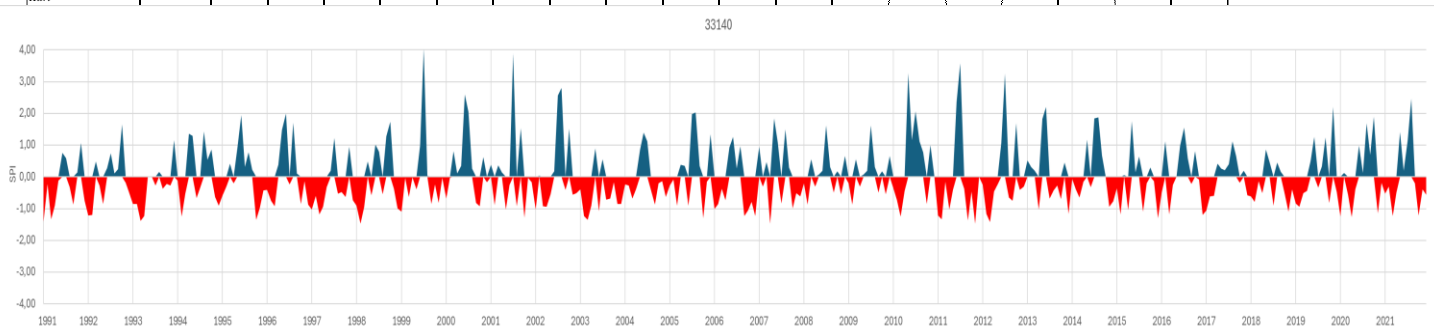


$$SPI = \frac{P - P^*}{\delta p}$$

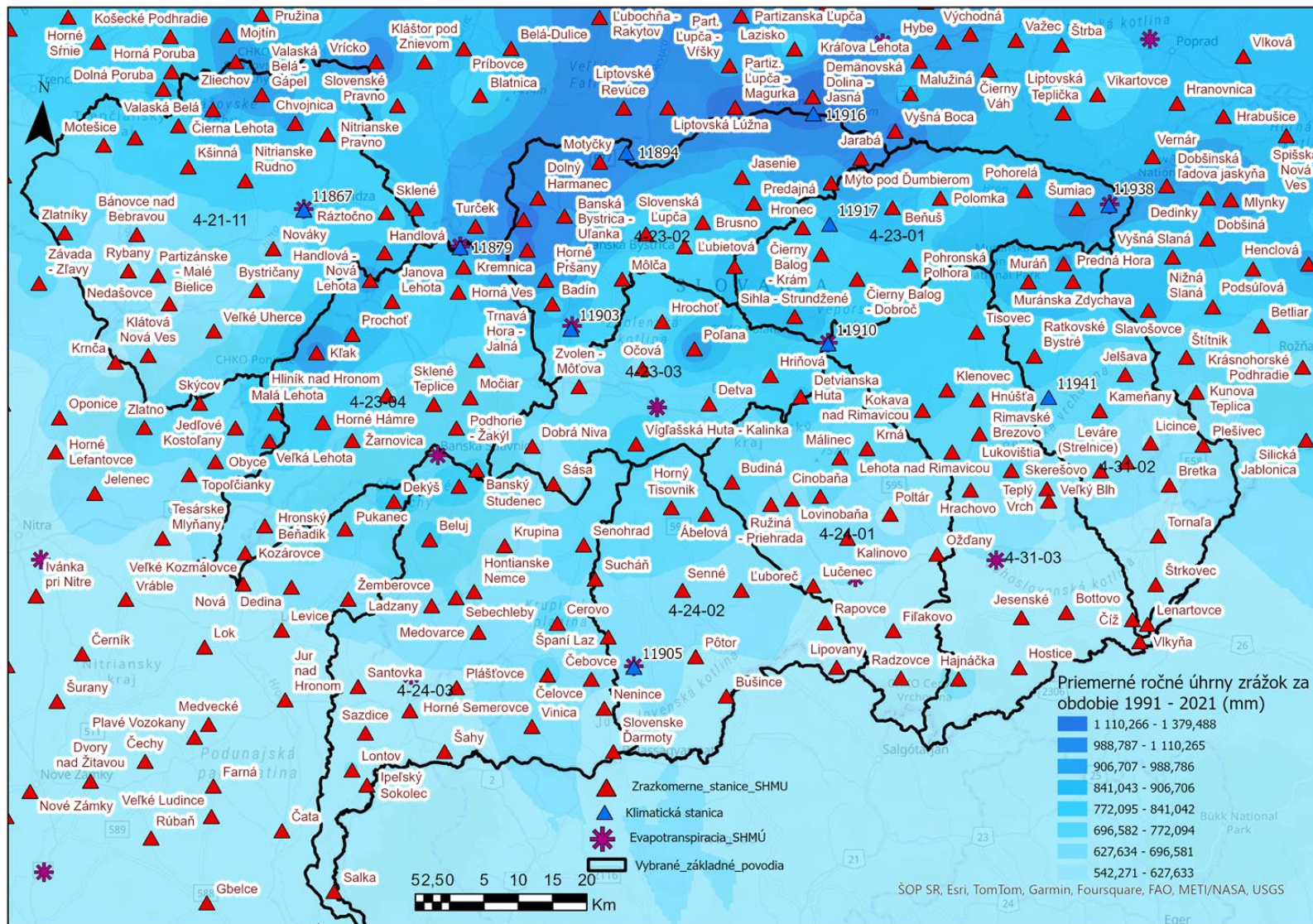
P- úhrn zrážok
 P* - dlhodobý priemer zrážkového úhrnu (mm)
 δp – smerodajná odchýlka úhrnu zrážok

Štandardizovaný zrážkový index SPI (podľa MC Kee et al., 1993) pre namerané úhrny zrážok v zrážkomernej stanici 33140 Beňuš za obdobie rokov 1991 – 2021

(2,00 a viac Extrémne vlhko, 1,5 až 1,99 Veľké vlhko, 1,00 až 1,49 Mierne vlhko, - 0,99 až 0,99 Blízko normálu, -1,00 až -1,49 Mierne sucho, -1,5 až -1,99 Veľké sucho, -2,00 a menej Extrémne sucho)

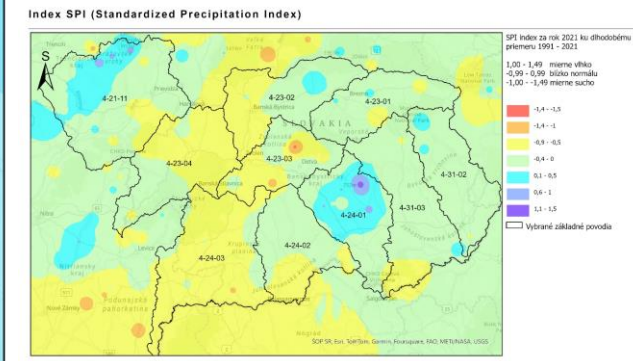


HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA – meteorologické sucho



30 ročné obdobie 1991 – 2021
 Priemerný ročný úhrn zrážok
 627 – 1380 mm

V prevažnej časti územia nie je indikovaná výraznejšia zmena zrážkových úhrnov. Stanovené hodnoty SPI sa pohybujú blízko normálu, resp. časť územia je mierne suchá a druhá menšia časť mierne vlhká



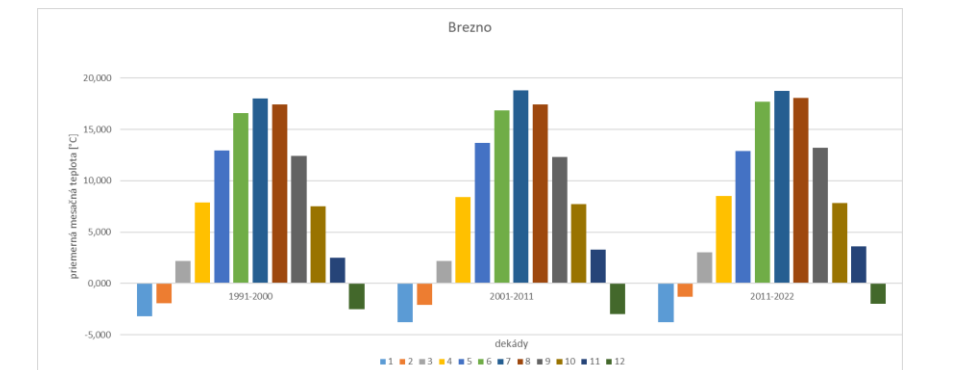
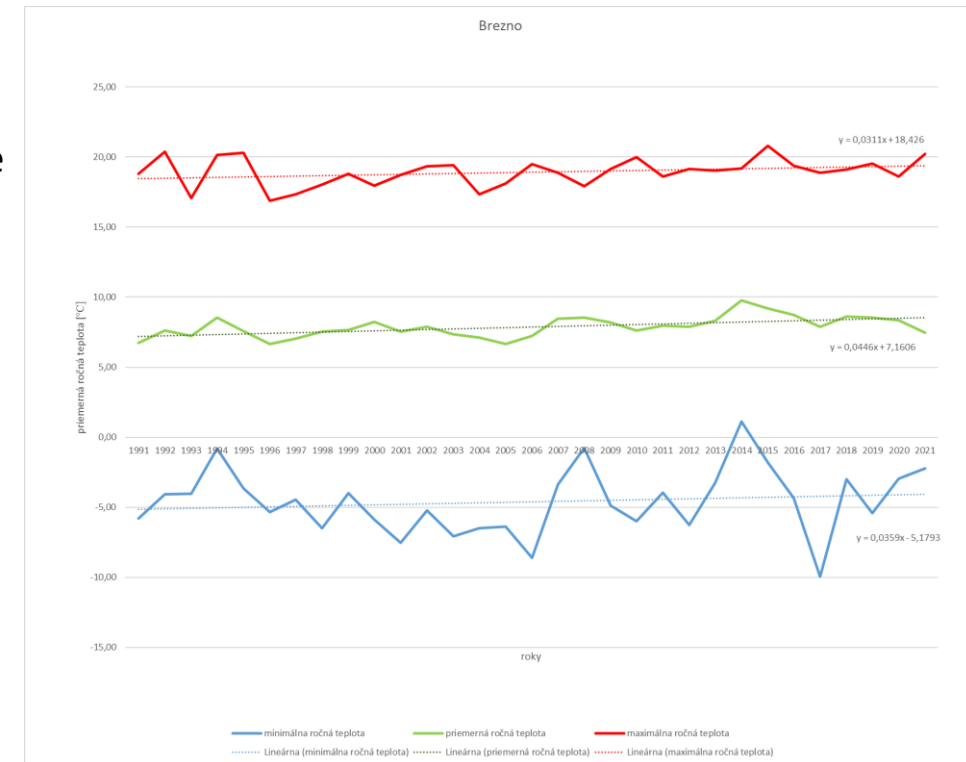
Efektívne zrážky

HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA – meteorologické sucho

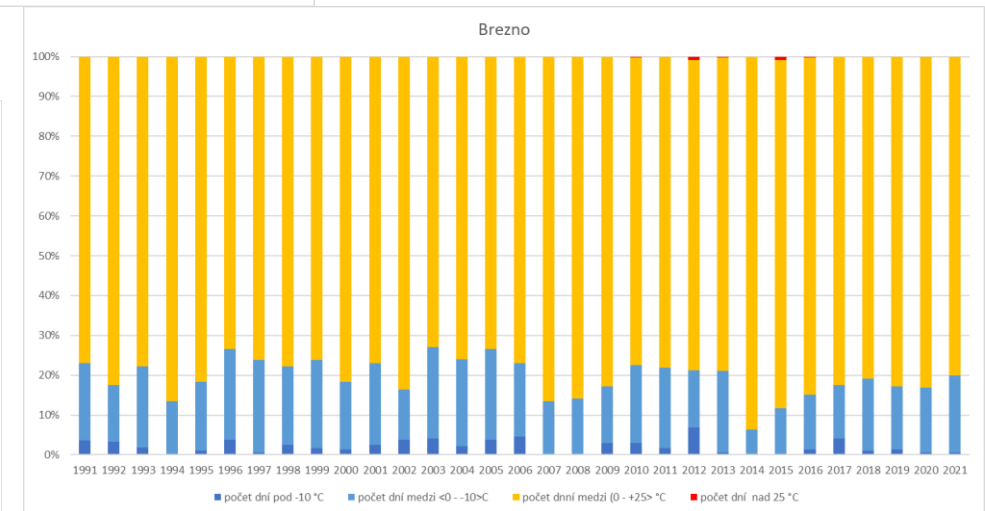
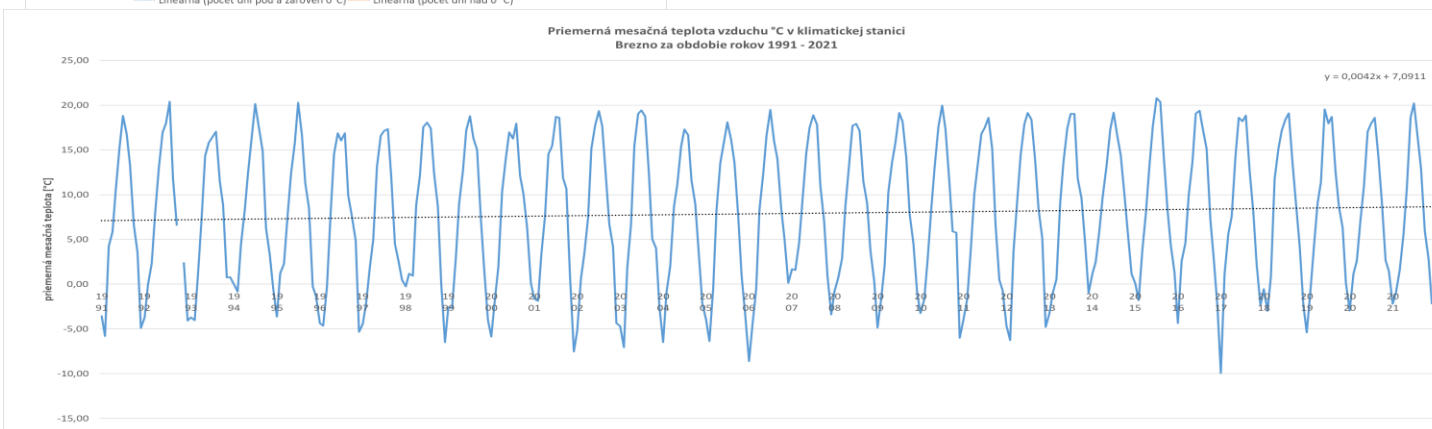
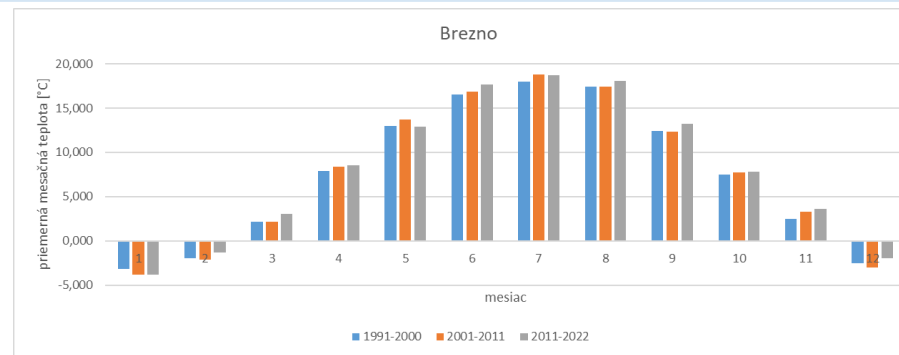
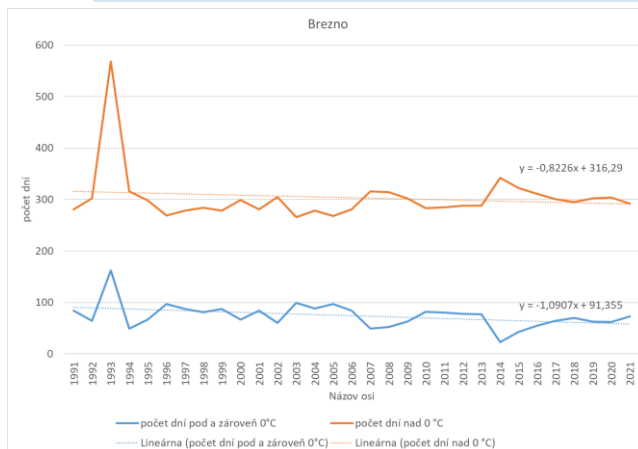
Teplota vzduchu 30 ročné obdobie 1991 – 2021

Teplota vzduchu môže zmierniť alebo naopak výrazne prehĺbiť sucho spôsobené zrážkovým deficitom.

rok/mesiac	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	minimálna ročná teplota	priemerná ročná teplota	maximálna ročná teplota
1991	-3,55	-5,79	4,24	5,85	10,68	15,41	18,81	16,77	13,26	6,66	3,50	-4,91	-5,79	6,74	18,81
1992	-3,71	-0,02	2,35	7,80	12,99	16,93	17,96	20,39	11,79	6,62	2,37	-4,06	-4,06	7,62	20,39
1993	-3,70	-4,05	1,17	7,70	14,35	15,82	16,48	17,07	11,54	8,85	0,74	0,79	-4,05	7,23	17,07
1994	-0,01	-0,81	4,49	8,27	12,52	16,54	20,16	17,49	14,88	6,27	3,26	-0,38	-0,81	8,56	20,16
1995	-3,63	1,22	2,27	7,86	12,36	15,81	20,30	16,71	11,33	8,49	-0,25	-1,36	-3,63	7,59	20,30
1996	-4,35	-4,66	-0,37	8,04	14,54	16,88	16,04	16,86	9,92	7,57	4,85	-5,33	-5,33	6,67	16,88
1997	-4,44	-2,11	1,93	4,95	13,12	16,60	17,12	17,35	12,11	4,48	2,72	0,51	-4,44	7,03	17,35
1998	-0,27	1,19	0,92	8,80	12,16	17,56	18,05	17,42	12,35	8,66	0,07	-6,49	-6,49	7,54	18,05
1999	-2,58	-2,65	2,90	9,07	12,62	17,18	18,79	16,34	15,00	7,34	1,64	-3,99	-3,99	7,64	18,79
2000	-5,87	-1,60	1,93	10,37	14,09	16,99	16,27	17,97	12,11	10,12	6,31	0,11	-5,87	8,23	17,97
2001	-1,64	-1,89	3,31	7,71	14,52	15,47	18,71	18,61	11,86	10,69	0,69	-7,52	-7,52	7,54	18,71
2002	-5,23	0,65	3,38	7,40	15,15	17,73	19,35	17,67	11,86	6,70	4,14	-4,35	-5,23	7,87	19,35
2003	-4,69	-7,05	1,81	6,70	15,43	19,02	19,41	18,75	12,31	5,04	4,02	-2,49	-7,05	7,36	19,41
2004	-6,49	-0,92	2,02	8,66	11,14	15,37	17,32	16,67	11,60	9,01	3,08	-2,16	-6,49	7,11	17,32
2005	-3,97	-6,38	-0,46	8,26	13,53	15,93	18,10	16,17	13,60	7,59	1,03	-3,53	-6,38	6,66	18,10
2006	-8,61	-4,60	-0,63	8,35	12,37	16,67	19,50	15,96	13,99	8,50	5,04	0,14	-8,61	7,22	19,50
2007	1,69	1,57	4,65	9,34	14,57	17,47	18,88	17,81	10,97	7,02	0,94	-3,37	-3,37	8,46	18,88
2008	-0,77	0,76	2,87	8,75	13,43	17,71	17,93	17,12	11,46	9,08	3,75	0,37	-0,77	8,54	17,93
2009	-4,87	-1,55	2,09	10,29	13,66	15,83	19,14	18,18	14,12	7,82	4,58	-0,96	-4,87	8,19	19,14
2010	-3,23	-1,69	2,70	8,53	13,14	17,60	19,98	17,27	11,60	5,89	5,76	-6,00	-6,00	7,63	19,98
2011	-3,97	-1,67	3,46	10,04	13,28	16,82	17,48	18,60	15,06	6,67	0,51	-0,71	-3,97	7,96	18,60
2012	-4,62	-6,27	3,67	9,37	14,39	17,88	19,16	18,40	13,77	8,42	5,12	-4,77	-6,27	7,88	19,16
2013	-3,27	-1,01	0,59	9,13	13,77	17,46	19,04	19,04	11,78	9,62	4,42	-0,99	-3,27	8,30	19,04
2014	1,14	2,48	6,09	9,84	13,20	17,30	19,17	16,50	14,41	9,97	5,77	1,16	1,14	9,75	19,17
2015	0,06	-1,80	3,89	7,74	13,31	17,66	20,81	20,37	14,41	8,43	4,38	1,28	-1,80	9,21	20,81
2016	-4,34	2,59	4,57	9,94	13,66	19,06	19,38	17,30	15,10	7,23	2,89	-2,60	-4,34	8,73	19,38
2017	-9,93	1,15	5,66	7,54	14,22	18,59	18,21	18,87	12,69	7,98	2,16	-2,33	-9,93	7,90	18,87
2018	-0,55	-2,98	0,81	11,75	15,10	17,15	18,41	19,12	13,51	9,11	4,29	-2,40	-2,98	8,61	19,12
2019	-5,41	-0,64	4,07	9,07	11,39	19,53	17,96	18,71	12,58	8,69	6,34	0,06	-5,41	8,53	19,53
2020	-2,96	1,17	2,57	7,27	10,90	17,07	17,92	18,61	14,12	9,23	2,67	1,44	-2,96	8,33	18,61
2021	-2,20	-0,90	1,63	5,60	10,77	18,63	20,22	16,36	12,86	5,92	2,85	-2,16	-2,20	7,46	20,22
min	-9,93	-7,05	-0,63	4,95	10,68	15,37	16,04	15,96	9,92	4,48	-0,25	-7,52	-9,93	4,34	16,04
average	-3,42	-1,56	2,60	8,39	13,24	17,15	18,58	17,76	12,84	7,86	3,21	-2,16	-3,42	7,87	18,58
max	1,69	2,59	6,09	11,75	15,43	19,53	20,81	20,39	15,10	10,69	6,34	1,44	1,44	10,99	20,81



HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA – meteorologické sucho

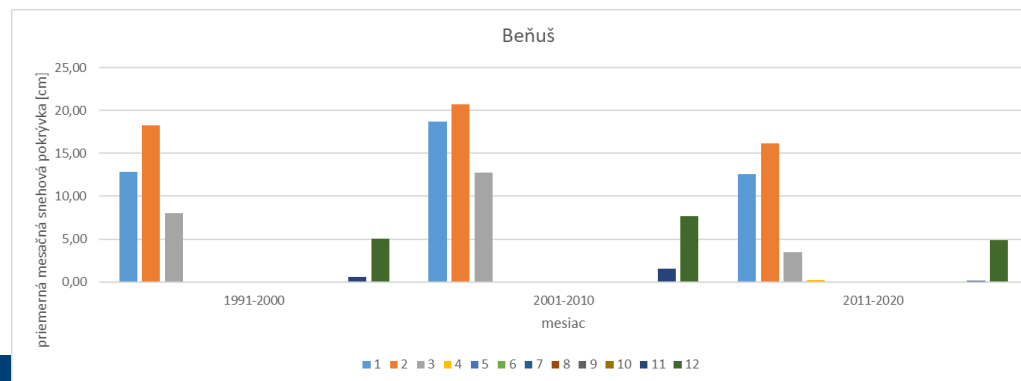
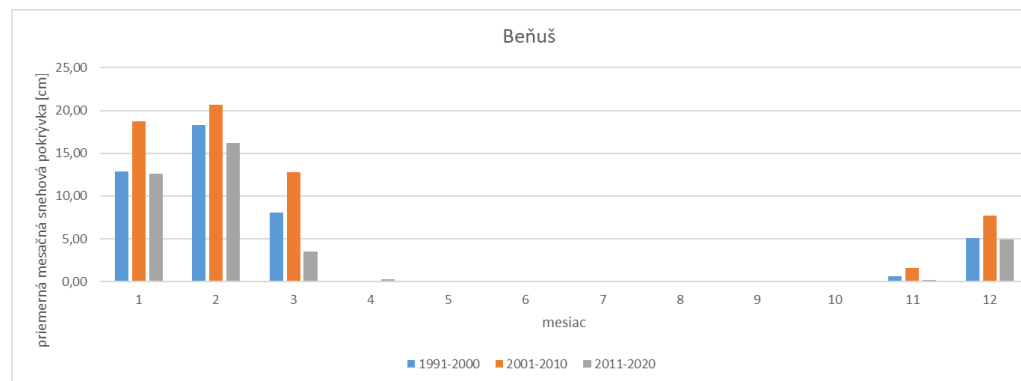
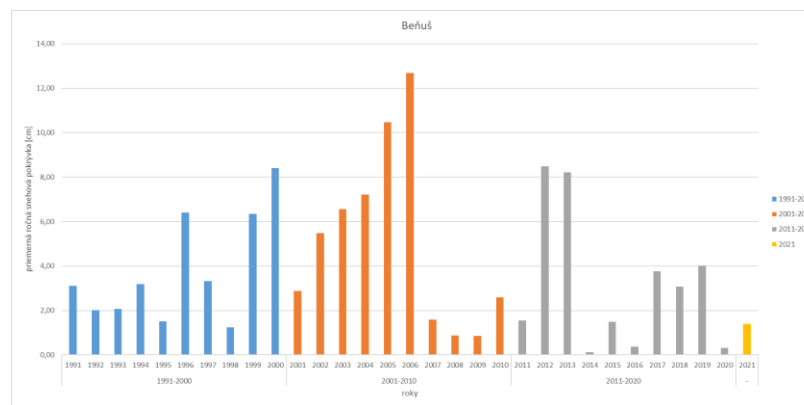


rok	rozdiel min teploty (od 1991)	rozdiel (od 1991)	priemernej teploty	rozdiel max teploty (od 1991)
2021	1,08	1,34		0,93
2025	1,22	1,52		1,06
2050	2,12	2,63		1,83
2035	1,58	1,96		1,37

HODNOTENIE HYDROGEOLOGICKÉHO SUCHA – meteorologické sucho

snehové zrážky

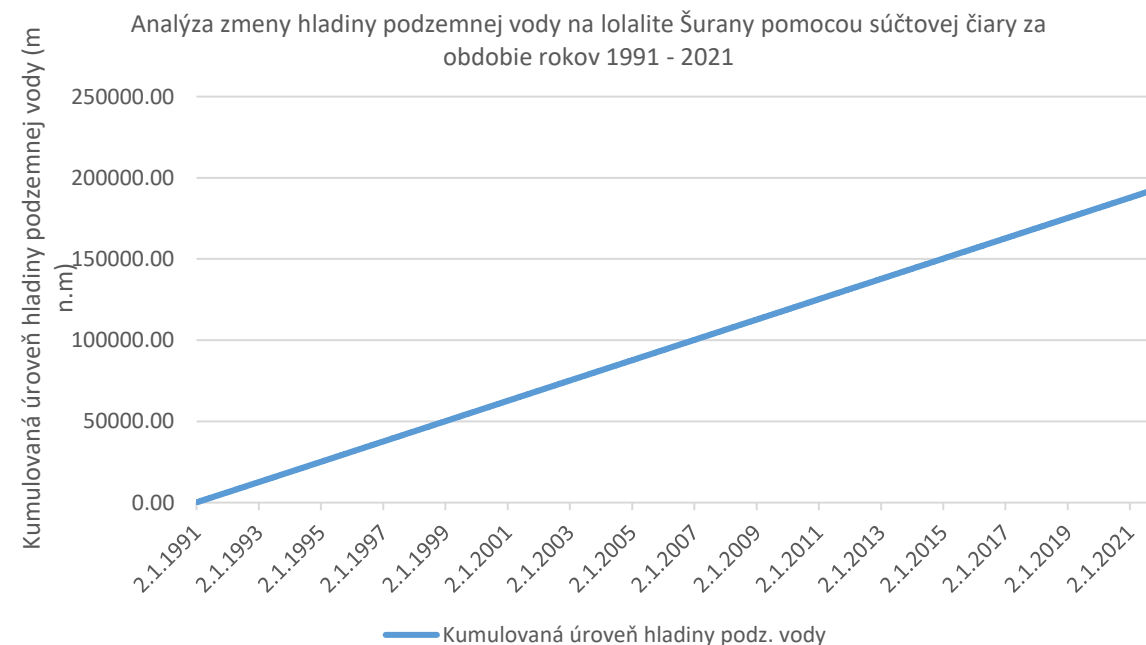
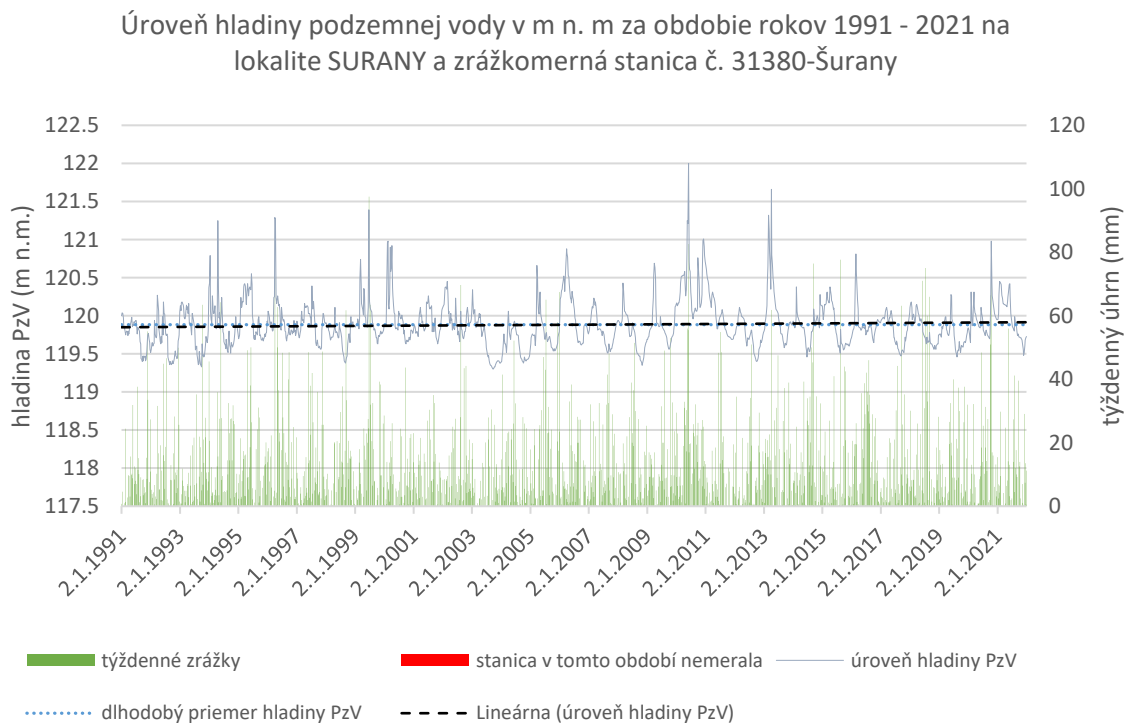
	Stanica	33140 Beňuš												average	max		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 min				
1991-2000	1991	1,03	23,18	5,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94	0	3	23
	1992	14,06	5,21	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,13	3,68	0	2	14	
	1993	4,23	8,75	5,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,26	0	2	9	
	1994	18,94	18,43	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0	3	19	
	1995	8,00	4,18	0,55	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	4,90	0	2	8	
	1996	17,45	28,34	26,81	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	3,55	0	6	28	
	1997	17,90	19,89	0,13	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	1,10	0,10	0	3	20	
	1998	0,71	0,07	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	13,48	0	1	13	
	1999	15,03	35,96	10,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,77	10,48	0	6	36	
	2000	31,42	38,93	30,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0	8	39	
2001-2010	2001	3,48	8,75	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	17,39	0	3	17	
	2002	44,39	14,39	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,27	4,90	0	5	44	
	2003	26,68	33,14	13,81	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06	0	7	33	
	2004	32,23	29,83	19,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	1,87	0	7	32	
	2005	15,74	42,79	36,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83	0	10	43	
	2006	47,94	53,79	50,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,16	0	13	54	
	2007	4,16	10,25	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,87	0,00	0	2	10	
	2008	6,77	0,34	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,29	0	1	7	
	2009	3,39	3,68	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0	1	4	
	2010	2,35	9,86	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	17,42	0	3	17	
2011-2020	2011	6,97	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,65	0	2	11	
	2012	33,39	44,93	11,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	11,45	0	8	45	
	2013	28,94	47,89	17,87	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,35	0	8	48	
	2014	0,94	0,07	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,32	0	0	1	
	2015	1,48	13,43	0,35	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,40	0,00	0	1	13	
	2016	3,48	0,48	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,29	0	0	3	
	2017	16,81	12,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,87	15,23	0	4	17	
	2018	9,61	15,32	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,61	0	3	15	
	2019	23,19	24,79	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0	4	25	
	2020	1,35	2,07	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,16	0	0	2	
2021	4,13	4,75	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	7,42	0	1	7		
	min	0,71	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	1	
	average	14,39	17,95	7,86	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,76	5,95	0	4	18	
	max	47,94	53,79	50,19	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	3,87	27,68	0	16	54	



HODNOTENIE SUCHA V PODZEMNEJ VODE

Vplyv klimatickej zmeny na režim a množstvo podzemných vôd bol posúdený na základe vývoja zmien priebehu úrovne hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov v reprezentatívnych a antropogénne neovplyvnených monitorovacích objektoch.

Zmeny boli určené pomocou trendovej analýzy a metódy súčtových čiar, ktoré poukazujú na možný dopad klimatických zmien na podzemnú vodu. Hodnotené bolo obdobie rokov 1991 – 2021 v týždennom kroku. Každá významnejšia zmena režimu spôsobí odchylenie od predpokladaného lineárneho trendu.



HODNOTENIE SUCHA V PODZEMNEJ VODE

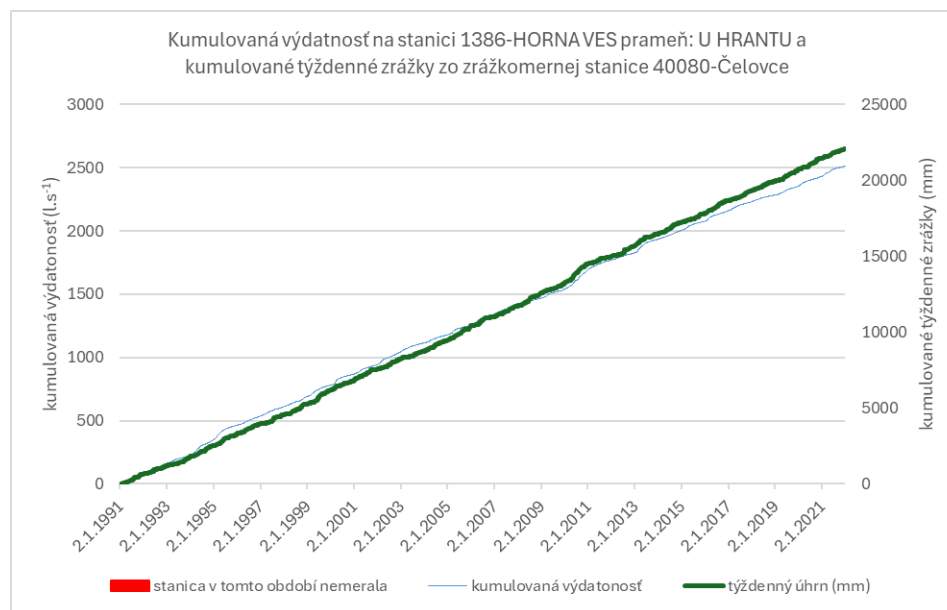
Metóda súčtovej čiary analýzy zmeny hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov (súčtová čiara)

Analýzou súčtových čiar pre antropogénne neovplyvnené pozorovacie objekty za dlhšie obdobie môžeme identifikovať trendy v zmenách úrovne hladiny a výdatnosti prameňov súvisiace s klimatickými zmenami.

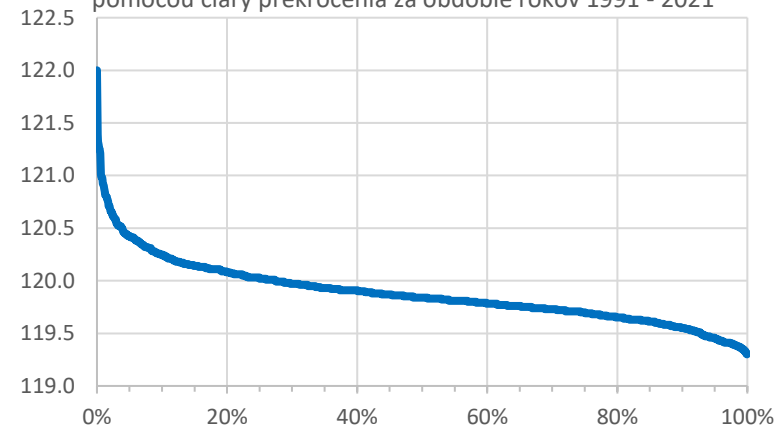
Ak súčtová čiara nemá **lineárny priebeh**, ale má stúpajúci trend, znamená to, že hladina resp. výdatnosť sa v priebehu času zvyšuje a naopak, klesajúci trend indikuje zníženie hladiny alebo výdatnosti. Zmeny smeru súčtovej čiary indikujú potenciálny vplyv klimatickej zmeny, t.j. zmeny v zrážkach, teplote a evapotranspirácii, majú priamy vplyv na hladinu podzemnej vody a podzemný odtok, aj obdobie začiatku vplyvu.

Metóda čiary prekročenia

Na základe čiary prekročenia môžeme **určiť zabezpečenosť** konkrétneho množstva / výdatnosti / hladiny podzemnej vody pre vodárenské využitie a určiť, aké množstvo vody môžeme z prameňa alebo studne bezpečne odobrať bez toho, aby sme ohrozili jeho trvalosť a či vodný zdroj (prameň, studňa) je dostatočne spoľahlivým zdrojom vody pre vodárenské využitie vo vzťahu k prognózovanej potrebe.



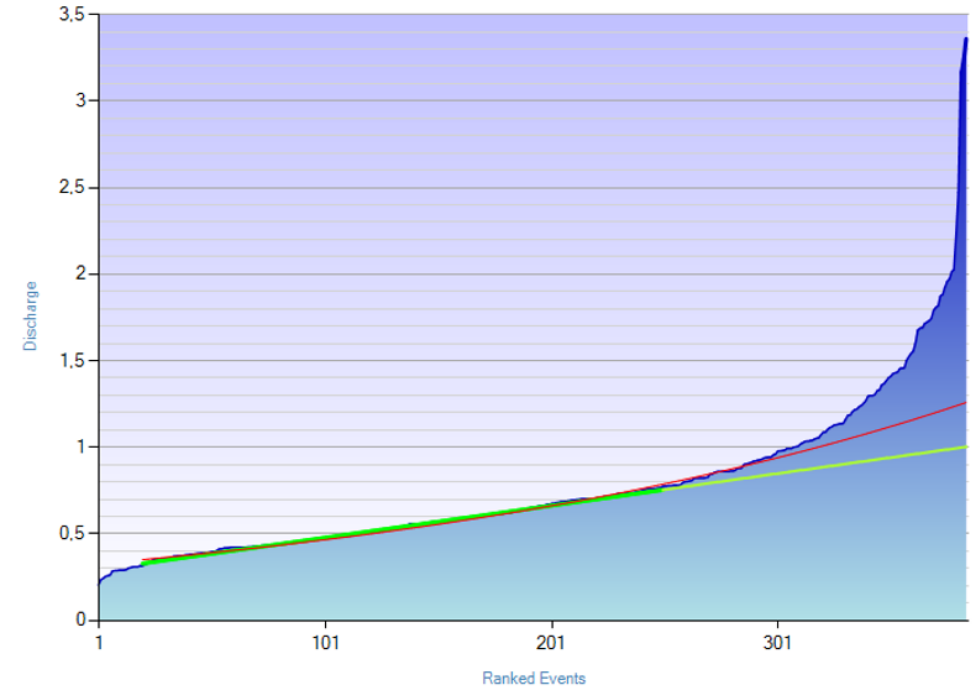
Analýza zmeny hladiny podzemnej vody na lomalite Šurany pomocou čiary prekročenia za obdobie rokov 1991 - 2021



STANOVENIE PODZEMNÉHO ODTOKU

Killeho metóda

- štandardná a najčastejšie používaná metóda stanovenia podzemného odtoku minimálnych mesačných prietokov
- vychádza z predpokladu, že **v čase výskytu najnižších prietokov v toku je tento prietok tvorený prevažne podzemným odtokom.**
- Z údajov o **priemerných denných prietokoch** sa pre jednotlivé mesiace vyberie najnižšia hodnota priemerného denného prietoku a tieto hodnoty minimálneho mesačného prietoku sa zoradia vzostupne a vynesú v semilogaritmickej mierke.
- Výsledná krivka sa nazýva **čiara prekročenia minimálnych mesačných prietokov**. Množina bodov, ktorá je tvorená **priamou časťou krivky je považovaná za čiaru oddeľujúcu podzemný odtok.**
- Ak túto priamku prenesieme do lineárneho zobrazenia vznikne **exponenciála, ktorá vymedzuje spolu s osami celkové množstvo odtečenej podzemnej vody.**
- Z tejto hodnoty môžeme získať priemerný podzemný odtok za hodnotené obdobie.
- Hodnotené obdobie by malo byť minimálne aspoň 10 rokov, optimálne 30



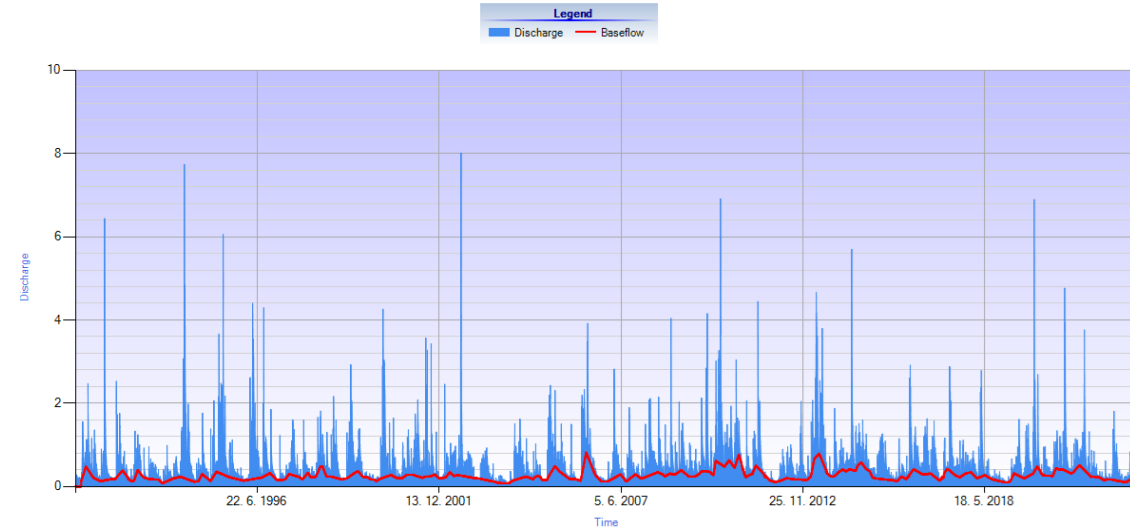
Obdobie 1991 – 2020

Denné prietoky pre vybraté antropogénne neovplyvnené povodia

STANOVENIE PODZEMNÉHO ODTOKU

Metóda BFI

- Metóda BFI (Base Flow Index) je metóda na výpočet podzemného odtoku založená na kombinácii analýzy lokálnych miním a čiary vyprázdňovania (Gustard et al., 1992)
- Index BFI určuje pomer objemu podzemného (základného) odtoku a celkového odtoku celkového.** Vyjadruje vplyv geologických pomerov v príslušnom povodí a jeho hodnota je pre každé povodie charakteristická.
- Na výpočet podzemného odtoku sme použili modul BFI+ 3.0 HydroOffice 2015 (Gregor, Fendek, 2012) - 1991 – 2020 pre vybraté antropogénne neovplyvnené povodia
- Použitím tohto modulu bol pre jednotlivé povodia stanovený na základe hodnôt priemerného ročného podzemného odtoku Q_{pd} ($m^3 \cdot s^{-1}$) stanoveného modulom a hodnôt priemerného ročného celkového odtoku Q_c ($m^3 \cdot s^{-1}$) aj **index základného odtoku – BFI index**, ktorý predstavuje mieru zastúpenia podzemnej zložky odtoku na celkovom odtoku z povodia v %



Obdobie 1991 – 2020

Denné prietoky pre vybraté antropogénne neovplyvnené povodia

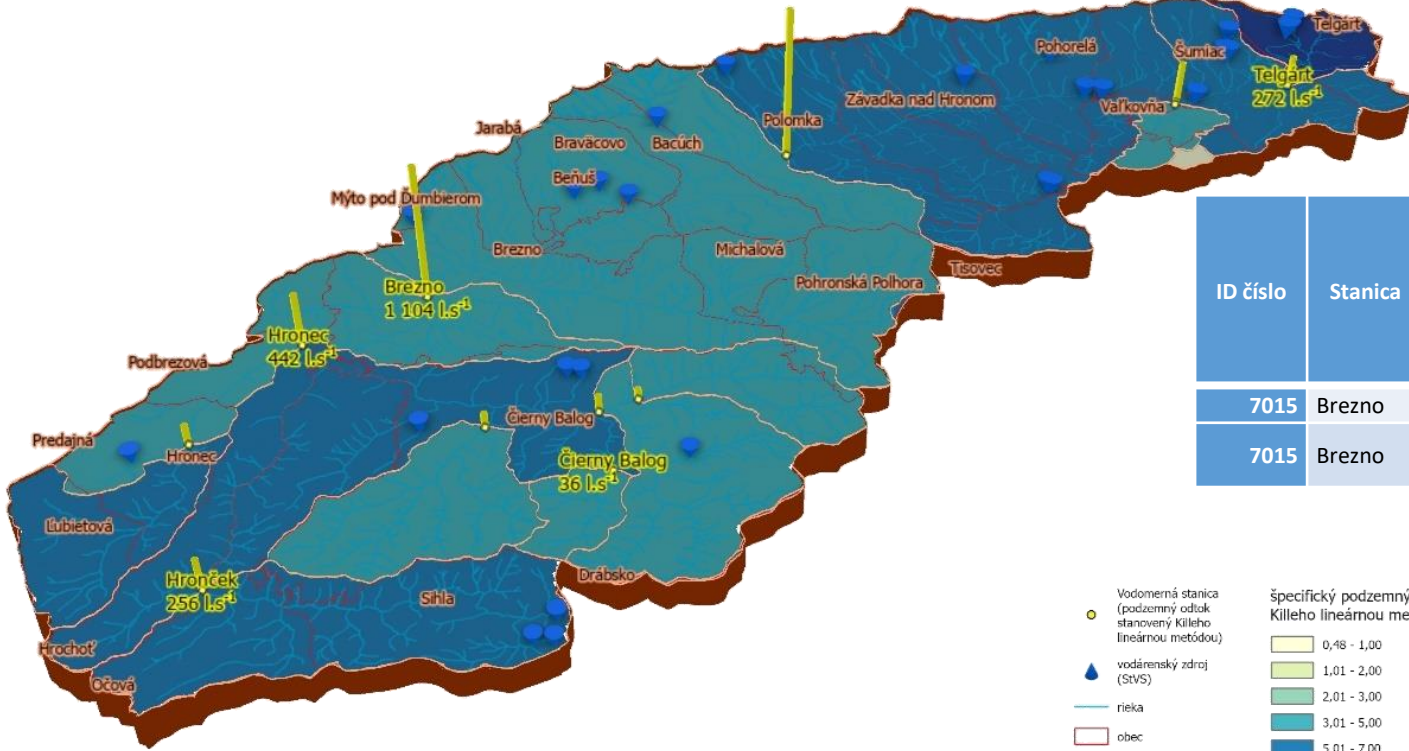
STANOVENIE PODZEMNÉHO ODTOKU

ZÁKLADNÉ POVODIE : 4-23-01 HRON POD ČIERNY HRON



Tabuľka pomeru priemerného odtoku a 3 rôzne vypočítané podzemné odtoky a vypočítaný priemerný baseflow index (BFI)

BF INDEX z baseflow	BF INDEX z Kille - Lin	BF INDEX z Kille - Exp	priemerný BFI
48.5%	44.7%	49.7%	64.7%



ID číslo	Stanica	Tok	Plocha povodia (km²)	Nadväzuje a zahŕňa aj povodia	Špecifický podzemný odtok (l.s ⁻¹ .km ²)			Plošne najvýznamnejšie zastúpený zvodnenec
					Baseflow	Kille - LIN	Kille - EXP	
7015	Brezno	Hron	576	6914;6950;6960;6995	5.83	5.37	5.97	-
7015	Brezno	Hron	248	-	5.42	4.44	5.18	Metamorfity (51 %)

● Vodomerňá stanica (podzemný odtok stanovený Killeho lineárnou metódou)
▲ vodárenský zdroj (StVS)
— rieka
 obec
 analyzované povodia

Špecifický podzemný odtok – stanovený Killeho lineárnou metódou (l.⁻¹.km²)

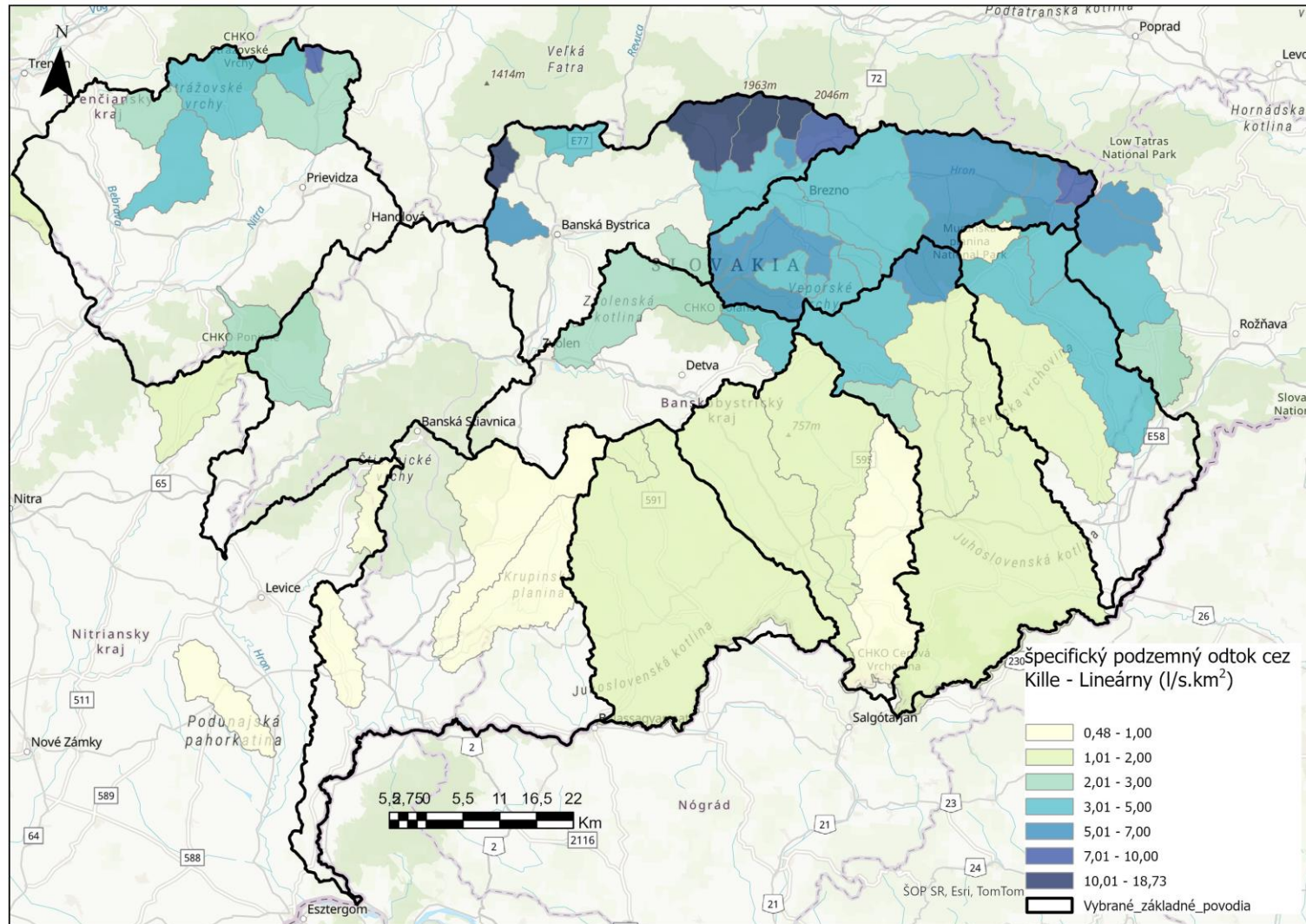
- 0,48 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 5,00
- 5,01 - 7,00
- 7,01 - 10,00
- 10,01 - 18,73

Zdroj dát: StVS, ŠGÚDŠ, ÚGKK, SHMÚ

Spracoval Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2024
 OPR410.025.004.001.02

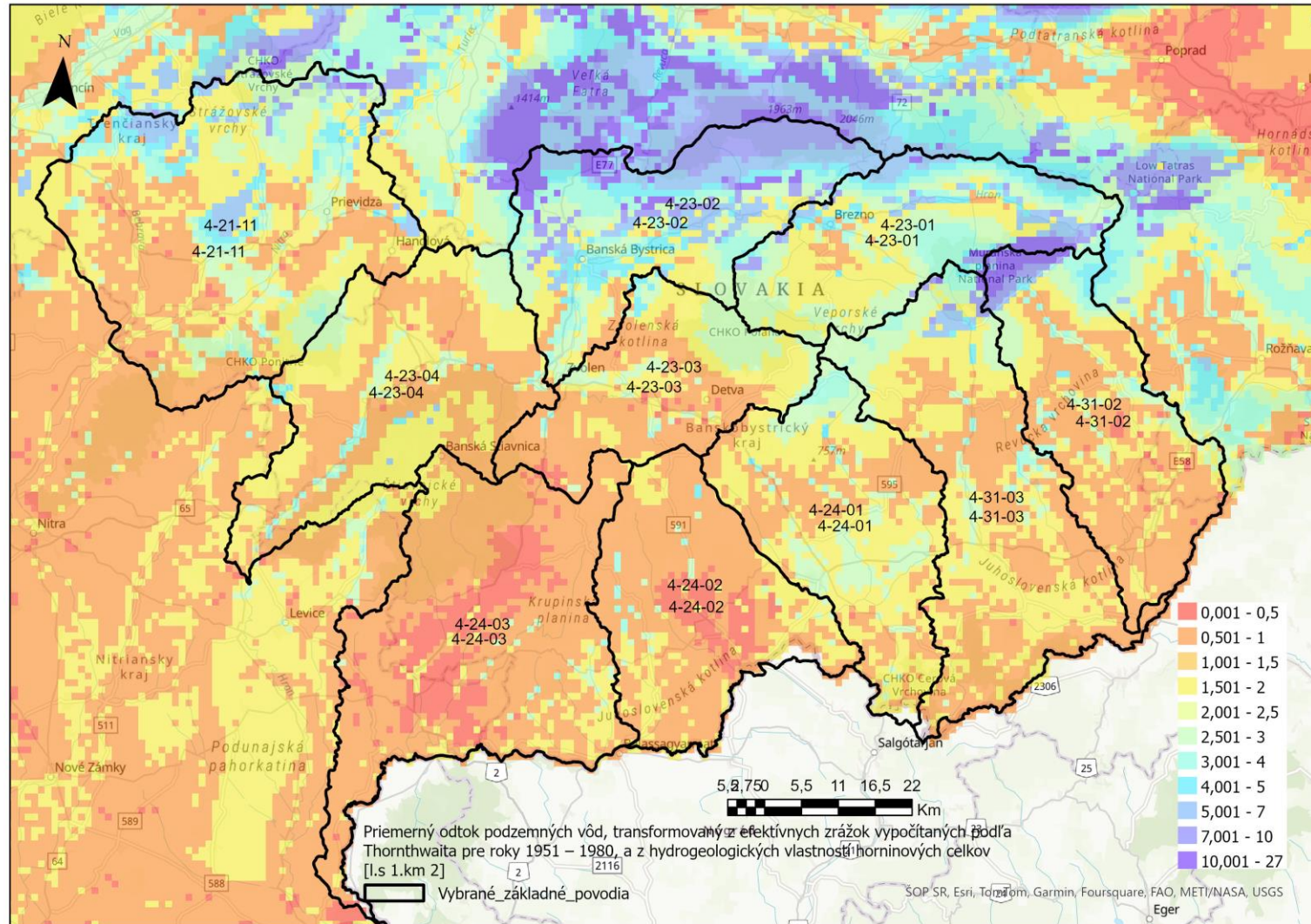
STANOVENIE PODZEMNÉHO ODTOKU

Podzemný odtok $l \cdot s^{-1}$ bol prepočítaný na špecifický podzemný odtok $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.



STANOVENIE PODZEMNÉHO ODTOKU

Nakoľko nebolo možné pre nedostatok údajov (neovplyvnených) vypočítať podzemný odtok pre všetky čiastkové povodia v záujmovom území, využili sme pre ostatné územie údaje o podzemnom odtoku spracované v mape Malík et. al., 2005 pre územie SR



VÝPOČET BILANCIE

Metóda hydrologickej bilancie umožňuje určiť zdroje podzemnej vody (statické aj dynamické) a stanoviť využiteľné množstvo podzemnej vody.

Odtok z povodia je závislý na hlavne na množstve zrážok.

Okrem toho majú na odtok vplyv aj ďalšie parametre ako je geologická stavba, geomorfologické pomery, hydrologické pomery (tvar povodia, hustota riečnej siete) a vegetačný pokryv, či využitie krajiny.

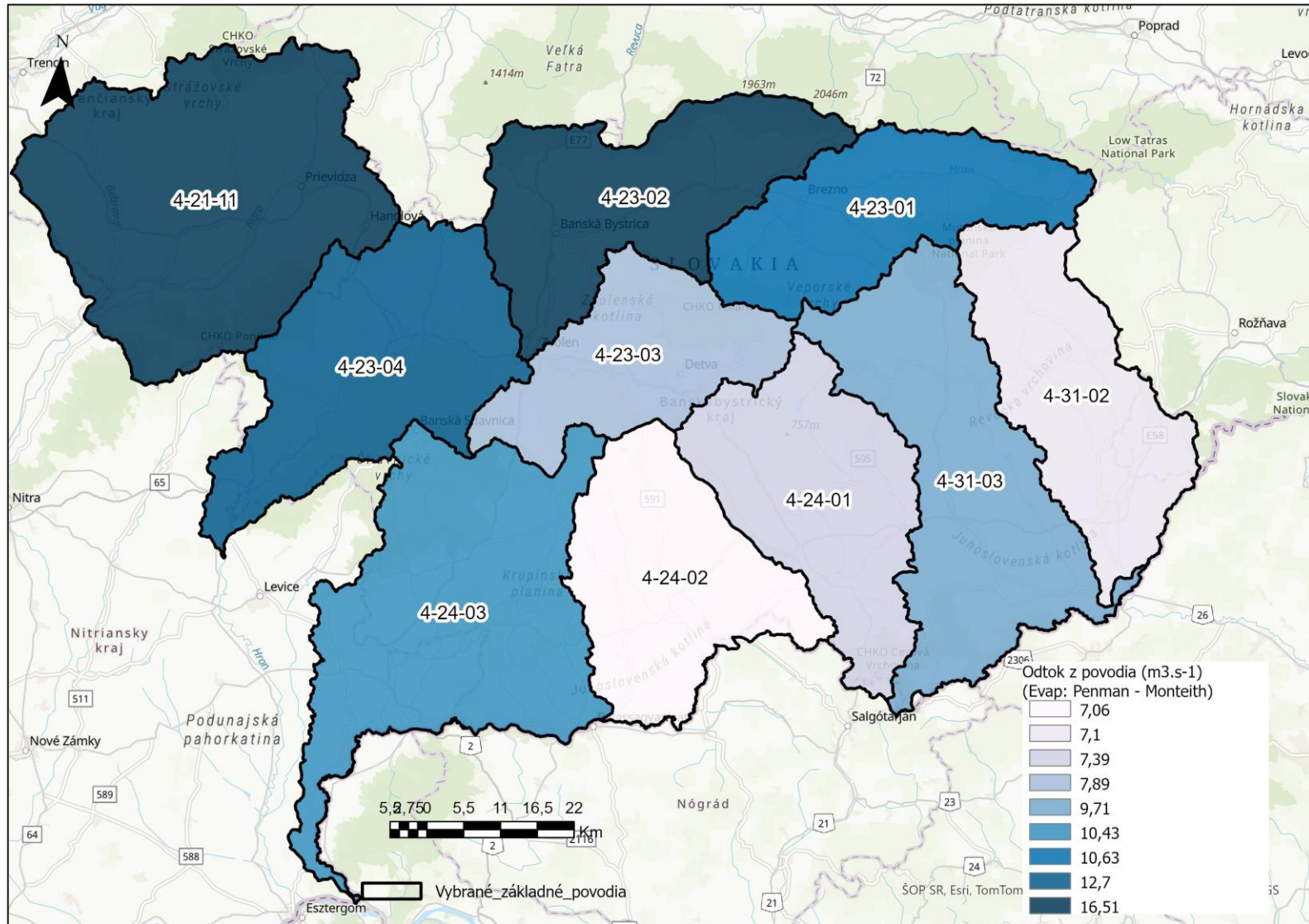
4-23-01 Hron pod Čierny Hron	
Priemerný ročný úhrn zrážok za obdobie 1991 - 2021 (mm) l/m ² /rok	838,17
Plocha povodia (km ²)	920,60
Aktuálna evapotranspirácia Budyko (mm) l/m ²	464,50
Aktuálna evapotranspirácia Penman - Monteith (mm) l/m ² /rok	473,70
Odtok Budyko l/m²/rok	373,67
Odtok Penman - Monteith l/m²/rok	364,47
Odtok z povodia (m³.s⁻¹) Budyko	11,84
Odtok z povodia (m³.s⁻¹) Penman - Monteith	10,63
Špecifický odtok z povodia (l.s⁻¹.km⁻²) Budyko	10,90
Špecifický odtok z povodia (l.s⁻¹.km⁻²) Penman - Monteith	11,55

Pre náš účel sme vzhľadom na dostatočne dlhý rad údajov (30 rokov) využili základnú bilančnú rovnicu:

$$Z - V = 0$$

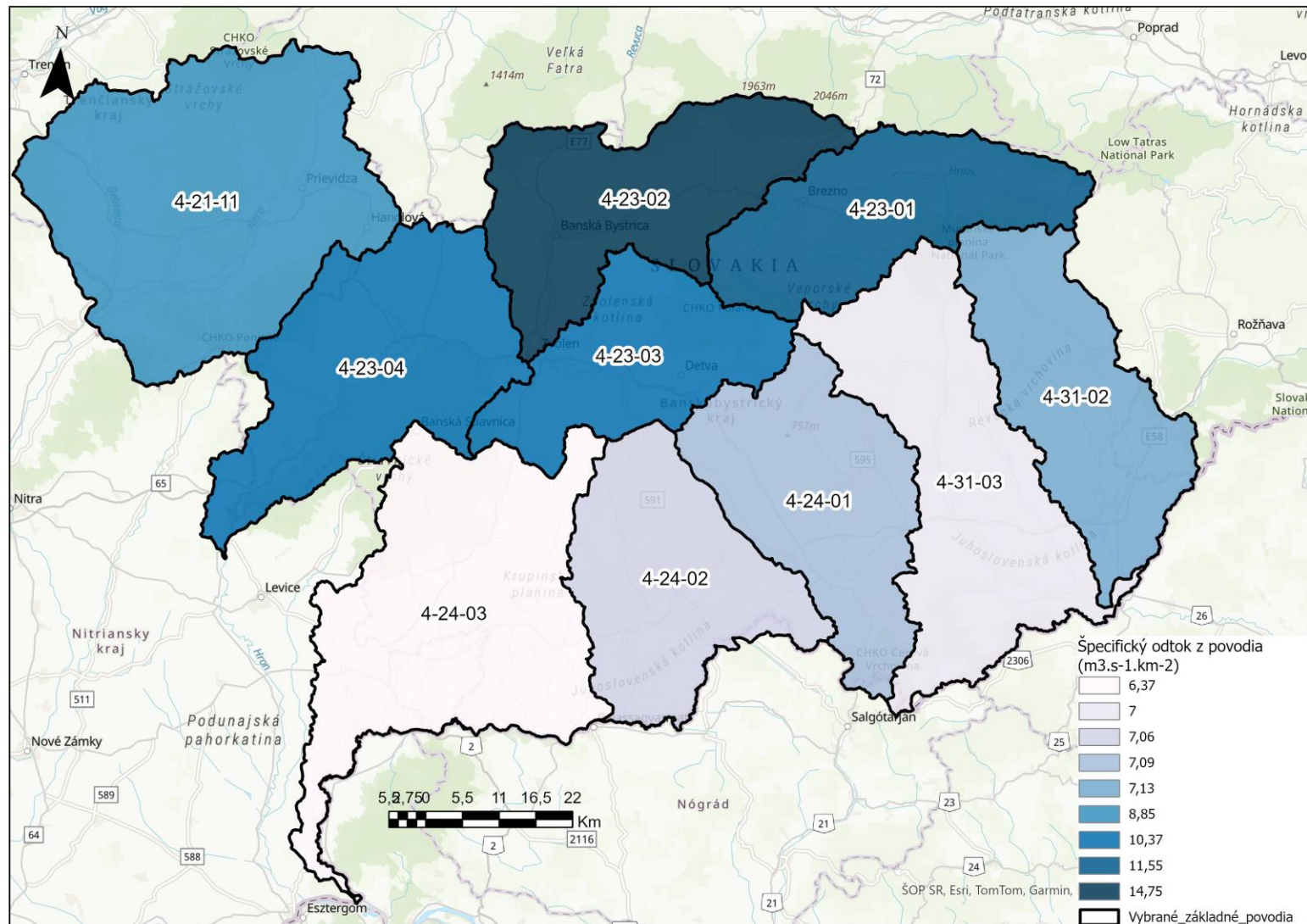
Resp. vypočítané hodnoty efektívnych zrážok a aktuálneho výparu, výsledná hodnota odtoku reprezentuje podzemný odtok. Použitú bilančnú rovnicu uvádza vzťah: $Z_{\text{efektívne}} - V_{\text{aktualny}} = O_{\text{PzV}}$

VÝPOČET BILANCIE



Odtok z povodia ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

VÝPOČET BILANCIE



Špecifický odtok z povodia ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)

ZÁVER

- Je **viditeľný nárast teploty vzduchu** vo všetkých klimatických staniciach za obdobie 1991 – 2021 o cca. 2°C
- Nie je viditeľný výraznejší trend v množstve úhrnov zrážok za obdobie 1991 – 2021, **rozloženie zrážok počas roka sa však postupne zmenilo**. V prvej dekáde bol nárast postupný a vyvrcholil v letných mesiacoch až klesol na priemerné úhrny v jesenných mesiacoch. Druhá a hlavne tretia dekáda sa vyznačujú rovnomerným rozložením a zároveň najnižším úhrnom zrážok za mesiace január až apríl. S príchodom letných mesiacov sa priemerné úhrny takmer zdvojnásobia. Jesenné úhrny boli približne o tretinu vyššie v tretej dekáde oproti druhej.
- Je **viditeľná zmena režimu v odtoku v jednotlivých dekádach**. V poslednej dekáde 2011-2022 je v mesiacoch január, február a marec výrazne vyšší minimálny odtok oproti ostatným dekádam, ktorý je možný v dôsledku rýchlejšie topiacej sa snehovej pokrývky, respektíve priamej absencie snehových zrážok. Na rozdiel od mesiacov apríl a máj, kedy je možné si všimnúť menší minimálny odtok oproti ostatným dekádam, ktorý je možné vysvetliť chýbajúcim topiacim sa snehom, ktorý sa roztopil skôr a prejavil sa v odtoku v skorších mesiacoch.
- **Na prevažnej väčšine prameňov možno identifikovať mierne poklesávajúci trend výdatnosti alebo ustálený trend vývoja výdatnosti prameňov**. Ojedinele však bol zaznamenaný aj mierne narastajúci trend výdatnosti prameňov. Jedná sa napr. o pramene v Remate (povodie Nitra), v Cerovciach (povodie Ipeľ), v Tisovci, Kováčovej, Klenovci, Bohúňovej (povodie Slaná) alebo vo Veľkom dvore, v Kameníme a v Nýrovciach (povodie Hron).
- Rovnako aj analýza úrovne hladiny podzemnej vody v sledovaných objektoch štátnej hydrologickej siete v záujmovom území preukázala **prevažnej mierne poklesávajúci alebo ustálený trend vývoja hladiny podzemnej vody** v prevažnej časti hodnoteného územia.

ZÁVER

- **Zmenu zdrojov podzemných vôd sme vyhodnotili na základe hydrologickej bilančnej rovnice pre hodnotené povodia.**
- Vypočítaný podzemný odtok v rámci povodí v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ kolíše od 3 do $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z hľadiska porovnania množstva zdrojov podzemnej vody je však lepším ukazovateľom **hodnota merného špecifického podzemného odtoku**, kde v hodnotenom území je výrazne rozdelený, v severnej časti dosahuje špecifický podzemný odtok 10 až $15 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$, v južnej časti je výrazne nižší, pohybuje od 6 do $7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$.
- Na základe výpočtu **podzemného odtoku a BFI indexu** pomocou HydroOffice z denných prietokov v antropogénne neovplyvnených povodiach počas obdobia 1991 – 2021 možno konštatovať:
- Podiel podzemného odtoku na celkovom odtoku je vysoký, predstavuje prakticky na celom hodnotenom území viac ako 50 %, čo poukazuje na dobré dopĺňovanie zdrojov podzemných vôd.
- Najvyšší podzemný odtok až 80 % je v horských oblastiach v severovýchodnej časti hodnoteného územia budovanými krasovými vápencami. Táto oblasť je aj najpriaznivejšia z hľadiska množstva zdrojov podzemnej vody a perspektívna na realizáciu nových doplnkových alebo náhradných zdrojov.
- V povodí Nitry v hodnotenom území predstavuje podzemný odtok 47 % do 70 % celkového odtoku, v povodí Hrona tento podiel dosahuje 48 % až 80 %, v povodí Ipeľ 50 % až 69 % a povodí Slanej 56 % až 67 %.
- Špecifický podzemný odtok v hodnotenom území vykazuje vysokú variabilitu v závislosti na pestrosť geomorfologických, geologických, hydrologických a klimatických pomeroch.
- Najvyšší špecifický podzemný odtok je stanovený v povodí Hrona $0,5 - 18,98 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, v povodí Nitry dosahuje $0,7 - 9 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.
- Nižšie hodnoty dosahuje špecifický podzemný odtok v povodí Slanej $1,2 - 7,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ a najnižší je v povodí Iplľa $0,83 - 2,12 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Ďakujem za pozornosť

