

RIZIKO SUCHA NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAM OF THE SLOVAK REPUBLIC**

Zväzok 19/26

Riziko sucha na území Slovenska



Slovenský hydrometeorologický ústav

Bratislava

2026

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Zväzok 19/26

Riziko sucha na území Slovenska

AUTORI: Ing. Lotta Blaškovičová, PhD.; Ing. Katarína Jeneiová, PhD.;
Ing. Katarína Kotríková, PhD.; Mgr. Lívia Labudová, PhD.;
Mgr. Katarína Mikulová, PhD.; RNDr. Zuzana Paľušová;
Ing. Jana Poórová, PhD.; Mgr. Samuel Radič;
RNDr. Valéria Slivová, PhD.;
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, Bratislava

RECENZENTI: RNDr. Pavla Pekárová, DrSc.
ÚSTAV HYDROLÓGIE SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, Bratislava

RNDr. Norbert Polčák, PhD.
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, Bratislava
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta,
Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky
Mlynská dolina, Ilkovičova 6, Bratislava

EDITORI: RNDr. Gabriela Ivaňáková
Mgr. Ladislav Markovič, PhD.

VYDANIE: 1

VYDAVATEĽ: Slovenský hydrometeorologický ústav

ROK VYDANIA: 2026

© Slovenský hydrometeorologický ústav
ISBN 978-80-8310-010-7

Všetky informácie, ktoré táto publikácia obsahuje, sú duševným vlastníctvom Slovenského hydrometeorologického ústavu a nesmú byť reprodukované alebo použité iným spôsobom, ako pre vlastnú potrebu. Slovenský hydrometeorologický ústav nenesie žiadnu zodpovednosť za nesprávne použitie, či interpretáciu tu publikovaných informácií.

OBSAH

1	Riziko výskytu meteorologického sucha na Slovensku	7
1.1	Použití údaje a metodika.....	7
1.2	Mapy zmien v klíčových klimatologických charakteristikách	9
1.3	Mapa rizika výskytu meteorologického sucha na Slovensku	12
1.4	Záver.....	14
1.5	Literatúra.....	14
2	Mapy zraniteľnosti územia Slovenska z pohľadu sucha v povrchových vodách	16
2.1	Použití údaje a metodika.....	19
2.1.1	Spracovanie máp zraniteľnosti v GISe – výsledky interpolácie	21
2.2	Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemernú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000) – Mapa zraniteľnosti (Q_a) II.	22
2.3	Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na malú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000) – Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II.	25
2.4	Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody	31
2.5	Výsledky	33
2.6	Záver.....	36
2.7	Literatúra.....	39
3	Zraniteľné oblasti Slovenska z hľadiska podzemnej vody	40
3.1	Použití údaje a metodika.....	41
3.2	Mapa výskytu sucha	42
3.3	Hodnotenie pomerových hodnôt	44
3.3.1	Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1981 – 2010 a 1991 – 2020.....	44
3.3.2	Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1981 – 2010 a 2011 – 2022.....	45
3.3.3	Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1991 – 2020 a 2011 – 2022.....	46
3.4	Hodnotenie trendov.....	47
3.4.1	Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 1981 – 2010	47
3.4.2	Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020	49
3.4.3	Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 2011 – 2022	50
3.5	Záver.....	51

3.6	Literatúra.....	53
4	Riziko výskytu sucha na Slovensku – syntéza mapových výstupov.....	55
4.1	Použité údaje a metodika.....	55
4.2	Zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu a ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie v zraniteľných územiach povrchových a podzemných vôd.....	56
4.3	Zmeny ročných úhrnov atmosférických zrážok v zraniteľných územiach.....	59
4.4	Zmena atmosférickej vlhovej bilancie na Slovensku v zraniteľných územiach.....	61
4.5	Záver.....	63

Predslov

Vodné zdroje nášho štátu predstavujú jeho prírodné bohatstvo a táto skutočnosť nás núti poznať režim správania sa obehu vody v prírode aspoň do takej miery, aby sme vedeli vodné zdroje chrániť, racionálne využívať, a zároveň chrániť spoločnosť pred následkami extrémnych hydrologických situácií. Ich rozčlenenie, rozdelenie v čase a priestore a ich dopĺňanie je dané klimatickými, hydrologickými, hydrogeologickými a fyzicko-geografickými podmienkami.

Monitorovanie prvkov klimatického systému pomáha k ochrane a využívaniu všetkých vodných zdrojov. Jeho prostredníctvom štát získava presné informácie o kapacite, režime vlastných vodných zdrojov a ich vývoji, môže kvalifikovať a kvantifikovať vplyvy umelých zásahov do režimu využiteľných vlastných vodných zdrojov, a tak v konečnom dôsledku štát pozná hranice, po prekročení ktorých, dochádza k zhoršovaniu podmienok obnoviteľnosti vodných zdrojov a životného prostredia.

Predkladaný zborník predstavuje komplexnú analýzu zraniteľnosti územia Slovenska na výskyt sucha z pohľadu klimatológie a hydrológie povrchových a podzemných vôd. Zároveň predstavuje aj prvé kombinované hodnotenie sucha vzájomným prepojením vplyvov jednotlivých klimatologických a hydrologických faktorov.

Pevne veríme, že nami predstavené výsledky zaujmú odbornú i laickú verejnosť a stanú sa podkladom nielen ďalších riešení pri výskume sucha, ale pomôžu aj pri adaptácii na zmenu klímy v rozhodovaní, plánovaní a riadení vo vodnom hospodárstve, poľnohospodárstve ako aj v ďalších rezortoch.

Ing. Jana Poórová, PhD.

Riaditeľ úseku Hydrologická služba

V Bratislave, 15. mája 2026

1 Riziko výskytu meteorologického sucha na Slovensku

Lívia Labudová, Katarína Mikulová

Úvod

Monitoring meteorologického sucha začal svoju pilotnú prevádzku v roku 2015 a prebiehal len na 12 meteorologických staniách ležiacich na Podunajskej a Východoslovenskej nížine. Od roku 2016 prebieha monitoring meteorologického sucha na 41 staniách, ktoré sú rovnomerne rozmiestnené po celom území Slovenska. Najvyššie položená stanica má nadmorskú výšku 900 metrov a najnižšie položená stanica 97 metrov. Výstupy monitoringu meteorologického sucha sú dostupné pre verejnosť na webovej stránke www.shmu.sk v časti Monitoring sucha. Pravidelne, každý pondelok, sa aktualizujú grafy indexov sucha SPEI, SPI, CMI a 90-dňového zrážkového deficitu/nadbytku. Posledný uvedený indikátor je k dispozícii od roku 2020. Vo vegetačnom období sa v týždennom kroku hodnotí aktuálna situácia aj textovo, mimo vegetačného obdobia len raz mesačne.

V roku 2025 bola nasadená nová forma monitoringu meteorologického sucha. Ten je založený na rovnakých indikátoroch a metodických postupoch s výnimkou metódy výpočtu potenciálnej evapotranspirácie. Nový monitoring sucha je vo forme gridových máp pre lepšie zobrazenie priestorového výskytu meteorologického sucha v danom čase.

Okrem meteorologického sucha začal Slovenský hydrometeorologický ústav v roku 2015 monitorovať aj pôdne sucho. Súčasťou tohto monitoringu je tzv. integrovaný systém sledovania sucha, čo predstavuje monitoring pôdneho sucha prostredníctvom viacerých produktov, ako napríklad intenzita sucha, relatívne nasýtenie, deficit pôdnej vlahy, zásoba pôdnej vlahy, kumulatívny stres a relatívna kondícia vegetácie. Tieto parametre sú spolu s ostatnými aktualizované prostredníctvom máp každý týždeň v pondelok na stránke www.intersucho.sk. Spolu s monitoringom pôdneho sucha prebieha súčasne aj monitoring dopadov sucha na poľnohospodárstvo a lesníctvo. Mapové výstupy sú aktualizované v piatok na rovnakej webovej stránke.

1.1 Použité údaje a metodika

Hlavným indikátorom zvyšujúceho sa rizika výskytu meteorologického sucha bol relatívny štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI). SPEI vyjadruje odchýlky jednoduchej vlhovej bilancie (zrážky – potenciálna evapotranspirácia) v danom období od dlhodobej strednej hodnoty. Evapotranspirácia je proces, ktorý v sebe zahŕňa výpar zo zemského povrchu a transpiráciu rastlín (uvoľňovanie vodnej pary z rastlinného porastu). Potenciálna evapotranspirácia je maximálna možná evapotranspirácia pri daných atmosférických podmienkach, ak voda nie je limitujúcim faktorom.

Negatívne hodnoty indexu znamenajú suché podmienky, pozitívne naopak vlhké podmienky, pričom ich intenzita je odstupňovaná v jednotlivých stupňoch (Tabuľka 1.1, McKee et al., 1993). Sucho identifikované pomocou SPEI neznamená, že dané obdobie bolo úplne bez zrážok. Index vyjadruje odchýlku od strednej hodnoty teoretického rozdelenia nameraných hodnôt, a teda deficit, nie úplnú absenciu zrážok.

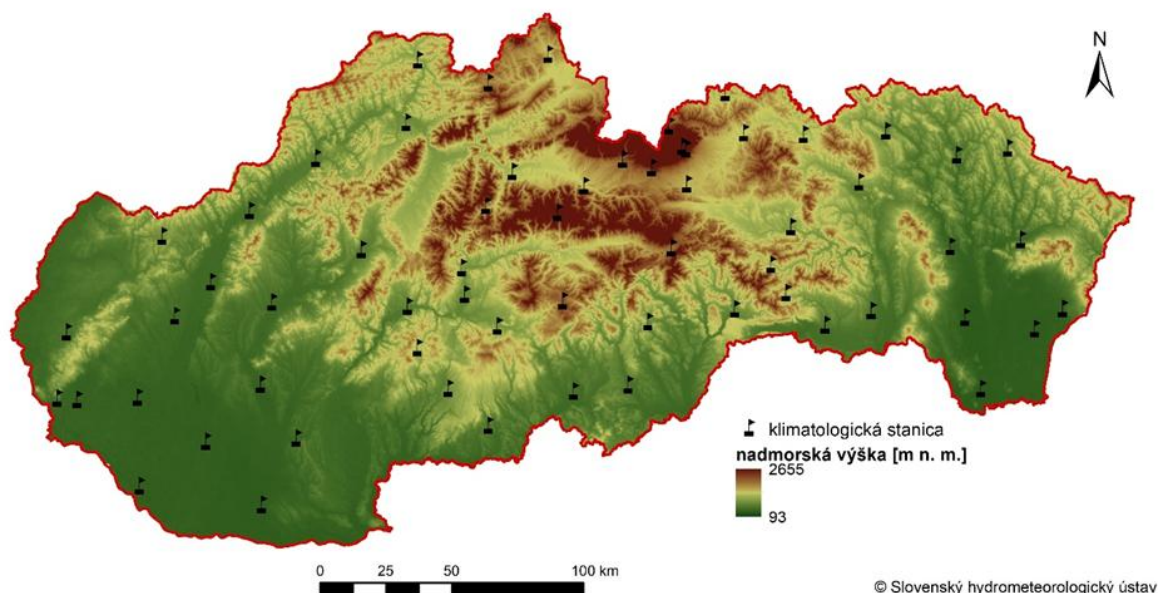
Tabuľka 1.1 Klasifikácia období sucha podľa SPI a SPEI.

SPI a SPEI	Charakteristika
2,0 a viac	Extrémne vlhké
1,5 až 1,99	Veľmi vlhké
1,0 až 1,49	Mierne vlhké
-0,99 až 0,99	Blízko normálu
-1,0 až -1,49	Mierne suché
-1,5 až -1,99	Veľmi suché
-2,0 a menej	Extrémne suché

SPEI je možné počítať s použitím rôzne dlhého akumuláčného okna od 1 do 24 mesiacov. Pri kratších časových škálach (1 až 6 mesiacov) má hodnota jednotlivých mesiacov vyššiu váhu, čo spôsobuje časté striedanie pozitívnych a negatívnych hodnôt indexu, a teda kratšie suché, resp. vlhké periódy. Pri dlhších časových škálach je reakcia indexu pomalšia a periódy sú dlhšie (McKee et al., 1993, Vicente-Serrano et al., 2010). Výpočet pre rôzne časové škály umožňuje aplikáciu indexu vo viacerých sférach vodného manažmentu, alebo poľnohospodárstva. Kratšie časové škály (1 – 3 mesiacov) dobre interpretujú zmeny v pôdnej vlhkosti a prietoku riek v ich horných úsekoch. Stredne dlhé časové škály (6 – 12 mesiacov) reflektujú zmeny v akumulácii vody vo vodných nádržiach a prietoky v stredných úsekoch riek a dlhé časové škály reflektujú zmeny v zásobách podzemnej vody (Vicente-Serrano et al., 2010).

Vstupné údaje pre výpočet relatívneho SPEI v tejto štúdii predstavovali mesačné hodnoty úhrnov zrážok a mesačné sumy potenciálnej evapotranspirácie počítanej podľa Penman-Montheitovej metódy (Allen et al., 1998), ktorá je odporúčaná aj Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO). Staničné údaje boli agregované do územného priemeru, teda bol vytvorený mesačný priestorový úhrn zrážok a mesačná priestorová suma potenciálnej evapotranspirácie, ktoré boli použité pre výpočet priemernej priestorovej hodnoty vlhovej bilancie. Tento dátový rad bol využitý pre stanovenie parametrov teoretického log-logistického rozdelenia, ktoré bolo využité pre výpočet relatívneho SPEI (rSPEI).

V ďalšom kroku boli získané parametre teoretického rozdelenia použité pre výpočet 12-mesačného rSPEI indexu zo staničných údajov (Obr. 1.1). Uvedený 12-mesačný krok bol zvolený z dôvodu potreby vyjadrenia charakteru celého roka vzhľadom na ďalšie využitie získaných výsledkov v rámci prepojenia s hydrologickými a hydrogeologickými výstupmi analýz. Práve tieto hodnoty boli následne použité pre výpočet 30-ročnej priemernej hodnoty rSPEI-12 pre normálové obdobia 1961 – 1990 a 1991 – 2020. Rozdiel medzi priemernými hodnotami rSPEI-12 za tieto 30-ročné obdobia vyjadruje mieru zmeny vlhových podmienok. Umožňuje preto identifikovať oblasti, v ktorých sa vlhová bilancia zhoršuje výraznejšie a riziko výskytu sucha sa preto taktiež výraznejšie zvyšuje. Zároveň vyčleňuje oblasti, v ktorých sa vlhová bilancia zlepšuje a teda riziko výskytu sucha je nižšie. Pre účely doplnkovej informácie o možných rizikách výskytu sucha v dôsledku zmien v úhrnoch zrážok a potenciálnej evapotranspirácie a možnosti ich využitia pre špecifické (napr. aj hydrologické) analýzy, boli vytvorené aj mapy zmeny ročného úhrnu zrážok, priemernej ročnej teploty vzduchu a ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.



Obr. 1.1 Rozmiestnenie klimatologických staníc použitých v štúdií.

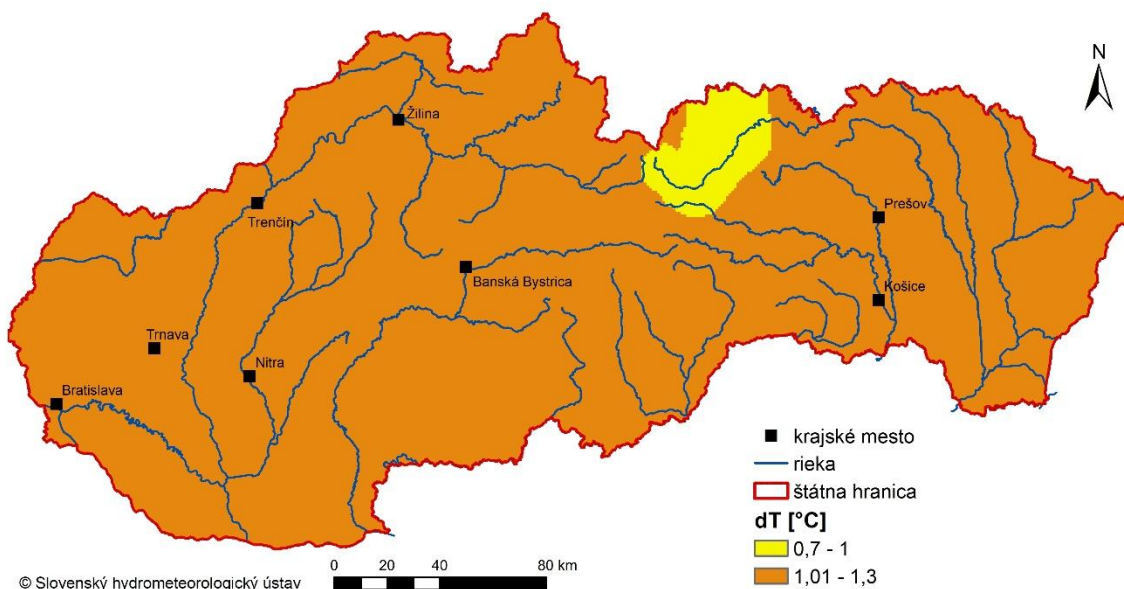
Pre interpoláciu jednotlivých premenných bol využitý nástroj AGHydroInterpolace v rámci programu ArcGIS, ktorý bol vyvinutý na ČHMÚ (Šercl, 2008). Modul využíva regresnú závislosť dvoch veličín. Závislosť sa počíta pre každý bod osobitne pomocou stanoveného počtu susedných bodov a zvoleného okruhu. Výsledný raster je váženým priemerom, kde váhovým koeficientom je hodnota koeficientu determinácie R^2 . Korekčný koeficient je využitý na potlačenie, alebo zosilnenie vplyvu regresného vzťahu na výsledok interpolácie. Pri zrážkových úhrnoch a teplote vzduchu bol koeficient rovný 0,7 (nakolko bola zistená vyššia závislosť premennej od orografie), pre relatívny SPEI-12 bol rovný 1 (rovnaká váha medzi regresiou a interpoláciou) a pre potenciálnu evapotranspiráciu bol rovný 1,2 (zistená nižšia závislosť od nadmorskej výšky).

1.2 Mapy zmien v kľúčových klimatologických charakteristikách

Mapa zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu

Z mapy zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu (Obr. 1.2) medzi dvomi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 je zrejмый jej celoplošný nárast na úrovni viac ako 1 °C. Miera nárastu neklesá s nadmorskou výškou a nevyhýba sa ani horským oblastiam. Jediným regiónom, kde bol pozorovaný o niečo nižší nárast priemernej ročnej teploty vzduchu je oblasť severného Spišu a Zamaguria.

Pozorované zmeny sú plne v súlade s výsledkami štúdií publikovaných pre Slovensko v posledných rokoch. Podľa štúdie Labudovej et al. (2024) vzrástla priemerná ročná teplota v normálovom období 1991- 2020 o 1,0 až 1,3 °C na staniách, ktoré majú časový rad údajov od roku 1931. Najvyšší nárast pritom zaznamenali v Bratislave a Košiciach. Pri porovnaní predchádzajúcich normálových období (1931 – 1960 a 1961 – 1990) robil rozdiel v priemernej ročnej teplote vzduchu len 0,2 °C. Zistený rastúci trend teploty vzduchu je zároveň aj štatisticky významný. K podobným záverom dospela aj predchádzajúca štúdia s podobným zameraním, ktorá bola publikovaná v roku 2015 (Labudová et al., 2015).



Obr. 1.2 Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.

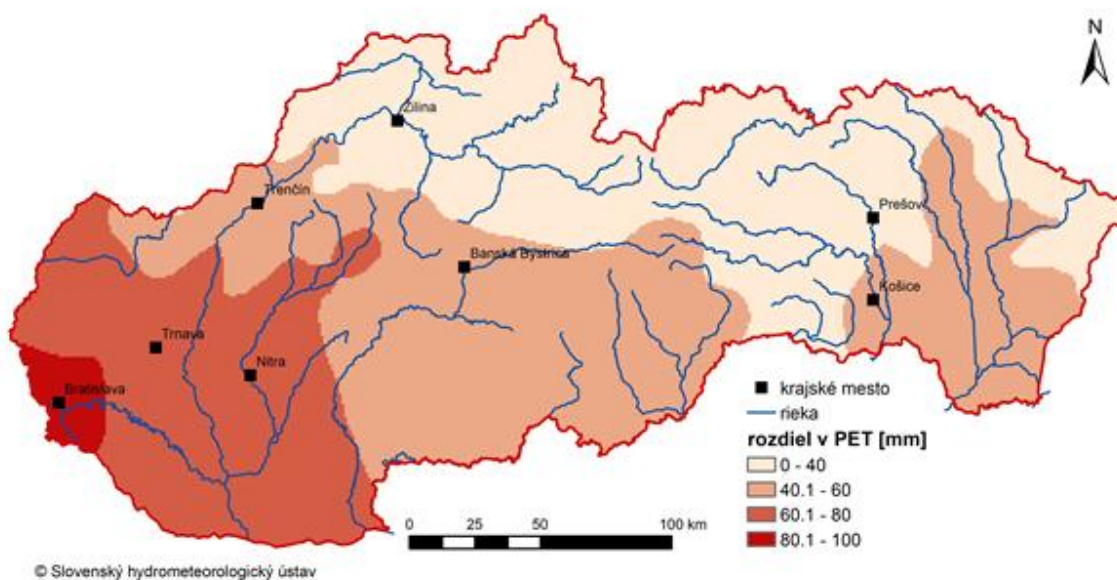
Mapa zmeny ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie

Výpočet potenciálnej evapotranspirácie Penman-Monteithovou metódou (Allen et al., 1998) je založený na zohľadnení minimálnej a maximálnej teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a trvaní slnečného svitu. Z tohto dôvodu zmeny v teplote vzduchu sú len jedným z viacerých faktorov, ktoré ovplyvnili rôznu mieru nárastu ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie (PET) medzi porovnávanými normálovými obdobiami na území Slovenska (Obr. 1.3). Vo všeobecnosti však platí, že potenciálna evapotranspirácia v ročnej sume stúpa na celom Slovensku, avšak miera nárastu nie je taká rovnomerná, ako tomu je pri priemernej ročnej teplote vzduchu.

Z mapy zobrazujúcej zmenu danej klimatologickej charakteristiky je zrejmé, že najvyšší nárast potenciálnej evapotranspirácie sme zaznamenali na krajnom juhozápade krajiny, kde sa nárast ročnej sumy PET pohybuje v intervale 80 – 100 mm. Výrazný nárast PET bol pozorovaný aj v rámci celého západného Slovenska, pričom hodnoty nárastu ročnej sumy dosahovali 60 – 80 mm. Naopak, najnižší nárast PET sme zaznamenali predovšetkým v severných oblastiach Slovenska, ale aj v Slovenskom krase.

Mapa zmeny ročných úhrnov atmosférických zrážok

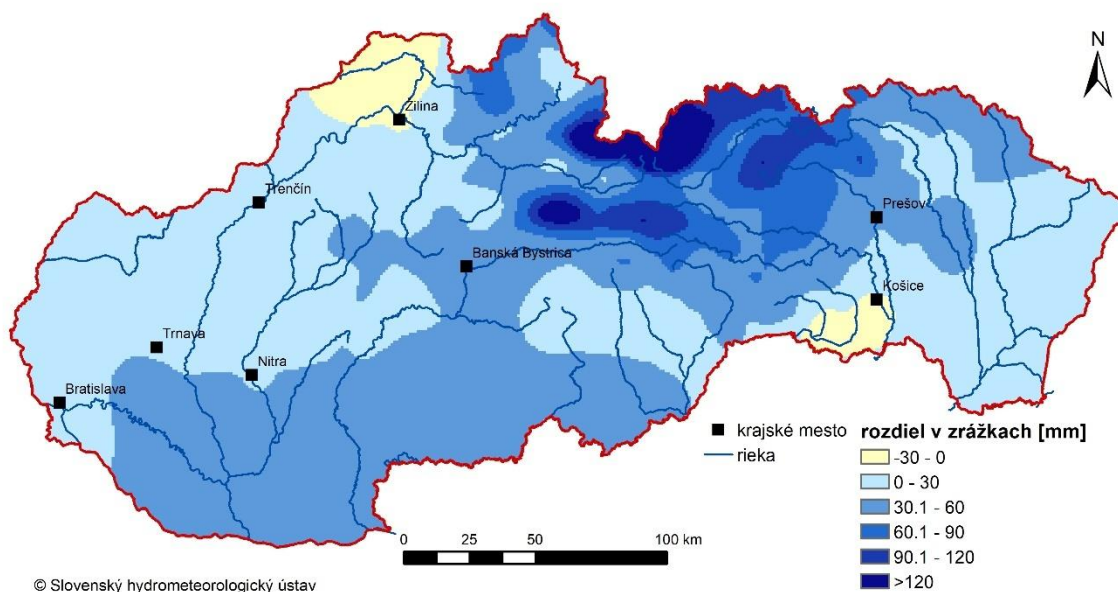
Ďalším významným faktorom ovplyvňujúcim nielen atmosférickú vlhkovú bilanciu, ale aj hydrologické pomery v rámci územia sú zrážky. Priestorová zmena v ich ročnom úhrne (Obr. 1.4) má pomerne zložitú štruktúru a odzrkadľuje viacero faktorov, ktoré súvisia so zmenou klímy. Prvým z vplyvov, ktorý podmienil nárast ročného úhrnu zrážok na väčšine Slovenska je fakt, že teplejší vzduch môže obsahovať väčšie množstvo vodných pár. V princípe platí, že nárastom teploty o 1 °C, môže vzduchová hmota obsahovať o 7 % viac vodnej pary. Vzhľadom na nárast nielen globálnej teploty vzduchu, ale aj v oblasti Európy, kde teplota vzduchu rastie rýchlejším tempom ako na globálnej úrovni (IPCC, 2021), rastie aj množstvo vodnej pary v atmosfére. Tá je následne pri vhodných cirkulačných podmienkach transportovaná nad pevninu, kde v niektorých regiónoch zaznamenávame nárast úhrnov zrážok.



Obr. 1.3 Zmena ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie medzi normálnymi obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.

Na tomto mieste je však dôležité aj zdôrazniť, že distribúcia zrážok nie je počas roka rovnomerná a vplyvom zmeny klímy rastie ich priestorová, aj časová variabilita. Vzhľadom na fakt, že zaznamenávame rastúci počet dní s vysokými úhrnmi zrážok, ktoré častokrát padajú vo forme intenzívneho dažďa, rastie neproporcionalita medzi počtom dní so zrážkami a počtom dní bez zrážok práve na úkor skôr menovaných. Rastie tak možnosť výskytu intenzívneho sucha a privalových dažďov spôsobujúcich povodne v priebehu krátkeho času za sebou. Takýmto príkladom môže byť aj letná sezóna a september 2024.

Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim mapu zmien ročných úhrnov zrážok je zmena v cirkulačných pomeroch. Práve vplyvom zmeny klímy sa v posledných rokoch častejšie presadzuje meridionálne prúdenie na úkor zonálneho. V minulosti dominoval presun vlhkých vzduchových hmôt od Atlantiku, ktorý zvyčajne vytváral bariérny efekt Karpát s výrazným náveterným efektom na severozápade až severe Slovenska. V súčasnosti stále častejšie zaznamenávame významné zrážkové udalosti, ktoré majú pôvod nad východnou časťou Stredozemného mora (Faško et al., 2006; Pecho et al., 2010; Faško, 2012; Mészáros et al., 2022). Vďaka vhodnej cirkulácii v atmosfére sa veľmi teplé a vlhké vzduchové hmoty zo Stredomoria dostávajú až nad územie Slovenska. V takomto prípade, najvýdatnejšie zrážky zaznamenávame v južnej časti krajiny a horské regióny na severe Slovenska sú ovplyvnené záveterným efektom. Príkladom takýchto situácií môžu byť veľmi vlhké podmienky počas zimnej sezóny 2023/2024, ale aj intenzívne zrážky v okolí Nitry a Nových Zámkov v júni a júli 2024, či extrémne zrážkové úhrny v strednej Európe v polovici septembra 2024. V dôsledku vplyvu vyššie popísaných faktorov, najvýraznejší nárast množstva zrážok sme medzi normálnymi obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 pozorovali v oblasti Nízkych a Vysokých Tatier, na Orave, severnom Spiši a Zamagurí. Na druhej strane, práve vplyvom zmien v cirkulácii vo vyššej miere rastú aj ročné úhrny zrážok v južnej polovici západného a stredného Slovenska. Tieto pozorované zmeny sú v súlade aj s výsledkami štúdií, ktoré boli publikované pre Slovensko v posledných rokoch (Labudová et al., 2015; Labudová et al., 2024).



© Slovenský hydrometeorologický ústav

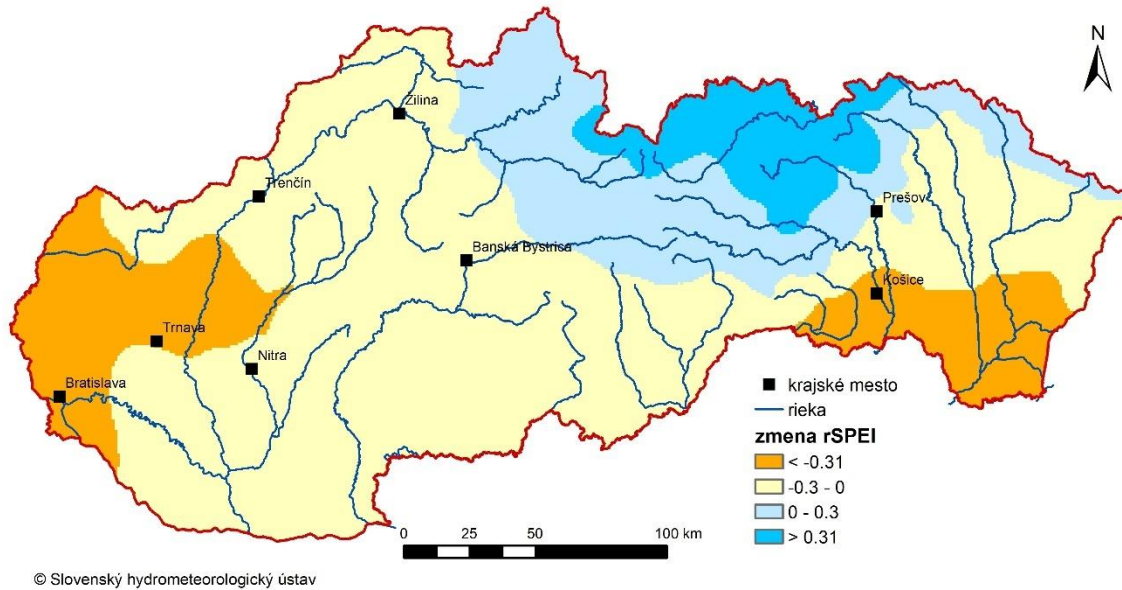
Obr. 1.4 Zmena ročného úhrnu zrážok medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.

1.3 Mapa rizika výskytu meteorologického sucha na Slovensku

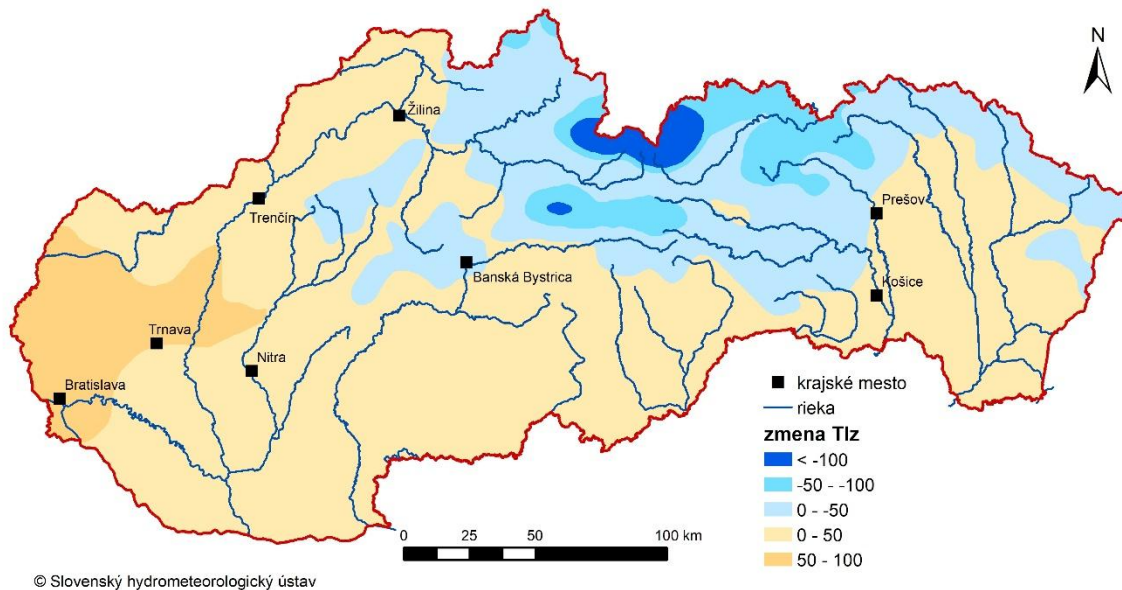
Riziko výskytu meteorologického sucha je do veľkej miery závislé od zmien atmosférickej vlhovej bilancie. Čím viac sa zhoršuje atmosférická vlhová bilancia (AVB), tým vyššie je riziko výskytu meteorologického sucha. Pre zhodnotenie priestorových zmien vlhovej bilancie na Slovensku medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 sme využili relatívny 12-mesačný SPEI index (rSPEI-12), ktorého zmena sa tak stala hlavným indikátorom rizika výskytu meteorologického sucha na Slovensku.

Z mapy zmeny rSPEI-12 (Obr. 1.5) je zrejmé, že najviac sa zhoršuje atmosférická vlhová bilancia v západnej časti západného Slovenska a na juhovýchode krajiny. Tieto regióny sú preto najrizikovejšie z pohľadu meteorologického sucha. Mapa však zároveň ukazuje, že až 2/3 územia Slovenska zaznamenávajú zhoršovanie vlhových podmienok. Naopak oblasťou, kde sa vlhová bilancia zlepšuje je sever Slovenska, predovšetkým región Tatier, Zamaguria, Spiša, ale aj Oravy, Liptova a čiastočne Východných Karpát. Je však potrebné nezabúdať, že okrem atmosférickej vlhovej bilancie môže byť výskyt sucha zintenzívnený nerovnomernou distribúciou zrážok počas roka. Vzhľadom aj na ďalšie faktory uvedené v úvode kapitoly, ani regióny so zlepšujúcou sa vlhovou bilanciou nie sú vylúčené z možnosti výskytu aj intenzívnych suchých období.

Pre historickú kontinuitu s metódami využívanými pre hodnotenie atmosférickej vlhovej bilancie v minulosti sme sa rozhodli aj pre výpočet Tomlainovho indexu zavlaženia (TIz; Tomlain, 2004). Tento index vníma vlhovou bilanciu inverzne k definícii SPEI, a teda ako rozdiel potenciálna evapotranspirácia – zrážky. Z toho vyplýva, že oblasti dosahujúce záporné hodnoty majú vyššie úhrny zrážok ako je suma potenciálnej evapotranspirácie na danom mieste. Naopak, oblasti dosahujúce kladné hodnoty patria k zrážkovo nedostatkovým, a teda potenciálna evapotranspirácia prevláda nad zrážkami. Tomlainov index zavlaženia nepracuje s odchýlkami od strednej hodnoty teoretického rozdelenia, ako je to pri SPEI, ale jeho hodnoty sú vyjadrením množstva milimetrov zrážok, ktoré chýbajú, alebo prevyšujú vyrovnanú bilanciu medzi zrážkami a evapotranspiráciou.



Obr. 1.5 Zmena relatívneho 12-mesačného SPEI medzi normálnymi obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.



Obr. 1.6 Zmena Tomlinovho indexu zavlaženia (Tlz) medzi normálnymi obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020.

Priestorová vzorka zmeny Tlz medzi obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 (Obr. 1.6) potvrdzuje zmeny atmosférickej vlhovej bilancie, ktoré boli identifikované pomocou rSPEI-12. Približne 2/3 územia zaznamenávajú nárast hodnôt Tlz, čo znamená zhoršovanie vlhovej bilancie. Najvýraznejšie zhoršenie bolo zaznamenané na Záhorskej nížine, ale aj časti Podunajskej nížiny. Naopak, pokles hodnôt indexu Tlz, a teda zlepšenie vlhovej bilancie sme zaznamenali najmä vo vysokohorských polohách. Pre vysvetlenie príčin zmien platí zohľadnenie rovnakých faktorov, ktoré boli popísané v úvode kapitoly.

Výsledky tejto štúdie sú v súlade s výsledkami štúdie zameranej na zmenu výskytu suchých období na Slovensku od roku 1961 (Labudová et al., 2024). Nárast počtu suchých mesiacov, ako aj sezón bol zaznamenaný predovšetkým na západnom a juhovýchodnom Slovensku. Práve na západe krajiny pritom mierne rastie aj intenzita pozorovaných suchých období. Problematický z hľadiska zraniteľnosti predovšetkým poľnohospodársky využívaných regiónov je aj fakt, že suché obdobia sa presunuli z chladnej časti roka (október - február), do jarných a letných mesiacov.

1.4 Záver

Zmena klímy sa v globálnom, aj regionálnom meradle prejavuje zmenami takmer všetkých klimatologických charakteristík. Nárast teploty vzduchu v Európe je pritom rýchlejší než na globálnej úrovni. Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu na Slovensku bol dokázaný nielen touto, ale aj predošlými štúdiami. Táto zmena sa odzrkadlila aj na raste ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie, ktorý bol najvýraznejšie zaznamenaný na západnom Slovensku, predovšetkým na krajnom juhozápade krajiny.

Veľmi podstatné zmeny sa odohrali aj pri atmosférických zrážkach, ktoré sú najdôležitejším vstupom do hydrologických podmienok územia. Aj keď na ročnej úrovni zaznamenávame ich nárast na takmer celom území Slovenska, výrazne sa mení ich časová a priestorová distribúcia počas roka, ako aj skupenstvo v akom sa vyskytujú. Práve tieto faktory ovplyvnia hydrologický režim riek na Slovensku aj v budúcnosti. Vodohospodársky manažment tak bude musieť zohľadniť svoje plánovanie s ohľadom na možný výskyt extrémov v priebehu pomerne krátkeho času.

Aj napriek rastúcemu ročnému úhrnu zrážok, môžeme konštatovať, že meteorologické sucha predstavuje problém, s ktorým je potrebné počítať aj v budúcnosti. Dokazuje to aj zmena atmosférickej vlhovej bilancie, ktorá sa zhoršuje na veľkej časti územia Slovenska. Najproblematickejším regiónom z tohto pohľadu je západná časť západného Slovenska, ktorá zahŕňa predovšetkým Záhorie, ale rovnako rizikovým územím je aj juhovýchod Slovenska (oblasť Východoslovenskej nížiny a južnej časti Košickej kotliny). Naopak, zlepšujúcu sa vlhkovú bilanciu sme zaznamenali v oblasti Tatier, Spiša, Zamaguria a Oravy. Je však dôležité nezabúdať, že aj napriek tomuto zisteniu sa nedá vylúčiť výskyt intenzívnych až extrémnych suchých období aj v týchto regiónoch.

Vzhľadom na preukázaný vzťah medzi výskytom meteorologického sucha a výnosmi poľnohospodárskych plodín na Podunajskej a Východoslovenskej nížine (Labudová et al., 2017), je možné konštatovať, že práve nížinné a kotlinové oblasti v južnej a západnej časti Slovenska budú najviac zraniteľné z hľadiska výskytu meteorologického sucha na Slovensku.

1.5 Literatúra

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. FAO, Rome.

Faško P (2012) Trendy súčasnej klimatickej zmeny na Slovensku. In: Meteorológia a klimatológia vo vyučovaní, III. Seminár pre učiteľov základných a stredných škôl (Conference Proceeding). Stará Lesná, Slovakia, 13 – 16.

Faško P, Pecho J, Mikulová K, Šťastný P (2006) Prípady vysokých denných, mesačných a sezónnych úhrnov atmosférických zrážok na východnom Slovensku na konci 20. a na začiatku 21.

storočia v kontexte s historickými údajmi. International Conference “Ochrana pred povodňami” (Conference Proceeding). Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava.

IPCC (2021) Climate change 2021: the physical science basis. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S et al (eds) Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

Labudová L, Faško P, Ivaňáková G (2015) Changing climate and changes in climate regions. *Morav Geogr Rep* 23(3):71–82.

Labudová L, Labuda M, Takáč J (2017) Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production on the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. *Theor Appl Climatol* 128:491–506.

Labudová L, Ivaňáková G, Faško P. et al. (2024) Changes in drought occurrence and intensity in the context of climate change in Slovakia. *Theor Appl Climatol* 155, 4009–4022. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04864-3>.

Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Anaheim, CA.

Mészáros J, Halaj M, Polčák N, Onderka M (2022) Mean annual totals of precipitation during the period 1991-2015 with respect to cyclonic situations in Slovakia. *Időjárás* 126, 267-284.

Pecho J, Faško P, Lapin M, Kajaba P, Mikulová K, Šťastný P (2010c) Extrémne atmosférické zrážky na jar a na začiatku leta 2010 na Slovensku. *Meteorologický Časopis* 13:69–80.

Šercl P (2008) AGHydroInterpolace (Interpolační procedury pre ArcGIS), uživatelska příručka. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Tomlain J (2004) Contribution to humid condition of Slovakia, *Acta Meteorology of University Comenius*, Bratislava, p. 26-27.

Vicente-Serrano SM, Begueria S, López-Moreno JI (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. In: *Journal of Climate*. Vol. 23, Is. 7, p. 1696-1718.

2 Mapy zraniteľnosti územia Slovenska z pohľadu sucha v povrchových vodách

Lotta Blaškovičová, Jana Poórová, Katarína Jeneiová, Katarína Kotríková, Zuzana Paľušová

Úvod

Rozloženie vodných zdrojov, a to tak v lokálnom ako aj globálnom pohľade, je priestorovo a časovo nerovnomerné. To je prirodzený jav, ktorý je dôsledkom viacerých faktorov, ako sú napríklad geomorfologické a hydrogeologické podmienky, rozdelenie odtoku v roku ako dôsledok časového a priestorového výskytu zrážok, zadržovanie vody vo forme snehu a ľadu a jeho následné topenie, teplota vzduchu a s ňou súvisiaca evapotranspirácia, a pod. Do toho vstupuje ďalší významný faktor, a to vplyv ľudskej činnosti, najmä odbery vody, vypúšťanie, manipulácia na vodných nádržiach, prevody vody atď. V neposlednom rade boli najmä v ostatných desaťročiach identifikované dopady klimatickej zmeny ako významné faktory časových, ale aj priestorových zmien hydrologických charakteristík. Poznanie a prehodnocovanie zmien hydrologického režimu povrchových vôd tvoriacich podstatnú časť našich vodných zdrojov je preto jednou z kľúčových úloh pre vodné hospodárstvo.

Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) hodnotí v rámci svojich činností kvantitatívne charakteristiky hydrosféry a atmosféry a na ich základe spracúva odborné posudky, expertízy a štúdie. Permanentnou činnosťou je overovanie aktuálnosti hydrologických charakteristík za platné referenčné obdobie a návrhových veličín, ktoré sú podkladom pre ďalšie vodné plánovanie (riadenie a rozhodovacia činnosť, protipovodňová ochrana, opatrenia pri riešení hydrologického sucha, projekčná činnosť). Monitorované údaje sa vyhodnocujú pravidelne a na základe vyhodnotených dlhodobých signifikantných zmien vo vývoji hydrologického režimu sa prehodnocujú aj hydrologické charakteristiky. V hydrológii sa používajú referenčné obdobia, ktoré reprezentujú vypočítaný „hydrologický normál“ jednotlivých hydrologických charakteristík, platný v určitom časovom období. Referenčné obdobie sa považuje za akýsi „pevný bod“, ku ktorému sa porovnáva súčasný, ale aj možný budúci vývoj hodnotených charakteristík.

Na Slovensku je v hydrológii aktuálne platné referenčné obdobie 1961 - 2000, ktoré v prvej dekáde 2. tisícročia nahradilo 50-ročné referenčné obdobie 1931 - 1980, ktorému predchádzalo 30-ročie 1931 - 1960. Pre referenčné obdobia boli spracované vo všetkých vodomerných staniciach s dostatočnou dĺžkou pozorovania, najmä základné hydrologické charakteristiky reprezentujúce neovplyvnený hydrologický režim – zrážky, odtok, dlhodobý priemerný prietok, dlhodobé priemerné mesačné prietoky a M-denné prietoky. Tie boli následne rozpracované do ďalších významných profilov na slovenských tokoch. K ďalšiemu celoplošnému prehodnocovaniu na SHMÚ aktuálne došlo vzhľadom na zmeny hydrologického režimu zaznamenané na slovenských tokoch najmä po roku 2000 (Pekárová et al., 2017; Fendeková et al., 2018; Ďurigová and Hlavčová, 2020; Halmová et al., 2022; Poórová et al., 2023), ako aj na odporúčanie Svetovej meteorologickej organizácie (World Meteorological Organization, WMO) zjednotiť takzvaný klimatický normál s referenčným obdobím pre hydrologické charakteristiky. Toto zjednotenie je navrhované predovšetkým pre účely vzájomného porovnávania hydrologických a klimatických charakteristík. Odporúčaným obdobím WMO je v súčasnosti platné obdobie klimatického normálu, a to 30-ročie 1991 - 2020 (WMO, 2020).

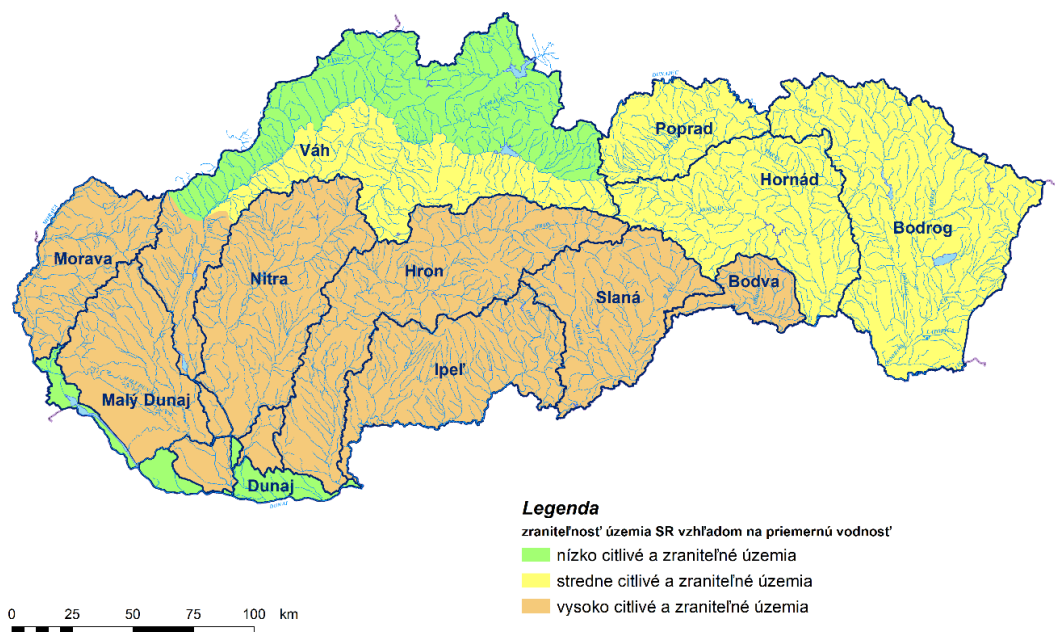
Na SHMÚ prebiehajú analýzy hydrologických charakteristík pre rôzne obdobia, zahŕňajúce roky po roku 2000 a ich porovnanie s referenčným obdobím 1961 - 2000. Jedným z nich je aj obdobie aktuálne odporúčané WMO: 1991 - 2020.

Mapy zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska

Pri ostatnej zmene referenčného obdobia pre hydrologickú prax (od roku 2006 platné referenčné obdobie 1961 - 2000) na základe výsledkov porovnania dvoch referenčných období pre hydrologické charakteristiky, a to období 1931 - 1980 a 1961 - 2000, boli spracované aj tzv. Mapy zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska vzhľadom na vybrané hydrologické charakteristiky, a to charakteristiky priemernej vodnosti (Obr. 2.1) a charakteristiky minimálnej vodnosti (Obr. 2.2) (Blaškovičová et al., 2023). Na základe výsledkov analýz obdobia 1991 - 2020 sme pristúpili aj k priestorovému porovnaniu zmien vybraných hydrologických charakteristík s mapami zraniteľnosti územia SR na sucho, spracovaných pri porovnaní referenčných období 1931 - 1980 a 1961 - 2000 a následne k aktualizácii týchto máp.

Mapa zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska vzhľadom na priemernú vodnosť (1961 - 2000 vs. 1931 - 1980), ďalej len ako **Mapa zraniteľnosti (Q_a) I.**, vyjadruje po vyčíslení základných komponentov hydrologickej bilancie priemerných ročných hodnôt (zrážky, odtok) odhad, v ktorých častiach povodí (územia) došlo k určitým zmenám priemernej vodnosti. Podľa týchto výsledkov bolo územie Slovenska rozdelené nasledovne:

1. nízko citlivé a zraniteľné územia (stúpajúci, resp. vyrovnaný trend priemernej vodnosti),
2. stredne citlivé a zraniteľné územia (vyrovnaný, resp. mierne klesajúci trend vodnosti) a
3. vysoko citlivé a zraniteľné územia (prevláda klesajúci až výrazne klesajúci trend vodnosti).

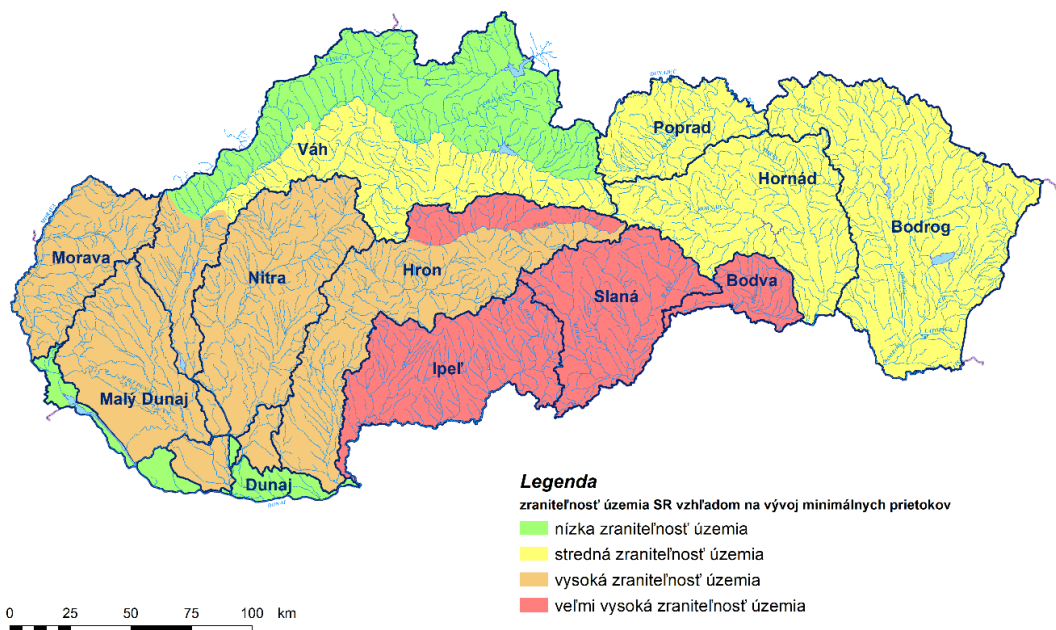


Obr. 2.1 Mapa zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska vzhľadom na priemernú vodnosť (1961 - 2000 vs. 1931 - 1980) – Mapa zraniteľnosti (Q_a) I.

Do prvej skupiny boli zaradené samotný Dunaj, vysokohorské časti povodia Váhu, povodia hornej Oravy a Kysuce. Do druhej skupiny boli zaradené: čiastkové povodie Dunajca a Popradu, horná až stredná časť povodia Váhu a čiastkové povodia Bodrogu a Hornádu. Ostatné povodia (čiastkové povodie Moravy, subpovodie Malého Dunaja, dolná časť povodia Váhu, subpovodie Nitry, čiastkové povodia Hrona, Ipľa, Slanej a Bodvy) boli zaradené do tretej skupiny vysoko citlivých a zraniteľných území. Konkrétne to znamená, že hodnoty odtoku za obdobie 1961 - 2000 v niektorých vodomerných staniciach (VS) v oblastiach označených ako vysoko citlivé poklesli oproti predchádzajúcemu referenčnému obdobiu až o 20 %. Zároveň je potrebné uviesť, že rozdelenie odtoku v roku (percentuálny podiel objemu odtoku jednotlivých mesiacov na ročnom odtoku) sa v žiadnej oblasti výrazne nezmenilo oproti obdobiu 1931 - 1980.

Mapa zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska vzhľadom na minimálnu vodnosť (1961 - 2000 vs. 1931 - 1980), ďalej len ako **Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I.**, vyjadruje zmenu vývoja minimálnych prietokov (minimálne priemerné denné prietoky, $Q_{d,min}$) obdobia 1961 - 2000 voči obdobiu 1931 - 1980. Na základe posúdenia zmien minimálnych prietokov bolo územie Slovenska rozdelené do 4 kategórií zraniteľnosti a citlivosti územia na minimálne prietoky:

1. nízka zraniteľnosť územia,
2. stredná zraniteľnosť územia,
3. vysoká zraniteľnosť územia a
4. veľmi vysoká zraniteľnosť územia.



Obr. 2.2 Mapa zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska vzhľadom na minimálnu vodnosť (1961 - 2000 vs. 1931 - 1980) – Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I.

Táto mapa sa v značnej miere podobá Mape zraniteľnosti (Q_a) I.; kategórie 1 a 2 sa pokrytím územia zhodujú, rozdiel sa nachádza pri kategórii 3 (vysoko citlivé a zraniteľné územia), ktorá bola pre Mapu zraniteľnosti (Q_{min}) I. rozčlenená na dve kategórie – 3 a 4. Kategória 3 označuje vysokú zraniteľnosť územia vzhľadom na minimálnu vodnosť a zahŕňa čiastkové povodie Moravy, dolnú časť čiastkového povodia Váhu (vrátane subpovodí Malý Dunaj a Nitra) a väčšiu časť čiastkového povodia Hrona. Do 4. kategórie pre územia s veľmi vysokou zraniteľnosťou územia vzhľadom na minimálnu vodnosť sú zaradené čiastkové povodia Ipľa, Slanej a Bodvy a pravostranné prítoky v hornej časti čiastkového povodia Hrona.

2.1 Použité údaje a metodika

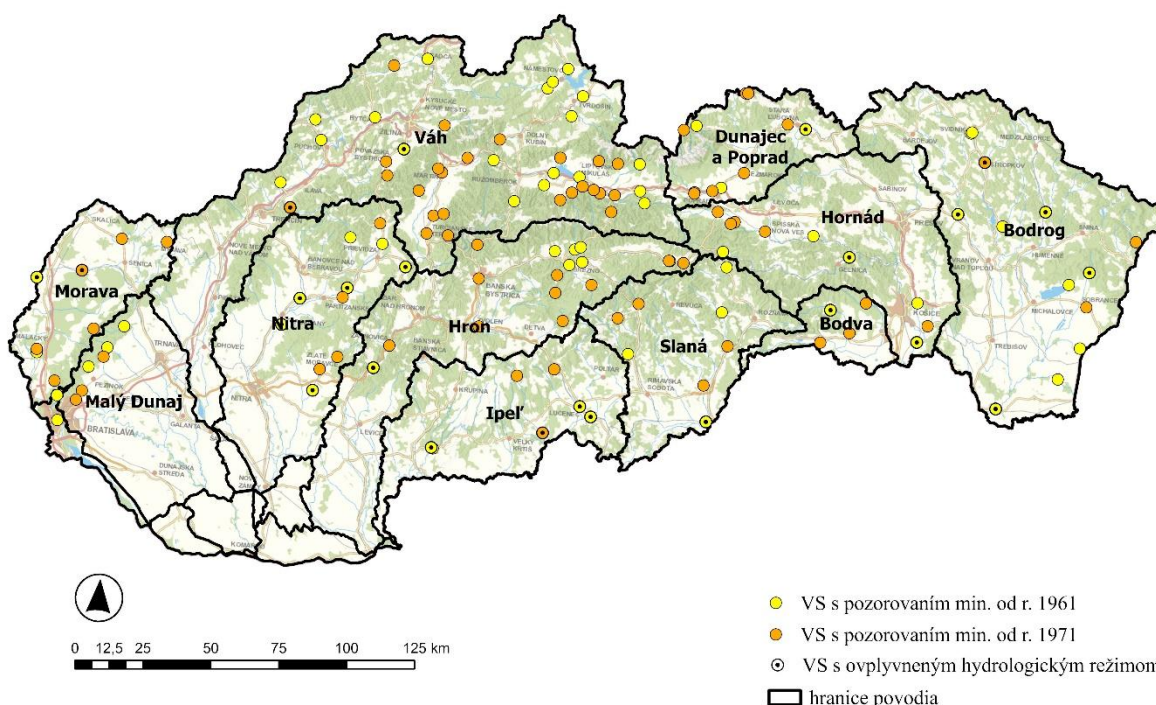
Vzhľadom na zraniteľnosť územia z pohľadu výskytu sucha, ako možného dopadu klimatickej zmeny, sme na základe výsledkov dlhodobého systematického monitorovania vo vodomerných staniách Štátnej hydrologickej siete spracovali dve aktualizované mapy zraniteľných oblastí, a to na základe zmien dlhodobých priemerných prietokov (Q_a) – Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemernú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000), ďalej len ako **Mapa zraniteľnosti (Q_a) II.** a na základe zmien malej vodnosti – Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na malú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000), ďalej len ako **Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II.**, kde sme vychádzali z hodnotenia zmien M-denných prietokov (Q_{Md}) vo zvolených kvantiloch (Q_{355d} , Q_{330d}). Zmeny boli hodnotené pre obdobie 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000. Na základe aktualizovaných máp zraniteľnosti sme následne kombináciou Mapy zraniteľnosti (Q_a) II. a Mapy špecifického priemerného ročného odtoku za obdobie 1961 - 2000 vytvorili **Mapu zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody**, ktorá zohľadňuje prirodzenú vodnosť územia spolu so zmenami priemernej vodnosti v období 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 v danom území.

Podkladom pre vypracovanie aktualizovaných máp boli Mapa zraniteľnosti (Q_a) I. a Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I. (Obr. 2.1, Obr. 2.2), ktoré, ako sa uvádza vyššie, boli vypracované pri posudzovaní referenčného obdobia 1961 - 2000 pre oblasť hydrologie povrchových vôd pri prechode na toto referenčné obdobie z predchádzajúceho obdobia 1931 - 1980. Pri aktuálnom spracovaní hydrologických charakteristík sme porovnali tieto podkladové mapy so zmenami vybraných hydrologických charakteristík v období 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 (aktuálne platné referenčné obdobie) vo vybraných profiloch VS.

Výber vodomerných staníc (VS) bol založený najmä na dvoch základných kritériách: dĺžka pozorovania aspoň od roku 1961 a neovplyvnenosť hydrologického režimu ľudskou činnosťou vo VS. Oproti hodnoteniu pri predchádzajúcej zmene referenčných období sme mali k dispozícii údaje z väčšieho počtu VS s dostatočnou dĺžkou pozorovania. Vzhľadom na relatívne menšie reprezentatívne zastúpenie niektorých oblastí SR takými stanicami sme pri posudzovaní použili aj niektoré VS s kratším obdobím, ako je uvedené (so začiatkom pozorovania medzi 1962 - 1970) a zároveň aj niektoré stanice s hydrologickým režimom ovplyvneným ľudskou činnosťou. Tieto skutočnosti sú pri celkovom hodnotení zmien zohľadnené. Celkovo boli do hodnotenia použité údaje zo 140 vybraných VS. Počty vybraných VS z jednotlivých čiastkových povodí, resp. subpovodí (čiastkové povodie Váhu sme hodnotili v subpovodiach Váhu, Malého Dunaja a Nitry) sú uvedené v Tabuľke 2.1. Priestorové znázornenie hodnotených VS na mape je zobrazené na Obr. 2.3.

Tabuľka 2.1 Počet vodomerných staníc hodnotených v jednotlivých čiastkových povodiach, resp. subpovodiach.

Čiastkové povodie / Sub-povodie	Počet vybraných VS
Dunajec a Poprad	11
Morava	8
Dunaj	2
Váh	43
Malý Dunaj (karpatské toky)	6
Nitra	11
Hron	17
Ipeľ	7
Slaná	8
Bodva	4
Hornád	10
Bodrog	13
SR	140



Obr. 2.3 Vybrané vodomerné stanice.

Na vyjadrenie zmien hydrologických charakteristík v hodnotených obdobiach sa vyčíslili odchýlky ΔQ_a , ΔQ_{330d} , ΔQ_{355d} , ΔQ_{364d} pre obdobie 1991 - 2020 od referenčného obdobia 1961 - 2000, ktoré boli vypočítané nasledovne:

$$\Delta Q_x = \frac{Q_{x,1991-2020} - Q_{x,1961-2000}}{Q_{x,1961-2000}} \quad (1)$$

kde x označuje jeden zo symbolov: a, 330d, 355d alebo 364d.

Prvotné hodnotenie odchýlok obdobia 1991 - 2020 od referenčného obdobia 1961 - 2000 (ΔQ_a , ΔQ_{330d} , ΔQ_{355d} , ΔQ_{364d}) sa vykonalo v jednotlivých vybraných VS, a následne sa posúdilo v jednotlivých čiastkových povodiach a subpovodiach SR (subpovodia Nitry a Malého Dunaja sa vzhľadom na odlišný hydrologický režim posudzovali oddelene od ostatného územia čiastkového povodia Váhu). Zároveň je nutné pripomenúť, že v nasledujúcich analýzach hydrologického režimu dlhodobé ovplyvnené rady boli zvažované s ohľadom na mieru a druh ich ovplyvnenia.

2.1.1 Spracovanie máp zraniteľnosti v GISe – výsledky interpolácie

Ďalším podkladom pre vymedzenie oblastí pre jednotlivé kategórie zraniteľnosti územia vzhľadom na sucho boli mapy spracované metódou priestorovej interpolácie v geograficko-informačných systémoch (GIS). Na tvorbu rastrových máp bol použitý ArcMap 10. Testované boli viaceré nastavenia metódy inverzne váženej vzdialenosti IDW (IDW – inverse distance weighting) v nástroji (toolboxe) založenom na aplikácii AGHydroInterpolace ČHMÚ (Šercl, 2008). Metóda inverzne váženej vzdialenosti je často používanou interpolačnou metódou (Li a Heap, 2011), ktorej princípom je priradenie váh pre vstupné bodové pole. Bližšie položené body majú väčšiu váhu a viac ovplyvňujú interpolovanú hodnotu. Na základe váhy priradených vzdialeností sa vypočíta vážený priemer hodnôt vstupných bodov. Inverznú vzdialenosť je možné upraviť zvolením vhodnej mocniny (vstupný parameter metódy IDW), čím sa zvýši váha bližších hodnôt. Verzia aplikácie dostupná na SHMÚ je pre jednu vstupnú premennú. Kombinuje geograficky váženú regresiu a interpoláciu za účelom maximálneho využitia dostupných údajov závislých od nadmorskej výšky a lepšieho odhadu hodnoty na územiach bez pozorovaní (hlavne v horských oblastiach). Vstupné údaje predstavujú:

- bodová vrstva meranej veličiny (v našom prípade percentuálny rozdiel (%) medzi hodnotami Q_{330d} , Q_{355d} a Q_a pre obdobia 1961 - 2000 a 1991 - 2020) a
- rastrová vrstva spojitej veličiny (nadmorská výška).

Ďalej boli nastavené parametre:

- vzdialenosť (vzdialenosť vyhľadávania pre geograficky váženú regresiu, uvádzaná v mapových jednotkách),
- počet „susedov“ (počet susedných bodov, ktoré vyhľadáva geograficky vážená regresia) a
- mocninový parameter (parameter metódy IDW).

Výsledky tohto mapového spracovania boli použité pri tvorbe výsledných máp s prihliadnutím na obmedzenia a nevýhody použitej metódy:

- vo verzii nástroja priestorovej interpolácie dostupnej pre SHMÚ sa nedá nastaviť bariéra, ktorá by zabránila interpolácii medzi povodiami s odlišným hydrologickým režimom,
- metóda IDW predpokladá izotropiu (čiže nezávislosť od smeru), čo pri hydrologických údajoch nie vždy reflektuje skutočnosť, nerovnomerné rozloženie vstupného poľa bodov ovplyvňuje kvalitu výstupného rastra,
- ďalším známym nedostatkom metódy IDW je tvorba tzv. „bull's eyes“ – útvarov, ktoré vznikajú z dôvodu silných relatívnych váh hodnôt v ich blízkosti, či vyšších hodnôt mocninového parametra,

- interpolácia pomocou IDW nedokáže vypočítať hodnoty mimo rozsah vstupného poľa (v našom prípade je však použitá kombinácia metód a ako vstup je použitý i raster nadmorskej výšky),
- v našom prípade nie je prítomná zrejma korelácia medzi nadmorskou výškou a hodnotou percentuálnych rozdielov (%) medzi obdobiami 1961 - 2000 a 1991 - 2020, čo ovplyvňuje výsledky hlavne v miestach s vyššou nadmorskou výškou.

2.2 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemernú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000) – Mapa zraniteľnosti (Q_a) II.

Pre Mapu zraniteľnosti (Q_a) II. sme použili ako podklad predchádzajúcu mapu – Mapu zraniteľnosti (Q_a) I., bodovo znázornené percentuálne zmeny Q_a v období 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 vo vybraných vodomerných staniaciach a mapové výstupy interpolácie v GIS-e. Priemerné hodnoty ΔQ_a v jednotlivých čiastkových povodiach sú uvedené v Tabuľke 2.2.

Tabuľka 2.2 Priemerné hodnoty ΔQ_a (%) v čiastkových povodiach/sub-povodiach.

1991-2020	dlhodobé VS min od 1971		dlhodobé VS min od 1971 bez ovpl.		dlhodobé VS min od 1961		dlhodobé VS min od 1961 bez ovpl.	
	priem. ΔQ _a (%)	počet VS	priem. ΔQ _a (%)	počet VS	priem. ΔQ _a (%)	počet VS	priem. ΔQ _a (%)	počet VS
P	5,8	11	6,0	10	6,9	3	8,7	2
M	-14,9	8	-16,3	6	-18,6	2	-25,2	1
D	-6,8	2	-6,8	2	-6,8	2	-6,8	2
V	-4,4	43	-3,9	41	-3,2	19	-2,9	18
N	-14,5	11	-14,0	6	-14,2	7	-12,2	2
W (MD)	-16,8	6	-16,8	6	-13,1	3	-13,1	3
R	-9,9	17	-10,0	16	-8,8	7	-8,8	6
I	-17,8	7	-17,7	3	-14,2	4	-6,6	1
S	-6,3	8	-7,5	7	-3,1	4	-4,8	3
A	-19,0	4	-20,4	3	-14,7	1	-	0
H	2,7	10	5,0	8	-1,4	5	1,9	3
B	-8,8	13	-8,4	8	-7,6	10	-6,7	6

Vysvetlivky: Povodia: P-Dunajec a Poprad, M-Morava, D-Dunaj, V-Váh, N-Nitra, W (MD)-Malý Dunaj, R-Hron, I-Ipeľ, S-Slaná, A-Bodva, H-Hornád, B-Bodrog.

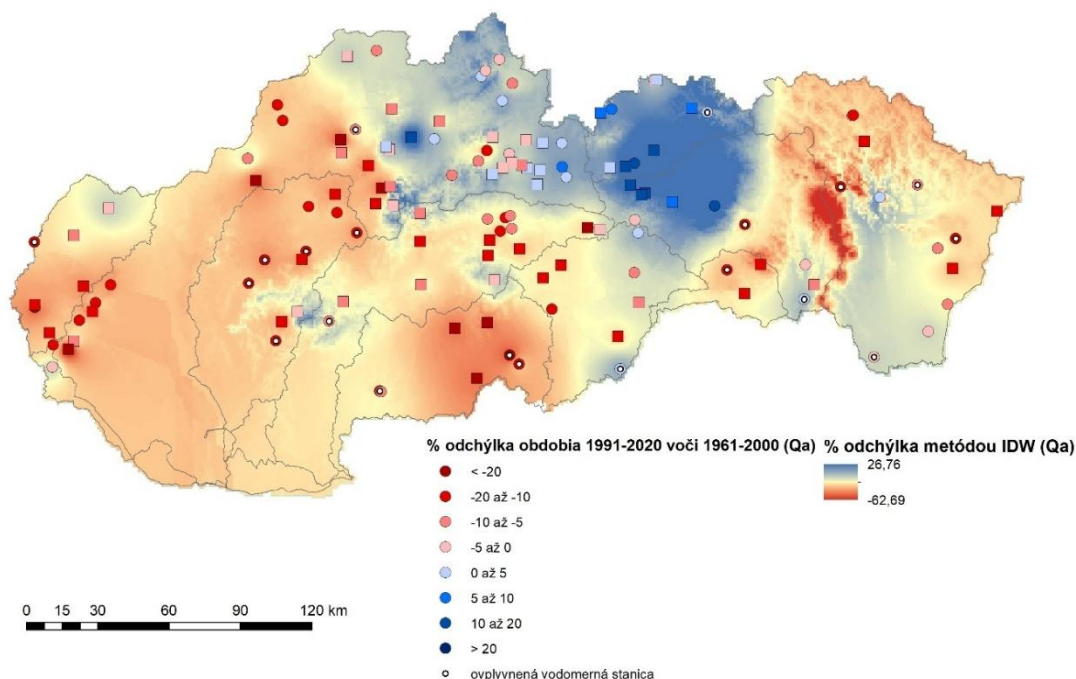
Legenda podfarbenia pre priem. ΔQ _a			
	-30 až -20		-5 až 0
	-20 až -10		0 až 5
	-10 až -5		5 až 10

Na základe bodových hodnotení vo vodomerných staniaciach však bolo zrejme, že v niektorých čiastkových povodiach sú rozdiely aj v rámci samotných povodí pomerne výrazné, a preto bolo vhodnejšie ich rozčleniť podrobnejšie (povodie Váhu, Hornádu a Bodrogu).

Ďalšie členenie jednotlivých typov zraniteľných oblastí sa vykonalo porovnaním Mapy zraniteľnosti (Q_a) I. s vykreslenými farebne odlišenými hodnotami odchýlok ΔQ_a v období 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 a s mapou interpolácie bodových údajov v GIS-e s prihliadnutím na vyššie vymenované nedostatky a obmedzenia príslušnej metódy a zahrnutím expertného zhodnotenia. Pre aktualizovanú mapu sme zvolili rovnako ako pri predošlej verzii mapy 3 kategórie zraniteľnosti území SR vzhľadom na priemernú vodnosť:

1. málo zraniteľné oblasti,
2. stredne zraniteľné oblasti,
3. silno zraniteľné oblasti.

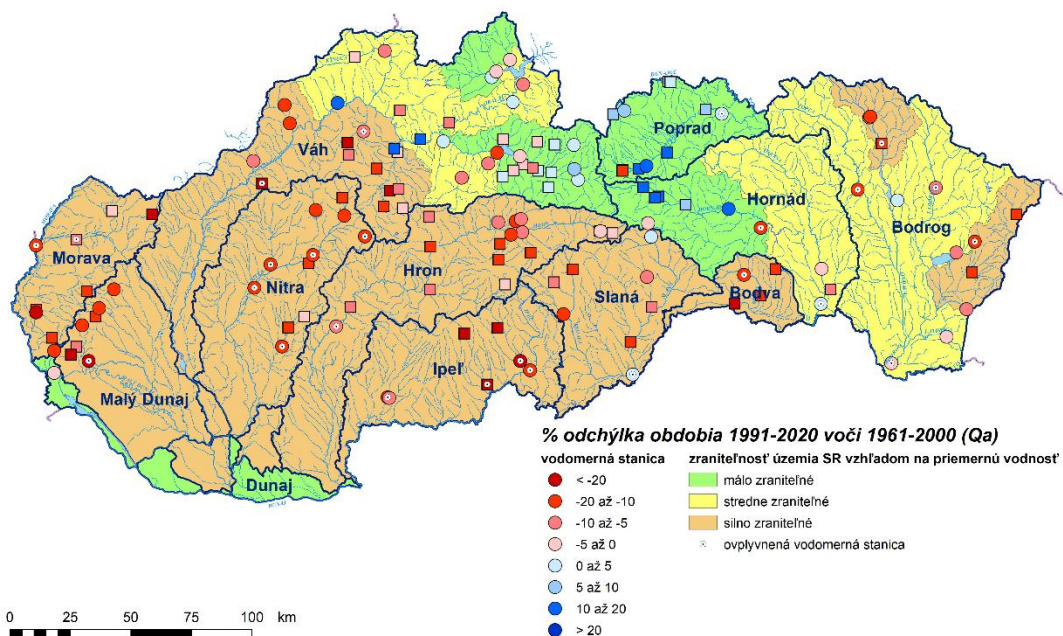
Pri vykreslení jednotlivých oblastí kategórií zraniteľnosti sa vychádzalo z predpokladu ucelených hydrologických oblastí, tzn. že ojedinelé výskyty odlišných zmien v oblasti sa podrobne preverovali (možné chyby v údajoch, možná ovplyvnenosť, atď.) a následne sa z hodnotenia buď vylúčili alebo zanedbali. Na Obr. 2.4 je mapový výstup zobrazujúci výsledok priestorovej interpolácie bodových hodnôt ΔQ_a v hodnotených VS.



Obr. 2.4 Mapa priestorovej interpolácie bodových hodnôt ΔQ_a (bez VS 8020, 6360, 5020 a 9060).

Výsledky priestorovej interpolácie bodových hodnôt v prostredí GIS sme použili ako ďalší podklad k finálnemu vyčleneniu zraniteľných oblastí v mapovom zobrazení. Mapové zobrazenia priestorovej interpolácie boli vzhľadom na niektoré obmedzenia použitej metódy inverzne váženej vzdialenosti IDW postupne doladované zmenami vstupných parametrov, vylúčením niektorých bodov (niektoré vodomerné stanice s ovplyvneným režimom alebo režimom nereprezentujúcim danú oblasť, resp. ktoré v tomto spracovaní túto oblasť ovplyvňovali neúmerne započítanou relatívnou váhou svojej hodnoty).

V ďalšom kroku sme vytvorili návrh aktualizovanej mapy – Mapu zraniteľnosti (Q_a) II. spolu s farebne odlíšenými hodnotami ΔQ_a v hodnotených VS (Obr. 2.5), s prihliadnutím na výsledky interpolácií v Obr. 2.4. VS sú odlíšené tvarom – krúžky označujú VS s dĺžkou pozorovania minimálne od roku 1961, štvorciky označujú VS s dĺžkou pozorovania minimálne od roku 1971. Bodkou v strede značky sú zvýraznené VS s ovplyvneným hydrologickým režimom.



Obr. 2.5 Mapa zraniteľnosti územia SR vzhľadom na priemernú vodnosť (zmeny obdobia 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000) – Mapa zraniteľnosti (Q_a) II., hodnoty ΔQ_a vo VS.

Pri porovnaní máp na Obr. 2.4 a 2.5 sú zrejme niektoré rozdiely vyplývajúce najmä z vyššie spomínaných nedostatkov použitej metódy priestorovej interpolácie pri použití pre toto konkrétne hodnotenie hydrologickej charakteristiky (Q_a), ako je napríklad chýbajúca bariéra medzi povodiami s odlišným hydrologickým režimom a vplyv nadmorskej výšky na tvorbu útvarov v oblasti pohorí. Práve uvažovanie hraníc, ako sú rozvodnice povodí s rozdielnym hydrologickým režimom a ohraničenie územia rovnakej kategórie v súlade s rozvodnicami riešeného povodia/subpovodia, bolo ďalším vstupom pri individuálnom expertnom prístupe riešenia. Tiež je potrebné zväziť, že bodové hodnoty ΔQ_a v jednotlivých VS reprezentujú rôzne veľké plochy povodí, vrátane vyššie položených VS a k nim prislúchajúcich povodí. Rozdiely v priestorovej interpolácii bodových hodnôt ΔQ_a oproti výslednej Mape zraniteľnosti (Q_a) II. sa prejavujú najmä v povodí Bodrogu (severná časť povodia) a Hornádu (juhovýchodná časť povodia), a to nadhodnotením záporných zmien pre dané oblasti. V povodí Slanej (východná časť povodia) sa to prejavilo nadhodnotením oblastí s kladnými zmenami.

Navrhnutá Mapa zraniteľnosti (Q_a) II. sa od Mapy zraniteľnosti (Q_a) I. líši najmä v nasledovných oblastiach:

Zmena pre *málo zraniteľné územia* – ako málo zraniteľné sa na základe aktuálnych hodnotení prejavuje čiastkové povodie Dunajca a Popradu a horné časti čiastkových povodí Váhu (pravostranné prítoky Váhu nad Oravou, ľavostranné prítoky Váhu nad VN Liptovská Mara) a Hornádu (po Hnilec vrátane) – tieto územia boli v prechádzajúcej mape citlivosti zaradené do kategórie stredne citlivé a zraniteľné územia, s výnimkou pravostranných prítokov Váhu nad Oravou, ktoré boli aj v Mape zraniteľnosti (Q_a) I. v kategórii nízko citlivých a zraniteľných oblastí; naďalej v oblasti málo zraniteľných území zostáva zaradený aj samotný tok Dunaj (odchýlka ΔQ_a vo VS Bratislava – Dunaj je -2,5 %). Tok Vydrica, ktorý spadá do čiastkového povodia Dunaja, sa však svojim režimom a hodnotou ΔQ_a (-11,3 %) blíži viac k skupine tokov stekajúcich z východných svahov Malých Karpát v subpovodí Malého Dunaja, zaradených do kategórie silno zraniteľných

území. Pre kategóriu málo zraniteľných území bola priemerná hodnota ΔQ_a (%) z hodnotených VS 2,5 %, variabilita hodnôt bola od -13,5 % do +19,5 % (Tabuľka 2.3). V samotnom povodí Dunajca a Popradu bola priemerná hodnota ΔQ_a (%) z hodnotených VS 5,8 %, pre 2 VS s dlhodobým pozorovaním neovplyvneným hydrologickým režimom až 8,7 % (Tabuľka 2.2).

Oblasti na severnom Slovensku – Orava, Kysuca a toky stekajúce z Bielych Karpát, pôvodne zaradené do kategórie málo zraniteľné územia, boli na základe aktuálnych zmien preradené do kategórií stredne zraniteľné až silno zraniteľné územia.

Ako *stredne zraniteľné územia* boli na základe aktuálnych zmien označené: stredná časť povodia Váhu, vrátane Kysuce a časti Oravy, na východe Slovenska dolná časť povodia Hornádu pod Hnilcom a povodie Bodrogu, s výnimkou dvoch menších oblastí začlenených do kategórie silno zraniteľných oblastí. V porovnaní s Mapou zraniteľnosti (Q_a) I. je z územia zaradeného do tejto kategórie odčlenené už spomenuté čiastkové povodie Dunajca a Popradu a horná časť povodia Hornádu, ako aj horná časť povodia Váhu, ktoré sú zaradené do kategórie málo zraniteľných oblastí. Dve menšie subpovodia v povodí Bodrogu a časť stredného Váhu boli vyčlenené do kategórie silno zraniteľných oblastí. Pre kategóriu stredne zraniteľných území bola priemerná hodnota ΔQ_a (%) z hodnotených VS -3,3 %, pričom medián je -5,1 %. Variabilita hodnôt bola od -16,7 % do +17,8 % (Tabuľka 2.3).

Silno zraniteľné oblasti: Táto kategória bola oproti predchádzajúcej mape vzťahnutá na širšiu oblasť zahrnutím aj strednej časti povodia Váhu v oblasti tokov z Bielych Karpát (pravostranné prítoky Váhu pod Papradnianskou), ľavostranných prítokov Váhu pod Turcom (vrátane povodí Rajčianky a Turca) a dvoch menších oblastí v povodí Bodrogu (Ondava po VN Veľká Domaša a oblasť vo východnej časti povodia: povodia tokov Ulička, Ublianka a Uh po sútok s Laborcom). Naďalej do tejto kategórie spadajú: čiastkové povodie Moravy, subpovodie Nitry, čiastkové povodia Hronu, Ipľa, Slanej a Bodvy, ako aj dolná časť povodia Váhu. Priemerná hodnota ΔQ_a (%) z VS v silno zraniteľnom území je -13,0 % (medián -12,2 %) s variabilitou hodnôt od -48,9 % do +11,3 % (Tabuľka 2.3).

Priemerná hodnota, medián a extrémne hodnoty odchýlok ΔQ_a (%) z hodnotených vodomerných staníc, spadajúcich do vyčlenených oblastí na základe kategórií zraniteľnosti, sú uvedené v Tabuľke 2.3.

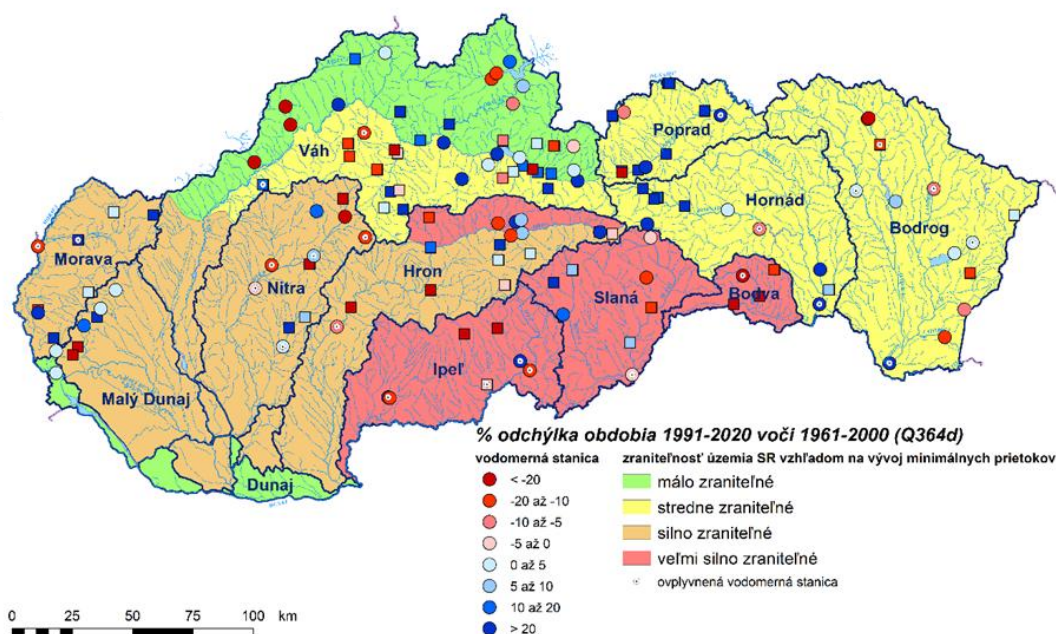
Tabuľka 2.3 Priemerná hodnota, medián, minimálne a maximálne hodnoty odchýlok ΔQ_a (%) pre jednotlivé kategórie zraniteľnosti územia.

Kategória územia	priem ΔQ_a (%)	medián ΔQ_a (%)	min ΔQ_a (%)	max ΔQ_a (%)
málo zraniteľné	2,5	2,6	-13,5	19,5
stredne zraniteľné	-3,3	-5,1	-16,7	17,8
silno zraniteľné	-13,0	-12,2	-48,9	11,3

2.3 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na malú vodnosť (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000) – Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II.

Pre Mapu zraniteľnosti (Q_{Md}) II. sme použili ako podklad Mapu zraniteľnosti (Q_{min}) I., bodovo znázornené percentuálne zmeny vybraných Q_{Md} v oblasti malej vodnosti (pozn.: za malú vodnosť obvykle uvažujeme oblasť čiar prekročenia priemerných denných prietokov, kde Q_d sú menšie

alebo rovné Q_{270d} ; v tomto hodnotení sme sa zaoberali hodnotením kvantilov Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} a ich priestorovú interpoláciu. Analyzovali sme zmeny pre kvantily M-denných prietokov Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} v období 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 vo vybraných VS. Odchýlky Q_{364d} vykazovali tak v jednotlivých čiastkových povodiach ako aj v menších subpovodiach veľkú variabilitu, tak v kladných ako aj v záporných hodnotách (Obr. 2.6). To súvisí s metodikou výpočtu tejto charakteristiky (STN 75 1410-1: 2008). Používaná metodika, založená na empirickej čiare prekročenia priemerných denných prietokov, v oblasti najmenších prietokov (najvyšších M-denností, resp. % pravdepodobnosti prekročenia) môže často vychádzať len z jednej extrémnej udalosti sucha z celého hodnoteného obdobia. Preto sme pri tvorbe Mapy zraniteľnosti (Q_{Md}) II. vychádzali prevažne z výsledkov hodnotení Q_{330d} a Q_{355d} .



Obr. 2.6 Hodnoty ΔQ_{364d} (1991 - 2020 vs. 1961 - 2000) vo VS na podklade Mapy zraniteľnosti (Q_{min}) I.

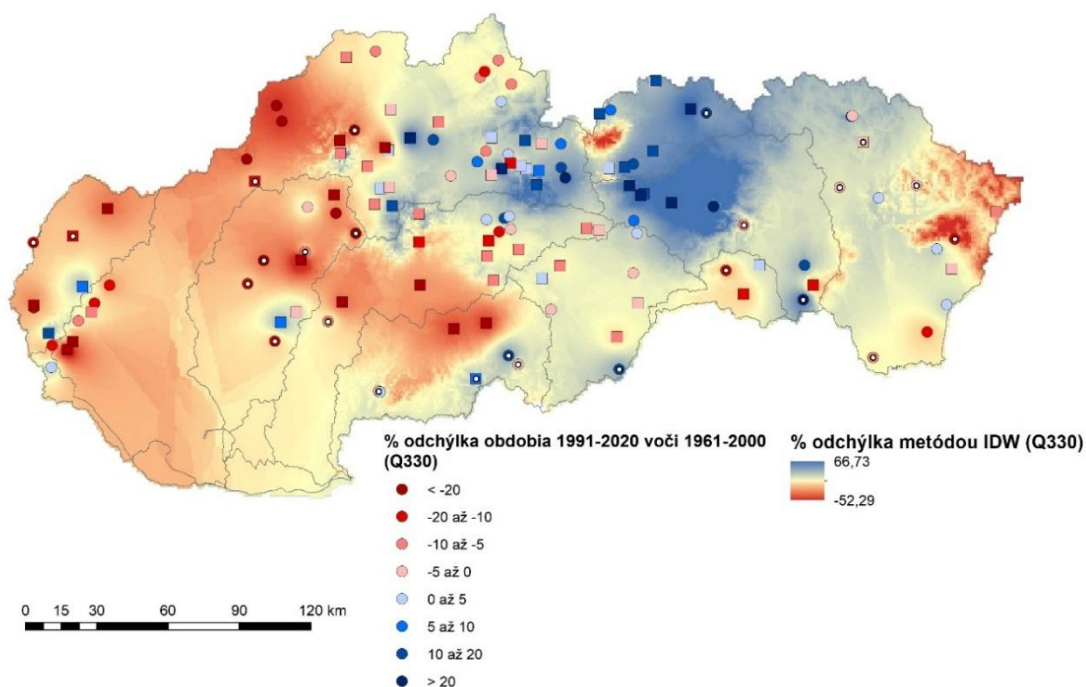
Vysvetlivky: Symbolom \circ sú označené dlhodobé VS (min. od 1961), symbolom \square VS pozorujúce min. od 1971, bodkou v strede symbolu sú označené VS s ovplyvneným hydrologickým režimom.

Kvantily Q_{355d} a Q_{330d} predstavujú charakteristiky, kde je vo výpočte zahrnutý väčší počet dní z hodnoteného obdobia, čo znamená lepšiu reprezentáciu hodnoteného obdobia; stále však patria medzi charakteristiky malej vodnosti (odpovedajú pravdepodobnosti prekročenia na úrovni 97,2 % a 90,3 % trvania). Priestorové rozloženie kladných a záporných percentuálnych odchýlok ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d} pre hodnotené obdobia sa v značnej miere zhoduje, iba s menšími rozdielmi v niektorých oblastiach. Návrh rozdelenia územia SR na jednotlivé kategórie zraniteľnosti územia vzhľadom na malú vodnosť sme preto robili kombináciou týchto dvoch hodnotení. Vzhľadom na variabilitu odchýlok v jednotlivých oblastiach sme sa rozhodli pri aktualizácii Mapy zraniteľnosti (Q_{Md}) II. použiť, rovnako ako u Mapy zraniteľnosti (Q_a) II., iba 3 kategórie:

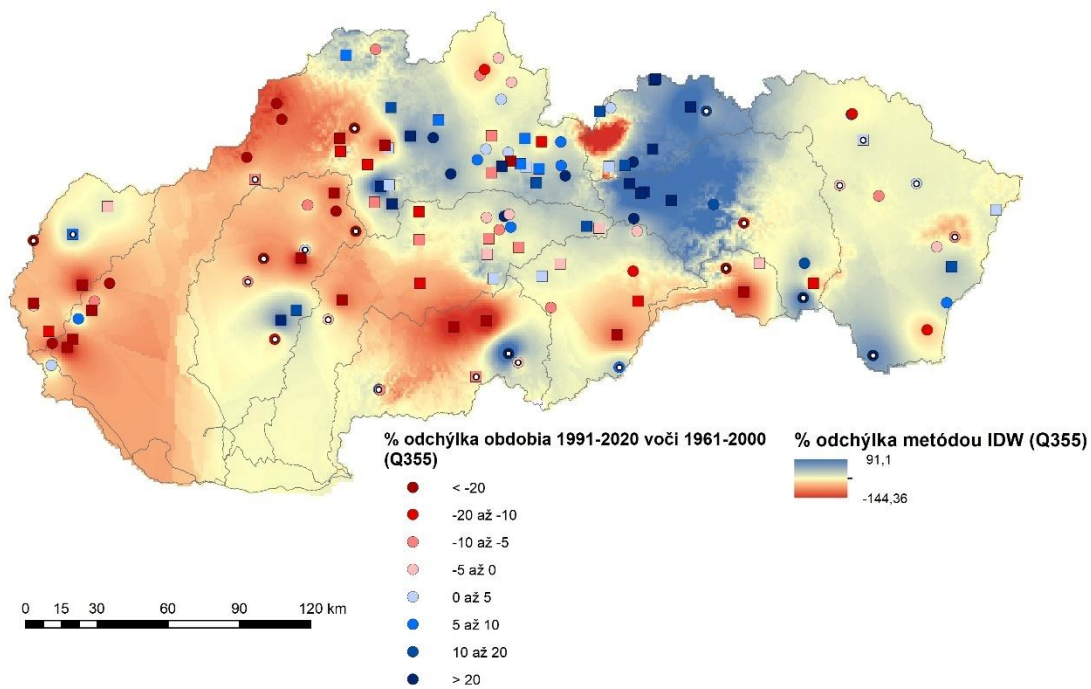
1. málo zraniteľné oblasti,
2. stredne zraniteľné oblasti a
3. silno zraniteľné oblasti.

Ďalšími vstupmi, ktoré sme zohľadnili, boli priestorové interpolácie bodových hodnôt ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d} v hodnotených VS a aj priemeru týchto hodnôt v jednotlivých VS (Obr. 2.7 až 2.9). Priemerná hodnota $\overline{\Delta Q}_{330d,355d}$ sa počítala nasledovne:

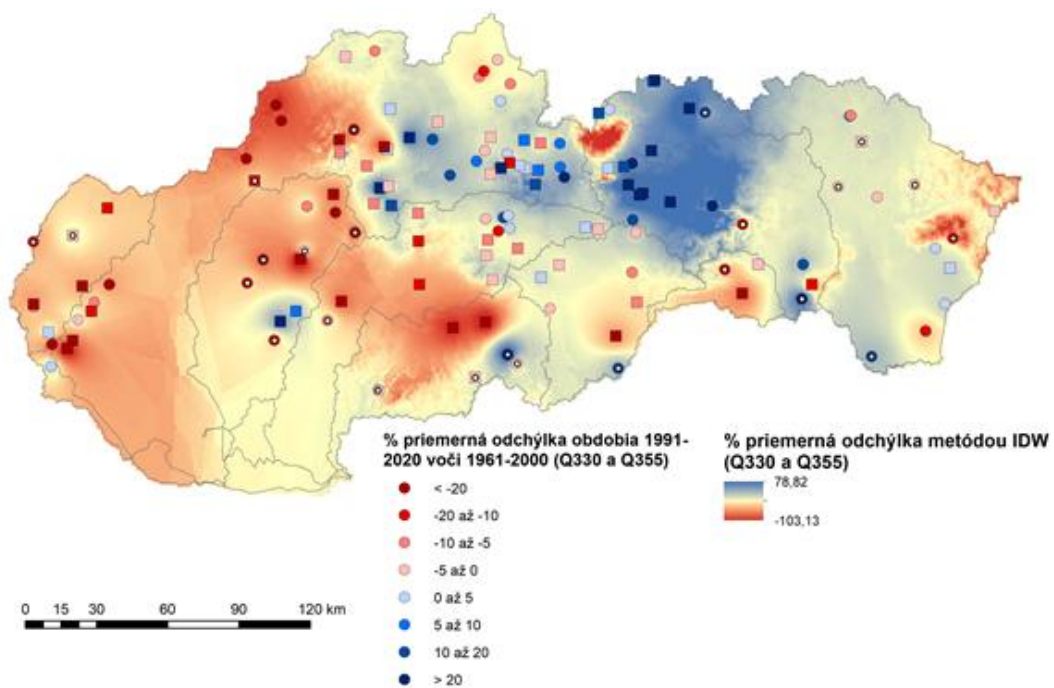
$$\overline{\Delta Q}_{330d,355d} = \frac{\Delta Q_{330d} + \Delta Q_{355d}}{2} \quad (2)$$



Obr. 2.7 Mapa priestorovej interpolácie bodových hodnôt ΔQ_{330d} (bez VS 8020, 6360, 5020 a 9060).



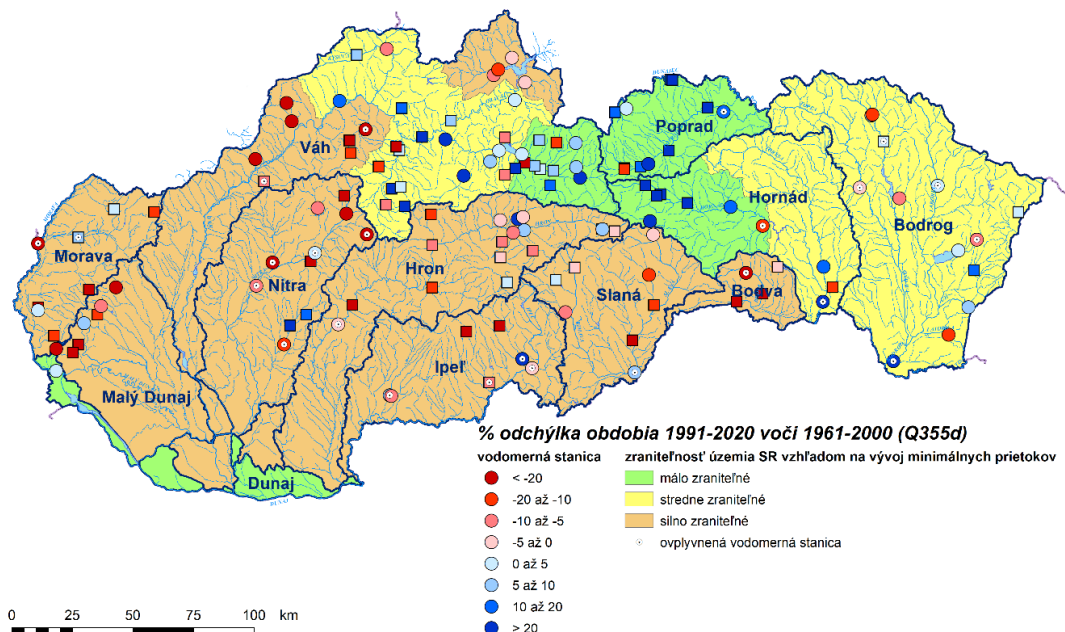
Obr. 2.8 Mapa priestorovej interpolácie bodových hodnôt ΔQ_{355d} (bez VS 8020, 6360, 5020 a 9060).



Obr. 2.9 Mapa priestorovej interpolácie bodových hodnôt priemernej hodnoty odchýlok ΔQ_{330d} a ΔQ_{355d} (bez VS 8020, 6360, 5020 a 9060).

Podobne ako pri mape interpolácií pre ΔQ_a sa aj pri priestorovej interpolácii odchýlok v oblasti malej vodnosti (ΔQ_{330d} a ΔQ_{355d}) prejavili vyššie spomínané nedostatky tejto metódy. Napriek tomu sa vyčlenené oblasti pre zraniteľnosť vzhľadom na malú vodnosť dobre zhodujú s návrhmi na základe expertného posúdenia bodových hodnôt.

Návrh aktualizovanej mapy zraniteľnosti územia SR vzhľadom na malú vodnosť, spolu s farebne odlíšenými hodnotami ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d} v hodnotených VS je znázornený na Obr. 2.10 (ΔQ_{355d}) a Obr. 2.11 (ΔQ_{330d}). VS sú odlíšené tvarom – krúžky označujú VS s dĺžkou pozorovania minimálne od roku 1961, štvorčeky označujú VS s dĺžkou pozorovania minimálne od roku 1971. Bodkou v strede značky sú zvýraznené VS s ovplyvneným hydrologickým režimom.

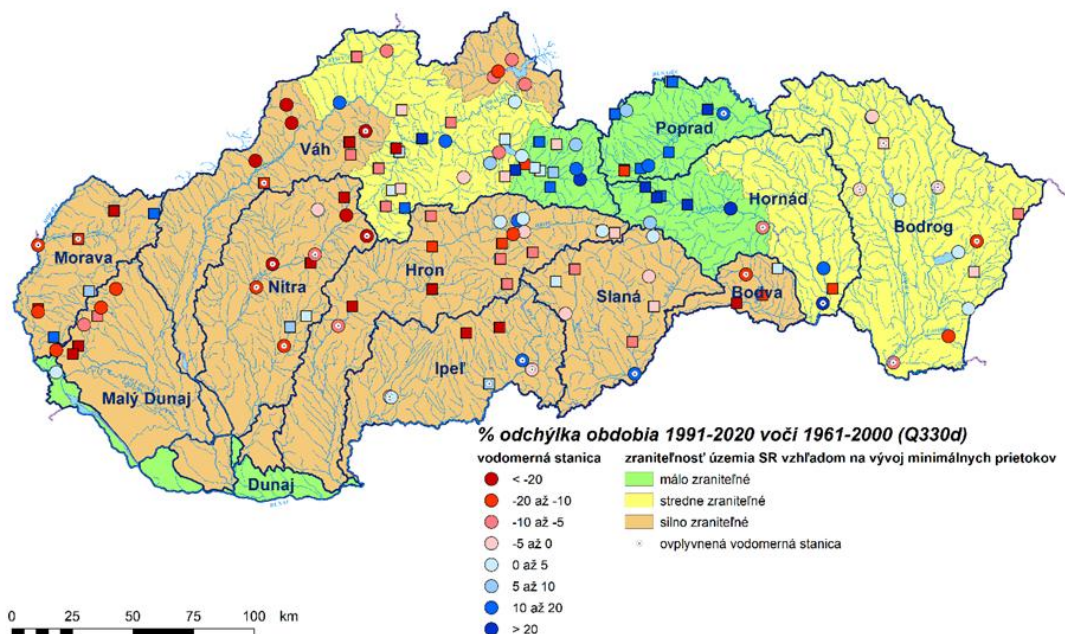


Obr. 2.10 Mapa zraniteľnosti územia SR vzhľadom na malú vodnosť (zmeny obdobia 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 na základe kombinácie zmien Q_{355d} a Q_{330d}) – Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II. a hodnoty ΔQ_{355d} vo VS.

Navrhnutá Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II. sa pre jednotlivé kategórie zraniteľnosti území vo veľkej miere zhoduje s Mapou zraniteľnosti (Q_a) II., s menšími odchýlkami:

V kategórii *málo zraniteľných území* je zaradené čiastkové povodie Dunajca a Popradu, a horné časti čiastkových povodí Váhu (po VN Liptovská Mara) a Hornádu (po povodie Hnilca vrátane). V tejto oblasti bola v hodnotených VS priemerná hodnota ΔQ_{330d} 12,2 % (medián 11,5 %, minimum -16,0 %, maximum +40,9 %) a ΔQ_{355d} 15,4 % (medián 13,1 %, minimum -22,9 %, maximum 69,6 %).

V kategórii *stredne zraniteľných území* sa nachádza stredná časť čiastkového povodia Váhu, okrem hornej časti povodia Oravy. Ďalej do druhej kategórie spadajú dolná časť čiastkového povodia Hornádu a čiastkové povodie Bodrogu. V tejto oblasti bola v hodnotených VS priemerná hodnota ΔQ_{330d} -0,5 % (medián -1,3 %, minimum -38,3 %, maximum +25,9 %) a ΔQ_{355d} 4,8 % (medián 1,4 %, minimum -50,0 %, maximum 71,4 %).



Obr. 2.11 Mapa zraniteľnosti územia SR vzhľadom na malú vodnosť (zmeny obdobia 1991 - 2020 voči obdobiu 1961 - 2000 na základe kombinácie zmien Q_{355d} a Q_{330d}) – Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II. a hodnoty ΔQ_{330d} vo VS.

Vysvetlivky: Symbolom \circ sú označené dlhodobé VS (min. od 1961), symbolom \square VS pozorujúce min. od 1971, bodkou v strede symbolu sú označené VS s ovplyvneným hydrologickým režimom.

Do kategórie silno zraniteľných území sme začlenili čiastkové povodia Moravy, Hrona, Ipeľa, Slanej a Bodvy a z čiastkového povodia Váhu ľavostranné prítoky pod Papradniankou, pravostranné prítoky od Rajčianky (vrátane), hornú časť povodia Oravy (po Oravicu (vrátane)) a subpovodia Nitry a Malého Dunaja (reprezentovaného režimom tokov stekajúcich z východných svahov Malých Karpát). V tejto oblasti bola v hodnotených VS priemerná hodnota ΔQ_{330d} -11,1 % (medián -8,9 %, minimum -53,3 %, maximum +17,6 %) a ΔQ_{355d} -12,9 % (medián -9,0 %, minimum -60,0 %, maximum 62,7 %).

Priemerná hodnota, medián a extrémne hodnoty odchýlok ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d} (%) z hodnotených vodomerných staníc, spadajúcich do vyčlenených oblastí na základe kategórií zraniteľnosti, sú uvedené v Tabuľke 2.4.

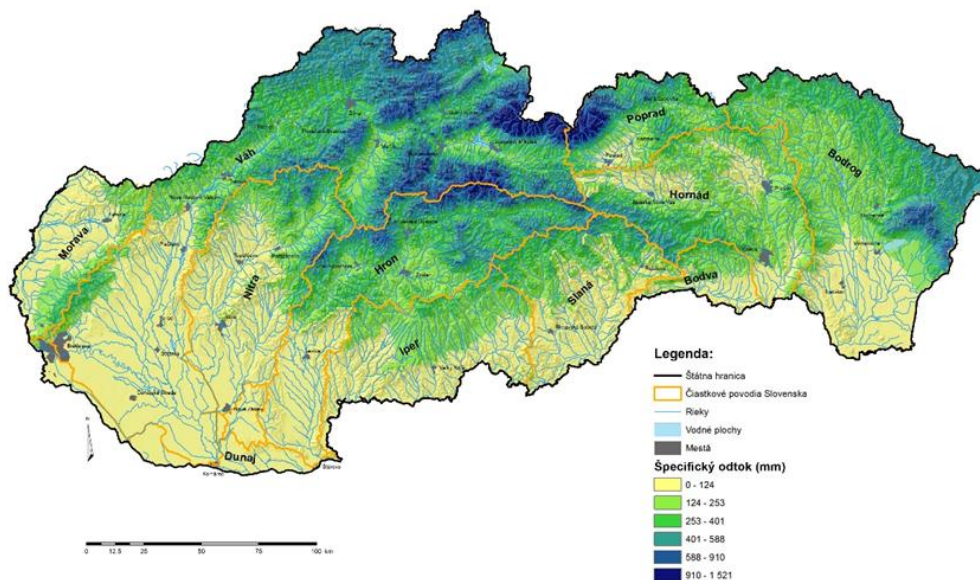
Tabuľka 2.4 Priemerná hodnota, medián, minimálne a maximálne hodnoty odchýlok ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d} (%) pre jednotlivé kategórie zraniteľnosti územia.

Kategória	Q_{330d}				Q_{355d}			
	priem ΔQ_{330d}	medián ΔQ_{330d}	min ΔQ_{330d}	max ΔQ_{330d}	priem ΔQ_{355d}	medián ΔQ_{355d}	min ΔQ_{355d}	max ΔQ_{355d}
málo zraniteľné	12,2	11,5	-16,0	40,9	15,4	13,1	-22,9	69,6
stredne zraniteľné	-0,5	-1,3	-38,3	25,9	4,8	1,4	-50,0	71,4
silno zraniteľné	-11,1	-8,9	-53,3	17,6	-12,9	-9,0	-60,0	62,7

2.4 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody

Vytvorené mapy zraniteľnosti zobrazujú mieru zmien dlhodobých prietokov alebo prietokov malej vodnosti za hodnotené obdobie 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000. Nezohľadňujú však prirodzenú vodnosť jednotlivých oblastí, ktorá významnou mierou prispieva k tomu, či v danej oblasti označenej ako silno/stredne zraniteľné územie zaznamenaný pokles prietokov predstavuje reálne riziko nedostatku vody. Preto sme v ďalšom kroku skombinovali mapu vyčlenených oblastí zraniteľných území s mapou prirodzenej vodnosti území. Rozdelenie prirodzenej vodnosti na území Slovenska, vyjadrenej priemerným ročným odtokom (v mm) za obdobie 1961 - 2000 je zobrazené na Mape špecifického priemerného odtoku na Obr. 2.12 (Šipikalová, 2005). Z rozdelenia odtoku je zrejmé jeho súvislosť najmä s nadmorskou výškou a sklonom územia. Nižšie hodnoty odtoku (cca do 125 mm) sa prejavujú najmä v južnej nížinnej časti Slovenska a v niektorých kotlinách, v ktorých sa prejavuje vplyv tzv. zrážkového tieňa. Najvyššie hodnoty odtoku odpovedajú predovšetkým vysokým pohoriam, ako sú Vysoké a Nízke Tatry, kde v najvodnejších oblastiach dosahujú hodnoty v priemere 950 až 1520 mm.

Mapa špecifického priemerného ročného odtoku z územia Slovenska
Referenčné obdobie: (1961 - 2000)



Obr. 2.12 Mapa špecifického priemerného ročného odtoku z územia Slovenska za obdobie 1961 – 2000.

Mapu zraniteľnosti (Q_a) II, ktorá vyjadruje zmeny dlhodobých prietokov obdobia 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000, sme v prostredí GIS preložili s Mapou špecifického priemerného ročného odtoku za obdobie 1961 - 2000. Výslednú mapu sme nazvali Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody. Zobrazenie sme nastavili na základe kombinácie zvolených kategórií Mapy špecifického odtoku a kategórií zraniteľnosti územia z Mapy zraniteľnosti (Q_a) II. Kategórie z mapy špecifického odtoku sme testovali v niekoľkých variantoch, vo všetkých sme rozdelili rozsah špecifického odtoku na 3 kategórie nasledovne (Tabuľka 2.5):

Tabuľka 2.5 Varianty kategórií špecifického odtoku pre testovanie tvorby Mapy zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody.

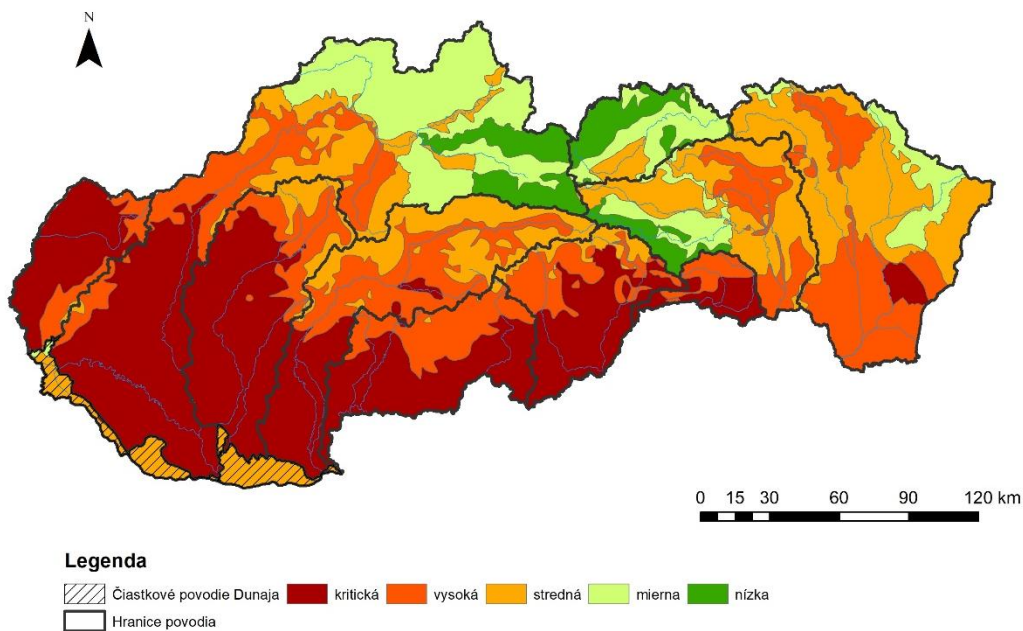
q _a (mm) 1961-2000	Kategória veľkosti odtoku		
Variant	1	2	3
1	< 100	101 - 300	> 300
2	< 130	131 - 300	> 300
3	< 130	131 - 350	> 350
4	< 150	151 - 300	> 300
5	< 150	151 - 350	> 350

Po vyhodnotení výstupov kombinácií máp v GIS-e a podrobnou analýzou mapy odtoku sme sa expertným uvážením rozhodli do výslednej kombinácie použiť 1. variant (hodnoty odtoku 0 – 100 mm; 101 – 300 mm; viac ako 300 mm). Výstupy s použitím tohto variantu zahŕňali aj oblasti, kde už evidujeme problémy s nedostatkom vody (na základe terénnych prieskumov a meraní, výstupov vodohospodárskej bilancie, informácií v médiách).

Výslednú Mapu zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody (Obr. 2.13) sme farebne odlišili v 5 kategóriách, ktoré vyplynuli z kombinácie 3 kategórií zraniteľnosti územia SR vzhľadom na zmeny dlhodobých priemerných prietokov a 3 kategórií odtoku obdobia 1961 - 2000 nasledovne (Tabuľka 2.6):

Tabuľka 2.6 Kategórie Mapy zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody.

		silno zraniteľné	stredne zraniteľné	málo zraniteľné
Odtok (mm)	0 - 150	kritická	vysoká	stredná
	151 - 350	vysoká	stredná	mierna
	> 351	stredná	mierna	nízka



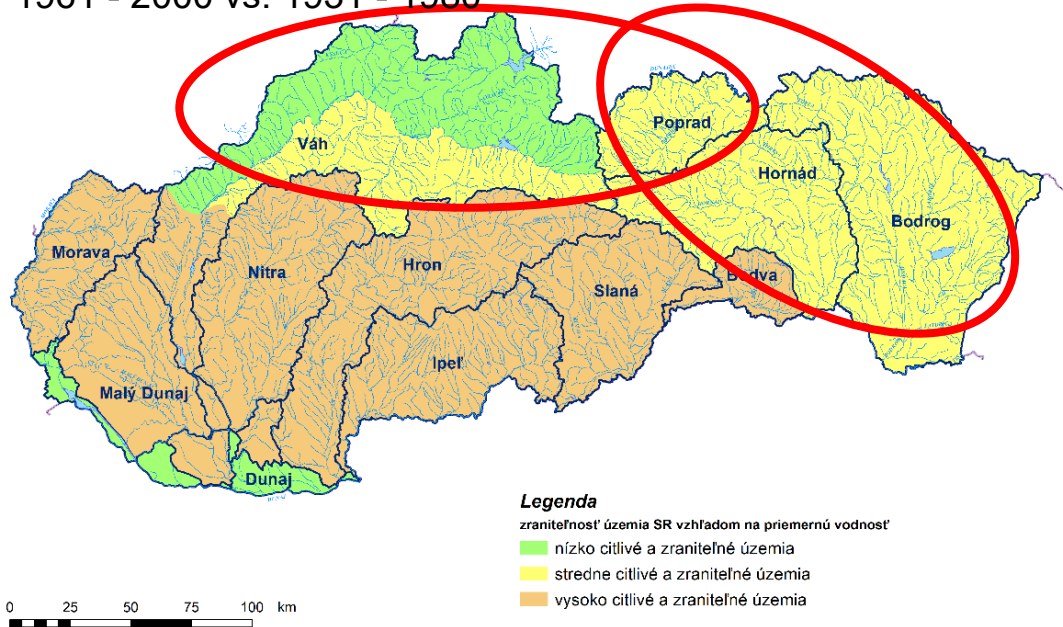
Obr. 2.13 Mapa zraniteľnosti Slovenska vzhľadom na nedostatok vody.

2.5 Výsledky

Pri návrhu aktualizovaných máp zraniteľnosti sme vychádzali z porovnania pôvodných máp zraniteľnosti s údajmi vyhodnotených odchýlok vybraných hydrologických charakteristík (ΔQ_a , ΔQ_{355d} a ΔQ_{330d}) v hodnotených neovplyvnených, resp. minimálne ovplyvnených vodomerných staniciach za obdobie 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000.

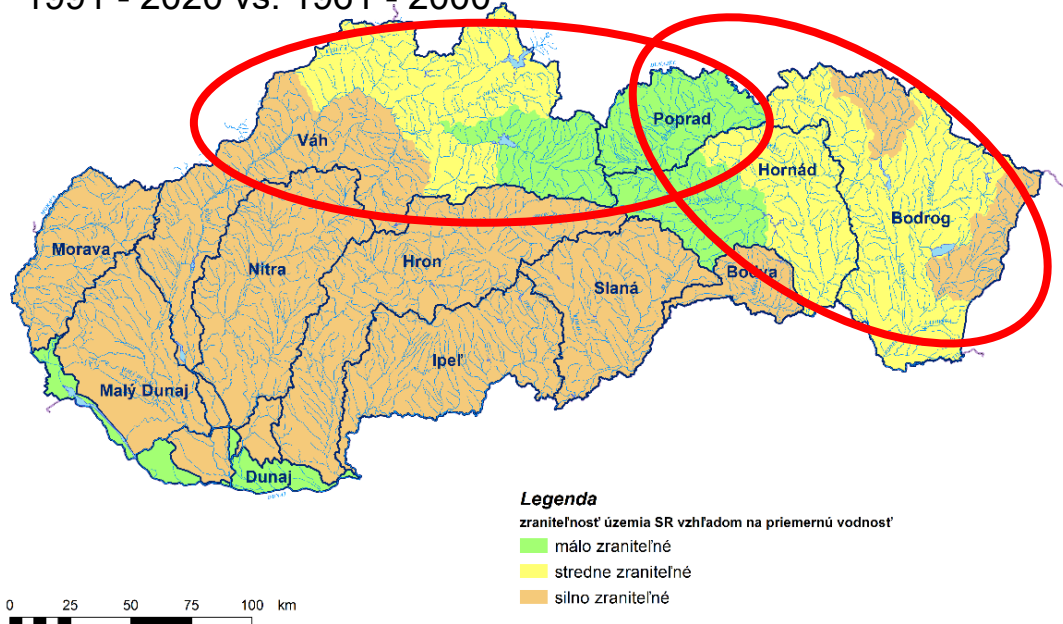
Pri porovnaní máp zraniteľných území SR vzhľadom na priemernú vodnosť - Mapa zraniteľnosti (Q_a) I. a Mapa zraniteľnosti (Q_a) II. (Obr. 2.14 a 2.15) môžeme vidieť nasledovné zmeny: Rozšírenie oblastí spadajúcich do kategórie *silne zraniteľných území* - k pôvodne zaradeným čiastkovým povodiam Moravy, Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, subpovodiam Malého Dunaja, Nitry a dolnej časti povodia Váhu, pribudla oblasť strednej časti povodia Váhu a menšie oblasti v severnej a východnej časti povodia Bodrogu. Oblasti povodí Oravy a Kysuce boli zmenené z kategórie nízko citlivých a zraniteľných území na kategóriu stredne zraniteľných území. Ako málo zraniteľné územia boli označené povodie Dunajca a Popradu, horná časť povodia Hornádu a horná časť povodia Váhu. Tie boli v Mape zraniteľnosti (Q_a) I. zaradené v kategórii stredne citlivých a zraniteľných území (s výnimkou pravostranných prítokov hornej časti Váhu, ktoré boli aj predtým v kategórii nízko citlivých a zraniteľných území).

1961 - 2000 vs. 1931 - 1980



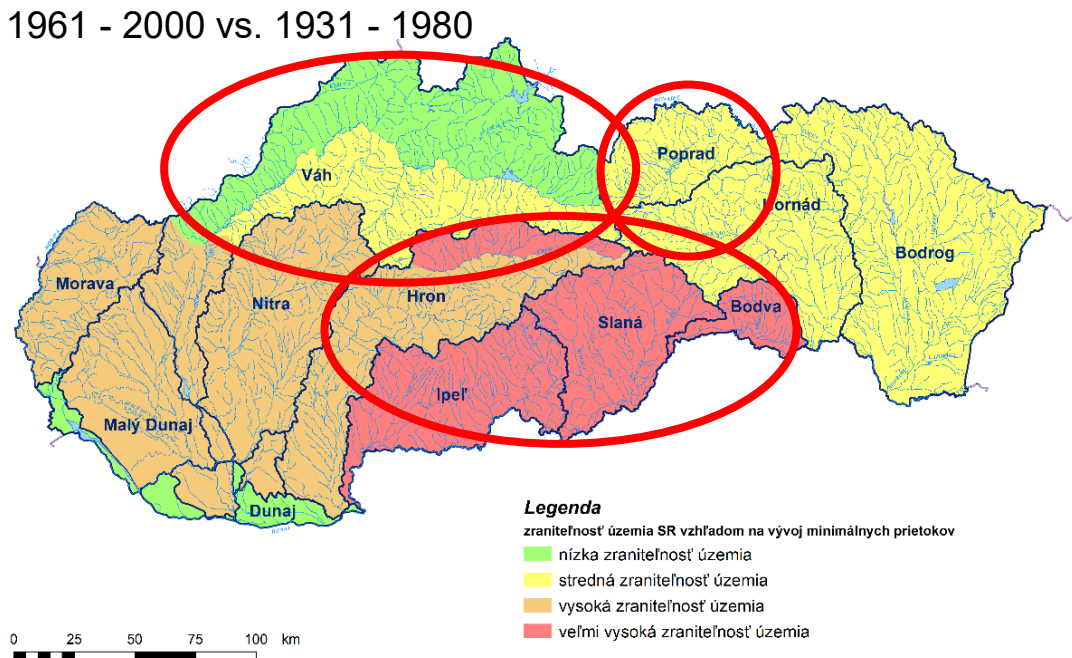
Obr. 2.14 Porovnanie Mapy zraniteľných území SR vzhľadom na priemernú vodnosť – Mapa zraniteľnosti (Q_a) I. – oblasti so zmenou sú označené červenou čiarou.

1991 - 2020 vs. 1961 - 2000



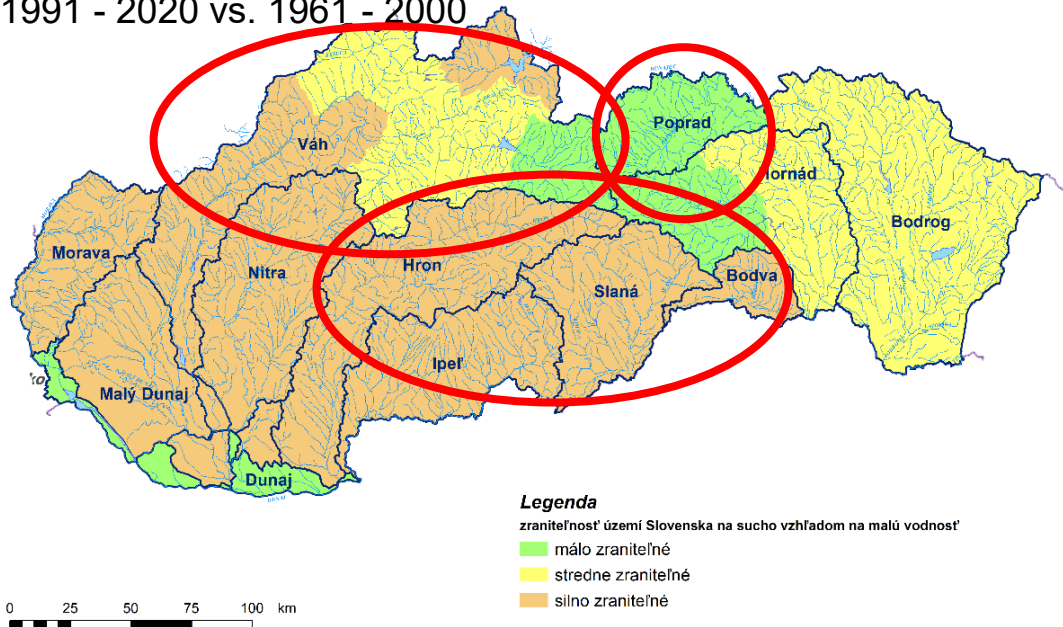
Obr. 2.15 Porovnanie Mapy zraniteľných území SR vzhľadom na priemernú vodnosť – Mapa zraniteľnosti (Q_a) II. – oblasti so zmenou sú označené červenou čiarou.

Pri porovnaní máp zraniteľných území SR vzhľadom na malú vodnosť - Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I. a Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II. (Obr. 2.16 a 2.17) môžeme vidieť nasledovné zmeny: V aktualizovanej mape sme v súlade s Mapou zraniteľnosti (Q_a) II. zvolili 3 kategórie zraniteľnosti území na rozdiel od 4 kategórií v predchádzajúcej mape (Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I.). Oblasť, ktoré v predchádzajúcej mape spadali do kategórií vysokej zraniteľnosti územia a veľmi vysokej zraniteľnosti územia vzhľadom na minimálne prietoky (čiastkové povodia Moravy, Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, subpovodia Malého Dunaja, Nitra a dolnej časti povodia Váhu), sú v aktualizovanej Mape zraniteľnosti (Q_{Md}) II. zaradené do kategórie *silno zraniteľných území* a pribudla k nim oblasť strednej časti povodia Váhu a horná časť povodia Oravy. Ako *málo zraniteľné územia* boli označené povodie Dunajca a Popradu, horná časť povodia Hornádu a horná časť povodia Váhu. Tie boli v Mape zraniteľnosti (Q_{min}) I. zaradené v kategórii stredne zraniteľných území (s výnimkou pravostranných prítokov hornej časti Váhu, ktoré boli aj predtým v kategórii nízko citlivých a zraniteľných území). Ostatné územie (časť horného a stredného Váhu, dolná časť povodia Hornádu a povodie Bodrogu) je začlenené do kategórie *stredne zraniteľných oblastí* vzhľadom na malú vodnosť.



Obr. 2.16 Porovnanie máp zraniteľných území SR vzhľadom na malú vodnosť – Mapa zraniteľnosti (Q_{min}) I.–územia so zmenou sú označené červenou čiarou.

1991 - 2020 vs. 1961 - 2000



Obr. 2. 17 Porovnanie máp zraniteľných území SR vzhľadom na malú vodnosť – Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II. –územia so zmenou sú označené červenou čiarou.

Pre ďalšie prehodnotenie v budúcnosti by bolo vhodné zvážiť podrobnejšie rozčlenenie aj niektorých ďalších čiastkových povodí (napr. Hrona), nakoľko sú vo viacerých oblastiach badateľné rozdiely v zmenách režimu napríklad medzi hornými a dolnými časťami povodí, ako aj medzi prítokmi z rôzne orientovaných svahov vzhľadom na svetové strany.

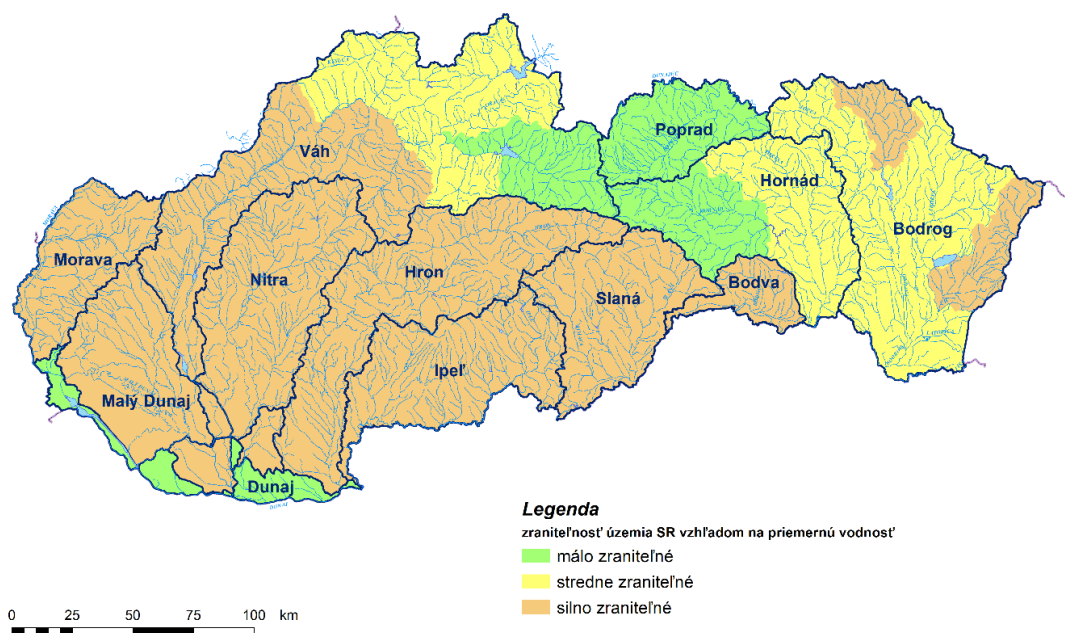
Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody, ktorá bola vypracovaná kombináciou Mapy zraniteľnosti (Q_a) II. a Mapy špecifického odtoku za obdobie 1961 - 2000, zohľadňuje jednak zmeny prietokov v období 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000, ako aj prirodzené rozdelenie vodnosti obdobia 1961 - 2000 na území Slovenska. Obe použité mapy majú vo veľkej miere podobné priestorové rozloženie nepriaznivých kategórií (tzn. silno zraniteľné oblasti ako aj menšie hodnoty špecifického odtoku sa vyskytujú najmä v južných, nižšie položených oblastiach Slovenska), ako aj priaznivých kategórií (tzn. málo zraniteľné oblasti a vyššie hodnoty špecifického odtoku sú predovšetkým v hornatých oblastiach s vyššou nadmorskou výškou v severnej oblasti Slovenska). Kombináciou týchto máp sa preto logicky aj v Mape zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody ako najzraniteľnejšia prejavuje oblasť južného Slovenska, zasahujúca čiastkové povodie Moravy, dolné časti čiastkových povodí Váhu (zahŕňajúca veľkú časť subpovodí Malého Dunaja a Nitry), Hrona, Ipľa, Bodvy a menšia oblasť v čiastkovom povodí Bodrogu (povodie Čiernej vody). Ako najmenej zraniteľné sa prejavujú hornaté oblasti na severe Slovenska, kde sa popri prirodzene vysokej vodnosti v hodnotenom období 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000 prejavuje prevažne nárast dlhodobých prietokov.

2.6 Záver

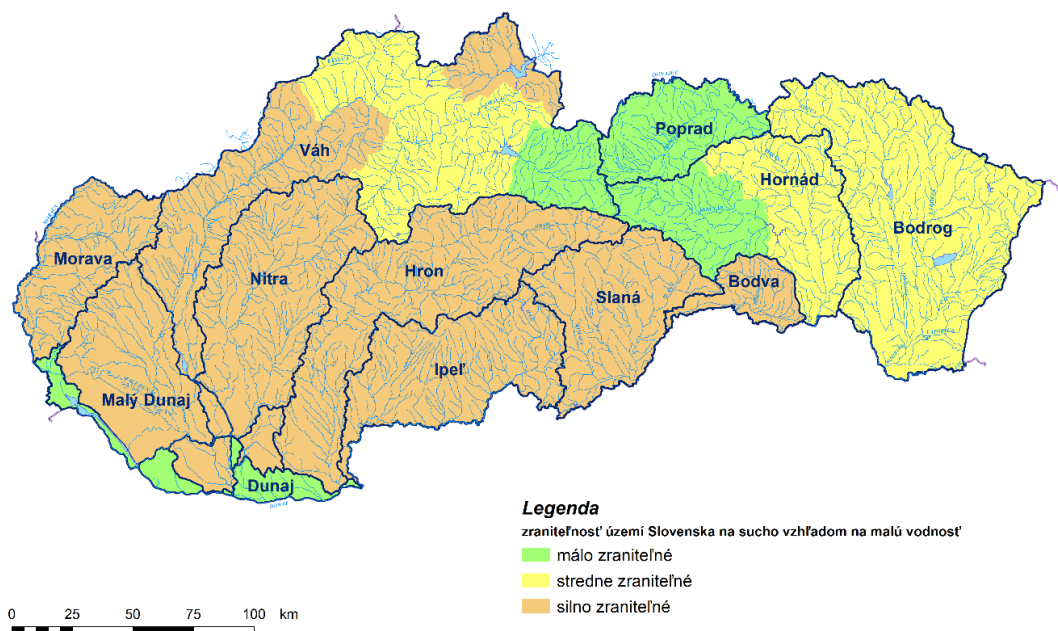
Aktualizované Mapy zraniteľnosti územia Slovenska (Obr. 2.18 a 2.19) predstavujú priestorové vyjadrenie zmien vybraných charakteristík priemernej a malej vodnosti v období 1991 - 2020 voči doteraz platnému referenčnému obdobiu 1961 - 2000. Sú aktualizáciou máp, ktoré boli spracované pri predchádzajúcej zmene z referenčného obdobia 1931 - 1980 na obdobie 1961 - 2000.

Porovnaním týchto máp môžeme vidieť aj zmeny, ktoré sú najmä prejavmi dopadu klimatickej zmeny na hydrologický režim slovenských tokov. Medzi takéto zmeny, na ktoré sme poukázali aj vo viacerých odborných článkoch a správach, zaraďujeme napríklad pokles dlhodobého odtoku za hodnotené obdobia najmä po roku 2000 na väčšej časti územia Slovenska, s výnimkou oblastí zahŕňajúcej čiastkové povodie Dunajca a Popradu, hornú časť povodia Hornádu a hornú časť povodia Váhu (Poárová et al., 2023; Poárová et al., 2018, Blaškovičová et al. 2019, Blaškovičová et al. 2020).

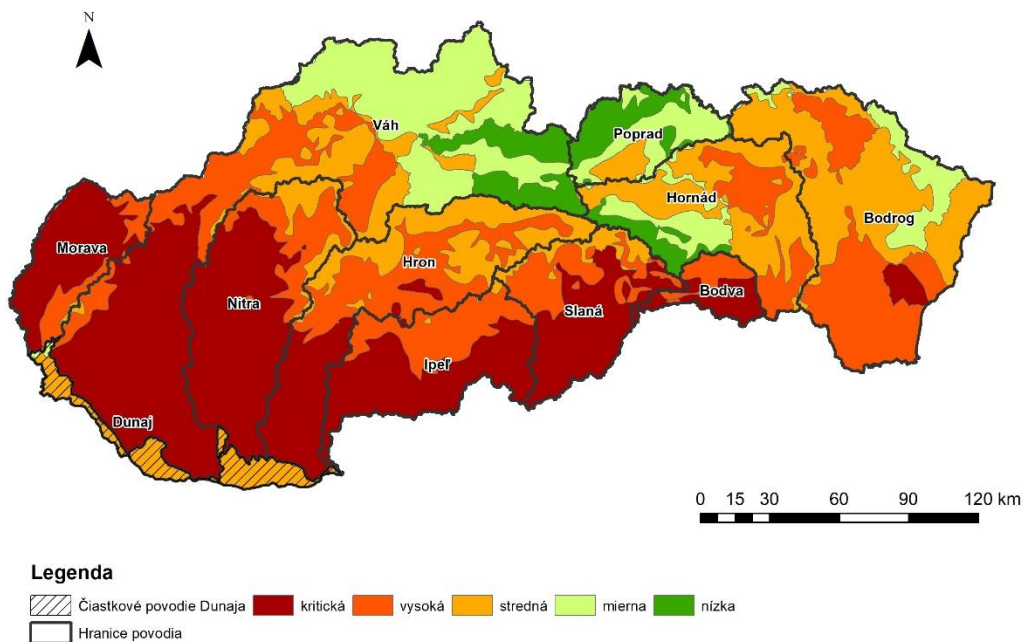
V snahe zohľadniť okrem zmien dlhodobých prietokov, ktoré sú plošne zobrazené na mapách zraniteľnosti, aj rozdelenie prirodzenej vodnosti v odpovedajúcich oblastiach, sme spracovali aj Mapu zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody (Obr. 2.20). Táto mapa kombinuje prirodzenú vodnosť územia Slovenska (na základe mapy odtoku za obdobie 1961 - 2000) a zraniteľnosť územia (na základe zmien dlhodobých prietokov v období 1991 - 2020 voči referenčnému obdobiu 1961 - 2000). Územie Slovenska je týmto hodnotením rozdelené na 5 kategórií zraniteľnosti územia vzhľadom na nedostatok vody. Medzi zraniteľné územia patrí najmä južná časť Slovenska; smerom na sever do hornatejších oblastí s vyššou nadmorskou výškou prevažujú menej zraniteľné kategórie.



Obr. 2.18 Mapa zraniteľných území SR vzhľadom na priemernú vodnosť (Mapa zraniteľnosti (Q_a) II.).



Obr. 2.19 Mapa zraniteľných území SR vzhľadom na malú vodnosť (Mapa zraniteľnosti (Q_{Md}) II.).



Obr. 2.20 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na nedostatok vody.

V jednotlivých vymedzených kategóriách, najmä u tých nepriaznivejších, je však potrebné zvážiť, že aj keď samotná oblasť patrí napríklad medzi menej vodné a prejavuje sa v nej pokles dlhodobých prietokov, hlavný tok pretekajúci oblasťou môže byť dostatočným zdrojom vody pre príslušné územia.

Rovnako by bolo potrebné hodnotenie skombinovať aj so stavom dostupných zdrojov podzemnej vody v danej oblasti. Príkladom je napríklad čiastkové povodie Dunaja, ktoré je v mapách zraniteľnosti územia v kategórii málo zraniteľných oblastí, vzhľadom na menej výrazné zmeny dlhodobých prietokov samotného toku Dunaja. Vodnosť tohto územia, vzhľadom na jeho polohu a nadmorskú výšku, patrí však medzi najnižšie na Slovensku. Vo výslednej mape sa preto kombináciou týchto kategórií zaradilo územie tohto čiastkového povodia do stredne zraniteľnej kategórie. Dostupnosť vody v toku Dunaja ako aj podzemnej vody v priľahlých alúviách však odpovedá priaznivejšej kategórii.

Odporúčania pre využitie navrhnutých máp: Výsledné mapy zraniteľnosti Slovenska odporúčame používať s prihliadnutím na ich vyššie uvedené limity (napr. fakt, že nezahŕňajú analýzu zdrojov podzemných vôd). Mapy odporúčame využiť ako informatívne podklady pre vodné plánovanie, manažment vodných zdrojov a pri plánovaní opatrení pre manažment hydrologického sucha a nedostatku vody.

2.7 Literatúra

Blašková L (Ed.) (2019) Hodnotenie hydrologického sucha, časť 2: Hodnotenie zmien a trendov mesačných a ročných prietokov, čiastková správa. 64 s. SHMÚ, ISBN 978-80-99929-14-3.

Blašková L (Ed.) (2020) Hodnotenie hydrologického sucha, časť 3: Hodnotenie M-denných prietokov a neprietokových charakteristík, čiastková správa. 92 s. SHMÚ, ISBN 978-80-99929-26-6.

Blašková L, Poórová J, Kotríková K, Jeneiová K, Paľušová Z (2023) Mapy rizikových oblastí pre sucho na Slovensku na základe priemernej a malej vodnosti. Zborník abstraktov. 33. Hydrologický seminár pri príležitosti ukončenia hydrologického roka. "Od intenzívnych dažďov po sucho", SHMÚ Bratislava. ISBN (tlačaná forma): 978-80-99929-62-4, EAN: 9788099929624ISBN, ISBN (pdf forma): 978-80-99929-63-1. , EAN: 9788099929631.

Li J, Heap AD, (2011) A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors, Ecological Informatics, Vol. 6, Iss. 3–4, P. 228-241, ISSN 1574-9541, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>.

Poórová J, Jeneiová K, Blaškovičová L, Danáčová Z, Kotríková K, Melová K, Paľušová Z (2023) Effects of the Time Period Length on the Determination of Long-Term Mean Annual Discharge. Hydrology, 10, 88. <https://doi.org/10.3390/hydrology10040088>.

Poórova J (Ed.) (2018) Hodnotenie hydrologického sucha, časť 1: Hodnotenie vodnosti roka a zmien rozdelenia odtoku v roku, čiastková správa, 110 s, SHMÚ, ISBN 978-80-99929-09-9.

STN 75 1410-1 (2008) Hydrológia. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia priemernej vodnosti. Časť 1: Charakteristiky denných vodných stavov a prietokov.

Šercl P 2008 AGHydroInterpolace (Interpolační procedury pro ArcGIS), ČHMÚ.

Šipikalová H (Ed.) (2005) Spracovanie hydrologických charakteristík – Priemerné ročné prietoky a úhrny zrážok na povodie. Záverečná správa, SHMÚ Bratislava.

WMO (2020) Statement on the term Hydrological Normal, Hydrological Coordination Panel. Available online: <https://community.wmo.int/activity-areas/hydrology-and-water-resources/hydrological-coordination-panel> (accessed on 27.1.2023).

3 Zraniteľné oblasti Slovenska z hľadiska podzemnej vody

Valéria Slivová, Samuel Radič

Úvod

Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) sa v rámci svojich činností zaoberá aj monitorovaním podzemnej vody a spracovaním a vyhodnocovaním režimových pozorovaní a ich dlhodobých zmien. Na základe Svetovej meteorologickej organizácie WMO boli stanovené normály minimálne **30-ročného obdobia** 1901–1930, 1931–1960, 1961–1990, 1981–2010 a najnovším normálovým obdobím je obdobie 1991–2020. Hoci prvé pozorovania v podzemnej vode začali u prameňov v **30-tych rokoch** a u sond v **50-tych rokoch 20-teho storočia**, v tomto období nebola ešte vytvorená dostatočne hustá monitorovacia sieť s rovnomerným rozmiestnením objektov v rámci Slovenska (Kullman, 2014). Ani rozmach budovania siete v **70. rokoch** nebol dostatočný na získanie dlhších, 30-ročných časových radov, preto sú údaje o podzemnej vode podstatne kratšie ako napríklad v povrchovej vode (1961 - 2000). Na odbore Podzemné vody bolo vzhľadom na dĺžku 30-ročného radu a reprezentatívnosti objektov v roku 2010 za referenčné obdobie zvolené obdobie 1981 – 2010. V tomto období sa začali na ústave intenzívnejšie zaoberať aj problematikou sucha v podzemnej vode v rámci celého územia Slovenska. Prvotné hodnotenia boli publikované v ročenke Podzemné vody v roku 2011, 2012 (Kullman, 2011, 2012). Dovtedy bolo sucho v podzemnej vode hodnotené v rôznych oblastiach a v rôznych časových obdobiach. Jednotlivé hodnotenia sucha v podzemnej vode sa dostali do popredia na Slovensku až po roku 1992, kedy bol prvýkrát posúdený režim podzemných vôd na Slovensku z pohľadu prirodzených poklesov výdatností vybraných prameňov (Chalúpka a Kullman, 1992). V roku 2005 sa Burger vo svojom článku venoval konceptu a identifikácii hydrologického sucha ako deficitu podzemnej vody (Burger, 2005). Hodnoteniu meteorologického sucha a jeho vplyvu na sucho v podzemnej vode v povodí hornej Torysy sa vo svojich článkoch venovala Brušková (2007). Analýze a modelovaniu hydrologického sucha v podzemnej vode sa vo svojej dizertačnej práci venovala Slivová (2007). Hlavným cieľom práce bolo vybrať vhodné parametre a metódy charakterizovania hydrologického sucha v podzemnej vode, navrhnúť metodický postup jeho hodnotenia a skúmať väzby medzi meteorologickým suchom a suchom v podzemnej vode. Vplyvu hydrologického sucha na kvantitatívne a kvalitatívne parametre povrchových a podzemných vôd sa venovala Fendeková et al. (2009). Hodnoteniu sucha v podzemnej zložke hydrosféry, pri ktorej boli vzaté do úvahy aj vplyv hydrogeologických vlastností horninového prostredia a taktiež zmena kvality vody v podmienkach sucha, sa venuje monografia s názvom Hydrologické sucho (Fendeková, et al., 2010). Identifikácii a klasifikácii sucha v povrchovej a podzemnej vode v subpovodí hornej Nitry sa v roku 2012 venovali Fendeková a Fendek. Hodnoteniu výskytu sucha v hladinovom režime podzemných vôd v povodí Laborca sa v roku 2013 venovala Stojkovová (Stojkovová, 2013). Priestorové zhodnotenie výskytu sucha v podzemnej vode hodnotené na základe hladinového režimu a výdatnosti prameňov v roku 2014 v rámci celého Slovenska, spracované na základe nameraných údajov z vybraného súboru objektov štátnej hydrologickej siete podzemných vôd publikovali Kullman et al. (2015). Hydrologický rok 2015, rovnakou metódikou ako v roku 2014, z pohľadu podzemných vôd zhodnotili Slivová a Kullman (2016). Hodnotením sucha na základe výdatnosti prameňov v oblasti Nízkych Tatier sa v roku 2015 venovali Vrablíková a Fendeková (2016); sezónnosti minimálnych výdatností prameňov sa venovala Vrablíková (2017). Porovnaním výskytu sucha v podzemnej vode v období troch hydrologických rokov 2013, 2014 a 2015 v rámci celého Slovenska sa venovali Slivová et al. (2016). Výskyt sucha vo vybraných povodiach Slovenska hodnotili Fendeková et al. (2017a, 2017b, 2017c). V roku 2017

bola vydaná monografia s názvom Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja, ktorá sa zaoberá hodnotením hydrologického sucha ako dôsledku meteorologického sucha v rámci celého územia Slovenska (Fendeková et al., 2017). V roku 2017 bolo na SHMÚ zavedené operatívne online monitorovanie sucha v podzemnej vode, dostupné na stránke SHMÚ pre verejnosť (Slivová a Kullman, 2018). Od roku 2019 až po súčasnosť je sucho v podzemnej vode na SHMÚ každoročne hodnotené či už za hydrologický alebo kalendárny rok (Slivová et al., 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025).

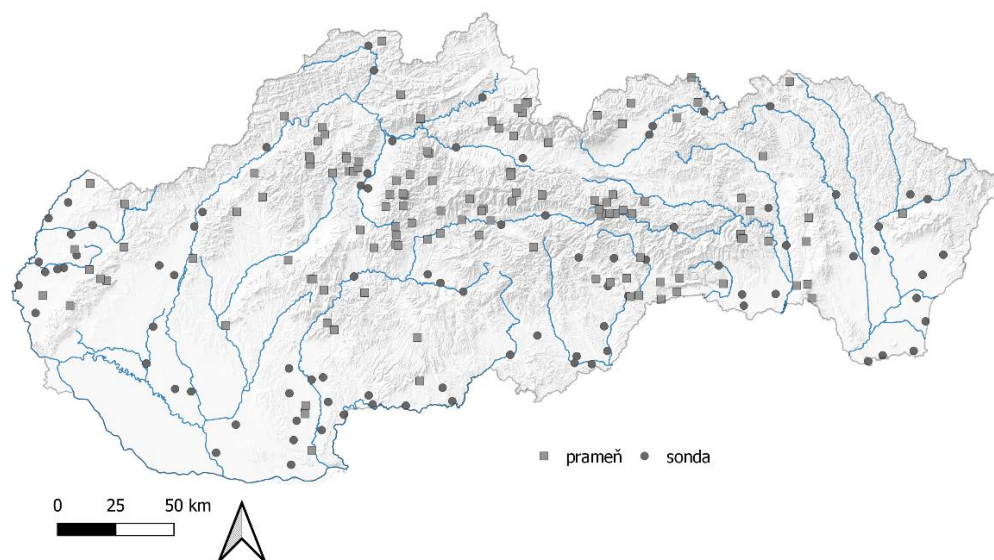
3.1 Použité údaje a metodika

Táto štúdia pozostáva z viacerých hodnotení, v ktorých boli porovnávané vyššie spomínané referenčné obdobia v podzemnej vode, a to obdobia 1981 – 2010 a 1991 – 2020. Mapa výskytu sucha bola vytvorená na základe používanej metodiky SANDRE, ktorá sa na hodnotenie sucha v rámci SHMÚ používa od roku 2011 (Kullman, 2014). Metóda je založená na štatistickom porovnaní priemerných hodnôt jednotlivých mesiacov, ktoré boli rozdelené na základe kvantilov do 5 kategórií (Tabuľka 3.1). Okrem mapy dopadov sucha, kde bolo porovnané referenčné obdobie 1991 – 2020 s predchádzajúcim 1981 – 2010, bola vytvorená aj mapa dopadov sucha za obdobie posledných 11 rokov 2011 – 2022. Pre priestorové zobrazenie bola použitá metóda krigingu.

Tabuľka 3.1 Kategórie hodnotenia sucha v podzemnej vode.

Úroveň hladiny podzemnej vody a výdatnosť prameňa	Výrazne nižšia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $< \varphi_{10\%}, < Q_{10\%}$	Nižšia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $\varphi_{10\%} - \varphi_{40\%},$ $Q_{10\%} - Q_{40\%}$	Zodpovedajúca dlhodobému priemeru (1981 – 2010) $\varphi_{40\%} - \varphi_{60\%},$ $Q_{40\%} - Q_{60\%}$	Vyššia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $\varphi_{60\%} - \varphi_{90\%}$ $Q_{60\%} - Q_{90\%}$	Výrazne vyššia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $> \varphi_{90\%}, > Q_{90\%}$
Hodnota	1	2	3	4	5

Pre hlbšiu analýzu a podloženie správnosti mapy dopadov sucha boli spracované dlhodobé časové rady minimálnych a priemerných hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obidve referenčné obdobia 1981 – 2010 a obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020, ako aj kratšie obdobie posledných 11 rokov (2011 – 2022). Tieto dve dlhodobé 30-ročné obdobia boli vzájomne porovnané na základe pomerových hodnôt a taktiež boli porovnané aj s posledným obdobím 11 rokov (2011 – 2022). Spracovaných bolo 134 prameňov a 89 sond (Obr. 3.1), ktoré sú rovnomerne rozmiestnené v rámci územia Slovenska, bez antropogénnych vplyvov, prípadne s minimálnymi vplyvmi. Vybrané objekty prešli analýzou komplexnosti, reprezentatívnosti a úplnosti radov.



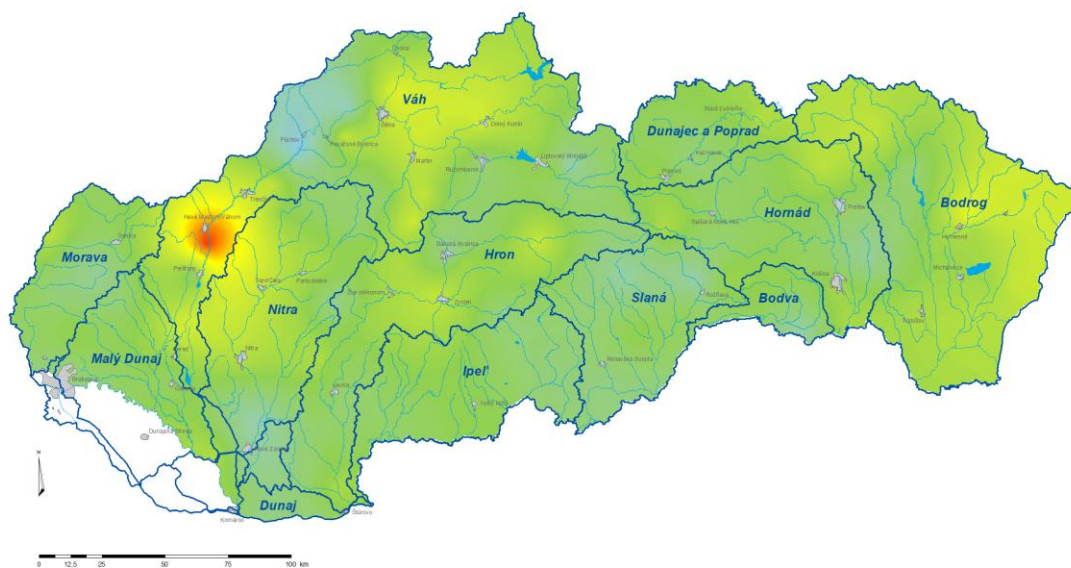
Obr. 3.1 Vybrané pozorovacie objekty štátnej hydrologickej siete.

Okrem analýzy na základe pomerových hodnôt boli spracované aj trendy týchto použitých časových radov, respektíve obidvoch hodnotených referenčných období, vrátane trendov za posledných 11 rokov s použitím neparametrického Mann-Kendallovho testu. Štatistický Mann-Kendallov test sa používa na posúdenie, či sa súbor hodnôt údajov v priebehu času zvyšuje alebo znižuje a či je trend v oboch smeroch štatisticky významný. Mann-Kendallov test neposudzuje veľkosť zmeny. Výhodou tohto testu je, že nie je ovplyvnený aktuálnym rozdelením dát a zároveň je menej citlivý na extrémne hodnoty v časovom rade (Tahroudi et al., 2019).

Mapa zraniteľnosti vzhľadom na vývoj minimálnej hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov vznikla spojením všetkých troch máp, a to mapy dopadov sucha za obdobie 1991 – 2020, trendov priemerných ročných miním za obdobie 1991 – 2020 a pomerových hodnôt dlhodobých miním, s prihliadnutím na geologické zloženie územia. Výsledná mapa zraniteľnosti bola preložená vrstvou hydrogeologických rajónov (HGR). Slovensko je z hľadiska geológie rozdelené do 141 hydrogeologických rajónov. HGR je územie vymedzené z hľadiska geologických, štruktúrno-geologických a hydrogeologických pomerov ako celok, v ktorom prevažuje jednotný obeh vody určitého typu. Veľké zásoby podzemnej vody sa vyskytujú v priepustných horninách. Sú to najmä oblasti tvorené karbonátovými horninami a nížinné oblasti/oblasti kotlín vyplnené štvrtohornými riečnymi sedimentmi. Oblasti chudobné na podzemnú vodu v dôsledku slabej priepustnosti hornín sú na území karpatského flyšového pásma (ílovce, pieskovce a bridlice) a v oblastiach s niektorými treťohornými usadeninami.

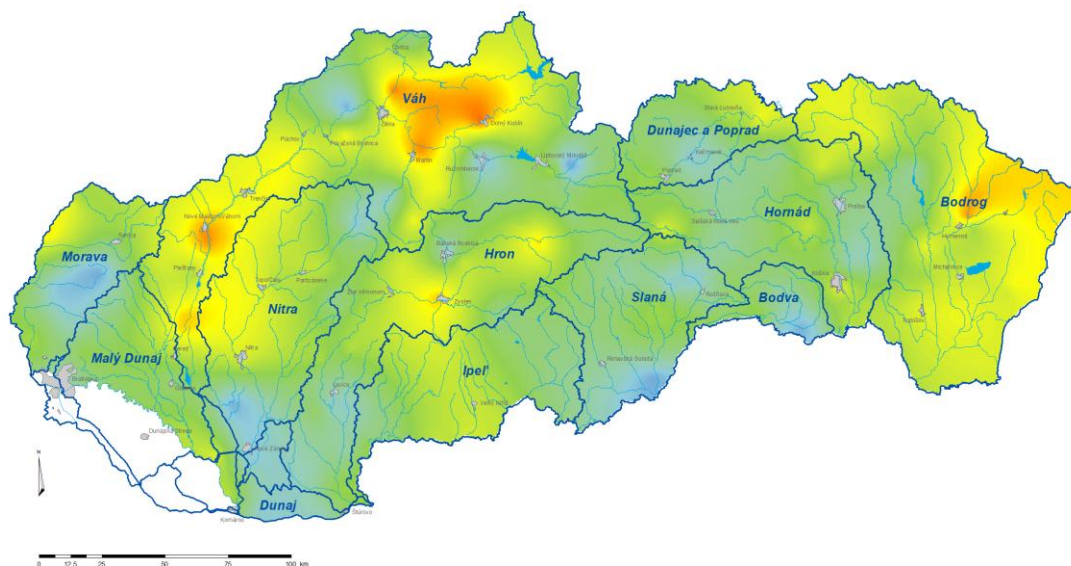
3.2 Mapa výskytu sucha

Z mapy výskytu sucha, v ktorej bolo porovnané referenčné obdobie 1991 – 2020 k 1981 – 2010 vyplýva, že sa sucho výrazne neprejavilo. Najrizikovejšie oblasti z pohľadu výskytu sucha sú povodia Váhu, subpovodie Nítry, horné časti povodia Hrona, východná časť povodia Dunajca a Popradu, severozápadná časť povodia Hornádu a povodie Bodrogu (Obr. 3.2). Legenda k obrázkom 3.2 a 3.3 je daná samostatne pre lepšiu viditeľnosť ako obrázok 3.4.

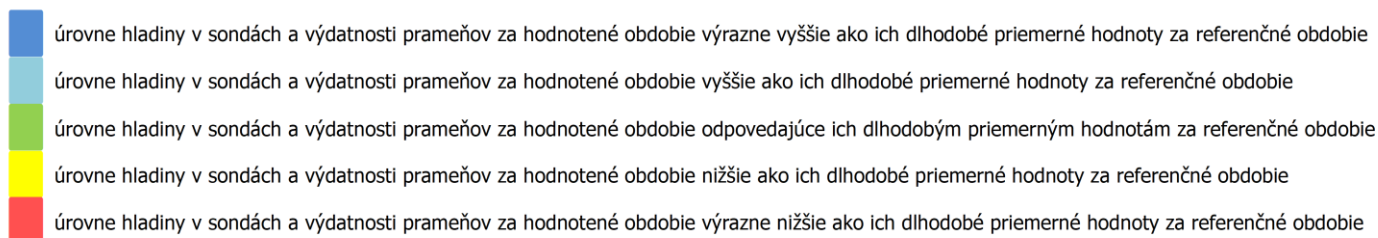


Obr. 3.2 Situačná mapa výskytu sucha za obdobie rokov 1991 – 2020.

Z mapy výskytu dopadov sucha za posledných 11 rokov (Obr. 3.3) vidíme, že oblasti náchylné na suchu sú totožné ako na obr. 3.2. V tomto období došlo k zintenzívneniu výskytu sucha, ktoré sa prejavilo poklesmi či už hladiny podzemnej vody alebo výdatností prameňov.



Obr. 3.3 Situačná mapa výskytu sucha za obdobie rokov 2011 – 2022.



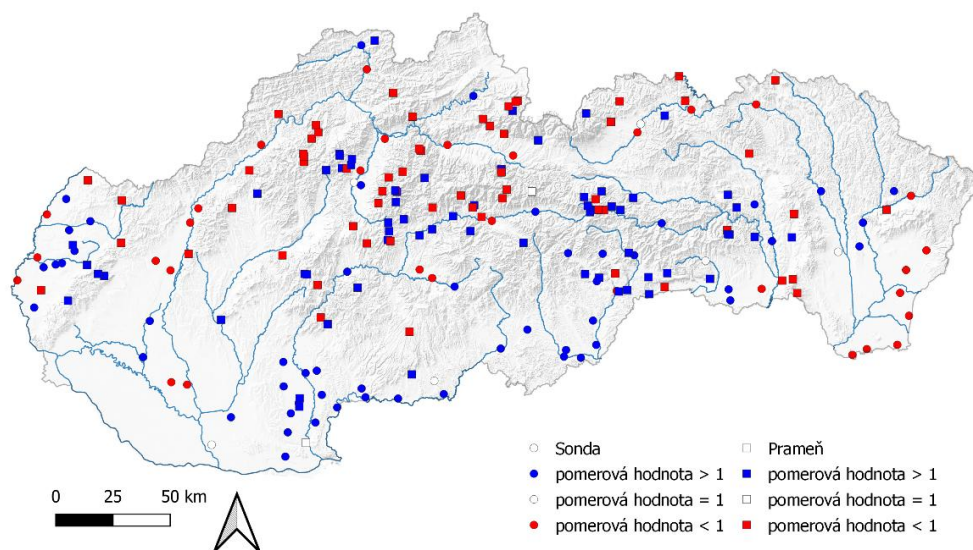
Obr. 3.4 Legenda k obrázkom 3.2 a 3.3

3.3 Hodnotenie pomerových hodnôt

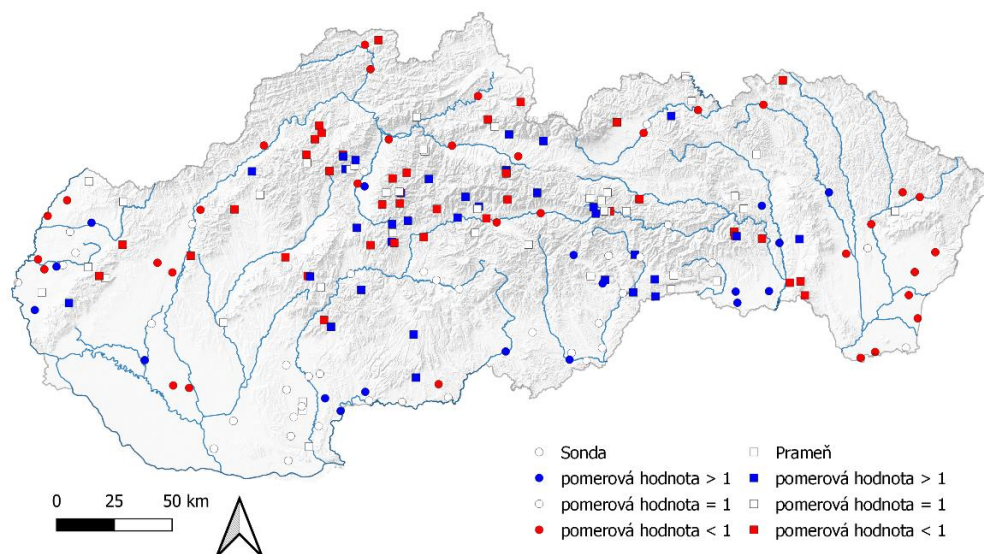
3.3.1 Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1981 – 2010 a 1991 – 2020

Porovnaním dlhodobých priemerných hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020 s používaným referenčným obdobím 1981 – 2010 na základe pomerových hodnôt je z obrázka 3.5 zrejmé, že prevládajú pomerové hodnoty väčšie ako 1. To znamená, že v období 1991 – 2020 došlo k nárastu priemerných hodnôt. Dlhodobé priemerné hodnoty či už hladiny v sondách alebo výdatnosť prameňov za obdobie 1991 – 2020 poklesli na krajnom západe a severozápade, v severných častiach Slovenska (oblasť Oravy, Kysuce a Spiša), v oblasti stredného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe (Obr. 3.5).

Na základe porovnania dlhodobých minimálnych hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov porovnávaných období je z mapy zrejmé, že na väčšine objektov boli minimálne hodnoty ustálené v porovnaní s predošlým obdobím. K poklesom dlhodobých minim došlo opäť hlavne na krajnom západe a severozápade Slovenska, v severných častiach stredného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe (Obr. 3.6).



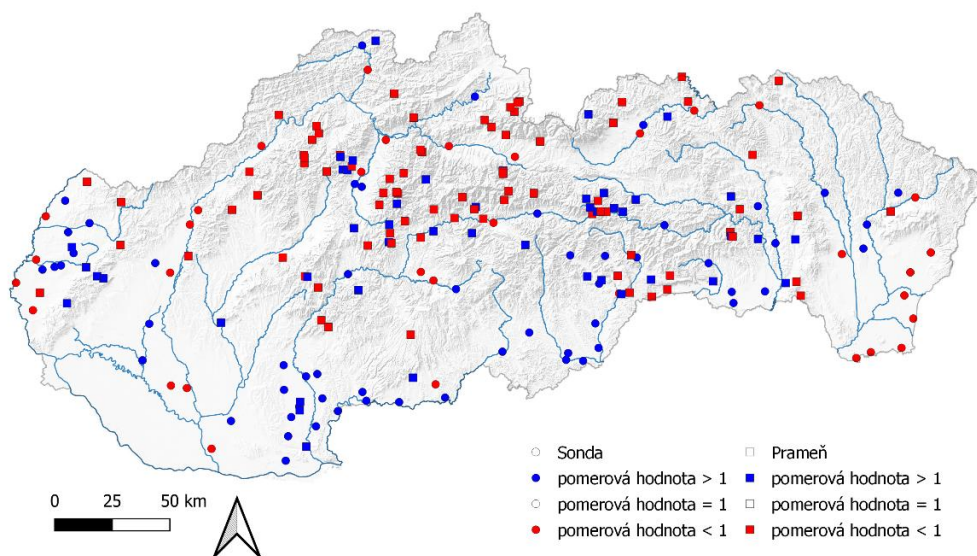
Obr. 3.5 Porovnanie dlhodobých priemerných hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie 1991 – 2020 s referenčným obdobím 1981 – 2010.



Obr. 3.6 Porovnanie dlhodobých minimálnych hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie 1991–2020 s referenčným obdobím 1981 – 2010.

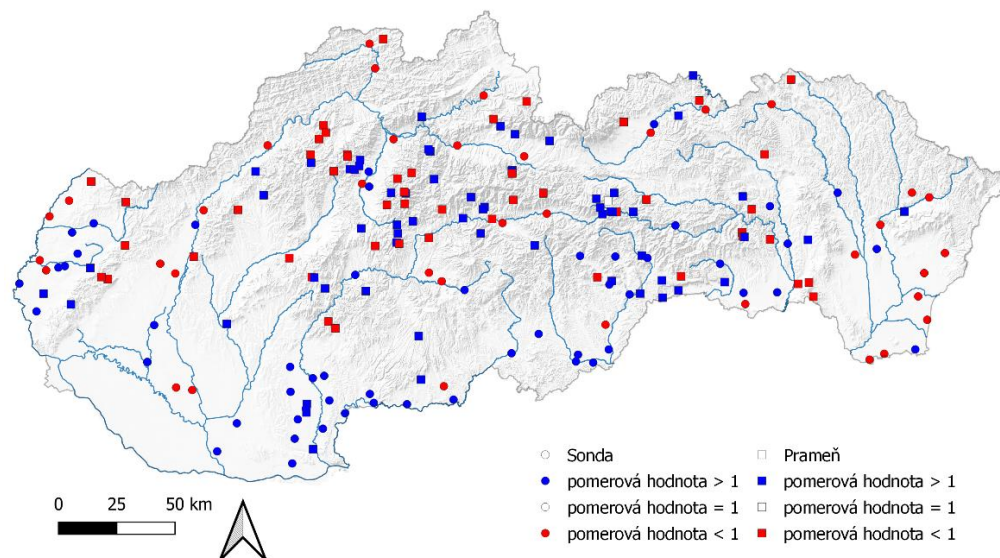
3.3.2 Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1981 – 2010 a 2011 – 2022

Porovnaním dlhodobých priemerných hodnôt za posledných 11 hydrologických rokov 2011 – 2022 s referenčným obdobím 1981 – 2010 prevládajú pomerové hodnoty menšie ako 1, z čoho vyplýva, že došlo v poslednom období 11 rokov k poklesu priemerných hodnôt. Tieto poklesy dlhodobých priemerov sa prejavili na krajnom západe, taktiež v severných častiach Slovenska, v časti stredného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe. Poklesy dlhodobých priemerov boli zaznamenané aj na juhu Slovenska (Obr. 3.7).



Obr. 3.7 Porovnanie dlhodobých priemerných hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobia 2011 – 2022 a 1981 – 2010.

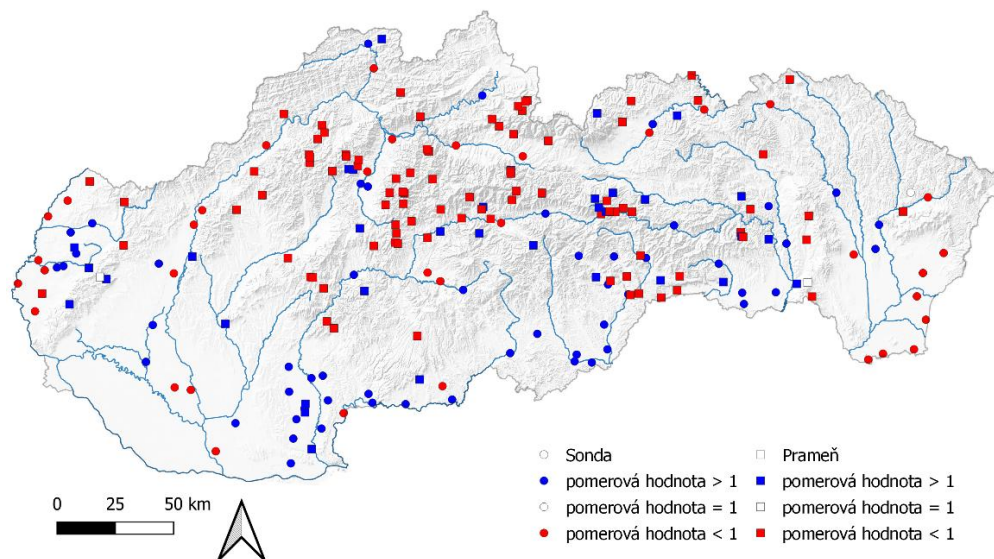
Pri porovnaní dlhodobých minimálnych hodnôt z celkového počtu hodnotených objektov prevláda nárast dlhodobých míním. Vo väčšine objektov bola teda pomerová hodnota väčšia ako 1. Dlhodobé minimálne hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za dané referenčné obdobie hydrologických rokov 1981 – 2010 a 2011 – 2022 opäť poklesli hlavne na krajnom západe, v severných častiach Slovenska, v oblasti stredného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe (Obr. 3.8).



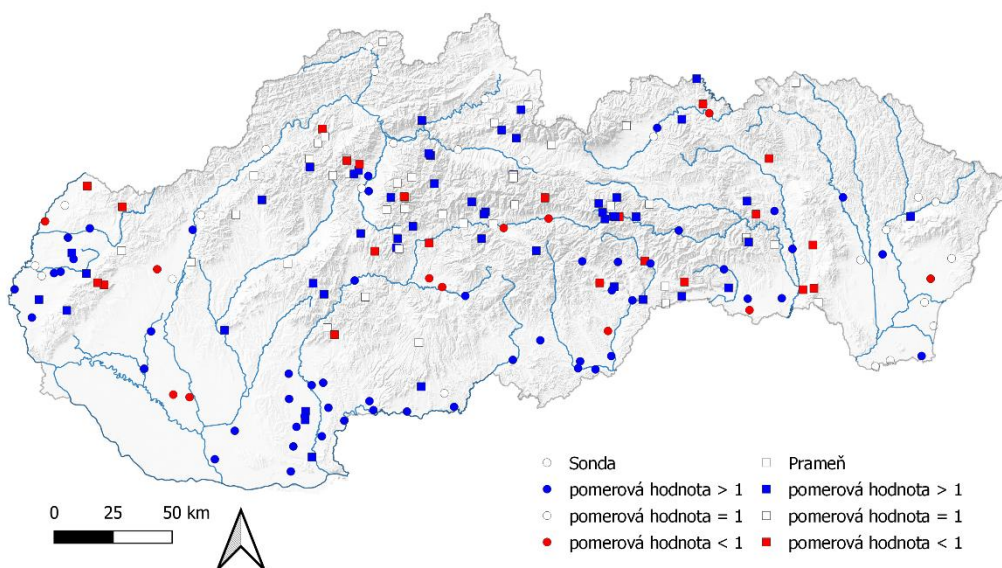
Obr. 3.8 Porovnanie dlhodobých minimálnych hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobia 2011 – 2022 a 1981 – 2010.

3.3.3 Porovnanie referenčných období hydrologických rokov 1991 – 2020 a 2011 – 2022

Pri porovnaní dlhodobých priemerných hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020 a 2011 – 2022 prevládali v rámci hodnoteného územia poklesy hodnôt. Tieto poklesy dlhodobých priemerných hodnôt sa prejavili na väčšine územia. Výrazné poklesy boli opätovne zaznamenané na krajnom západe, na severe a časti stredného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe (Obr. 3.9).



Obr. 3.9 Porovnanie priemerných dlhodobých hodnôt za obdobia 1991 – 2020 a 2011 – 2022.



Obr. 3.10 Porovnanie minimálnych dlhodobých hodnôt za obdobia 1991 – 2020 a 2011 – 2022.

Pri porovnaní dlhodobých minimálnych hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020 a 2011 – 2022 prevládal ustálený stav minimálnych hodnôt, dokonca došlo k nárastu miním oproti predošlému obdobiu. Poklesy miním sa prejavili zriedkavo hlavne na krajnom západe, časti stredného Slovenska a na juhu Slovenska (Obr. 3.10).

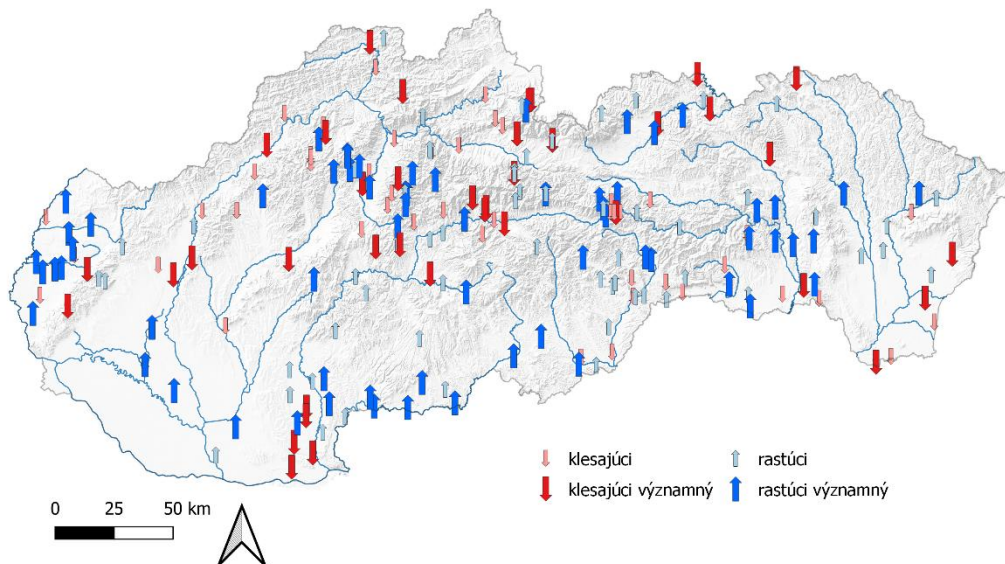
3.4 Hodnotenie trendov

3.4.1 Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 1981 – 2010

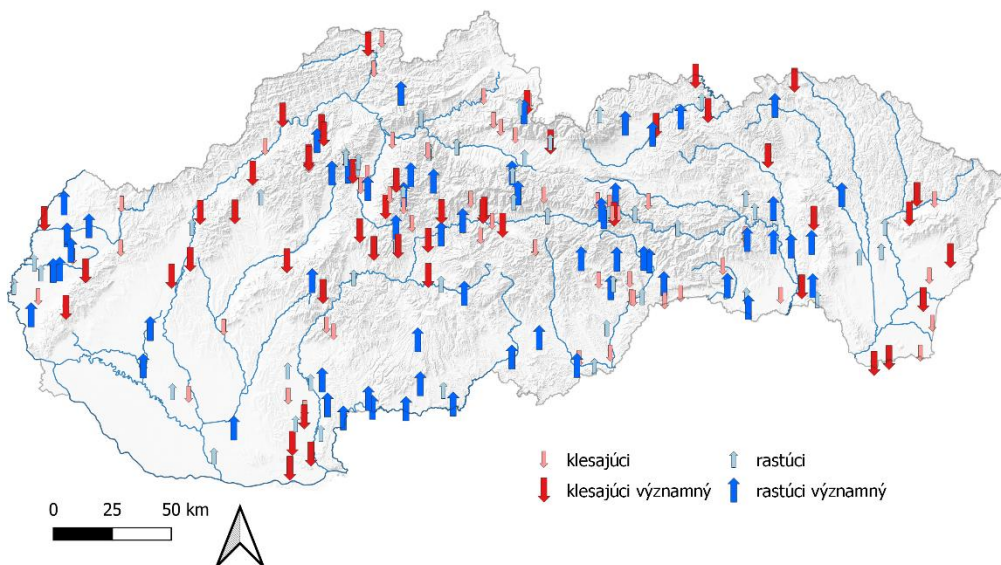
Významný pokles priemerných ročných hodnôt či už výdatností prameňov alebo hladiny podzemnej vody vyhodnotených za referenčné obdobie 1981 – 2010 sa výraznejšie prejavil v oblasti severného

Slovenska, strednej časti územia, na juhovýchode územia a na krajnom západe. Avšak môžeme skonštatovať, že v rámci celého územia prevláda významný vzostupný trend ročných priemerov (Obr. 3.11).

Z trendovej analýzy minimálnych ročných hodnôt je zreteľné, že ročné minimálne hodnoty majú významný klesajúci trend na severe a západe územia, najviac v strednej časti územia a na krajnom východe (Obr.3.12). Hoci sa významný pokles minimálnych hodnôt zvýšil oproti významným poklesom priemerných hodnôt, stále prevláda významný rastúci trend.



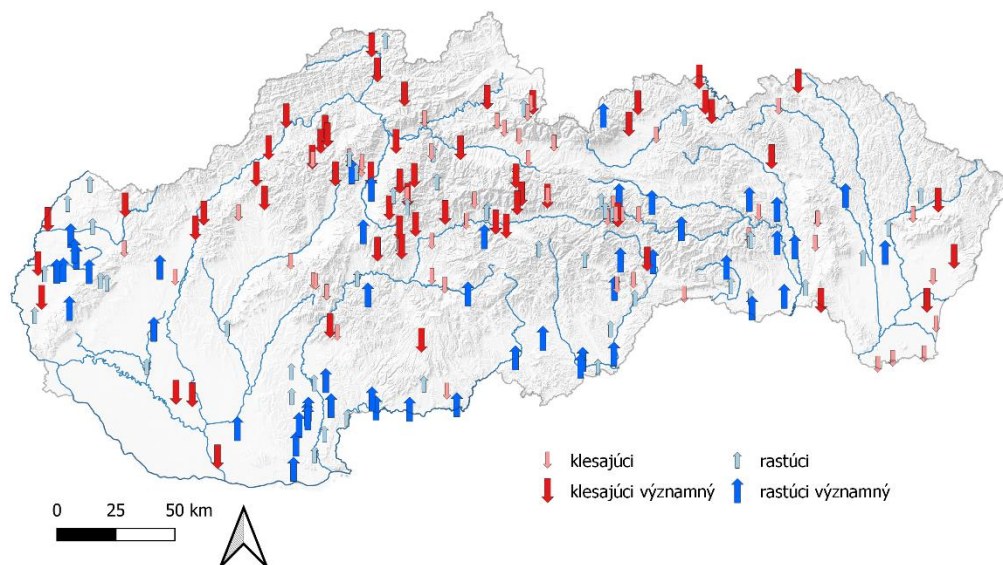
Obr. 3.4 Trendy dlhodobých priemerov za obdobie 1981 – 2010.



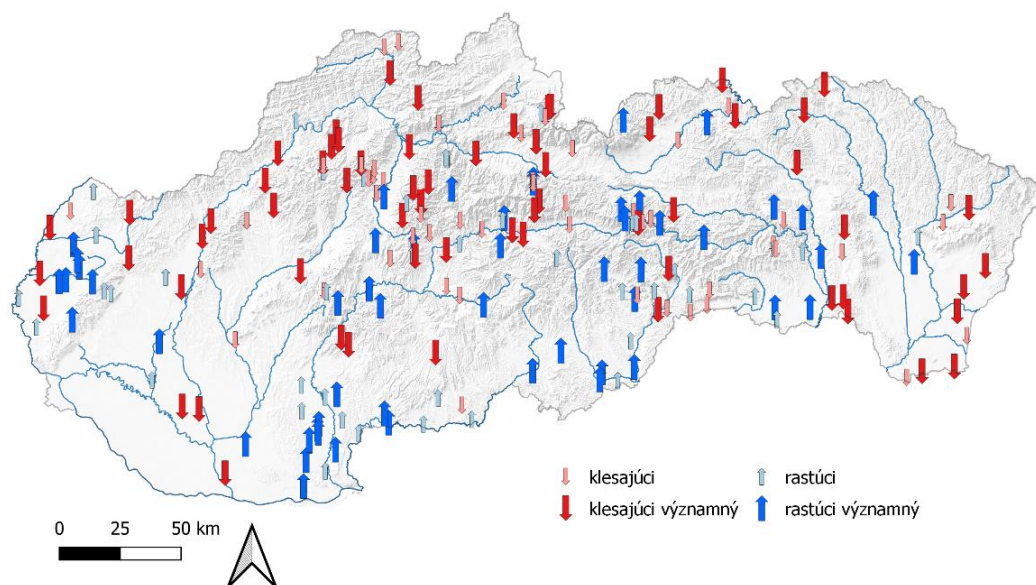
Obr. 3.12 Trendy ročných miním za obdobie 1981 – 2010.

3.4.2 Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020

Pri hodnotení trendov ročných priemerov hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020 prevláda významný klesajúci trend. Tento významný klesajúci trend sa prejavil na krajnom západe a severozápade, v páse od severného po stredné Slovensko, na severe východného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe územia (Obr. 3.13).



Obr. 3.13 Trendy ročných priemerov za obdobie 1991 – 2020.



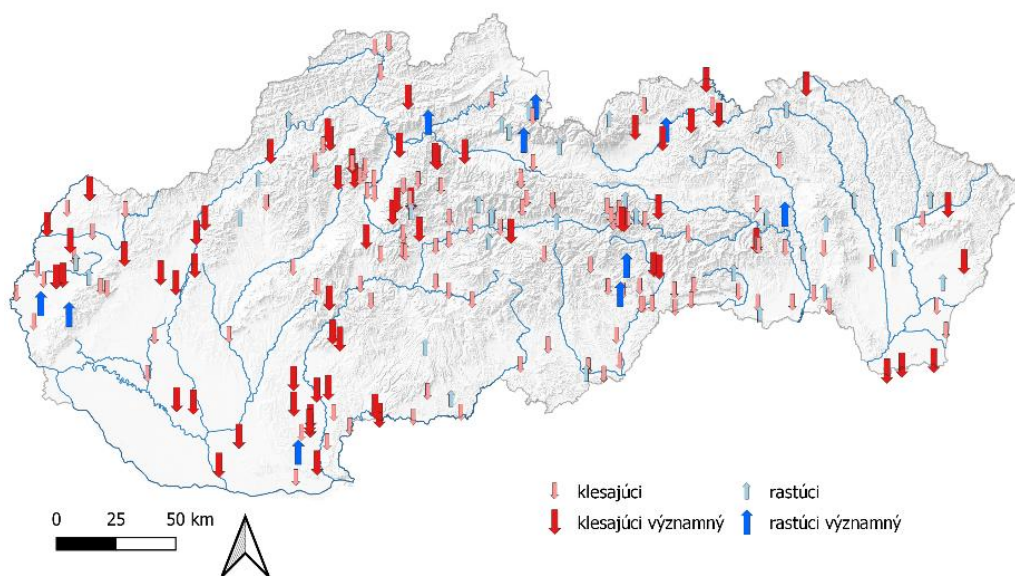
Obr. 3.14 Trendy ročných miním za obdobie 1991 – 2020.

Pri hodnotení trendov ročných miním za obdobie hydrologických rokov 1991 – 2020 bola situácia podobná ako pri hodnotení dlhodobých priemerov. Taktiež prevláda významný klesajúci trend minimálnej hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov. Tento významný klesajúci trend sa prejavil v západnej časti, v páse od severného po stredné Slovensko, na severe východného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe územia (Obr. 3.14).

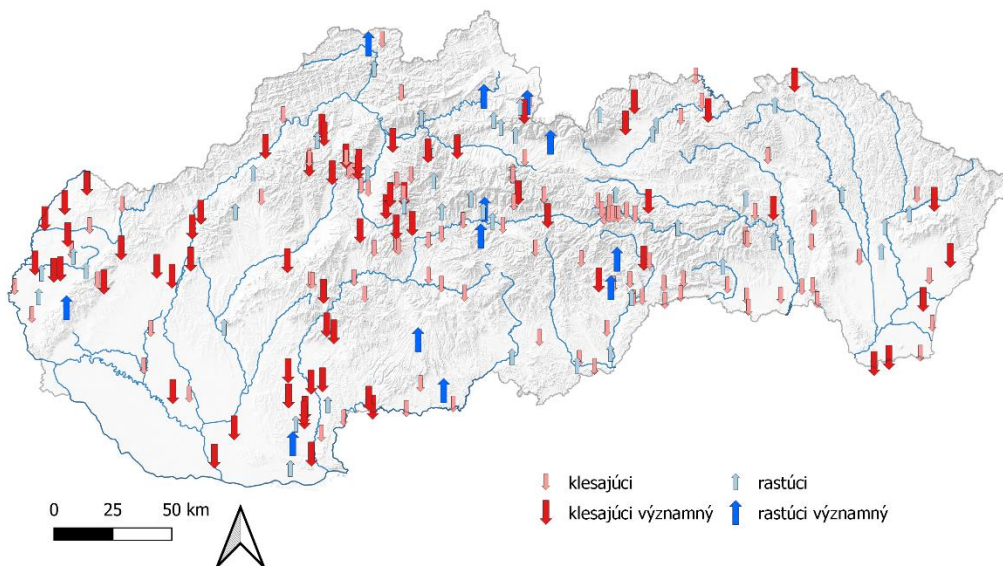
3.4.3 Hodnotenie trendov za obdobie hydrologických rokov 2011 – 2022

Z analýzy trendov ročných priemerov za obdobie posledných 11 hydrologických rokov 2011 – 2022 je zrejmé, že v rámci celého hodnoteného územia prevláda všeobecne klesajúci trend. Významné poklesy hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov sa prejavili v západnej časti, v páse od stredného po južnú časť stredného Slovenska, na severe východného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe územia (Obr. 3.15).

Tak, ako pri hodnotení trendov dlhodobých priemerov, aj pri hodnotení trendov priemerných ročných miním prevláda všeobecne klesajúci trend. Významný klesajúci trend minimálnych hodnôt hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov sa prejavil v západnej časti, v páse od stredného po južnú časť stredného Slovenska, na severe východného Slovenska a na juhovýchode a krajnom východe územia (Obr. 3.16).



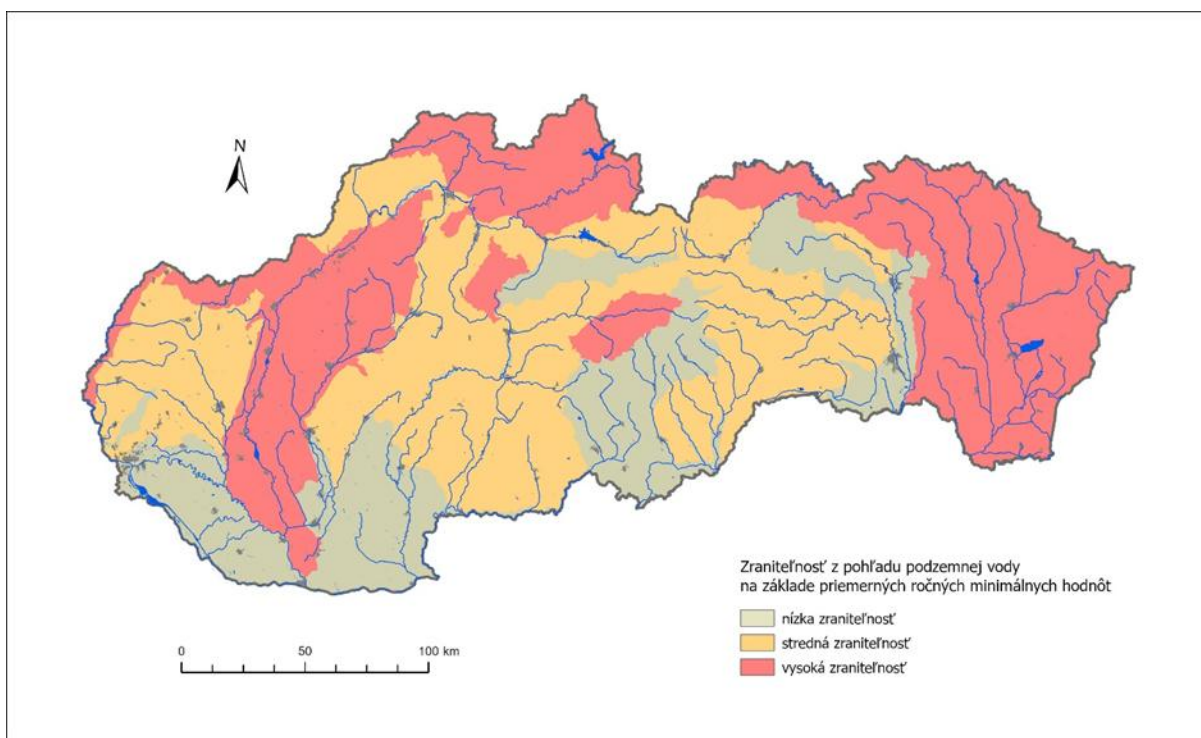
Obr. 3.5 Trendy ročných priemerov za obdobie 2011 – 2022.



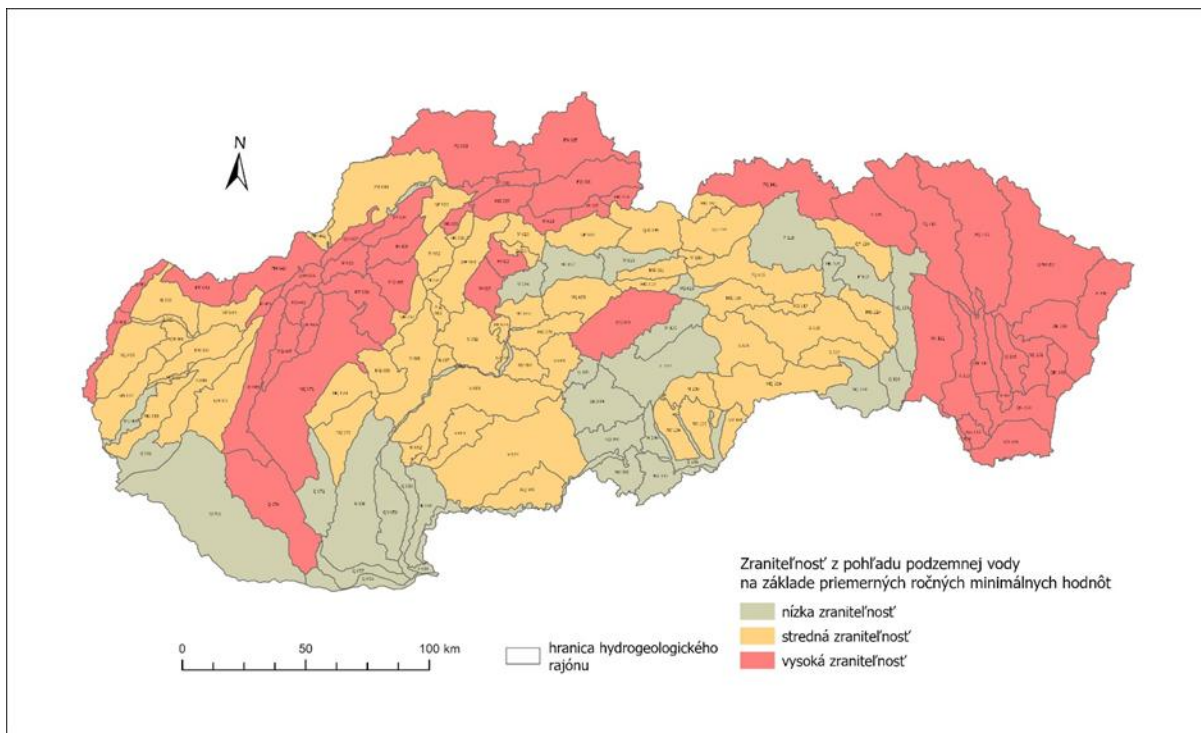
Obr. 3.16 Trendy ročných miním za obdobie 2011 – 2022.

3.5 Záver

V minulosti bývalo pravidlom, že jarné mesiace boli štandardne charakteristické dominantne nadpriemernými stavmi zdrojov podzemnej vody. Pozvoľná infiltrácia vody z topiaceho sa snehu zabezpečuje veľmi efektívne prirodzené dopĺňanie hydrogeologických štruktúr. Zdroje podzemnej vody by mali byť v tomto období vo všeobecnosti na nadpriemerných hodnotách a vodohospodári v očakávaní bezproblémového vykrytia zásobovania obyvateľstva pitnou vodou v suchých letných mesiacoch. V posledných rokoch to tak nie je, v dôsledku výskytu teplých zím s nedostatočnou snehovou pokrývkou, prípadne jej absenciou v nížinných polohách, a zároveň skoršieho topiaceho sa snehu nedochádza k vytváraniu dostatočného množstva zásob podzemnej vody. Je to výrazne viditeľné na hodnotenom období 2011 - 2020, v ktorom na hodnotených zdrojoch prevláda poklesový trend priemerných, ale aj minimálnych ročných hodnôt. Okrem klimatických činiteľov pri tvorbe zásob podzemnej vody zohráva dôležitú úlohu aj geologická stavba územia a schopnosť jednotlivých hornín infiltrovať vodu až do zvodneného horizontu. Z tohto dôvodu mapa rizika vzhľadom na vývoj minimálnej hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov za obdobie 1991 - 2020 ako výsledná mapa vznikla spojením všetkých hodnotených výsledkov aj s ohľadom na geologickú stavbu územia (Obr. 3.17; 3.18). Táto mapa označuje úroveň zraniteľnosti podzemnej vody na Slovensku, ktorá je rozdelená na 3 kategórie (málo zraniteľné, stredne zraniteľné a silno zraniteľné). Výsledné kategórie predstavujú vnútornú zraniteľnosť systémov podzemnej vody a ich citlivosť alebo odolnosť voči výskytu sucha v podzemnej vode. Medzi silno zraniteľné oblasti podzemnej vody z hľadiska minimálnych hodnôt patria sever a východ Slovenska v povodiach Bodrogu, Popradu; v rámci stredného Slovenska je to sever v povodiach horného Váhu (Orava, Kysuce) pozdĺž stredného a dolného Váhu a na krajnom západe. Medzi stredne zraniteľné oblasti boli zaradené na západe časť stredného Váhu, stredná a južná časť Slovenska v rámci povodí Nitry, Hrona, Ipľa a časti Hornádu. Dolného Váhu a na krajnom západe. Medzi stredne zraniteľné oblasti boli zaradené na západe časť stredného Váhu, stredná a južná časť Slovenska v rámci povodí Nitry, Hrona, Ipľa a časti Hornádu.



Obr. 3.6 Mapa zraniteľnosti vzhľadom na vývoj minimálnej hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov.



Obr. 3.18 Mapa zraniteľnosti vzhľadom na vývoj minimálnej hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov v jednotlivých hydrogeologických rajónoch.

3.6 Literatúra

Kullman E (2014) História štátneho monitorovania kvantity podzemných vôd na Slovensku a jeho súčasný význam pre indikovanie dopadu sucha na množstvo podzemných vôd. Podzemná voda, 2014, 20(1), SAH BA, str. 77-86.

Kulmann E, et al. (2011; 2012) Hydrologická ročenka, Podzemné vody 2011; 2012, SHMÚ, 2012; 2013.

Chalúпка J, Kulmann E (1992) Príspevok k posúdeniu trvalého prírodného poklesu výdatností zdrojov podzemných vôd vplyvom klimatických faktorov. In : Kullman E., Hanzel V (Eds). Zborník prác so sympózia Využívanie podzemných vôd vo vzťahu k ekológii. Rajecké Teplice 9 , Bratislava, SAH 1992, 95-103.

Burger F (2005) Koncept a identifikácia hydrologického sucha – deficitu podzemnej vody. Acta Hydrologica Slovaca. ISSN 1335-6291, 2005, roč. 6, č. 1, s. 3-10.

Brušková V (2007) Hodnotenie sucha v rozpätí rokov 1975-2004 na hornom toku Torysy. In.: Balintová, M, Zeleňáková, M (Eds.): Zborník príspevkov z VIII. vedeckej konferencie STU, Košice. 28. – 30. 5. 2007. Košice, SvF TU, 2007. ISBN 978-80-8073-791-7, s. 29-34.

Slivová V. (2007) Analýza a modelovanie hydrologického sucha. Dizertačná práca, Bratislava STU, 2007. 168 s.

Fendeková M, Fláková R., Slivová V, Ženišová Z, Škoda P, Demeterová B, Fendek M, Gavurník J, Némethy P, Krčmář D (2009) Influence of hydrological drought on surface and groundwater quantitative and qualitative parameters in Torysa River catchment, Eastern Slovakia. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. ISSN 1644-0870, 2009, č. 436, s. 109-114.

Fendeková M, Ženišová Z, Demeterová B, Fendek M, Fláková R, Gavurník J, Krčmář D, Macura V, Némethy P, Slivová V (2010) Hydrogeologické sucho. SAH, Bratislava 2010. Monografia ISBN 978-80-969342-7-0, s. 190.

Fendeková M, Fendek M (2012) Groundwater drought in the Nitra river basin – Identification and classification. Journal of Hydrology and Hydromechanics., ISSN 0042-790X, 2012, vol. 60, no. 3, s. 185-193.

Stojkovová D (2013) Hodnotenie výskytu sucha v hladinovom režime podzemných vôd v povodí Laborca. Podzemná voda. ISSN 1335-1052, 2013, roč. 19, č. 2, s. 91-106.

Kullman E, Gavurník J, Paľušová Z, Bodáč B (2015) Zhodnotenie roka 2014 z pohľadu podzemných vôd. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322 886X, 2015, roč. 58, č. 5-6, s. 17-19.

Slivová V, Kullman E (2016) Zhodnotenie hydrologického roka 2015 z pohľadu podzemných vôd. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2016, roč. 59, č. 3-4, s. 17-19.

Vrablíková D, Fendeková M (2016) Evaluation of drought occurrence in spring yield of the Nízke taty Mts. In: Joaquín Andreu, Abel Solera, Javier – Paredes Arquiola, David Haro-Monteagudo and Henny A. J. van Ianen eds.: Droughts: Research and Science – Policy Interfacing. CRC Press, Taylor and Francis group, Balkema, London, 514 s. ISBN 978-1-138-02779-4.

Vrablíková D (2017) Regionalizácia sezónnosti výdatnosti prameňov. Dizertačná práca UK Bratislava, 110 s.

Slivová V, Kullman E, Gavurník J (2016) Analýza výskytu sucha v podzemnej vode v období hydrologických rokov 2013, 2014 a 2015. Podzemná voda. ISSN 1335 – 1052, 2016, roč. 22, č. 1, s. 40-51.

Fendeková M, Danáčová Z, Gauster T, Labudová L, Fendek M, Horvát O (2017a) Analysis of hydrological drought parameters in selected catchments of the southern and eastern Slovakia in the years 2003, 2012 and 2015. Acta Hydrologica Slovaca, 18, 2, 135-144.

Fendeková M, Fendek M, Danáčová Z, Labudová L, Slivová V (2017b) Prejavy sucha v povrchových a podzemných vodách vybraných slovenských povodí v suchých rokoch 2003, 2012 a 2015. 15. hydrogeologický kongres: Podzemná voda a spoločnosť. Brno: PŘF MU, ČAH, ČAIG, 2017, ISBN 978-80-903635-5-7, 48-51.

Fendeková M, Gauster T, Slivová V, Vrablíková D, Fendek M, Labudová L, Danáčová Z (2017c) Surface and groundwater drought in the Kysuca river basin in the three driest years of the 21st century. Podzemná voda, 23, 1, 25-37.

Fendeková M, Poórová J, Slivová V (Eds.) (2017) Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja. Monografia, UK Bratislava, ISBN 978-80-223-4398-5, 298.

Slivová V, Kullman E (2018) História zavedenia operatívneho monitorovania podzemnej vody na SHMÚ. Zborník 19. Slovenská hydrogeologická konferencia, recenzovaný príspevok, Nimnica, SAH Bratislava 2018, ISBN 978-80-972651-1-3, 22-29 s.

Kullman E, Slivová V, Paľušová Z (2019) Mimoriadne leto (júl – august 2018) a jeho dopad na podzemnú vodu Slovenska. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2019, č. 1-2, s. 21-25.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2019) Zhodnotenie kalendárneho roka 2018 z pohľadu podzemnej vody. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2019, č. 5-6, s. 20-27.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2020) Zhodnotenie kalendárneho roka 2019 z hľadiska podzemnej vody. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2020, č. 5-6, s. 18-22.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2021) Zhodnotenie hydrologického roka 2020 z hľadiska podzemnej vody. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2021, č. 3-4, s. 25-30.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2022) Hydrologický rok 2021 z hľadiska podzemnej vody. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2022, č. 3-4, s. 12-18.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2023) Hydrologický rok 2022 v podzemnej vode. Meteorologický časopis. ISSN 1335-339X, 2023 roč. 26, č. 1, s. 63-66.

Slivová V, Kullman E, Paľušová Z (2024) Prehľad situácie v podzemnej vode v hydrologickom roku 2023. Meteorologický časopis. eISSN 2730-1028, 2024 roč. 27, č. 1, s. 63-66.

Slivová V, Radič S, Paľušová Z (2025) Zhodnotenie hydrologického roka 2024 v podzemnej vode. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322-886X, 2025, č. 3-4, s. 20-24.

Tahroudi N Z, Ghasemiech H, Abdollahi K (2019) The qualitative and quantitative trend analysis of groundwater in Jiroft plain using Modified Mann-Kendall Test. Desert Ecosystem Engineering Journal, DEEJ (2019) 8 (4) 31-50.

4 Riziko výskytu sucha na Slovensku – syntéza mapových výstupov

Lotta Blaškovičová, Katarína Jeneiová, Katarína Kotríková, Lívia Labudová, Katarína Mikulová,
Jana Poórová, Valéria Slivová

Úvod

Zložky krajinnej sféry, ako atmosféra, hydrosféra, pedosféra, ale aj geologické podložie a vegetácia, nefungujú oddelene, ale sa navzájom v rôznej miere ovplyvňujú. Pri hodnotení rizika a zraniteľnosti určitého regiónu suchom je preto dôležité brať do úvahy viacero aspektov, ktoré môžu výskyt a intenzitu sucha ovplyvniť. Od toho sa následne odvíjajú aj možné negatívne dopady sucha na rôzne ekonomické sektory, napríklad poľnohospodárstvo, lesníctvo či vodné hospodárstvo.

Sucho ako prírodný jav je pomerne komplexný problém a jeho definícia sa líši od skúmanej oblasti výskumu, v rámci ktorej je hodnotené. V Slovenskom hydrometeorologickom ústave monitorujeme a hodnotíme zvlášť meteorologické, pôdne a hydrologické sucho. Obdobne, aj v tejto štúdii bolo v prvom kroku samostatne hodnotené riziko výskytu meteorologického sucha, hydrologického sucha ovplyvňujúceho povrchové toky a hydrologického sucha ovplyvňujúceho podzemné vody a výdatnosť prameňov. V nasledujúcej časti sa dané jednotlivé hodnotenia synteticky spájajú s cieľom zdôrazniť ohrozenie regiónov, ktoré sa negatívne prejavujú nielen v jednej kategórii hodnotenia, ale hneď vo viacerých aspektoch. Predkladané mapové výstupy sú preto určené pre rôzne aplikácie v rámci vodného hospodárstva na Slovensku.

4.1 Použité údaje a metodika

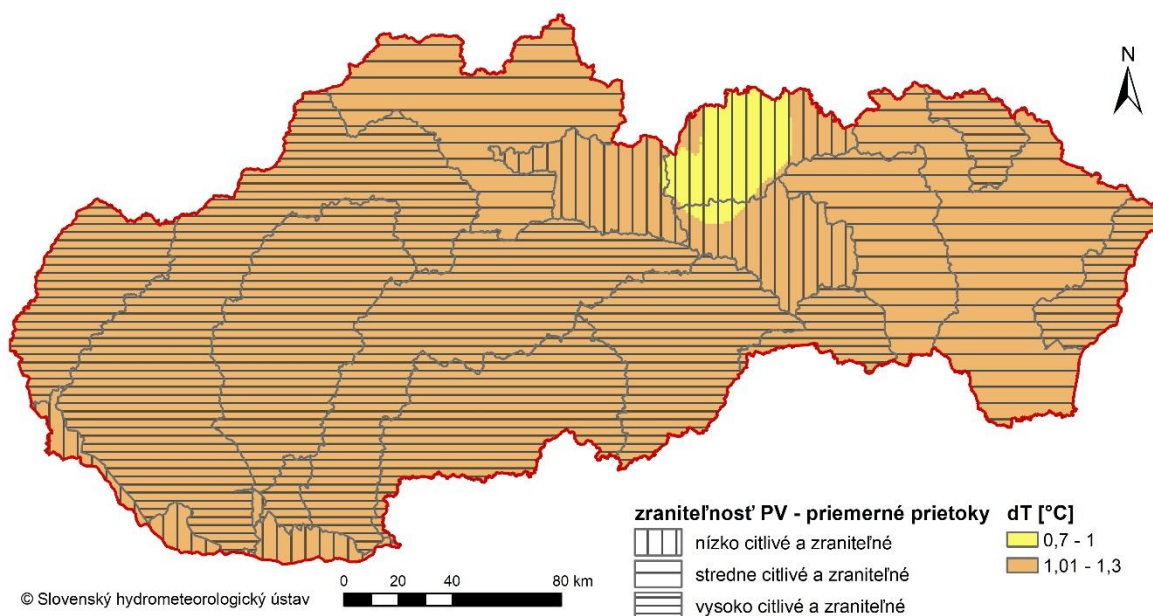
Pri syntéze výstupov jednotlivých analýz zraniteľnosti územia vzhľadom na výskyt rôznych typov sucha na Slovensku boli využité vrstvy obsahujúce informáciu o zraniteľnosti územia z hľadiska (ďalej používané ako kategória) výskytu hydrologického sucha v povrchových vodách, v podzemných vodách, ako aj mapa rizika výskytu meteorologického sucha. Pri povrchových vodách sa nezohľadňovalo len riziko zraniteľnosti vzhľadom na minimálne prietoky, ale aj na priemerné prietoky. Pre ucelenejší obraz o priereze zmien medzi klimatologickými faktormi, ktoré vplývajú na hydrologický režim povrchových vôd v jednotlivých povodiach a hydrologický režim podzemných vôd v jednotlivých hydrogeologických rajónoch a zraniteľnými územiaми na základe vyhodnotených hydrologických charakteristík, sme vytvorili mapy zohľadňujúce ich možnú interakciu v rámci povodí a hydrogeologických rajónov. Metodika tvorby jednotlivých vrstiev je detailne popísaná v predchádzajúcich analytických kapitolách tohto zborníka.

Z hľadiska metodiky použitej v tejto kapitole je potrebné dodať, že posledná kategória pri mapách zmeny ročného úhrnu zrážok pokrýva širší interval hodnôt než prvé tri. Je to z dôvodu, že pri posudzovaní zraniteľnosti územia vzhľadom na nedostatok zrážok nie je dôležité detailné členenie vysokého nárastu ročného úhrnu zrážok. Vlahová bilancia je totiž pri hodnotách nad 60 mm výrazne zlepšovaná, a teda zraniteľnosť územia je na celom tomto území nízka. Z hľadiska účelu využitia výsledných máp je dôležité jemnejšie rozdelenie hodnôt v dolnej časti spektra.

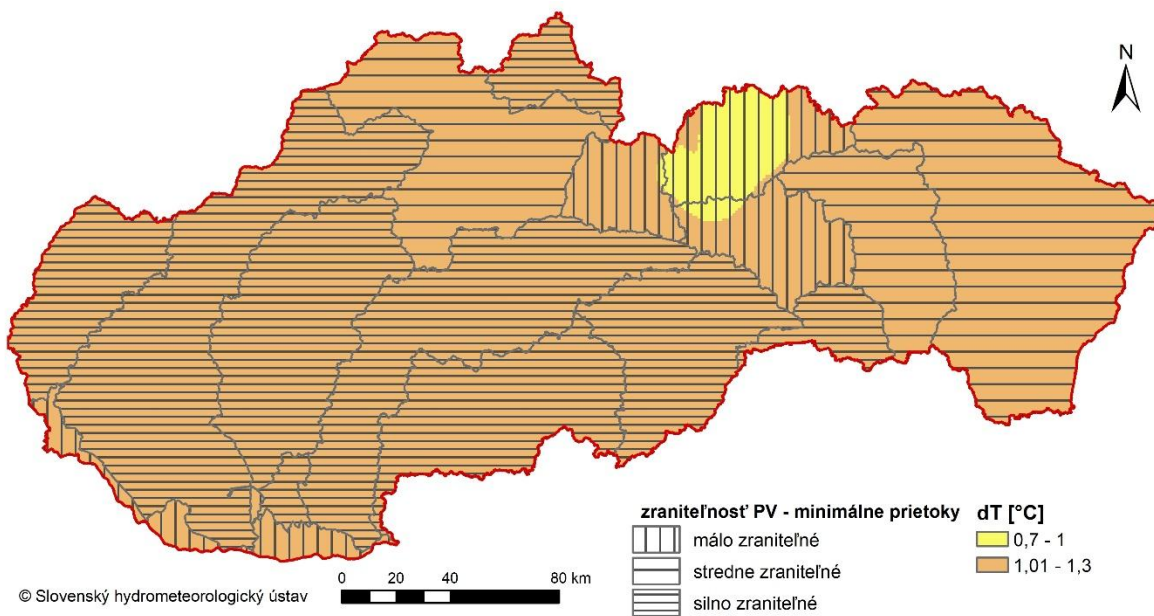
Výsledné mapy tak môžu byť použité v rámci rôznych hydrologických aplikácií a vodného plánovania. Umožňujú totiž detailnejší pohľad na zraniteľné povodia a hydrogeologické rajóny so zreteľom na možné príčiny a vplyvy klimatologických charakteristík na ich území.

4.2 Zmeny priemernej ročnej teploty vzduchu a ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie v zraniteľných územiach povrchových a podzemných vôd

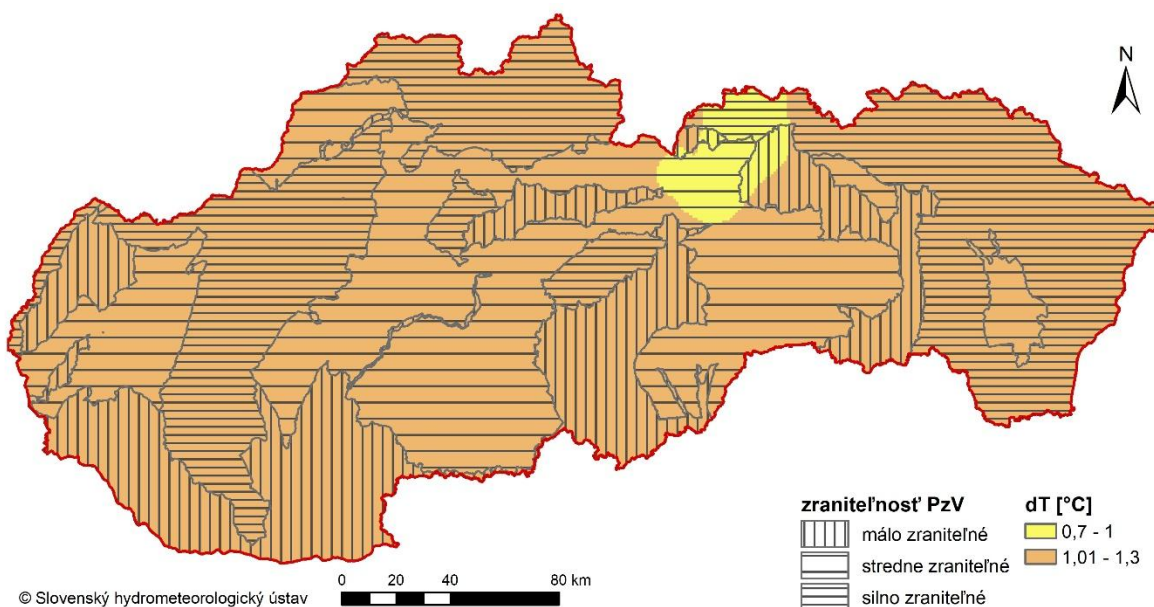
Vzhľadom na plošne jednotný trend nárastu priemernej ročnej teploty vzduchu, nenastáva rozdiel medzi rizikovými povodiami (Obr. 4.1 a Obr. 4.2) a hydrogeologickými rajónmi (Obr. 4.3) vplyvom zohľadnenia rastúcej teploty vzduchu na úrovni roka. Jedinou výnimkou môže byť horný Spiš v povodí Dunajca a Popradu, kde je tempo nárastu o niečo nižšie než na zvyšku Slovenska. Nakoľko z hľadiska povrchových tokov ide o nízko citlivé a zraniteľné územie, nezohráva to žiadnu významnejšiu rolu vo výslednom hodnotení daného regiónu. Pri hodnotení podzemných vôd sa na hornom Spiši v povodí Dunajca a Popradu nachádzajú stredne až silno zraniteľné regióny. Nižšie tempo rastu priemernej ročnej teploty vzduchu tak môže do istej miery zmierňovať vysoké riziko sucha, a tým aj možné celkové negatívne dôsledky v danej oblasti. Je potrebné však pripomenúť, že rozhodujúcejší vplyv ako teplota vzduchu majú na riziko výskytu intenzívneho hydrologického sucha atmosférické zrážky.



Obr. 4.1 Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na priemernú vodnosť.

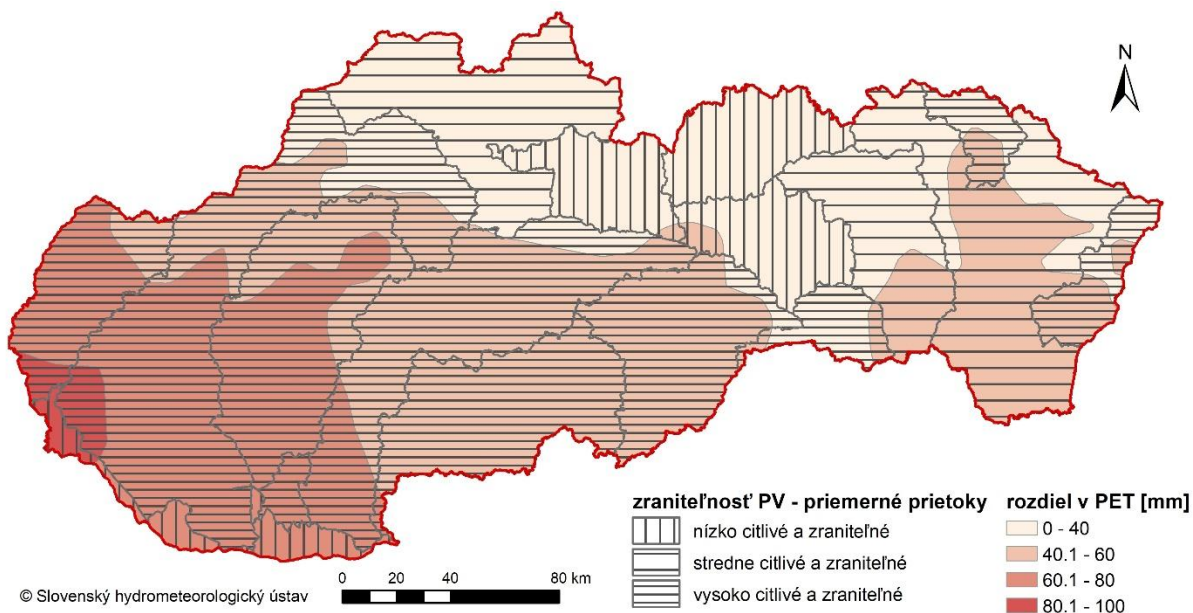


Obr. 4.2 Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na malú vodnosť.

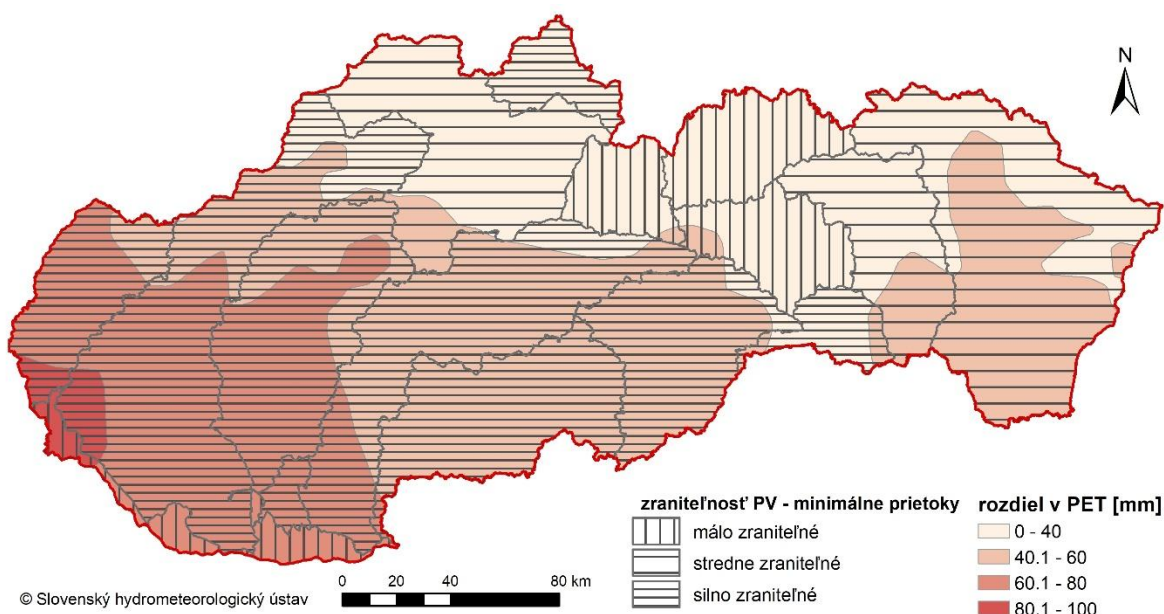


Obr. 4.3 Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska podzemných vôd.

Rastúci trend priemernej ročnej teploty vzduchu sa prenáša aj do rastúceho trendu potenciálnej evapotranspirácie. Oblasť s výraznejšie rastúcou ročnou sumou PET sa do veľkej miery prekrývajú s vysoko citlivými a zraniteľnými povodiami, či už na základe priemernej (Obr. 4.4) alebo malej vodnosti (Obr. 4.5). Z tohto pohľadu najzraniteľnejšími sú povodia Moravy (na slovenskom území), dolného Váhu, dolného Hrona a takmer celé povodie Nitry.



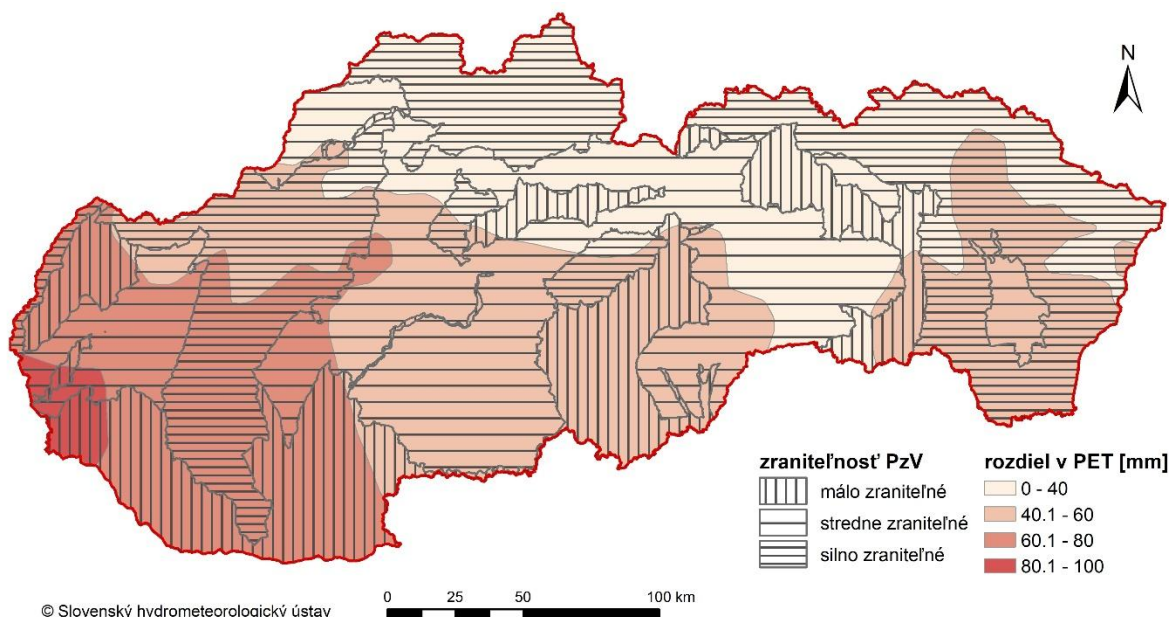
Obr. 4.4 Zmena ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na priemernú vodnosť.



Obr. 4.5 Zmena ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na malú vodnosť.

Pri kombinácii mapy zmien ročnej sumy PET a mapy zraniteľnosti z hľadiska hydrogeologického sucha (Obr. 4.6) sa ako najrizikovejším javí územie v dolnej časti povodia Váhu a povodia Moravy v hraničnej oblasti s Českom, kde silne zraniteľné hydrogeologické územie dosiahlo nárast ročnej

sumy PET v intervale 60 – 80 mm. Pomerne rizikovým je aj územie v dolnej časti povodia Bodrogu, kde vzrástla potenciálna evapotranspirácia v ročnej sume o 40 – 60 mm.

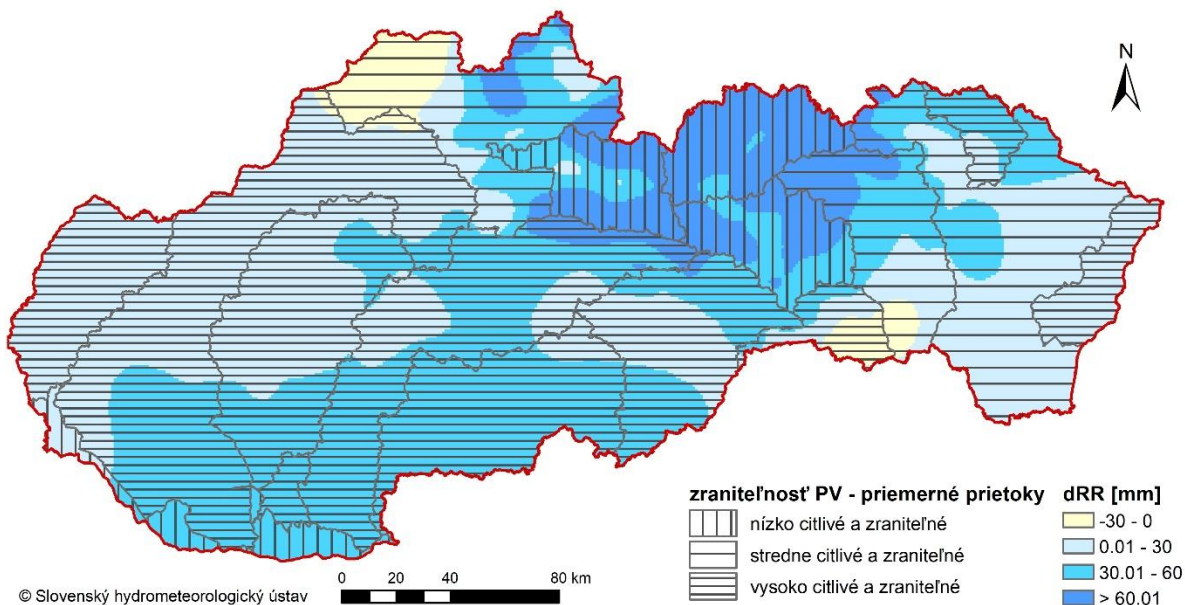


Obr. 4.6 Zmena ročnej sumy potenciálnej evapotranspirácie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska podzemných vôd.

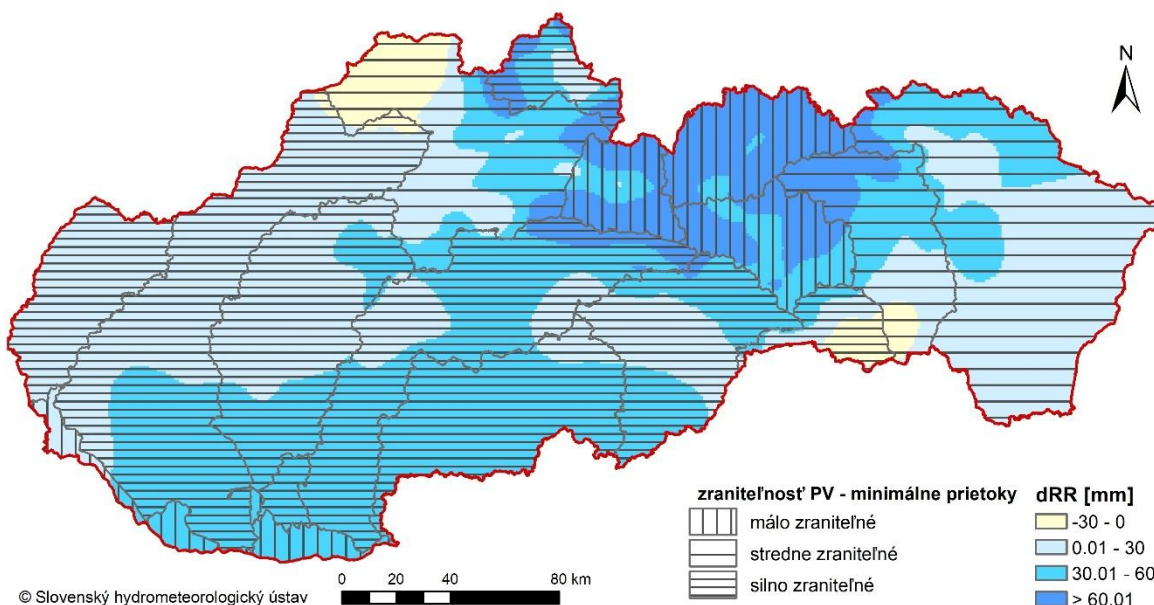
4.3 Zmeny ročných úhrnov atmosférických zrážok v zraniteľných územiach

Pri kombinácii mapy zmeny ročného úhrnu atmosférických zrážok a zraniteľnosti území z hľadiska priemernej (Obr. 4.7), ako aj malej vodnosti (Obr. 4.8) je evidentný vysoký vplyv vývoja množstva zrážok na povrchové toky. Čiastkové povodia Popradu, Hnilca a horného Váhu sú totiž oblasťami s najvýraznejším nárastom ročného úhrnu zrážok. Povodia, ktoré sú označené ako vysoko citlivé a zraniteľné, zaznamenali podstatne nižší nárast úhrnu zrážok, ktorý pravdepodobne nedokáže kompenzovať narastajúce požiadavky na vodu dostupnú pre evapotranspiráciu. Zároveň vzhľadom na polohu týchto povodí rastie aj miera vplyvu zmeny ročného chodu a intenzity zrážok, ktoré boli popísané v hodnotení rizika výskytu meteorologického sucha.

Obzvlášť zraniteľným sa pri tejto kombinácii máp javí povodie Bodvy, ktoré ako jedno z mála území zaznamenalo veľmi mierny pokles v ročnom úhrne zrážok a zároveň patrí medzi silno zraniteľné a vysoko citlivé územia z hľadiska povrchových vôd. Toto konštatovanie je potvrdené aj príkladom z operatívnej praxe, kedy počas extrémneho a dlhotrvajúceho sucha v roku 2022 tok Bodvy vo vodomernej stanici Moldava nad Bodvou úplne vyschol a prietok rovný $0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bol dosahovaný počas 57 dní (obdobne to bolo aj v roku 1993).



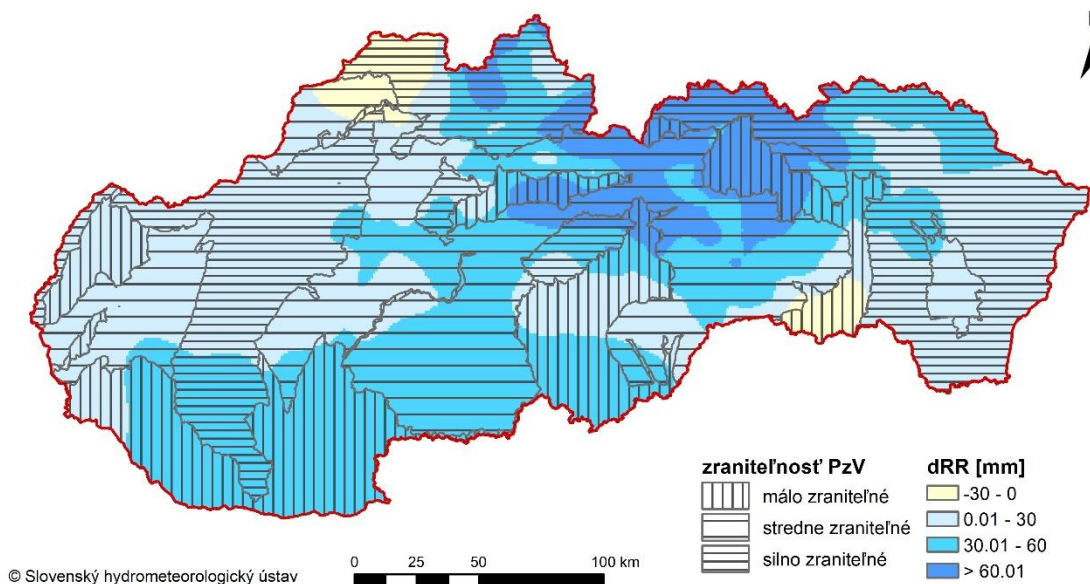
Obr. 4.7 Zmena ročného úhrnu atmosférických zrážok medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na priemernú vodnosť.



Obr. 4.8 Zmena ročného úhrnu atmosférických zrážok medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na malú vodnosť.

Veľmi komplikovaný pohľad sa vytvára pri kombinácii mapy zmeny ročného úhrnu atmosférických zrážok a zraniteľnosti území z hľadiska podzemných vôd (Obr. 4.9). Do veľkej miery tu prevláda kombinovaný vplyv zmeny chodu zrážok počas roka (vrátane výskytu intenzívnych dažďov) a geologického podložia, ktoré v rôznej miere dokáže akumulovať zrážkovú vodu v podzemí a vytvárať tak zásoby podzemnej vody pre obdobia s nižšími úhrnmi. Práve tento kombinovaný vplyv prevláda nad samotným vplyvom rastúceho trendu úhrnu zrážok. Dôkazom sú oblasti s flyšovým

podloží na severe Slovenska (napr. Orava v hornej časti povodia Váhu, Zamagurie v povodí Popradu, severná časť Ondavskej vrchoviny v povodí Bodrogu), kde aj napriek pomerne výraznému nárastu zrážok boli územia vyhodnotené ako silne zraniteľné z hľadiska podzemných vôd. Tieto výsledky sú obzvlášť dôležité pri plánovaní zásobovania obyvateľstva pitnou vodou, predovšetkým pri budovaní jej infraštruktúry.



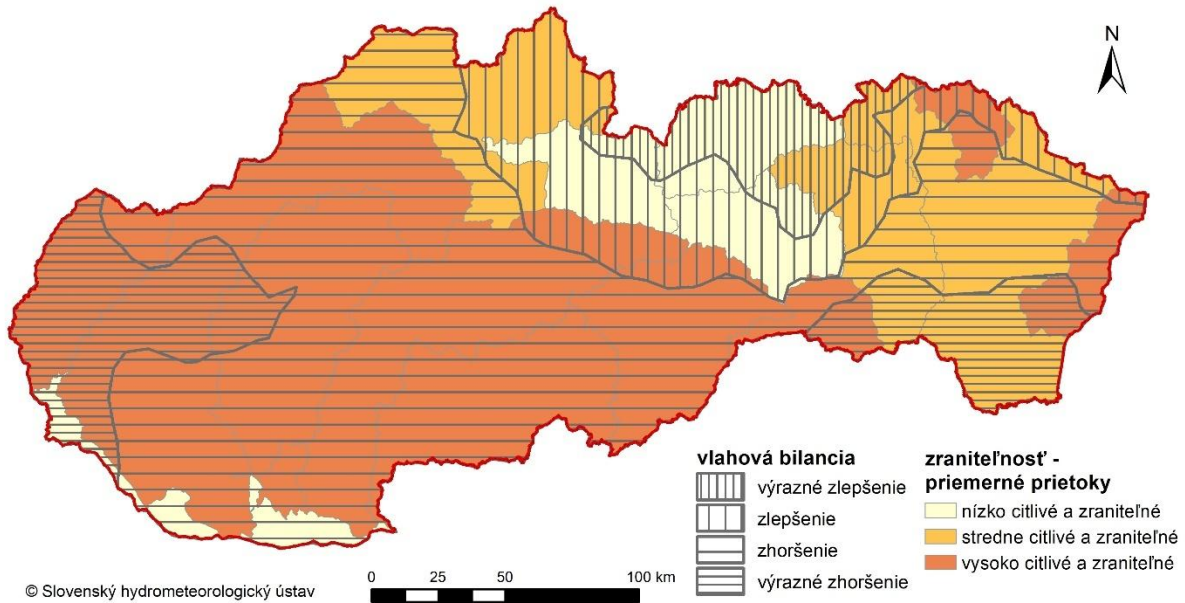
Obr. 4.9 Zmena ročného úhrnu atmosférických zrážok medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska podzemných vôd.

4.4 Zmena atmosférickej vlhovej bilancie na Slovensku v zraniteľných územiach

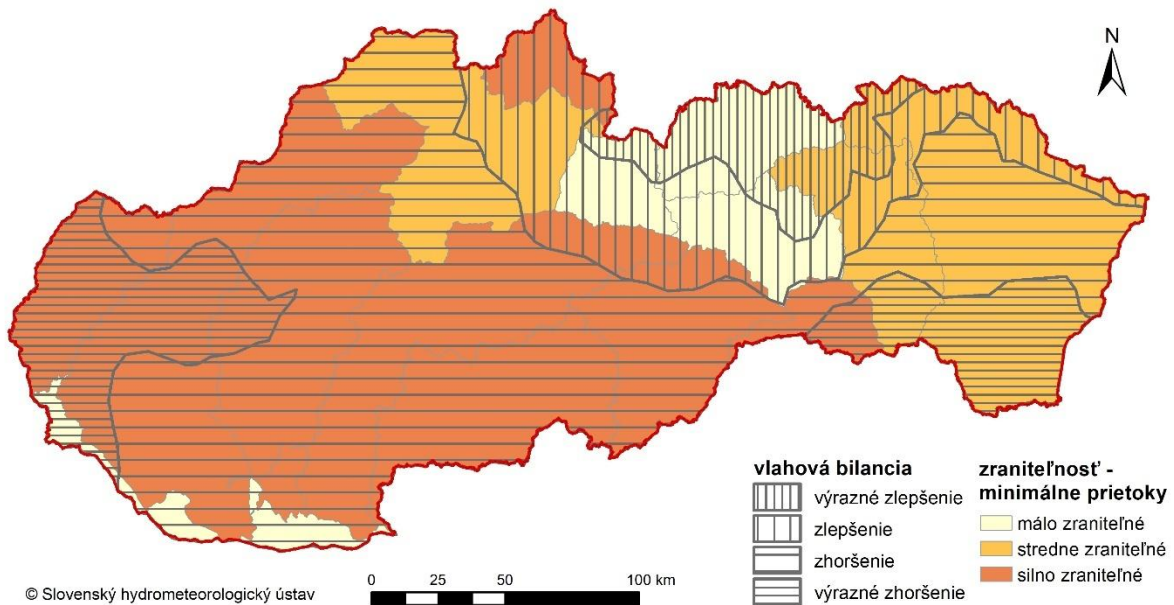
Pri kombinácii vrstiev zmien atmosférickej vlhovej bilancie (AVB) a zraniteľnosti povodí na základe hodnotenia priemerných prietokov (Obr. 4.10) je zrejмый výrazný prekryv medzi vysoko citlivými a zraniteľnými povodiami a zhoršujúcou sa vlhovou bilanciou. Z tohto aspektu je najrizikovejším povodie Moravy, ale aj dolné Považie, čiastočne aj subpovodie Nity. Všeobecne však možno konštatovať, že všetky povodia, ktoré boli identifikované ako vysoko citlivé a zraniteľné z hľadiska hodnotenia priemerných prietokov zároveň zaznamenávajú aj zhoršujúcu sa atmosférickú vlhovou bilanciu.

Naopak, najmenej rizikovými sú povodia Popradu, Hnilca (v čiastkovom povodí Hornádu) a horného Váhu, ktoré boli identifikované ako nízko citlivé a zraniteľné vzhľadom na priemernú vodnosť a zároveň zaznamenávajú pozitívny trend vlhovej bilancie.

Veľmi podobné výsledky sú dosiahnuté aj pri naložení mapy zraniteľnosti povodí na základe hodnotenia minimálnych prietokov (Obr. 4.11) a mapy zmeny AVB. Najrizikovejšími povodiami z tohto syntetického pohľadu sú povodie Moravy, dolného Váhu, Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy a subpovodie Nity. O niečo menej rizikové sú povodia na východnom Slovensku – povodie Bodrogu a Hornádu. Zaujímavým je povodie hornej Oravy, ktoré bolo identifikované ako vysoko citlivé a zraniteľné aj napriek rastúcej AVB. Veľmi pravdepodobným vysvetlením je práve zmena v ročnom chode a intenzite zrážok. Najmenej rizikovými zostávajú aj v tomto prípade povodia horného Váhu, Popradu a Hnilca.



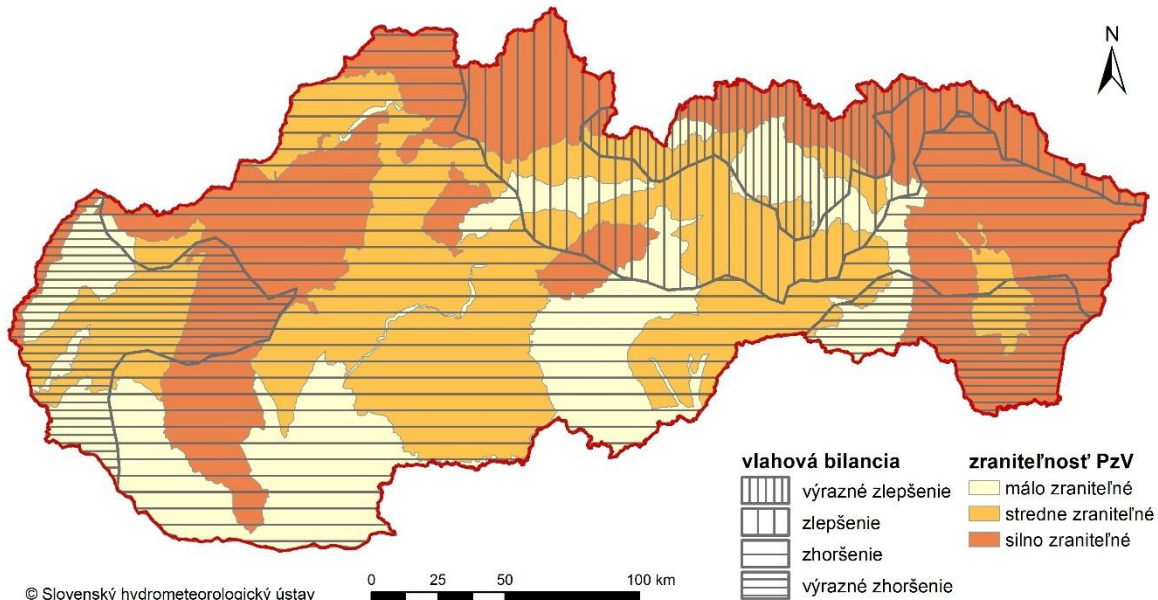
Obr. 4.10 Zmena atmosférickej vlhovej bilancie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na priemernú vodnosť.



Obr. 4.11 Zmena atmosférickej vlhovej bilancie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska povrchových vôd vzhľadom na malú vodnosť.

Komplikovanejší pohľad na zraniteľnosť územia je pri prekryve máp zmien AVB a mapy zraniteľnosti vzhľadom na vývoj minimálnej hladiny podzemnej vody a minimálnej výdatnosti prameňov so zohľadnením hydrogeologických rajónov (Obr. 4.12). Medzi najrizikovejšie oblasti patrí krajný západ (povodie Moravy), stredné a dolné Považie, povodie Bodrogu, ale aj Kysuce a Turca (horná časť povodia Váhu). Veľmi zaujímavými z hľadiska výsledkov sú aj oblasti Oravy, Zamaguria a severná časť Ondavskej vrchoviny, kde síce dochádza k zlepšovaniu AVB, avšak regióny vzhľadom na hodnotenie podzemných vôd boli identifikované ako vysoko zraniteľné. Daná oblasť je typická prevahou málopropustných hornín, ktoré majú nízku schopnosť akumulácie podzemnej vody. Môže

sa tak prejavovať výrazný vplyv podložia v kombinácii so zmeneným ročným chodom a intenzitou zrážok.



Obr. 4.12 Zmena atmosférickej vlhovej bilancie medzi normálovými obdobiami 1961 – 1990 a 1991 – 2020 a zraniteľnosť územia z hľadiska podzemných vôd.

4.5 Záver

Komplexná analýza zraniteľnosti územia Slovenska na výskyt sucha z pohľadu klimatológie a hydrológie povrchových a podzemných vôd potvrdzuje, že výsledný stav v jednotlivých regiónoch/povodiach je výsledkom vzájomne prepojených vplyvov jednotlivých klimatologických a hydrologických faktorov. Kombinované hodnotenie sucha odhaľuje aj územia, kde sa negatívne faktory kumulujú.

Najzraniteľnejšími regiónmi Slovenska, kde sa kumulujú nepriaznivé klimatologické a hydrologické faktory, sú povodie Moravy, dolného Váhu vrátane dolného Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, Bodrogu a subpovodia Nitry. Najmenej rizikovými regiónmi sú povodia horného Váhu a Popradu, čo vyplýva z priaznivejších klimatických aj hydrologických podmienok.

Toto hodnotenie ukazuje, že tieto procesy sú vzájomne úzko prepojené a dávajú komplexnejší pohľad na pochopenie príčin a dôsledkov sucha, čo by mohlo pomôcť tak pri rozhodovaní, plánovaní a riadení nielen vodného hospodárstva, ale môže významne ovplyvniť aj ďalšie rezorty (poľnohospodárstvo, priemysel, ...), najmä pri adaptácii na zmenu klímy.

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Zväzok 19/26

Riziko sucha na území Slovenska

Vydáva:

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Bratislava, 2026

Za jazykovú úroveň príspevkov zodpovedajú autori

ISBN 978-80-8310-010-7



