

MIZNÚCA VODA

**AKO SLOVENSKO STRÁCA VODU NA PRAHU
GLOBÁLNEHO OTEPLENIA O 1,5 °C
REPORT PRE VYBRANÉ LOKALITY
REGIOCLIM PRE
GREENPEACE SLOVENSKO**

Autori publikácie:

Greenpeace Slovensko

Mgr. Jozef Pecho (Regionálny klimatologický inštitút)

Ing. Viera Rattayová, PhD. (Regionálny klimatologický inštitút)

GREENPEACE



OBSAH



Kľúčové zistenia	2
Zhrnutie reportu	3
Zmeny hladín vybraných vodných nádrží na Slovensku:	4
Senianske rybníky	4
Veľká Domaša	5
Oravská priehrada	6
Liptovská Mara	7
1. Čo je sucho a prečo je dôležité	9
2. Sucho v Európe	11
3. Slovensko: dlhodobá zmena režimu sucha	15
4. Krátky opis indexov použitých v reporte	19
5. Ako sa sucho prejavuje v analyzovaných lokalitách	23

KLÚČOVÉ INFORMÁCIE



o 2,0 °C vyššia

Klimatická kríza spôsobila, že priemerná ročná teplota na Slovensku je dnes o 2,0 °C vyššia než v období 1961 – 1990.

oteplenie o 2,7 °C

Najrýchlejšie sa u nás otepľujú leto a zima, obe približne o 2,7 °C, kým jar a jeseň približne o 1,3 °C.

**z jari a leta
na jeseň**

Ročné úhrny zrážok sa na úrovni Slovenska výrazne neznížili. Zmenilo sa však ich sezónne rozloženie: ťažisko zrážok sa za posledné tri desaťročia presunulo z jari a leta na jeseň.

**namiesto
snehu dážď**

Čoraz väčšia časť zimných zrážok padá ako dážď namiesto snehu.

intenzívne zrážky

Rastie význam krátkych intenzívnych zrážok oddelených dlhšími suchými obdobiami.

**Najzraniteľnejšie
sú nížiny**

Podunajská a Východoslovenská nížina, Žitný ostrov, Záhorská nížina a južné kotliny. Sú to oblasti s vysokými teplotami, vysokým výparom, nižšími zrážkami a zároveň veľkou koncentráciou poľnohospodárskej pôdy a zásob podzemnej vody.

viac než 80 %

V roku 2026 vo viac než 80 % sledovaných vrtov klesli hladiny podzemnej vody.

za 145 rokov

Apríl 2026 bol na Slovensku najsuchším aprílom za 145 rokov.

84 %

V polovici augusta 2026 bolo 84 % územia Slovenska v najvyššej kategórii požiarneho rizika a ďalších 15 % vo zvýšenej kategórii.

**podpriemerné
hladiny vody**

Približne 80 % monitorovacích objektov podzemnej vody vykazovalo podpriemerné hladiny alebo nižšiu výdatnosť prameňov. Na Žitnom ostrove bola hladina v strednej časti o 20 až 40 cm pod dlhodobým priemerom a pri Bratislave a pod Gabčíkovom približne o jeden meter.

ZHRNUTIE REPORTU



Táto štúdia analyzovala 11 lokalít na Slovensku: Veľkú Domašu, Ružinú, Teplý Vrch, Senianske rybníky, Oravskú priehradu, Liptovskú Maru, Zelené pleso, Štrbské pleso, Málinec, Jalovčanku a Dunaj.

Aj keď z dát nevidíme, že by zrážky klesali, vo všetkých 11 lokalitách rastie tepelný a/alebo vodný stres.

Počet dní vo vlnách horúčav vzrástol približne z 10 na 33–44 dní ročne. Zároveň sa 4- až 8-násobne zvýšil počet mesiacov so závažným dlhodobým suchom.

Projekcie do budúcnosti ukazujú, že bude pribúdať suchých dní, dlhších období bez dažďa a situácií, keď sa sucho spojí s horúčavou.

Zhoršovanie sucha nesúvisí len s menším množstvom zrážok. Výraznú úlohu zohrávajú najmä rastúce teploty, väčší výpar a častejšie a dlhšie obdobia nedostatku vody.

Sucho sa v sledovaných lokalitách neprejavuje len jedným spôsobom. Častejšie sa objavuje **sucho v pôde**, rastie **dopyt po vode v atmosfére a výpar** a rastliny sú viac vystavené **nedostatku vody**. Na niektorých miestach v lete klesá aj **prietok v riekach**.

Do budúcnosti sa očakáva, že pri vyšších emisiách bude **vody ešte menej a obdobia sucha budú dlhšie**.

Sucho sa sústreďuje na začiatok a koniec leta, začiatok jesene, najmä na august a september. Sucho je hlavne problémom nížin, ale nevyhne sa ani severným častiam Slovenska či horským oblastiam.

Zmeny hladín vybraných vodných nádrží na Slovensku:

SENIANSKE RYBNÍKY

- Priemerná teplota vzrástla približne o 2,1 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav vzrástol z 10 na 42 dní ročne.
- Počet tropických nocí z 0,4 na 4,3 ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom sa zvýšila približne 6-násobne.
- Pre mokradový biotop, ktorého hlavným cieľom je ochrana vtáctva a mokradového biotopu, je kombinácia rastúcej teploty a sucha kritická.
- Keďže ide o mokrade a rybníky, väčší dopyt po vode môže mať výrazný negatívny vplyv. Voda sa bude rýchlejšie odparovať, pôda a mokrade budú rýchlejšie vysychať a príroda bude citlivejšia na dlhšie obdobia bez dažďa.
- Senianske rybníky patria medzi lokality s najkonzistentnejším súborom indikátorov zhoršovania sucha: klesajú extrémne nízke hodnoty pôdnej vlhkosti, rastie frekvencia, trvanie aj závažnosť sucha a významne klesá obsah vody v rastlinách.
- Hrozí zánik mokradí.

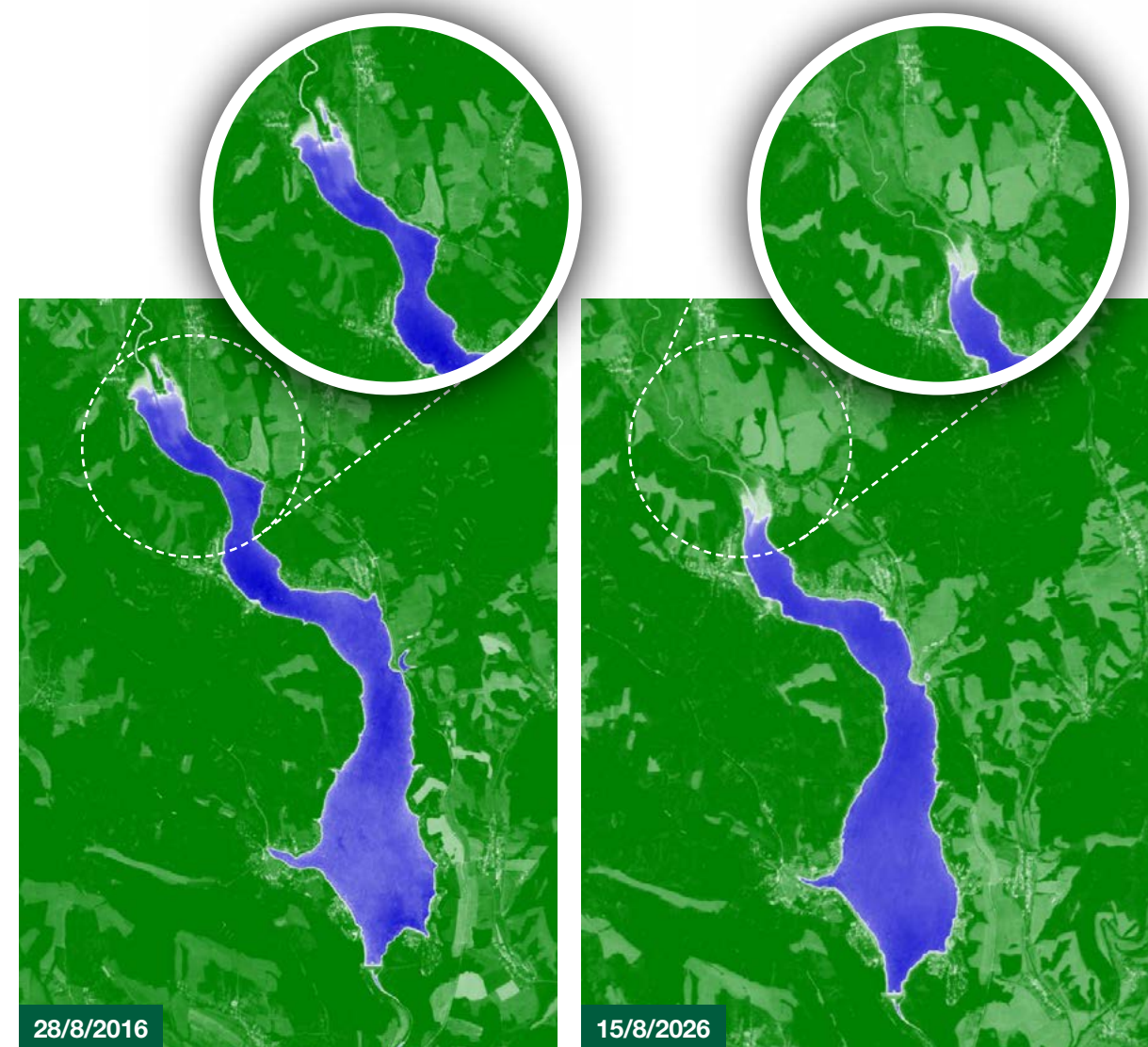


Senianské rybníky, Sentinel

Zmeny hladín vybraných vodných nádrží na Slovensku:

VEĽKÁ DOMAŠA

- Za necelú dekádu sa oteplila o 2 °C.
- Vlny horúčav na Domaši stúpili z 10 dní na 38 dní za rok.
- Výskyt mesiacov s výrazným a dlhodobým suchom sa doteraz zvýšil takmer 6-násobne.
- Obdobie, keď začínajú rastliny na jar aktívne rásť, je suchšie. Na začiatku vegetačného obdobia bude v pôde a v prírode menej vody, čo sťažuje rast rastlín.
- V budúcnosti sa predpokladá ďalší posun k suchším podmienkam.
- Ak sa naplní najhorší klimatický scenár, Veľká Domaša môže mať do konca storočia takmer 4 mesiace v roku horúčavy, viac ako 3 mesiace sucha a približne mesiac, keď bude zároveň veľké teplo aj sucho.

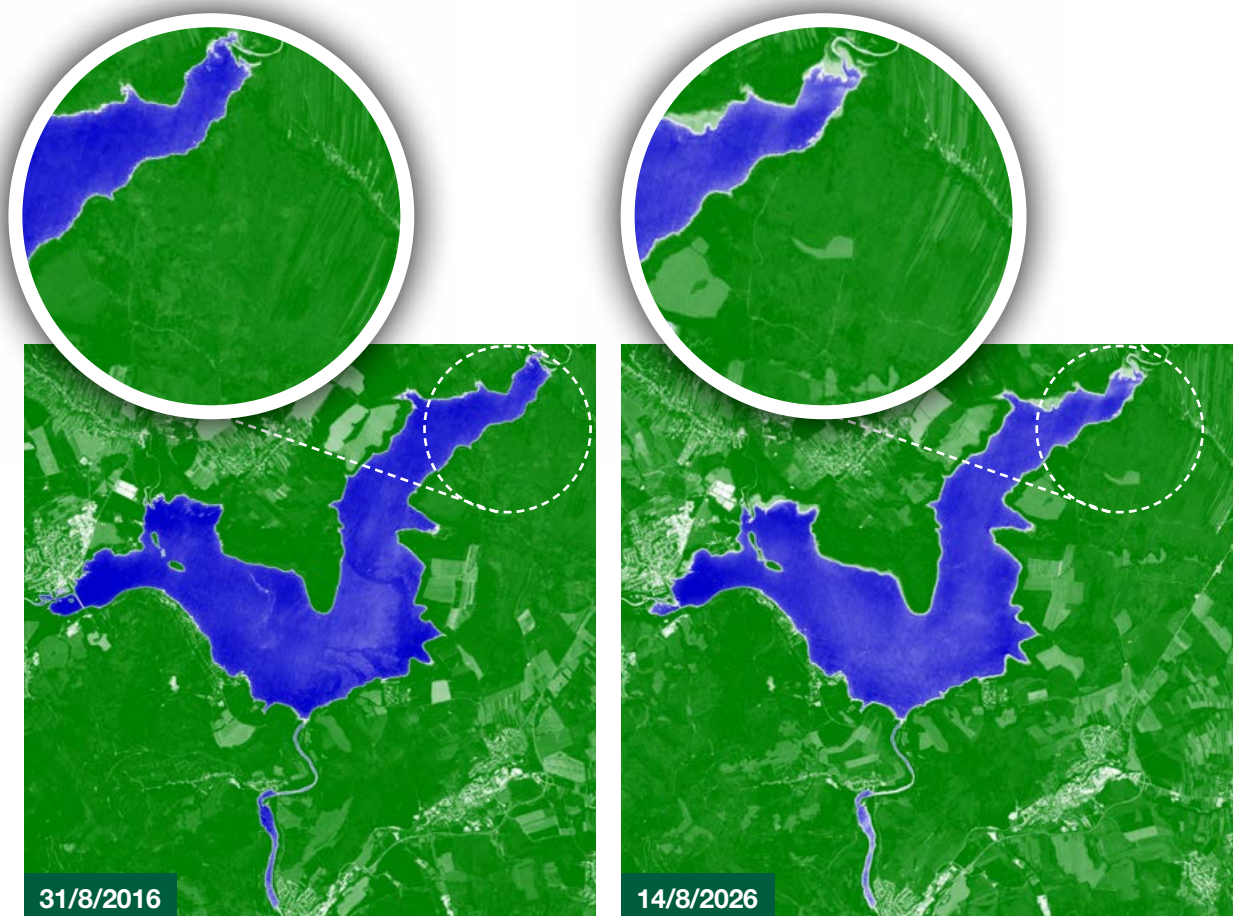


Veľká Domaša, Sentinel

Zmeny hladín vybraných vodných nádrží na Slovensku:

ORAVSKÁ PRIEHRADA

- Pri Oravskej priehrade vzrástla priemerná teplota približne o 2,0 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav približne z 11 na 36 ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 8,3-násobne, čo je najviac zo sledovaných oblastí.
- Aj v klimaticky chladnejšej a vlhšej oblasti teda dochádza k zosilňovaniu atmosférického dopytu po vode.
- Všetky tri hlavné ukazovatele hlásia zhoršenie vlhky pre vegetáciu.
- Aj vo vlhšej horskej oblasti je preukázaný výrazný rast atmosférického dopytu po vode a zhoršujúce sa sucho.

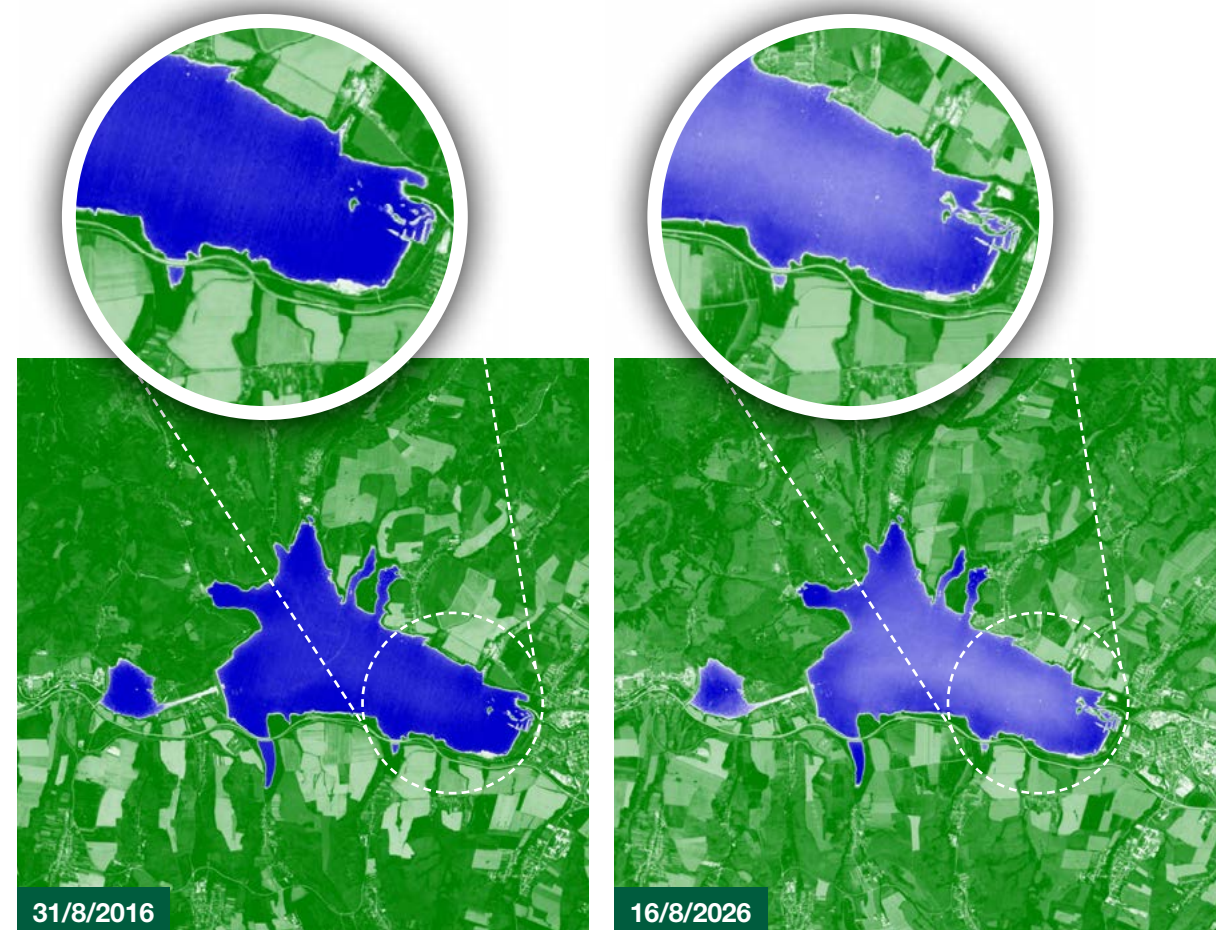


Oravská priehrada, Sentinel

Zmeny hladín vybraných vodných nádrží na Slovensku:

LIPTOVSKÁ MARA

- Pri Liptovskej Mare vzrástla priemerná teplota približne o 1,9 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav vzrástol približne z 10 na 38 dní ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom sa zvýšila približne 6,2-násobne.
- Zvyšuje sa výskyt, trvanie a závažnosť pôdneho sucha.



Liptovská mara, Sentinel



1 ČO JE SUCHO A PREČO JE DÔLEŽITÉ

Sucho nie je iba obdobie bez dažďa. Je to postupný nedostatok vody, ktorý sa prenáša z atmosférického sucha, teda nedostatku zrážok, do pôdneho sucha, nízkych prietokov vo vodných tokoch, znižovania zásob podzemných vôd, ekosystémov a napokon do hospodárstva a života ľudí.

Sucho patrí medzi najpomalšie nastupujúce prírodné katastrofy. Na rozdiel od povodne nemá jasný začiatok ani koniec. Môže sa rozvíjať celé týždne až mesiace a jeho následky sa často prejavajú až s oneskorením. Medzi deficitom zrážok a poklesom prietokov, hladín podzemnej vody či vysychaním studní môžu uplynúť mesiace. Rovnako pomalá je aj obnova, preto jeden výdatný dažď dlhodobé sucho spravidla neukončí.

Osobitným typom je bleskové sucho (flash drought), ktoré sa môže rozvinúť už za dva až osem týždňov. Spája rýchly nástup, prudký pokles pôdnej a vegetačnej vlhkosti. Poháňa ho nielen nedostatok zrážok, ale aj vysoký atmosférický dopyt po vode (výrazný výsušný efekt atmosféry). Počas horúčav, intenzívneho slnečného žiarenia a vetra môže pôdna vlhkosť prudko klesnúť. V strednej Európe sa jeho frekvencia

v letnom polroku, najmä od apríla do júna, zvýšila.

V ekosystémoch nedostatok vody obmedzuje fotosyntézu a rast rastlín, oslabuje lesy a zvyšuje ich zraniteľnosť voči škodcom a požiarom. Pri nízkych prietokoch sa rieky rýchlejšie prehrievajú, znižuje sa obsah kyslíka dostupného pre vodné živočíchy a vodný tok sa vysychaním môže rozpadnúť na izolované úseky. V poľnohospodárstve sa stres rastlín premieňa do nižších výnosov a kvality produkcie. Sucho zároveň obmedzuje dostupnosť vody pre obyvateľstvo, priemysel, energetiku a dopravu. Pri nízkych stavoch vody môže byť problémom nielen množstvo, ale aj jej kvalita. Pre ľudí sa sucho často spája s horúčavami, osobitne závažné sú tropické noci, počas ktorých sa telo nedokáže dostatočne ochladiť a zregenerovať.

Typ sucha	Čo znamená	Hlavné dôsledky
Meteorologické	Deficit zrážok oproti normálu, často spolu s vyššou teplotou a výparom.	Spúšťač ďalších foriem sucha.
Pôdne (poľnohospodárske)	Nedostatok dostupnej vody v koreňovej zóne pôdy.	Stres vegetácie, nižšie úrody, presychanie trávnych porastov a lesov.
Hydrologické	Nízke prietoky, pokles podzemnej vody a zásob v nádržiach.	Zásobovanie vodou, energetika, doprava a riečne ekosystémy.
Socioekonomické	Dopyt po vode prevyšuje jej dostupnosť.	Hospodárske straty, obmedzenia spotreby a konflikty medzi užívateľmi vody.

Tab. 1 Typy sucha, ich popis a hlavné dôsledky



2 SUCHO V EURÓPE

Čoraz intenzívnejšie a plošne rozsiahlejšie sucho v Európe čoraz menej vysvetľuje iba množstvo a rozloženie zrážok. Rastúca teplota a suchý vzduch urýchľujú stratu vody z pôdy, vegetácie a vodných plôch.

Rok 2026 je v európskom kontexte výnimočný najmä tým, že jednotlivé ukazovatele dávajú veľmi odlišný obraz. Podľa množstva zrážok je rok 2026 až 24. najsuchším rokom od roku 1950. Pri hodnotení podľa deficitu tlaku vodnej pary (VPD) je však rok 2026 najsuchší za posledných 77 rokov. Podľa množstva vody v hlbších vrstvách pôdy je tretím a podľa množstva odtekajúcej vody piatym najsuchším rokom. Hodnotenie samotných zrážok preto nedokáže zachytiť celú intenzitu a príčinu súčasného sucha.

Za obdobie 1981 – 2026 sa zrážky nad Európou zmenili len slabo, pričom výraznejšie zmeny sa prejavovali najmä v ich sezónnom rozložení a vo výskyte extrémov. Naopak dopyt atmosféry po vode sa menil viac než šesťnásobne rýchlejšie. Vyššia teplota zvyšuje tlak nasýtenej vodnej pary; ak sa obsah vodnej pary vo vzduchu úmerne nezvýši, rastie deficit tlaku vodnej pary a tým aj sila, ktorou atmosféra odoberá vodu z pôdy, vegetácie a vodných plôch. **Jednoducho povedané: s narastajúcou teplotou je atmosféra smädnejšia. Krajina preto môže vysychať aj bez výrazného poklesu množstva zrážok.**

Dlhodobý vývoj pôdnej vlhkosti ukazuje, že **šesť z ôsmich najsuchších rokov v Európe pripadá na obdobie po roku 2018.** Viacročné sucho 2018 – 2020 predstavuje nový európsky štandard závažnosti a dvojica letných súch 2018 a 2019 bola v strednej Európe bezprecedentná najmenej za posledných 250 rokov.

Situácia v roku 2026

K 4. augustu 2026 bolo v niektorej z kategórií sucha 46 % hodnotenej rozlohy pevniny, pričom do tohto podielu vstupuje aj najmiernejšia kategória D0; v extrémnom až výnimočnom suchu, teda v dvoch najvyšších kategóriách, sa nachádzalo 17,2 % územia. Za obdobie od začiatku mája do konca júla **bola takmer tretina rozlohy Európy pod hranicou jednej štandardnej odchýlky zásoby vody v pôde, čo radí rok 2026 medzi päť najsuchších rokov v rade od roku 1950.**¹

Sucho sa v roku 2026 spájalo aj s extrémnym teplom a vysokým rizikom požiarov. Podľa atribučnej analýzy pre Slovensko bola júnová vlna horúčav v dnešnej klíme najmenej desaťkrát pravdepodobnejšia než v klíme bez ľudského vplyvu; pri takto rekordnej udalosti je horná hranica odhadu neistá. Spoľahlivejšie než pravdepodobnosť je vyjadrenie prostredníctvom jej intenzity: tá istá poveternostná situácia dnes prebieha v približne o 3 až 4 °C teplejšej atmosfére než v predindustriálnej klíme. Analýza World Weather Attribution pre celý kontinent uvádza, že júnová vlna horúčav 2026 by v klíme roku 1976 bola cez deň približne o 3,5 °C chladnejšia, pričom **denné horúčavy tohto typu boli ešte v roku 2003 asi desaťkrát a nočné teploty vyše stokrát menej pravdepodobné než dnes.** Extrémne požiarne podmienky v juhozápadnom Francúzsku a v strednom Španielsku boli v júli 2026 vplyvom otepľovania intenzívnejšie, a to o približne o 46 % a o 42 %.²

¹ Hodnotenie vychádza zo zásoby vody v pôdnom profile 0 – 100 cm podľa reanalýzy ERA5, s kategóriami podľa prahov US Drought Monitor.

² World Weather Attribution

Ďalší vývoj

Pri bleskovom suchu sa podľa scenárov plošný rozsah zvyšuje približne z 30 % územia Európy pri oteplení o 1 °C na takmer 44 % pri 3 °C. Najsilnejší nárast sucha sa očakáva v Stredomorí a na juhozápade kontinentu, ale stredná Európa vrátane Slovenska leží tesne za nimi. Severná Škandinávia je jedinou časťou kontinentu, kde sucha ubúda. Rozhranie medzi vysychajúcim juhom a stále vlhkejším severom sa tak posúva na sever.



3 SLOVENSKO: DLHODOBÁ ZMENA REŽIMU SUCHA



Slovensko leží na rozhraní medzi vysychajúcim juhom a stále vlhkejším severom Európy. Hlavným signálom pritom nie je pokles ročných zrážok, ale zmena ich sezónnosti a nárast extrémov. Rovnako narastá teplota a výpar.

Priemerná ročná teplota vzduchu na Slovensku je dnes o 2,0 °C vyššia než v období 1961 – 1990. Najrýchlejšie sa otepľujú leto a zima, obe približne o 2,7 °C, kým jar a jeseň približne o 1,3 °C. Teplejšie zimy znamenajú menej snehu a skorší jarný odtok; teplejšie letá zase vyšší výpar v čase, keď je vody najmenej. Súčasne pribúdajú letné a horúce dni aj tropické noci a klesá počet mrazových dní.

Ročné úhrny zrážok sa na úrovni Slovenska výrazne neznížili. Naopak za sledované obdobie sa uvádza približne 6-percentný nárast. Zmenilo sa však ich sezónne rozloženie: **ťažisko zrážok sa za posledné tri desaťročia presunulo z jari a leta na jeseň.** Jarné úhrny klesli v celoslovenskom priemere o 7 %, v niektorých regiónoch až o 15 %. Zároveň čoraz väčšia časť zimných zrážok padá ako dážď namiesto snehu a rastie význam krátkych intenzívnych

zrážok oddelených dlhšími suchými obdobiami.

Rozdiel medzi indexmi SPI a SPEI ukazuje, prečo samotné zrážky nestačia na opis súčasného sucha. SPI sleduje iba zrážky, kým SPEI zahŕňa aj potenciálny výpar. Podľa samotných zrážok sa najdlhšie suché epizódy v období 1961 – 2025 nepredlžovali: trend SPI-12 bol mierne záporný a štatisticky nevýznamný. Po zohľadnení vodnej bilancie je však výsledok výrazne odlišný.

Najzraniteľnejšie sú nížiny do približne 250 m n. m. – Podunajská a Východoslovenská nížina, Žitný ostrov, Záhorská nížina a južné kotliny. Sú to oblasti s vysokými teplotami a výparom, nižšími zrážkovými úhrnmi a zároveň veľkou koncentráciou poľnohospodárskej pôdy a zásob podzemnej vody.

Ukazovateľ	1961–1980	2006–2025	Trend / významnosť
Najdlhšia suchá epizóda SPEI-12	2,1 mesiaca	4,7 mesiaca	+0,39 mesiaca/dekádu; p = 0,003
Počet suchých mesiacov SPEI-12	1,6	3,8	+0,34/dekádu; p = 0,003
Kumulatívna severita SPEI-12	3,8	7,8	+0,74/dekádu; p = 0,002
Najdlhšia epizóda SPI-12	2,7 mesiaca	2,0 mesiaca	–0,04/dekádu; p = 0,61

Tab. 2 Výsledky analýzy dlhodobého meteorologického sucha podľa SPEI-12

Slovensko v roku 2026: sucho od zimy po leto

Sucho roku 2026 sa nezačalo letnou horúčavou. Rozvíjalo sa už od decembra 2025 a cez zimu a jar sa prenieslo až do leta.

Do apríla trvalo na Orave, Kysuciach, Lip-tove, Spiši, Šariši a Hornej Nitre nepretržité sucho približne 120 až 140 dní. V Oravskej Lesnej chýbalo za zimu a začiatok jari 209 mm zrážok, v Uhrovci spadlo 37 % normálu a v Prievidzi 40 %. Vo viac než 80 % sledovaných vrtov klesli hladiny podzemnej vody. Apríl 2026 bol na Slovensku najsuchším aprílom za 145 rokov.

K 18. júlu dosiahol územný priemer zrážok od začiatku roka 278 mm oproti dlhodobému mediánu 401 mm za obdobie 1961 – 2020. K 12. augustu bolo od začiatku roka zaznamenaných 305 mm, približne o tretinu menej než normál a v nížinách približne o 40 % menej. Od marca do začiatku augusta spadlo 203 mm zrážok, zatiaľ čo potenciálny výpar dosiahol 503 mm; výsledná vodná bilancia bola približne –300 mm.

K 2. augustu zostalo v pôde v priemere 15,6 % vody využiteľnej rastlinami namiesto obvyklých 47,3 %. Štyri kraje sa dostali pod najsuchšiu hodnotu za 35 rokov. Vyschla aj hlbšia pôda: júl 2026 bol v metrovej vrstve v strednej Európe najsuchším júlom za 77 rokov a Slovensko bolo tretie najsuchšie.

Suchá pôda prestáva účinne chladiť krajinu výparom. V júni 2026 stúpol nad Slovenskom tok citelného tepla (priamy ohrev) z klimatologických 33 na 54 W/m², zatiaľ čo tok latentného tepla zostal prakticky nezmenený (86 oproti 88 W/m²). Bowenov pomer vzrástol z 0,37 na 0,63. Dňa 6. augusta bol v Dolných Plachtinciach zaznamenaný nový slovenský teplotný rekord 42,2 °C. V polovici augusta bolo 84 % územia Slovenska v najvyššej kategórii požiarného rizika a ďalších 15 % vo zvýšenej kategórii.

V júli 2026 dosiahol priemerný mesačný prietok Dunaja v Bratislave 939 m³/s, čo je iba 36 % dlhodobého normálu a o 29 % menej než dovtedajšie júlové minimum z roku 2003. Prietoky slovenských riek sa po-

čas leta pohybovali približne na 20 až 40 % dlhodobých normálov; na Morave a Myjave klesli k 8 % a na viacerých profiloch bol zaznamenaný nulový prietok. Približne 80 % monitorovacích objektov podzemnej vody vykazovalo podpriemerné hladiny alebo nižšiu výdatnosť prameňov. Na Žitnom ostrove bola hladina v strednej časti o 20 až 40 cm pod dlhodobým priemerom a pri Bratislave a pod Gabčíkovom približne o jeden meter.



4 KRÁTKY OPIS INDEXOV POUŽITÝCH V REPORTE

Sucho nemá iba jednu podobu, preto sme ho hodnotili pomocou viacerých navzájom sa dopĺňajúcich ukazovateľov. Sledovali sme prejavy klimatického sucha, konkrétne epizódy meteorologického a hydrologického sucha, atmosférický dopyt po vode, pôdnu vlhkosť, stav vegetácie, obdobia bez zrážok, kombinovaný európsky indikátor sucha a pri vodných lokalitách aj prietoky. Historické výsledky sme následne porovnali s klimatickými scenármi.

Index aridity (AI) vyjadruje dlhodobý pomer medzi množstvom vody zo zrážok a možným výparom. Nižšie hodnoty indexu znamenajú suchšie podmienky. Keďže globálne kategórie aridity rozlišujú podmienky na Slovensku iba slabo, väčší význam má zmena tohto indexu v čase a porovnanie lokalít než samotné označenie územia ako „humídneho/aridneho“.

Index meteorologického sucha (SPEI) ukazuje deficit vody a porovnáva zrážky s potenciálnym výparom. Krátke škály SPEI-1 až SPEI-3 zachytávajú krátkodobé meteorologické sucho a rýchly stres pôdy a vegetácie, SPEI-3 až SPEI-6 sezónne a poľnohospodárske sucho a dlhšie škály, najmä SPEI-6 až SPEI-12, dlhodobý deficit, ktorý sa môže prenášať do prietokov, nádrží a ďalších zásob vody. Čím je SPEI zápornejší, tým je sucho výraznejšie.

Deficit tlaku vodnej pary (VPD – Vapor Pressure Deficit) vyjadruje atmosférický dopyt po vode. To znamená ako intenzívne môže atmosféra odoberať vodu z pôdy a vegetácie. Pri vyšších teplotách môže rásť aj bez výrazného poklesu zrážok. Rast VPD preto znamená vyšší atmosférický dopyt po vode, rýchlejšie vysušovanie pôdy a väčší vodný stres vegetácie; skutočný

výpar však s VPD rastie len dovtedy, kým ho neobmedzí dostupnosť vody v pôde a fyziologická reakcia vegetácie.

Pôdnu vlhkosť sme hodnotili z údajov ESA CCI Soil Moisture a indexu ESSMI (1979–2024), nezávislých údajov SMAP (2015–2024) a projekcií EURO-CORDEX/SWICCA. Sledovali sme priemernú a sezónnu vlhkosť, extrémne nízke hodnoty a najmä frekvenciu, trvanie a závažnosť epizód pôdneho sucha. Budúce hodnoty vyjadrujú zmenu modelovanej klimatológie oproti obdobiu 2011–2040, nie predpoveď konkrétnych budúcich epizód.

Zo satelitných údajov Sentinel-2 sme hodnotili indexy NDMI, MSI a NDRE. NDMI sleduje najmä obsah vody vo vegetácii, MSI vlhový stres a NDRE stav a vitalitu vegetácie. Hodnotili sme trendy aj medziročné anomálie, pretože výrazný stres sa môže objaviť v jednotlivých suchých rokoch aj bez jednoznačného dlhodobého trendu.

CDI (Combined Drought Indicator/kombinovaný indikátor sucha) je európsky ukazovateľ, ktorý hovorí o tom, koľko je zrážok, koľko vlhkosti je v pôde a v akom stave je vegetácia. Použili sme ho na posúdenie, ako často sa oblasti nachádzajú

v podmienkach sucha a ako sa jeho výskyt mení počas roka.

CDD (obdobia bez zrážok) vyjadruje najdlhší súvislý počet suchých dní. Spolu s frekvenciou a priemernou dĺžkou suchých epizód (dry spells) ukazuje, ako dlho môže krajina zostať bez priameho dopĺňania vody zo zrážok. Historický vývoj z ERA5-Land a klimatické projekcie CMIP6 hodnotíme oddelene. Pri projekciách CDD neporovnávame absolútne modelové hodnoty s ERA5-Land; uvádzame iba relatívnu percentuálnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100.

Pri tokoch a nádržiach sme hodnotili priemerné (Qmean) **a minimálne** (Qmin)

prietoky a ich ročné aj mesačné zmeny, najmä počas leta. Ročný priemer totiž môže zakryť pokles prietoku práve v období najväčšieho sucha. Stav nádrže navyše závisí od celého povodia a prítokov, podzemných vôd aj vodohospodárskeho manažmentu, preto ho nemožno posudzovať iba podľa počasia v bezprostrednom okolí nádrže.

Trendy sme hodnotili podľa ich smeru, veľkosti a štatistickej významnosti. Za významné sme považovali výsledky pri $p < 0,05$ a hodnoty $0,05 \leq p < 0,10$ za slabý (marginálny) signál. Krátke časové rady majú menšiu schopnosť zachytiť dlhodobý trend a silnejšie ich ovplyvňujú jednotlivé extrémne roky. Nezistenie významného trendu preto samo o sebe neznamená, že sa sucho alebo vodný stres nemení.

Ako výsledky čítať

Žiadny jednotlivý index nedokáže opísať sucho úplne. AI charakterizuje dlhodobú klimatickú ariditu, SPEI deficit vody na rôznych časových škálach, VPD vysušujúci účinok atmosféry, pôdna vlhkosť dostupnosť vody v pôde, Sentinel-2 reakciu vegetácie, CDI kombinovaný stav sucha, CDD obdobia bez zrážok a prietoky hydrologickú odozvu. Závery pre lokality preto vychádzajú zo spoločného obrazu viacerých ukazovateľov, neopierame sa len o jediný ukazovateľ. Najväčšiu váhu majú trendy, ktoré zostávajú významné po použitej korekcii na mnohonásobné testovanie, ak bola pre danú skupinu analýz vypočítaná. Výsledky z jednotlivých nekorigovaných testov používame opatrnejšie, ako lokálne alebo podporné signály, najmä ak sa rovnaký smer zmeny objavuje vo viacerých fyzikálne súvisiacich ukazovateľoch. Zhoršovanie sucha sa pritom nemusí prejaviť poklesom celoročného priemeru pôdnej vlhkosti, môže sa prejaviť najmä častejšími, dlhšími a závažnejšími suchými epizódami.

Budúce hodnoty pôdnej vlhkosti predstavujú zmenu modelovanej klimatológie oproti obdobiu 2011–2040 (v závislosti od referenčného obdobia dostupného pre daný dataset), nie predpoveď konkrétnych epizód.

Pri jednotlivých trendových testoch uvádzame pôvodné p-hodnoty ako informáciu o sile lokálneho štatistického signálu. Tam, kde je k dispozícii FDR korekcia, je rozhodujúca korigovaná p-hodnota a tá je uvedená priamo v texte. Hodnoty $0,05 \leq p < 0,10$ označujeme ako slabé alebo marginálne signály. Pri výsledkoch bez korekcie sa vyhýbame formulácii, že samotná p-hodnota predstavuje definitívny dôkaz trendu.



5 AKO SA SUCHO PREJAVUJE V ANALYZOVANÝCH LOKALITÁCH

Vo všetkých 11 lokalitách sa prejavujú indikátory rastúceho tepelného a/alebo vodného stresu, hoci samotné ročné zrážky nevykazujú jednotný pokles. Počet dní vo vlnách horúčav sa medzi porovnávanými obdobiami zvýšil približne z 10 na 33–44 dní ročne a frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4- až 8-násobne. Budúce scenáre zároveň ukazujú ďalší rast počtu suchých dní, dĺžky období bez zrážok a súbehu sucha s horúčavou. **Spoločný obraz preto ukazuje, že zhoršovanie sucha nie je viazané iba na pokles ročných zrážok, ale najmä na rastúce teploty, vyšší výparný dopyt a častejšie či dlhšie obdobia vodného deficitu.**

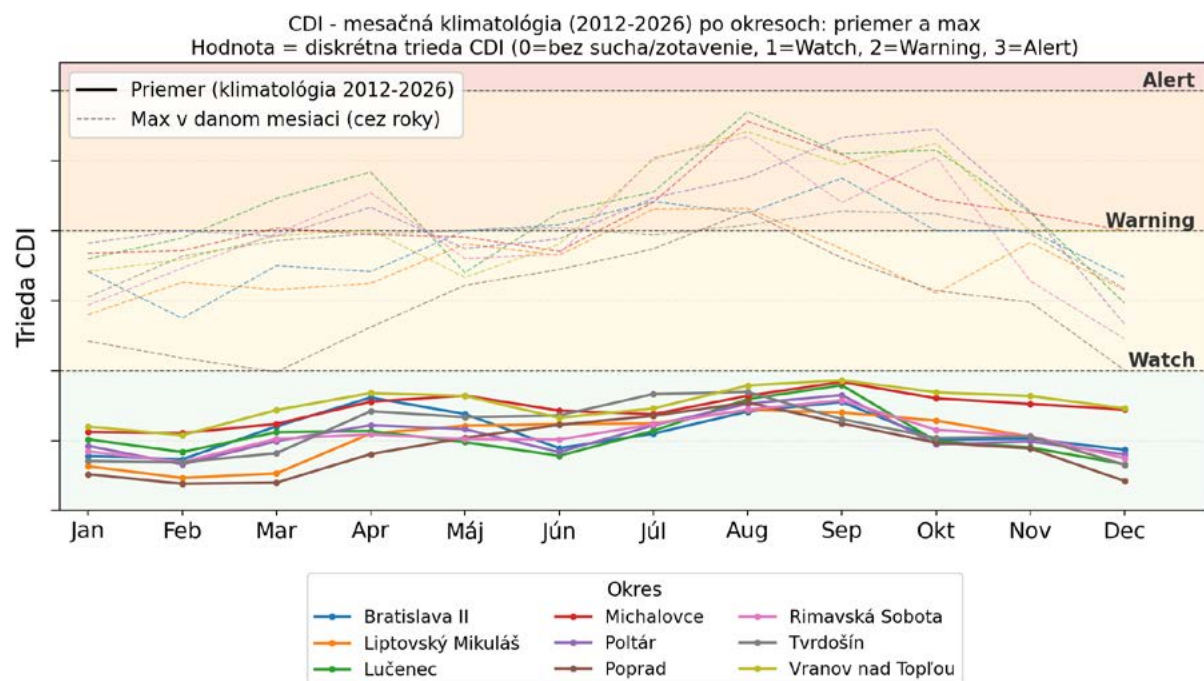
Spoločné vyhodnotenie jednotlivých indikátorov ukazuje, že sucho sa v sledovaných lokalitách neprejavuje ako jednoduchý rovnomerný pokles jedného parametra. V historických dátach sa prejavuje kombináciou opakovaných meteorologických a pôdnych suchých epizód, rastúceho atmosférického dopytu po vode, vegetačného stresu a v niektorých lokalitách aj nepriaznivých zmien letných prietokov. Budúce scenáre zároveň ukazujú, že pri vyšších emisných trajektóriách sa môže vodný deficit výrazne zosilniť a suché obdobia predlžovať.

Priemerný ročný chod kombinovaného indikátora sucha CDI (Obr. 1) za obdobie 2012–2026 ukazuje opakovaný výskyt

suchých podmienok vo všetkých analyzovaných okresoch, pričom intenzita a sezónnosť sa regionálne líšia. Najvyššie priemerné hodnoty sa vo väčšine okresov sústreďujú na koniec leta a začiatok jesene, najmä august a september. Výrazné hodnoty sa objavujú nielen v teplejších nížinných oblastiach, ale aj v severných a horských okresoch. To podporuje záver, že **sucho je problémom celého sledovaného súboru lokalít, hoci jeho konkrétna forma a načasovanie sa líšia.**

Projekcie maximálneho počtu po sebe idúcich suchých dní (CDD) ukazujú pri scenári SSP5-8.5 do obdobia 2071–2100 nárast vo všetkých 11 lokalitách. Pri porovnaní modelového historického obdobia 1981–2010 s obdobím 2071–2100 sa priemerné ročné maximum CDD zvyšuje podľa lokality približne o 23 až 81 %. Pre klimatické projekcie preto interpretujeme iba relatívnu zmenu v rámci rovnakého modelového experimentu; absolútne modelové hodnoty CDD neporovnávame s hodnotami ERA5-Land, keďže ide o odlišné dátové vetvy a klimatológie. Výsledok vo všetkých lokalitách poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok.

Dlhodobejší deficit zachytáva SPEI-12, ktorý vyjadruje vodnú bilanciáciu akumulovanú za predchádzajúcich 12 mesiacov. Pri interpretácii projekcií je vhodnejšie sledovať frekvenciu mesiacov so závažným suchom než absolútne minimá alebo extrémne záporné hodnoty indexu, ktoré môžu



Obr. 1 Priebeh priemerných a maximálnych sezónnych hodnôt kombinovaného indikátora sucha (CDI) v sledovaných okresoch za obdobie 2012–2026.

byť ovplyvnené saturáciou štandardizácie pri veľmi nízkych pravdepodobnostiach. Historické porovnanie ukazuje vo všetkých sledovaných lokalitách nárast frekvencie mesiacov so $SPEI-12 < -1,5$ približne 4- až 8-násobne, pričom vyššie emisné scenáre zároveň ukazujú ďalšie zosilňovanie vodného deficitu.

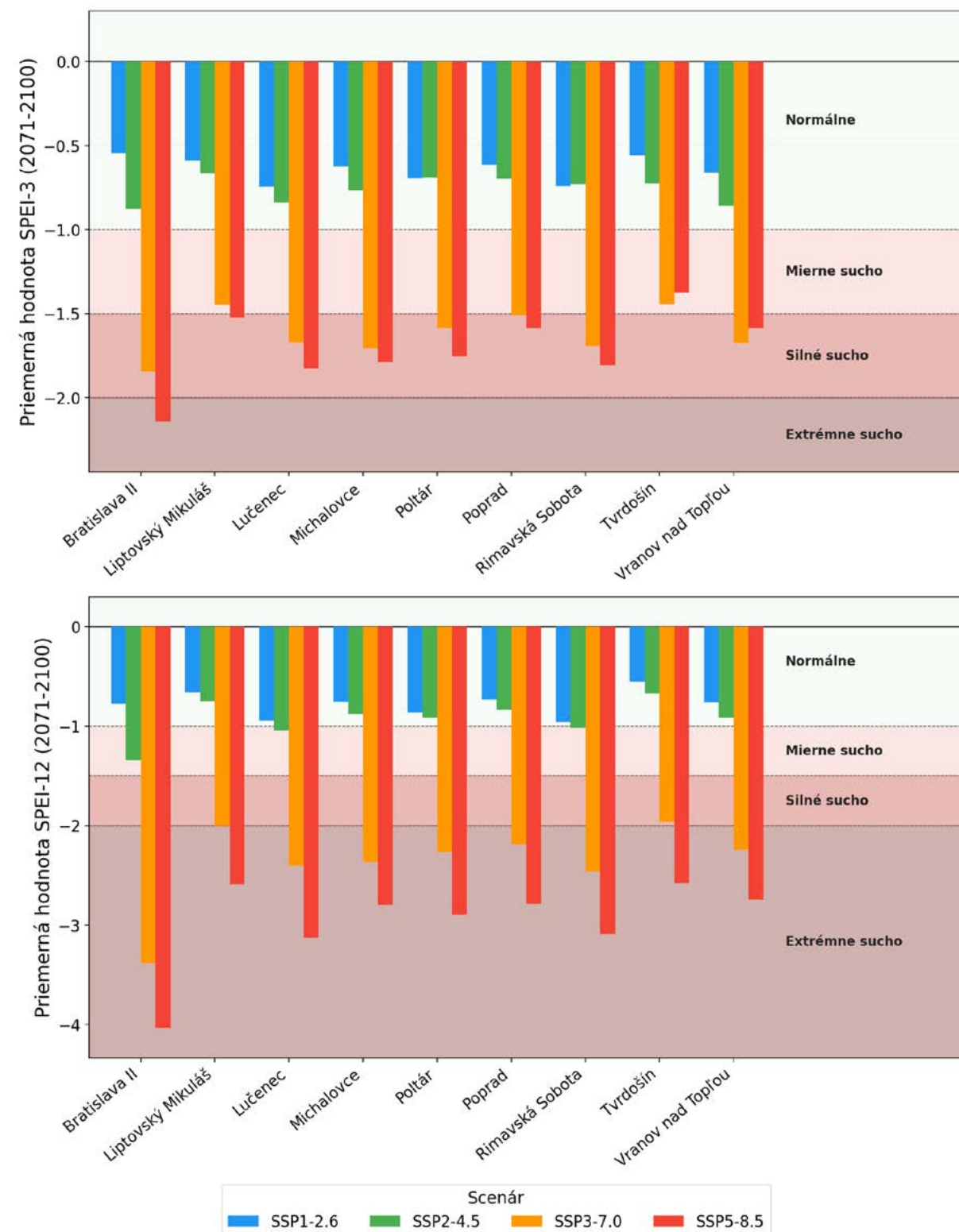
Klimatické scenáre CMIP6 ukazujú pre obdobie 2071–2100 záporné hodnoty trojmesačného $SPEI-3$ (Obr. 2) vo všetkých deviatich analyzovaných okresoch a pri všetkých štyroch scenároch. Pri SSP1-2.6 je posun relatívne mierny, približne $-0,5$ až $-0,75$, zatiaľ čo pri SSP3-7.0 dosahuje vo väčšine okresov približne $-1,4$ až $-1,9$ a pri SSP5-8.5 približne $-1,4$ až $-2,1$. Vyššie emisné scenáre teda znamenajú podstatne väčší sezónny vodný deficit.

Nasledujúci graf ukazuje, ako sa sucho prejavuje v rôznych scenároch znižovania emisií:

- **Scenár SSP1-2.6:** ide o scenár s **nízkymi emisiami**, pri ktorom sa globálne otepľovanie podarí výrazne obmedziť. V klimatických modeloch sa používa na odhad toho, **ako môže vyzeráť budúca klíma pri úspešnom znižovaní**

emisií. Svet sa vyvíja udržateľnejšie, s dôrazom na spoluprácu, technológie a znižovanie emisií.

- **SSP2-4.5 – scenár stredných emisií:** predpokladá pokračovanie súčasného vývoja bez výrazného zrýchlenia a spomalenia opatrení na znižovanie emisií.
- **SSP3-7 – scenár vysokých emisií:** krajiny málo spolupracujú, emisie skleníkových plynov zostávajú vysoké, klimatická zmena sa preto výrazne zhoršuje.
- **SSP5-8.5 – scenár veľmi vysokých emisií:** predpokladá vysoké emisie a výrazné pokračovanie globálneho otepľovania.

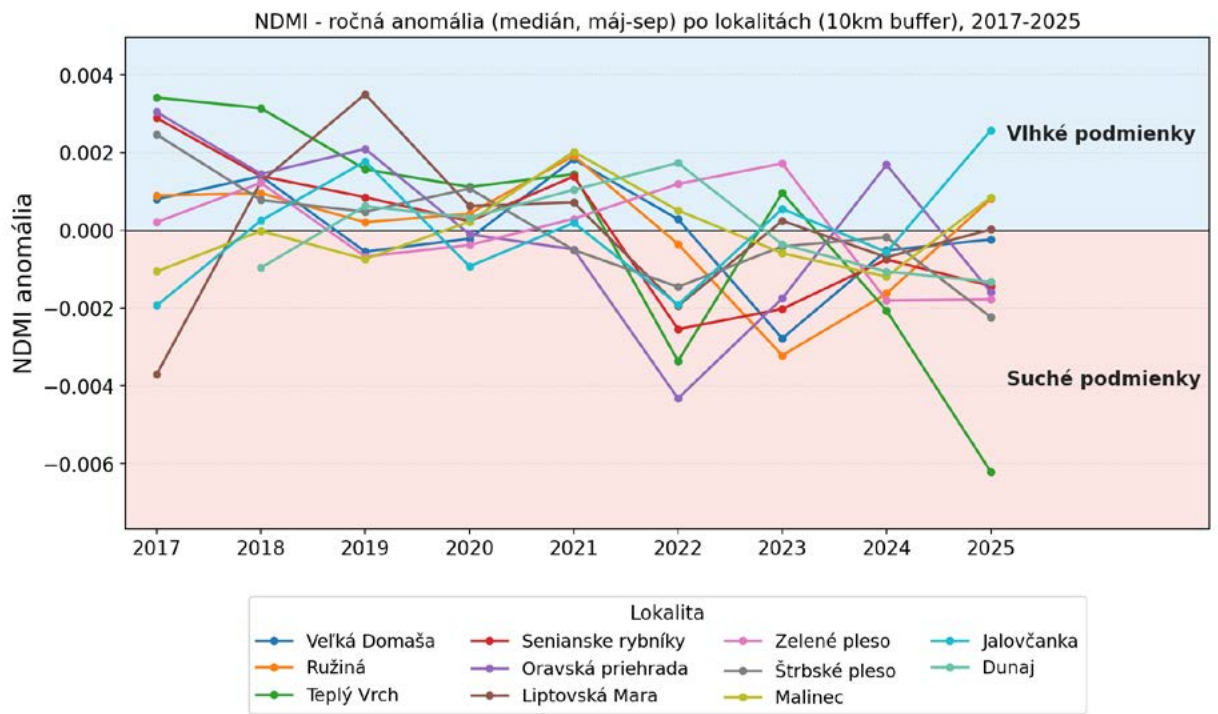


Obr. 2 Projektované krátkodobé až sezónne sucho ($SPEI-3$ a $SPEI-12$) v období 2071–2100 podľa scenárov SSP v okresoch riešených lokalít.

Lokalita	Relatívna zmena CDD	Interpretácia
Veľká Domaša	+45 %	predĺženie CDD
Ružiná	+42 %	predĺženie CDD
Teplý Vrch	+47 %	predĺženie CDD
Senianske rybníky	+44 %	predĺženie CDD
Oravská priehrada	+44 %	predĺženie CDD
Liptovská Mara	+46 %	predĺženie CDD
Zelené pleso	+81 %	predĺženie CDD
Štrbské pleso	+50 %	predĺženie CDD
Málinec	+41 %	predĺženie CDD
Jalovčanka	+57 %	predĺženie CDD
Dunaj	+23 %	predĺženie CDD

Tab. 3 Relatívna zmena maximálneho počtu po sebe idúcich suchých dní (CDD) v scenári SSP5-8.5 medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100

V nasledujúcom grafe vidíme **vlhkostný index zo satelitných meraní. Väčšina lokalít začína vo vlhkých podmienkach, no už za necelú dekádu sa dostáva do suchých podmienok. Graf jasne ukazuje klesajúci trend vlhkosti.**



Obr. 3 Ročné anomálie obsahu vody vo vegetácii podľa satelitného indexu NDMI, 2017–2025.

Výsledky satelitných indexov naznačujú, že klimatický a pôdny vodný stres sa v mnohých lokalitách prenáša aj do vegetácie. **V 9 z 11 lokalít smerujú minimálne dva z troch primárnych Sentinel-2 indexov k zhoršujúcemu sa vlhkovému stresu.** Najsilnejšie jednotlivé výsledky predstavujú významný pokles NDMI na Teplom Vrchu, Senianskych rybníkoch a Štrbskom plese a významný pokles NDRE pri Dunaji; Oravská priehrada má navyše hraničný pokles NDMI. Málinec a Jalovčanka zatiaľ nevykazujú konzistentný dlhodobý Sentinel-2 signál, ale aj tam boli zaznamenané výrazné stresové epizódy. Keďže satelitný rad 2017–2025 je krátky, podstatná je

kombinácia trendov, spoločného smeru viacerých indexov a extrémnych anomálií, nie iba samotná p-hodnota. Ročné anomálie NDMI (Obr. 3) zároveň ukazujú výraznú medziročnú variabilitu a opakované negatívne odchýlky najmä po roku 2021. Roky 2022–2025 priniesli vo viacerých lokalitách obdobia zníženého obsahu vody vo vegetácii. Mimoriadne výrazná negatívna anomália sa objavuje napríklad na Teplom Vrchu v roku 2025 a výrazné odchýlky boli zaznamenané aj v ďalších lokalitách v rokoch 2022–2024. Sucho sa teda nemusí prejavovať monotónnym zhoršovaním každý rok; charakteristické sú skôr opakované stresové epizódy.

Lokalita	Stanica / tok	Priemerný prietok	p	Minimálny prietok	p	Interpretácia
Senianske rybníky	Horovce / Ondava	-0,147	0,9128	0,013	0,9128	zmiešaný smer
Zelené pleso	Podbanské / Belá	0,015	0,7426	0,036	0,0215	rast oboch ukazovateľov
Štrbské pleso	Podbanské / Belá	0,015	0,7426	0,036	0,0215	rast oboch ukazovateľov
Jalovčanka	Liptovský Mikuláš / Váh	-0,037	0,8267	-0,021	0,9128	pokles oboch ukazovateľov
Dunaj	Bratislava / Dunaj	-18,667	0,2975	-15,006	0,3244	pokles oboch ukazovateľov
Veľká Domaša	Miňovce / Ondava	0,062	0,5112	-0,010	0,8267	zmiešaný smer
Ružiná	Mýtna pod VN / Krivánsky potok	0,005	0,8267	0,001	0,3499	rast oboch ukazovateľov
Teplý Vrch	R.Sobota-Sobôtka / Rimava	-0,107	0,5112	-0,023	0,7426	pokles oboch ukazovateľov
Oravská priehrada	Zubrohlava / Polhoranka	0,039	0,3244	-0,003	1,0000	zmiešaný smer
Liptovská Mara	Liptovská Sielnica / Kvačianka	-0,012	0,6614	-0,005	0,4434	pokles oboch ukazovateľov
Málinec	Málinec (7400) / Smolná I	-0,003	0,4760	-0,000	0,6206	pokles oboch ukazovateľov

Tab. 4 Výsledky analýz minimálnych a priemerných prietokov v blízkych staniciach a na prítokoch

Analýza prietokov a najbližších tokov k riešeným lokalitám (Tab. 4) za obdobie 2010–2023 **nepotvrduje plošný štatisticky významný pokles ročných prietokov vo všetkých lokalitách.** Tento výsledok však nie je v rozpore s ostatnými indikátormi sucha. Ročné priemery môžu maskovať sezónne presuny vody a krátkodobé extrémny a analyzovaný hydrologický rad je relatívne krátky. Najsilnejší signál bol zistený na Dunaji, kde okrem negatívneho smeru

ročných Q_{mean} a Q_{min} existuje štatisticky významný pokles júlového prietoku. Ružiná vykazuje konzistentný negatívny smer počas väčšiny mesiacov. Teplý Vrch, Lipovská Mara, Málinec a Jalovčanka majú negatívny smer ročných ukazovateľov a/alebo letných prietokov. Pri Zelenom a Štrbskom plese sa skôr objavuje zmena sezónnosti – vyšší smer prietokov na konci zimy a nepriaznivejší smer v lete.

Čo sa teda v sledovaných lokalitách reálne deje?

Výsledky ako celok neukazujú, že by vo všetkých lokalitách rovnomerne klesalo množstvo vody alebo každý rok systematicky rástlo sucho. Ukazujú však niečo z hľadiska dôsledkov podstatnejšie: mení sa charakter vodného stresu. V historickom období sa **opakovane objavujú meteorologické a pôdne suchá, v mnohých lokalitách sa predlžujú alebo zosilňujú suché epizódy, rastie atmosférický dopyt po vode a vegetácia už v satelitných dátach vykazuje opakované známky vlhového stresu. Hydrologické dáta navyše na viacerých miestach naznačujú, že nepriaznivá zmena sa môže sústreďovať práve do leta, hoci ročný priemer ešte významne neklesá.**

Budúce projekcie tento historický obraz

neposúvajú iba o niekoľko percent, ale pri vyšších emisných scenároch ukazujú výraznú zmenu režimu sucha. SPEI-3 poukazuje na zosilnenie sezónneho deficitu, SPEI-12 na možnú akumuláciu sucha počas dlhších období a CDD na výrazné predĺženie období bez zrážok vo všetkých 11 lokalitách. V praxi to znamená, že územie môže mať počas kritických častí roka menej dostupnej vody práve v čase, keď vyššie teploty a atmosférický dopyt po vode zvyšujú jej spotrebu a straty. Dôsledkom môže byť väčší stres vegetácie, rýchlejšie vyčerpanie pôdnej vody, tlak na mokrade a vodné ekosystémy, slabšie letné dopĺňanie tokov a nádrží a vyššia citlivosť krajiny na viacročné alebo opakované suché obdobia.

VEĽKÁ DOMAŠA

- Za necelú dekádu sa oteplila o 2 °C.
- Vlny horúčav na Domaši stúpili z 10 dní na 38 dní za rok.
- Výskyt mesiacov s výrazným a dlhodobým suchom sa doteraz zvýšil takmer 6-násobne.
- Obdobie, keď začínajú rastliny na jar aktívne rásť, je suchšie. Na začiatku vegetačného obdobia bude v pôde a v prírode menej vody, čo sťažuje rast rastlín.
- V budúcnosti sa predpokladá ďalší posun k suchším podmienkam.
- Ak sa naplní najhorší klimatický scenár, Veľká Domaša môže mať do konca storočia takmer 4 mesiace v roku horúčavy, viac ako 3 mesiace sucha a približne mesiac, keď bude zároveň veľké teplo aj sucho.

Veľká Domaša je vodná nádrž na Ondave, využívaná najmä na reguláciu vodného re-

žimu, rekreáciu a vodohospodárske účely. **V okolí Veľkej Domaše vzrástla priemerná teplota medzi porovnávanými obdobiami približne o 2,0 °C a počet dní vo vlnách horúčav sa zvýšil približne z 10 na 38 dní ročne.** Frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 5,8-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 131 dní vo vlnách horúčav, 32 súbežne suchých a horúcich dní ročne a rast počtu suchých dní zo 104 na 118. Tento širší klimatický signál podporuje interpretáciu rastúceho tepelného a vodného stresu v povodí.

Historický signál zhoršovania sucha

V lokalite bol identifikovaný rast počtu mesiacov s krátkodobým suchom podľa SPEI-1. Najsilnejší pokles SPEI-12 sa

prejavuje v máji: priemer sa mení z 0,04 v období 1990–2001 na –0,21 v období 2014–2025. Tento jarný posun znamená, že vegetačné obdobie sa začína v suchších podmienkach.

Rast VPD je štatisticky preukázaný už v období 1990–2025 (Senov sklon +0,00272 kPa/rok; FDR $p = 0,00283$), čo dokladá rastúci atmosférický dopyt po vode a vyšší potenciál evapotranspiračných strát.

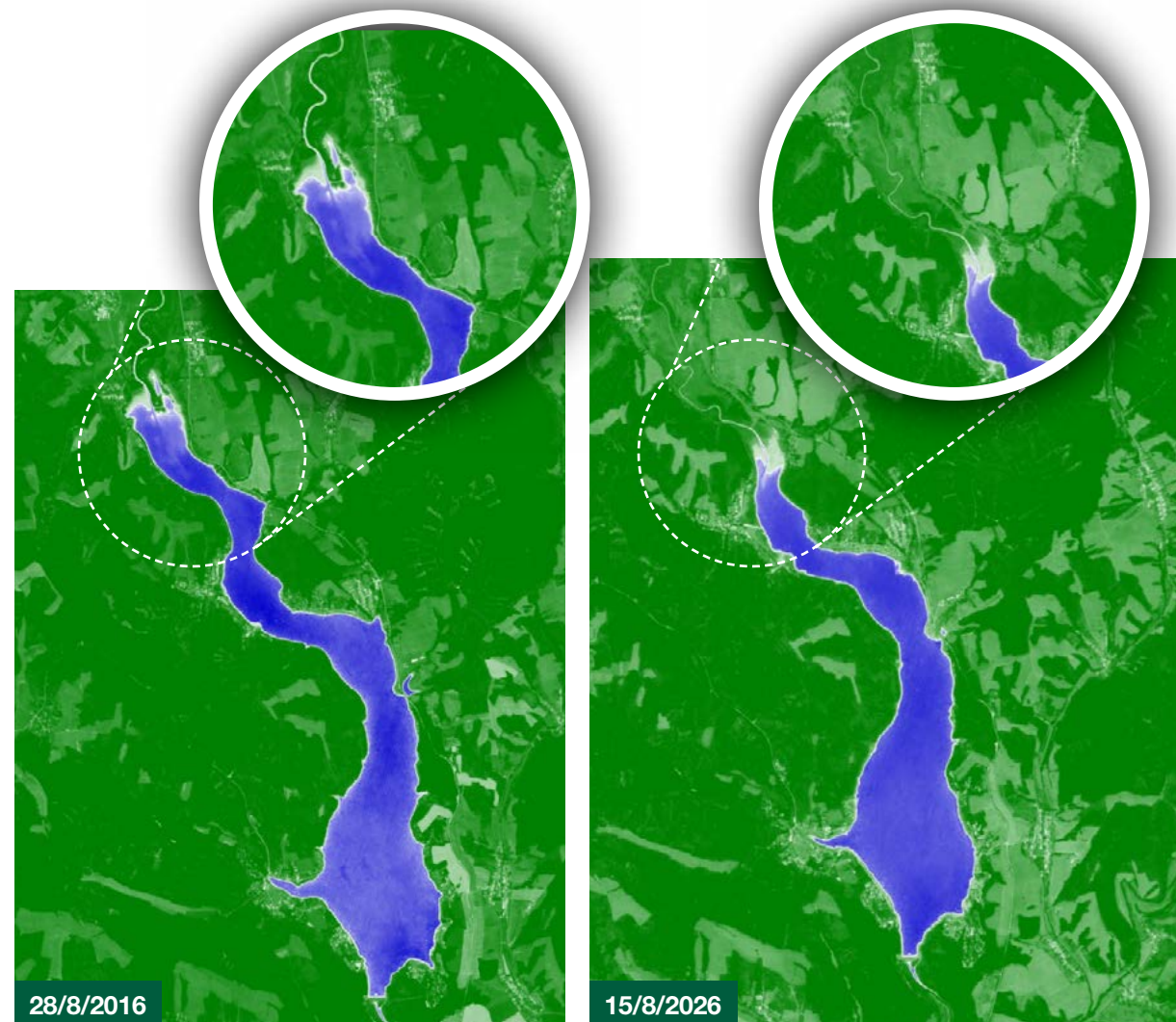
Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 5,8-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné abso-

lútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 131 dní vo vlnách horúčav, 32 súbežne suchých a horúcich dní a približne 118 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 45 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Najpresvedčivejší historický dôkaz predstavuje významný rast VPD (ako intenzívne môže atmosféra odoberať vodu z pôdy a vegetácie) a rast počtu mesiacov s krátkodobým suchom; projekcie ukazujú výrazné predlžovanie bezzrážkových období.



Velká Domáša, Sentinel

RUŽINÁ

- Priemerná teplota vzrástla približne o 2,0 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 43 dní ročne.
- Výskyt mesiacov so závažným suchom stúpol 3,7-násobne.
- Najhorší scenár emisií projektuje do konca storočia 133 dní horúčav, 39 súbežných suchých a horúcich dní a nárast suchých dní zo 123 na 137 ročne.

Ružiná je vodná nádrž v južnej časti stredného Slovenska, ktorá slúži najmä na vodohospodárske účely a rekreáciu. Pri Ružinej vzrástla priemerná teplota približne o 2,0 °C, počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 43 dní ročne a frekvencia závažného sucha podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 3,7-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 133 dní vo vlnách horúčav, 39 súbežne suchých a horúcich dní a nárast suchých dní zo 123 na 137 ročne. Tento vývoj dopĺňa už pozorované predlžovanie epizód pôdneho sucha.

Historický signál zhoršovania sucha

Najsilnejší pokles SPEI-12 sa prejavuje v januári, kde sa priemer mení z 0,24 (1990–2001) na –0,29 (2015–2026), teda smerom k suchším podmienkam. Historické údaje ukazujú štatisticky významné predlžovanie maximálneho trvania pôdneho sucha približne o 1,5 dňa za dekádu ($p = 0,038$).

Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 3,7-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približ-

ne 133 dní vo vlnách horúčav, 39 súbežne suchých a horúcich dní a približne 137 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 42 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Klimatické scenáre naznačujú, že tento tlak môže v budúcnosti pokračovať. Do konca storočia sa pri RCP8.5 projektuje pokles pôdnej vlhkosti počas vegetačného obdobia približne o 1,6 % a v lete o 2,4 % oproti obdobiu 2011–2040. Kým už v minulosti pozorujeme predlžovanie suchých epizód, budúce otepľovanie tak môže vytvárať ešte nepriaznivejšie podmienky najmä počas leta. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu.

V Ružinej sa zhoršovanie sucha prejavuje najmä predlžovaním suchých epizód; projekcie pridávajú výrazný pokles SPEI (ukazuje deficit vody porovnáva zrážky s potenciálnym výparom), dlhšie bezzrážkové obdobia a pokles letnej pôdnej vlhkosti.

TEPLÝ VRCH

Teplý Vrch je vodná nádrž na rieke Blh, využívaná najmä na rekreáciu, rybárstvo a vodohospodárske účely. Pri Teplom Vrchu vzrástla priemerná teplota približne o 2,1 °C, počet letných dní z 22 na 54 ročne a počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 40 dní ročne. Výskyt mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšil približne 3,8-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 66 veľmi horúcich a 39 súbežne suchých a horúcich dní ročne a rast počtu suchých dní zo 133 na 146. Tento klimatický kontext je v súlade s výrazným zhoršovaním pôdnej vlhkosti a vegetačných ukazovateľov opísaným nižšie.

Historický signál zhoršovania sucha

Pri Teplom Vrchu bol v období 1990–2025 identifikovaný rast VPD so Senovým sklonom +0,00192 kPa/rok; pôvodná p-hodnota 0,0483 indikuje trend na hladine 0,05, po korekcii na mnohonásobné testovanie je však výsledok marginálny (FDR $p = 0,0758$). SSP5-8.5 projektuje ďalší výrazný rast (+0,00308 kPa/rok). Rast VPD znamená zosilňovanie schopnosti atmosféry odoberať vodu z pôdy a vegetácie, čo môže zvyšovať riziko rýchlejšieho vysušovania pôdy, vegetačného stresu a vyšších nárokov na vodu počas horúcich období. V okolí vodnej nádrže môže tento proces spolu s otepľovaním zvyšovať tlak na lokálnu vodnú bilanciáciu a zosilňovať dôsledky epizód meteorologického sucha.

V okolí Teplého Vrchu sa sucho prejavuje najmä rastúcou frekvenciou, dĺžkou a závažnosťou suchých epizód. Frekvencia sucha podľa ESSMI rastie približne o 5,9 dňa za dekádu ($p = 0,001$), maximálne trvanie epizód o 3 dni za dekádu ($p < 0,001$) a ich kumulatívna závažnosť približne o 7 jednotiek za dekádu ($p = 0,004$). Letná pôdna vlhkosť zároveň vykazuje klesajúci smer trendu.

Teplý Vrch vykazuje jeden z najsilnejších signálov poklesu vlhkosti vegetácie. NDVI

vykazuje pokles s p-hodnotou jednotlivého trendového testu rýchlosťou $-0,00089/\text{rok}$ ($p = 0,0025$), čo je najstrmší pokles NDVI zo všetkých analyzovaných lokalít, a najnižšia anomália bola zaznamenaná v roku 2025. MSI zároveň rastie a jeho stresové anomálie sa vyskytovali aj v súvislých rokoch. Hoci NDRE neprináša rovnaký trendový signál, kombinácia výrazného poklesu NDVI a rastúceho MSI podporuje záver o zhoršovaní vlhkových podmienok vegetácie. To môže viesť k častejšiemu vodnému stresu, vyššej evapotranspiračnej záťaži a väčšej citlivosti okolitej vegetácie a poľnohospodárskej krajiny na suché vegetačné sezóny.

Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 3,8-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 136 dní vo vlnách horúčav, 39 súbežne suchých a horúcich dní a približne 146 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 47 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Teplý Vrch patrí medzi lokality s veľmi konzistentným historickým signálom: pôdne suchá sú častejšie, dlhšie a závažnejšie a NDVI vykazuje výrazný klesajúci trend ($p = 0,0025$ v jednotlivom trendovom teste).

SENIANSKE RYBNÍKY

- Priemerná teplota vzrástla približne o 2,1 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav vzrástol z 10 na 42 dní ročne.
- Počet tropických nocí vzrástol z 0,4 na 4,3 ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom sa zvýšila približne 6-násobne.
- Pre mokradový biotop, ktorého hlavným cieľom je ochrana vtáctva a mokradového biotopu, je kombinácia rastúcej teploty a sucha kritická.
- Keďže ide o mokrade a rybníky, **väčší dopyt po vode môže mať výrazný negatívny vplyv**. Voda sa bude rýchlejšie odparovať, pôda a mokrade budú rýchlejšie vysychať a príroda bude citlivejšia na dlhšie obdobia bez dažďa.
- Senianske rybníky patria medzi lokality s najkonzistentnejším súborom indikátorov zhoršovania sucha: klesajú extrémne nízke hodnoty pôdnej vlhkosti,

rastie frekvencia, trvanie aj závažnosť sucha a významne klesá obsah vody v rastlinách.

- Stabilita ekosystému je veľmi silno ohrozená vysychaním.

Senianske rybníky sú významný rybníkový a mokradový komplex na východnom Slovensku, ktorého hlavnou hodnotou je ochrana mokradových biotopov a vtáctva. Pri Senianskych rybníkoch vzrástla priemerná teplota približne o 2,1 °C, počet dní vo vlnách horúčav z 10 na 42 dní ročne a počet tropických nocí z 0,4 na 4,3 ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 6-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 133 dní vo vlnách horúčav, 70 veľmi horúcich a 37 súbežne suchých a horúcich dní ročne. Pre mokradový systém je táto kombinácia rastúcej teploty a sucha osobitne významná.



Senianské rybníky, Sentinel

Historický signál zhoršovania sucha

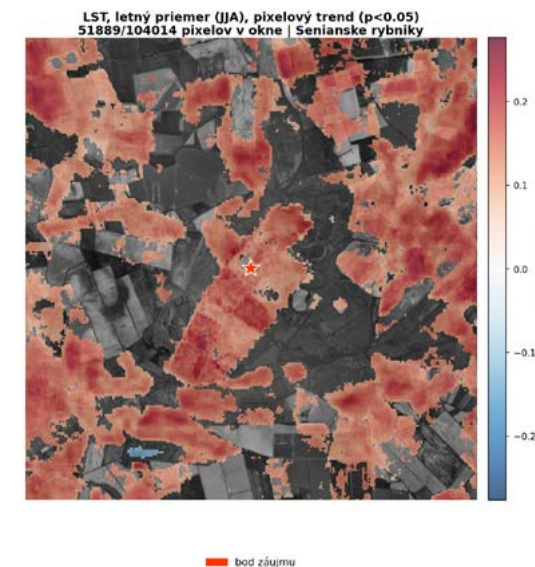
Pri Senianskych rybníkoch je rast VPD štatisticky preukázaný už v historickom období 1990–2025 (+0,00196 kPa/rok; FDR $p = 0,0364$) a SSP5-8.5 projektuje ďalšie zosilnenie trendu (+0,00325 kPa/rok). Keďže ide o mokraďový a rybničný systém, rastúci atmosférický dopyt po vode je osobitne relevantný: môže zvyšovať evapotranspiračné straty z vegetácie a okolitej krajiny, urýchľovať vysušovanie plytkých pôdnych a mokraďových zásob vody a zvyšovať citlivosť biotopov na dlhšie obdobia bez zrážok. V kombinácii s ďalšími

zmenami vodnej bilancie tak môže narastať tlak na udržanie vhodných hydrologických podmienok mokradí a na ekosystémy viazané na dostatok vody.

Zo sledovaných lokalít patria Senianske rybníky medzi miesta s veľmi zreteľným historickým signálom sucha. Extrémne nízka pôdna vlhkosť (P05) klesá približne o 0,0053 m³/m³ za dekádu ($p = 0,032$). Frekvencia sucha rastie asi o 6,7 dňa za dekádu ($p = 0,007$), maximálne trvanie suchých epizód o 3,25 dňa za dekádu ($p < 0,001$) a ich závažnosť približne o 8,6 jednotky za dekádu ($p = 0,014$). Klesajúci smer je viditeľný aj v letnej a vegetačnej pôdnej vlhkosti.



© Andrej Barát / Greenpeace



Obr. 4 Miesta s významným trendom zmeny povrchovej teploty.

Senianske rybníky vykazujú výrazný signál poklesu vlhkosti vegetácie: index NDVI, ktorý zachytáva zmeny obsahu vody vo vegetácii, vykazuje pokles s p -hodnotou jednotlivého trendového testu ($-0,00056/\text{rok}$; $p = 0,0286$) a NDRE má taktiež negatívny smer. Rok 2022 bol súčasne najhorším rokom pre obsah vody vo vegetácii (NDVI) vlahový stres (MSI) aj stav a vitalitu vegetácie (NDRE) a pri NDVI sa objavila dvojročná súvislá stresová epizóda. MSI síce dlhodobý rast nepotvrďuje, celkový obraz však podporuje zhoršovanie vlhkostných podmienok vegetácie. V mokraďovej a rybničnej krajine môže takýto vývoj zvyšovať evapotranspiračné straty, stres mokraďovej vegetácie a citlivosť biotopov na pokles dostupnosti vody počas teplých a suchých období.

Scenáre nárastu sucha

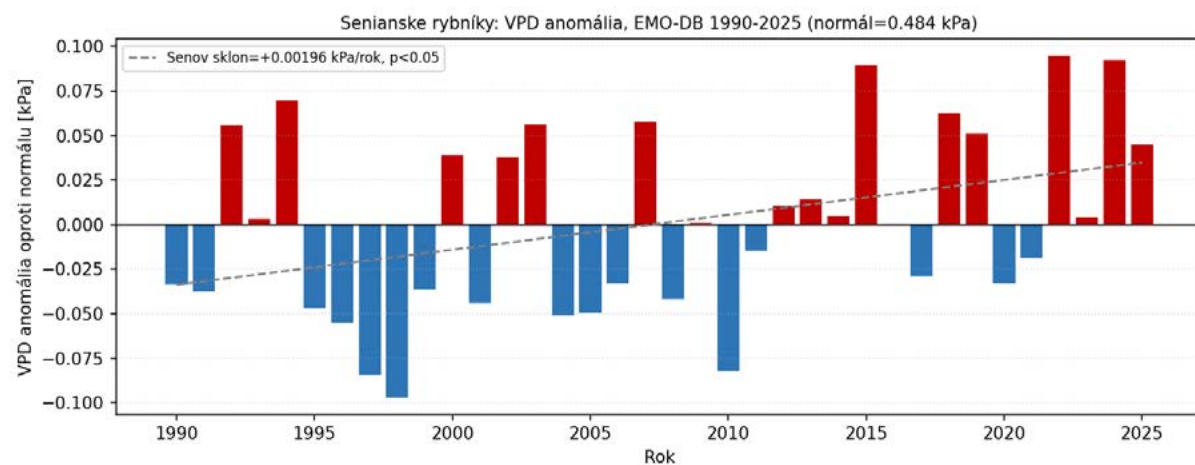
Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 6,0-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približ-

ne 133 dní vo vlnách horúčav, 37 súbežne suchých a horúcich dní a približne 119 suchých dní za rok.

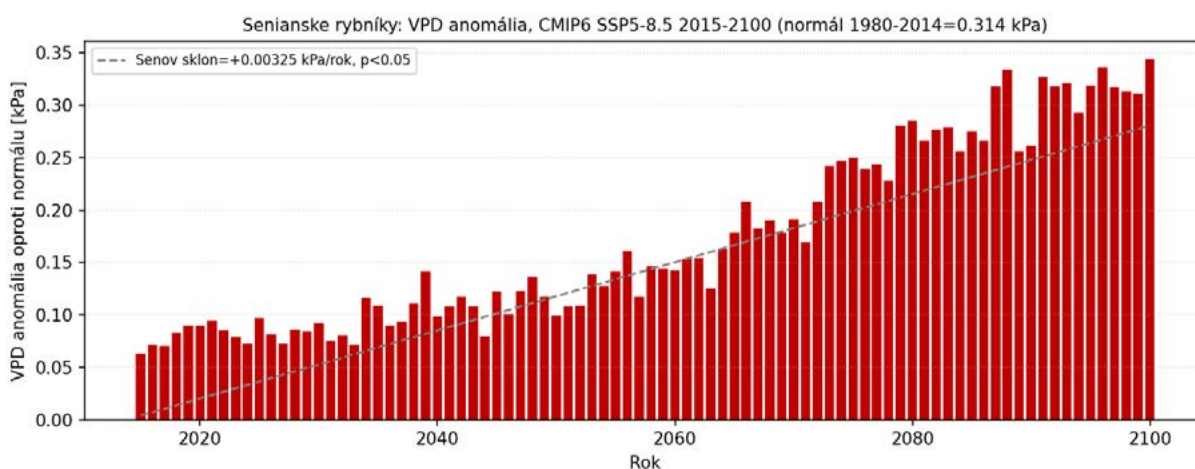
Klimatické projekcie naznačujú pokračovanie vysychania najmä v lete. Pri RCP8.5 sa do konca storočia projektuje pokles letnej pôdnej vlhkosti približne o 0,8 %. Hoci zmena priemeru vegetačného obdobia je menšia (približne $-0,4$ %), je dôležité ju vnímať spolu s už pozorovaným rastom frekvencie, trvania a závažnosti sucha. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 44 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Senianske rybníky patria medzi lokality s najkonzistentnejším súborom indikátorov zhoršovania sucha: klesajú extrémne nízke hodnoty pôdnej vlhkosti, rastie frekvencia, trvanie aj závažnosť sucha a významne klesá NDVI.



Obr. 5 Historický vývoj anomálií deficitu tlaku vodnej pary v lokalite Senianske rybníky (1990–2025).



Obr. 6 Projektovaný vývoj anomálií deficitu tlaku vodnej pary v lokalite Senianske rybníky podľa scenára SSP5-8.5 (2015–2100).

ORAVSKÁ PRIEHRADA

- Pri Oravskej priehrade vzrástla priemerná teplota približne o 2,0 °C.
- Počet dní vo vlnách horúčav približne z 11 na 36 ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 8,3-násobne, čo je najviac zo sledovaných oblastí.
- Aj v klimaticky chladnejšej a vlhšej oblasti teda dochádza k zosilňovaniu atmosférického dopytu po vode.
- Všetky tri hlavné ukazovatele hlásia zhoršenie vlhky pre vegetáciu.

- Aj vo vlhšej horskej oblasti je preukázaný výrazný rast atmosférického dopytu po vode a zhoršujúce sa sucho.

Oravská priehrada je veľká vodná nádrž na Orave, ktorá plní najmä vodohospodársku, energetickú, protipovodňovú a rekreačnú funkciu. Pri Oravskej priehrade vzrástla priemerná teplota približne o 2,0 °C a počet dní vo vlnách horúčav približne z 11 na 36 ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 8,3-násobne, čo predstavuje jeden z najsil-

nejších relatívnych nárastov v sledovanom súbore. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 129 dní vo vlnách horúčav, rast suchých dní z 57 na 73 a približne 14 súbežne suchých a horúcich dní ročne.

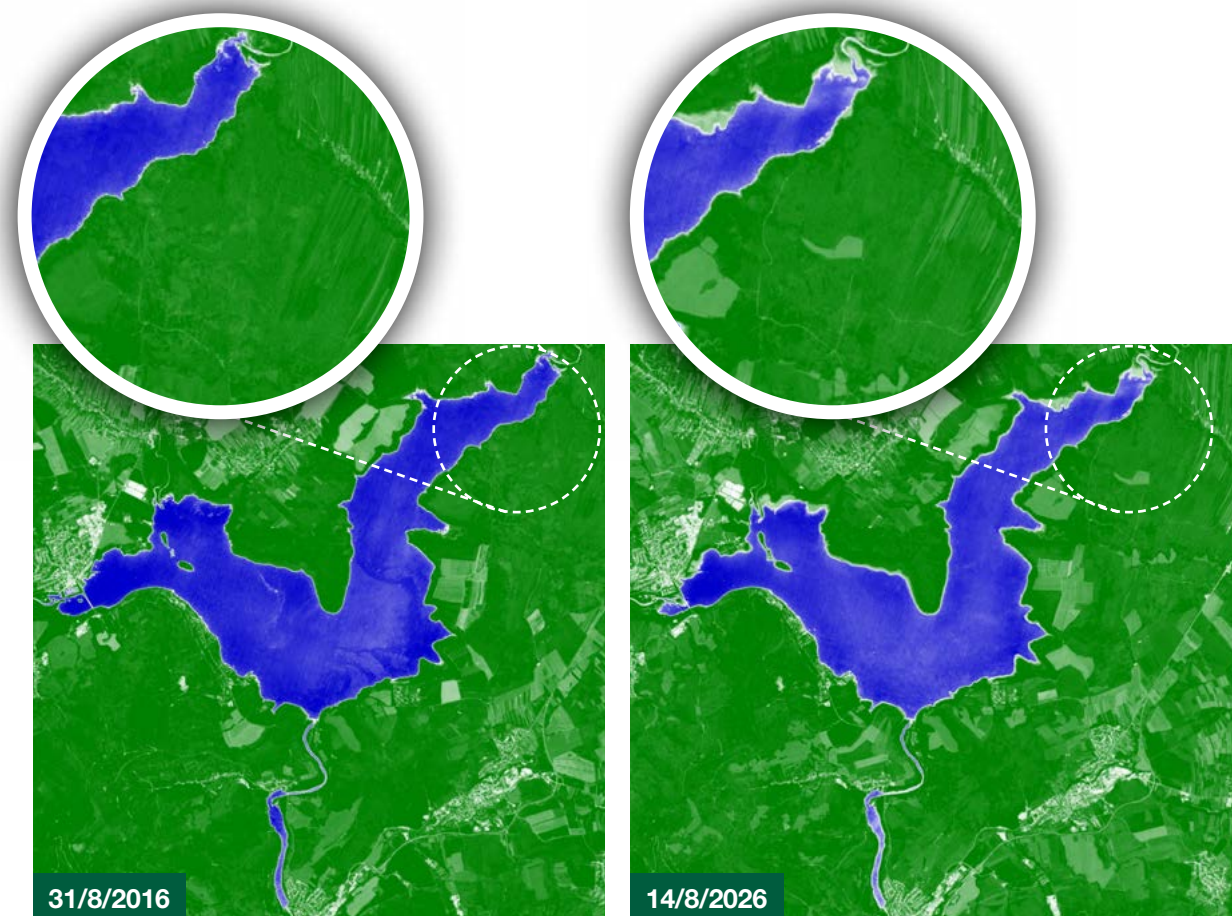
Historický signál zhoršovania sucha

Pri Oravskej priehrade patrí historický rast VPD medzi najpresvedčivejšie výsledky analýzy (+0,00267 kPa/rok; FDR $p = 1,46 \times 10^{-5}$) a rastúci trend pokračuje aj v projekcii SSP5-8.5 (+0,00248 kPa/rok). Aj v klimaticky chladnejšej a vlhšej oblasti teda dochádza k zosilňovaniu atmosférického dopytu po vode. To môže viesť k vyšším evapotranspiračným stratám z povodia, rýchlejšiemu poklesu pôdnej vlhkosti počas teplých období a zvýšenému stresu vegetácie. Z hľadiska vodnej nádrže môže byť dôležitý najmä kumulatívny účinok vyššieho výparu a zmien odtoku z povodia,

ktorý môže v suchých a teplých rokoch zvyšovať tlak na vodnú bilanciu.

V okolí Oravskej priehrady smerujú všetky tri primárne indexy k zhoršovaniu vlhových podmienok vegetácie. NDMI klesá (−0,00060/rok) a v jednotlivom trendovom teste ide o hraničný/slabý signál ($p = 0,0763$), NDRE taktiež klesá a MSI rastie. Rok 2022 sa výrazne prejavil súčasne v NDMI, MSI aj NDRE. Hoci krátky rad zatiaľ neumožňuje potvrdiť väčšinu trendov ako štatisticky významné, zhoda 3/3 indexov naznačuje rastúci tlak na vlhkostný stav vegetácie v okolitej krajine. Pokračovanie takéhoto vývoja môže zvyšovať sezónny vodný stres lesných, lúčnych a poľnohospodárskych porastov a ich citlivosť na teplé a zrážkovo deficitné obdobia.

V júli a auguste sa na prítokovej stanici Zubrohlava objavuje negatívny smer prietokov; júlový pokles je marginálny ($p = 0,0798$), čo poukazuje na možné oslabovanie letného prítoku.



Oravská priehrada, Sentinel

Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 8,3-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 129 dní vo vlnách horúčav, 14 súbežne suchých a horúcich dní a približne 73 suchých dní za rok.

LIPTOVSKÁ MARA

- Pri Liptovskej Mare vzrástla priemerná teplota približne o $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Počet dní vo vlnách horúčav stúpol približne z 10 na 38 dní ročne.
- Frekvencia mesiacov so závažným suchom sa zvýšila približne 6,2-násobne.
- Zvyšuje sa výskyt, trvanie a závažnosť pôdneho sucha.

Liptovská Mara je významná vodná nádrž na Váhu, využívaná najmä na reguláciu prietokov, výrobu elektriny, protipovodňovú ochranu a rekreáciu. Pri Liptovskej Mare vzrástla priemerná teplota približne o $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 38 dní ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 6,2-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 131 dní vo vlnách horúčav, rast suchých dní zo 63 na 80 a približne 17 súbežne suchých a horúcich dní ročne. Tento vývoj dopĺňa historický rast VPD a zhoršovanie epizód pôdneho sucha.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 44 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Aj vo vlhšej horskej oblasti je preukázaný výrazný rast atmosférického dopytu po vode a nepriaznivý smer vegetačných a letných hydrologických ukazovateľov.

Historický signál zhoršovania sucha

Pri Liptovskej Mare je historický rast VPD štatisticky významný ($+0,00242\text{ kPa/rok}$; FDR $p = 0,0125$), pričom najvyššia ročná hodnota celého historického obdobia bola zaznamenaná v roku 2024. Scenár SSP5-8.5 projektuje pokračovanie rastu ($+0,00264\text{ kPa/rok}$). Výsledky indikujú zosilňovanie atmosférického dopytu po vode aj v horskom povodí, čo môže zvyšovať evapotranspiráciu, urýchľovať sezónne vyčerpávanie pôdnej vlhkosti a zvyšovať vodný stres vegetácie. Pre povodie nádrže môže byť tento proces významný najmä v kombinácii so zmenami snehového režimu, teploty a odtoku, keďže môže meniť sezónne rozdelenie vody dostupnej pre krajinu aj nádrž.

Pri Liptovskej Mare ročný priemer pôdnej vlhkosti rastie, no tento priemer zakrýva zhoršovanie suchých epizód a letných podmienok. Frekvencia sucha rastie približne o 2,9 dňa za dekádu ($p = 0,003$), maximálne trvanie epizód o 2,3 dňa za dekádu ($p < 0,001$) a ich závažnosť približne o 4,0 jednotky za dekádu ($p = 0,010$). Letná

pôdna vlhkosť má zároveň klesajúci smer trendu. Ide preto o príklad lokality, kde sa sucho zosilňuje cez extrémny a sezónny, nie cez celoročný priemer.

Scenáre nárastu sucha

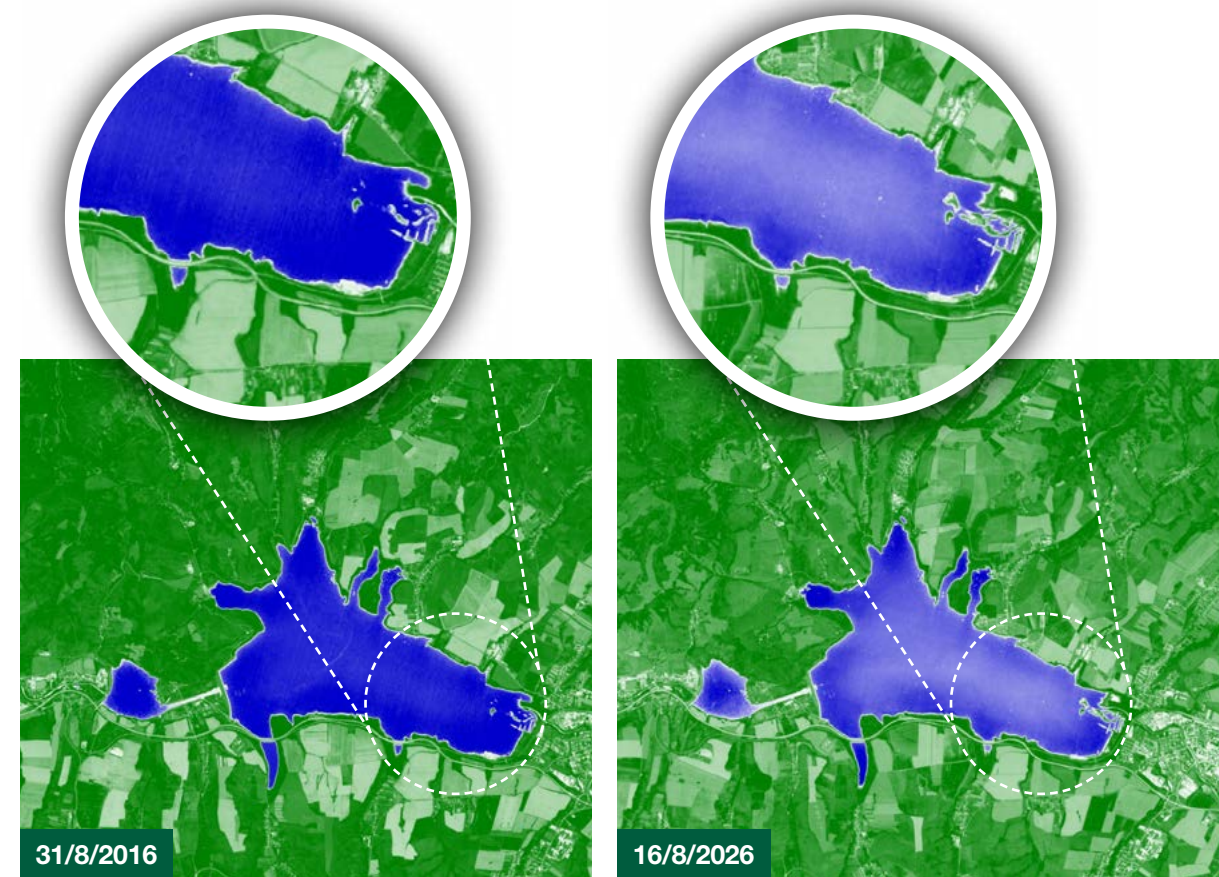
Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 6,2-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 131 dní vo vlnách horúčav, 17 súbežne suchých a horúcich dní a približne 80 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 46 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období

bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Do budúcnosti sa práve letné vysychanie ďalej zosilňuje. Pri RCP8.5 sa do konca storočia projektuje pokles letnej pôdnej vlhkosti približne o 2,4 % a počas vegetačného obdobia o 1,7 % oproti rokom 2011–2040. Už dnes pozorované častejšie, dlhšie a závažnejšie epizódy sucha tak môžu byť sprevádzané ďalším poklesom dostupnej pôdnej vody počas najteplejšej časti roka. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu.

Historicky rastie VPD (štatisticky významne aj po FDR korekcii) a zároveň sa zvyšuje frekvencia, trvanie a závažnosť pôdneho sucha; budúce scenáre tento sezónny a extrémny signál ďalej zosilňujú.



Liptovská mara, Sentinel

ZELENÉ PLESO

Zelené pleso je prirodzené vysokohorské pleso vo Vysokých Tatrách a citlivý prvok horského ekosystému, ktorého význam je predovšetkým prírodný a krajinársky. Aj pri Zelenom plese vzrástla priemerná teplota približne o 1,7 °C, počet dní vo vlnách horúčav približne z 11 na 38 ročne a frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4,7-násobne. Pri SSP5-8.5 sa projektuje nárast počtu suchých dní z 19 na 35 ročne a približne 8 súbežne suchých a horúcich dní. Absolútne teplotné hodnoty v samotnej vysokohorskej lokalite je potrebné vzhľadom na priestorové rozlíšenie použitých klimatických dát interpretovať opatrne.

Historický signál zhoršovania sucha

V oblasti Zeleného plesa sa dlhodobý ročný priemer pôdnej vlhkosti neznižuje, výrazný signál sa však objavuje pri suchých epizódach a v lete. Frekvencia sucha rastie približne o 3,8 dňa za dekádu ($p < 0,001$), maximálne trvanie epizód o 2,1 dňa za dekádu ($p < 0,001$) a ich závažnosť približne o 6,1 jednotky za dekádu ($p < 0,001$). Letná pôdna vlhkosť klesá približne o 0,0046 m³/m³ za dekádu; trend je marginálny ($p = 0,064$).

Všetky tri primárne vegetačné indexy smerujú k vyššiemu vlhkovému stresu: NDMI a NDRE klesajú a MSI rastie. Ide o podpor-

ný, nie samostatne štatisticky významný signál.

Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom (SPEI-12 $< -1,5$) zvýšila približne 4,7-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 132 dní vo vlnách horúčav, 8 súbežne suchých a horúcich dní a približne 35 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 81 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Historické dáta ukazujú rast frekvencie, trvania a závažnosti pôdneho sucha podporený nízkymi p-hodnotami jednotlivých trendových testov a marginálny pokles letnej pôdnej vlhkosti; projekcie ukazujú ďalšie výrazné predlžovanie suchých období.

suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4,3-násobne. Pri SSP5-8.5 sa projektuje nárast počtu suchých dní z 24 na 41 ročne a približne 6 súbežne suchých a horúcich dní. Tento širší klimatický signál podporuje výsledky rastúceho VPD a zhoršovania suchých epizód uvedené v ďalšom texte.

Historický signál zhoršovania sucha

Štrbské pleso vykazuje veľmi výrazný a štatisticky vysoko významný historický rast VPD (+0,00345 kPa/rok; FDR $p = 3,59 \times 10^{-5}$), pričom maximum historického radu bolo zaznamenané v roku 2024. SSP5-8.5 projektuje pokračovanie rastúceho trendu (+0,00257 kPa/rok). Výsledok ukazuje, že zosilňovanie atmosférického dopytu po vode sa netýka iba nížin, ale výrazne sa prejavuje aj vo vysokohorskom prostredí. Vyššie VPD môže podporovať rýchlejšie vysušovanie vegetácie a plytkých horských pôd, zvyšovať stres vegetácie počas teplých epizód a meniť podmienky pre ekosystémy citlivé na dostatok vlhkosti; spolu s otepľovaním môže zvyšovať aj citlivosť horskej krajiny na epizódy sucha.

Aj pri Štrbskom plese sa signál sucha prejavuje predovšetkým cez extrémny. Frekvencia suchých podmienok rastie približne o 3,8 dňa za dekádu ($p = 0,001$), maximálne trvanie suchých epizód o 1,9 dňa za dekádu ($p < 0,001$) a ich závažnosť približne o 5,3 jednotky za dekádu ($p = 0,004$). Celoročný priemer tento vývoj nezachytáva, pretože problém sa sústreďuje do epizód a citlivých období roka. Štrbské pleso patrí medzi najvýraznejšie lokality analýzy: všetky tri primárne indexy smerujú k rastúcemu stresu a NDMI vykazuje štatisticky významný pokles (−0,00044/rok; $p = 0,0286$). Najnižšia anomália NDMI sa navyše objavila v roku 2025, zatiaľ čo MSI zaznamenal výrazné stresové hodnoty a 33 % rokov prekročilo +1 SD. Výsledky podporujú záver o znižovaní vlhkosťného signálu vegetácie v okolí lokality. V horskom prostredí môže pokračujúci vývoj zvyšovať stres vegetácie a citlivosť plytkých pôd a horských ekosystémov na kombináciu rastúcich teplôt, evapotranspirácie a dlhších období bez zrážok.

Scenáre nárastu sucha

Klimatické scenáre ukazujú ďalší posun k suchším podmienkam. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závaž-

ným dlhodobým suchom (SPEI-12 $< -1,5$) zvýšila približne 4,3-násobne. Pri projekciách SPEI preto interpretujeme predovšetkým smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty indexu. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 133 dní vo vlnách horúčav, 6 súbežne suchých a horúcich dní a približne 41 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 50 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Podľa RCP8.5 môže do konca storočia letná pôdna vlhkosť klesnúť približne o 2,2 % a pôdna vlhkosť počas vegetačného obdobia o 1,6 % oproti obdobiu 2011–2040. Budúce vysychanie teda nadväzuje na už dnes pozorované častejšie, dlhšie a závažnejšie suché epizódy a môže zvýšiť tlak na horské ekosystémy počas teplej časti roka. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu.

Štrbské pleso patrí medzi najvýraznejšie lokality: VPD rastie štatisticky významne aj po FDR korekcii, suché epizódy sú častejšie, dlhšie a závažnejšie a NDMI vykazuje pokles s p-hodnotou jednotlivého trendového testu.

ŠTRBSKÉ PLESO

Štrbské pleso je prirodzené vysokohorské jazero vo Vysokých Tatrách, významné najmä z hľadiska horských ekosystémov, krajiny a rekreácie. Pri Štrbskom plese vzrástla priemerná teplota približne o 1,7 °C, počet dní vo vlnách horúčav približne z 11 na 36 ročne a frekvencia mesiacov so závažným

MÁLINEC

Málinec je vodárenská nádrž na Ipli, ktorej primárnou funkciou je zabezpečovanie zdroja vody a vodohospodárska regulácia. Pri Málinci vzrástla priemerná teplota približne o 2,0 °C a počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 44 dní ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4,1-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 76 veľmi horúcich a 38 súbežne suchých a horúcich dní ročne a nárast počtu suchých dní zo 109 na 124. Tento vývoj zosilňuje význam už pozorovaného predlžovania suchých epizód.

Historický signál zhoršovania sucha

Pri SPEI-6 bol identifikovaný rastúci trend v počte mesiacov klasifikovaných ako suché počas roka.

Maximálne trvanie pôdneho sucha rastie približne o 1,4 dňa za dekádu a trend je podporený p-hodnotou jednotlivého trendového testu ($p = 0,012$).

Scenáre nárastu sucha

Výsledky ukazujú posun k častejšiemu a výraznejšiemu vodnému deficitu. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 4,1-násobne. Pri budúcich projekciách preto interpretujeme najmä smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty SPEI. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 132 dní vo vlnách horúčav, 38 súbežne suchých a horúcich dní a približne 124 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 41 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Budúce projekcie patria v Málinci k výraznejším zo sledovaných lokalít. Pri RCP8.5 sa do konca storočia projektuje pokles letnej pôdnej vlhkosti približne o 3,9 % a počas vegetačného obdobia o 2,8 %. Pokles sa objavuje v 10 z 12 mesiacov. Už pozorované predlžovanie suchých epizód sa tak v budúcnosti môže kombinovať s celkovo nižšou pôdnou vlhkosťou, najmä počas leta. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu.

V Málinci sa historické zhoršovanie prejavuje rastúcim počtom suchých mesiacov a predlžovaním suchých epizód; budúce projekcie patria k výraznejším a ukazujú aj pokles pôdnej vlhkosti.

JALOVČANKA

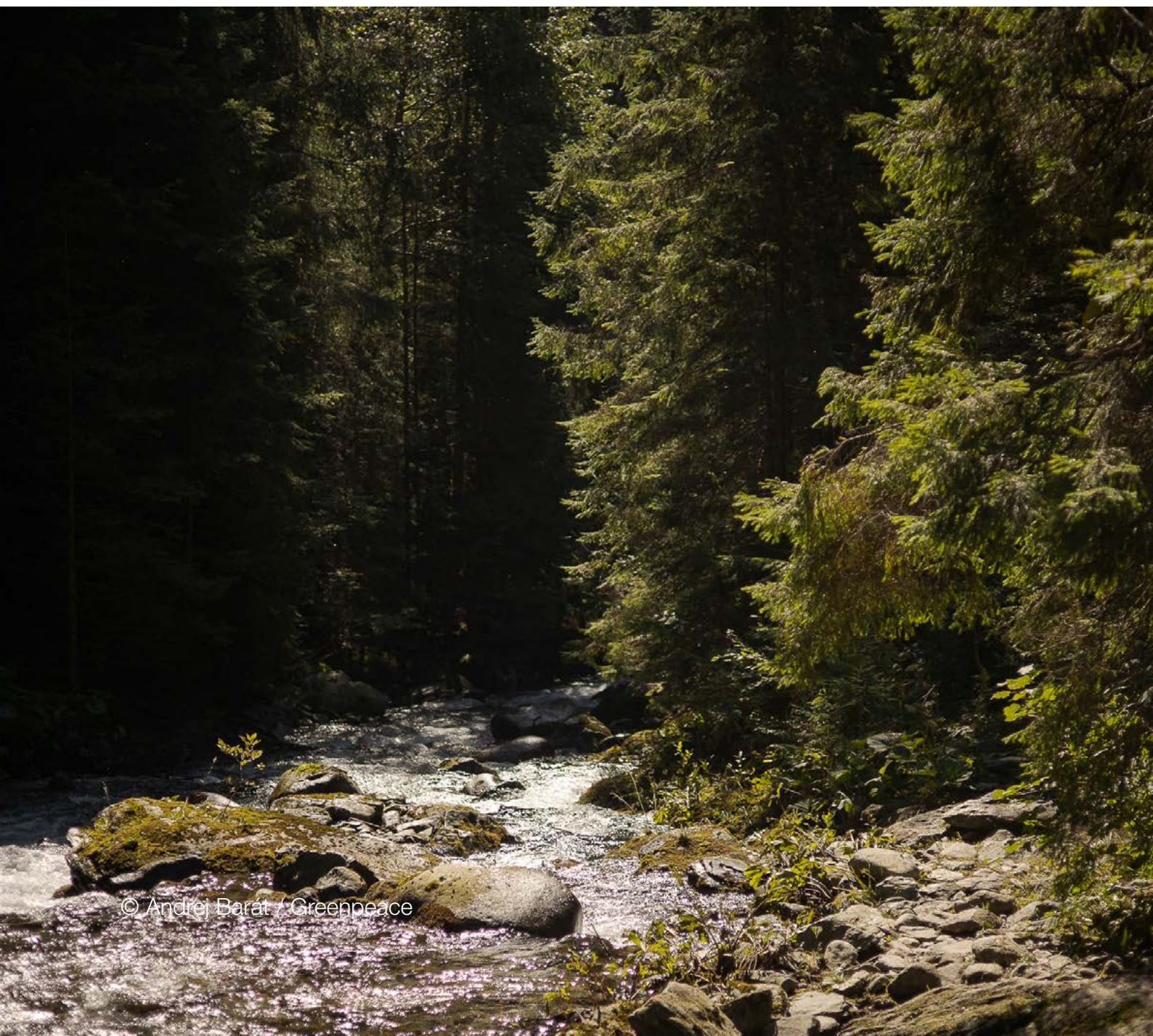
Jalovčanka je horský vodný tok v oblasti Západných Tatier, ktorý odvádza vodu z horského povodia a je súčasťou prirodzeného hydrologického a ekologického systému krajiny. V oblasti Jalovčianky vzrástla priemerná teplota približne o 1,8 °C a počet dní vo vlnách horúčav približne z 10 na 39 ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4,7-násobne. Pri SSP5-8.5 sa projektuje nárast počtu suchých dní z 32 na 48 ročne, predĺženie najdlhšej suchej periódy a približne 9 súbežne suchých a horúcich dní ročne. Tento kontext dopĺňa pozorovaný pokles letnej pôdnej vlhkosti a rast frekvencie a trvania suchých epizód.

Historický signál zhoršovania sucha

Letná pôdna vlhkosť klesá približne o 0,0059 m³/m³ za dekádu; v jednotlivom trendovom teste ide o marginálny signál ($p = 0,091$). Frekvencia sucha rastie približne o 3,3 dňa za dekádu ($p = 0,003$) a maximálne trvanie suchých epizód o 2,4 dňa za dekádu ($p = 0,001$).

Scenáre nárastu sucha

Výsledky ukazujú posun k častejšiemu a výraznejšiemu vodnému deficitu. V historickom porovnaní sa frekvencia mesiacov so závažným dlhodobým suchom ($\text{SPEI-12} < -1,5$) zvýšila približne 4,7-násobne.



Pri budúcich projekciách preto interpretujeme najmä smer zmeny a frekvenciu suchých podmienok, nie extrémne záporné absolútne hodnoty SPEI. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia zároveň projektuje približne 131 dní vo vlnách horúčav, 9 súbežne suchých a horúcich dní a približne 48 suchých dní za rok.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 57 %. Tento výsledok poukazuje na predlžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Klimatické projekcie ukazujú, že letný deficit môže pokračovať aj v budúcnosti. Pri RCP8.5 sa do konca storočia projektuje pokles letnej pôdnej vlhkosti približne o 1,8 % a počas vegetačného obdobia o 1,7 % oproti rokom 2011–2040. To nadväzuje na už pozorovaný pokles letnej vlhkosti a rastúcu frekvenciu a trvanie suchých epizód. Atmosférické indikátory CMIP6 používajú scenáre SSP, zatiaľ čo projekcie pôdnej vlhkosti SWICCA/EURO-CORDEX vychádzajú zo scenárov RCP; výsledky preto porovnávame z hľadiska smeru a rozsahu zmeny, nie ako výstup jedného modelového experimentu

Jalovčanka vykazuje rast frekvencie a trvania suchých epizód podporený nízkymi p-hodnotami jednotlivých trendových testov a marginálny pokles letnej pôdnej vlhkosti; projekcie ukazujú pokračovanie letného vysychania.



© Andrej Barat / Greenpeace

Dunaj pri Bratislave je hlavný medzinárodný vodný tok Slovenska, významný pre vodnú dopravu, zásoby vody, energetiku, vodné ekosystémy a hospodárske využitie územia. V Bratislave pri Dunaji vzrástla priemerná teplota približne o 1,9 °C, počet tropických nocí z 1,5 na 10,2 ročne a počet dní vo vlnách horúčav približne z 12 na 33 dní ročne. Frekvencia mesiacov so závažným suchom podľa SPEI-12 sa zvýšila približne 4,7-násobne. Pri SSP5-8.5 sa do konca storočia projektuje približne 125 dní vo vlnách horúčav, 76 veľmi horúcich a 40 súbežne suchých a horúcich dní ročne. Lokálny klimatický signál nemožno priamo zamieňať za vývoj prietoku Dunaja, ktorý závisí od podmienok v celom medzinárodnom povodí.

Historický signál zhoršovania sucha

Za obdobie 1990–2025 bolo v okolí lokality zaznamenaných šesť samostatných epizód dlhodobého sucha podľa SPEI-12. Najvýraznejšia epizóda prebiehala od novembra 1992 do júla 1993, trvala deväť mesiacov a minimálna hodnota SPEI-12 dosiahla približne –2,08, teda úroveň extrémneho sucha.

Lokalita Dunaj vykazuje najsilnejší historický rast VPD zo všetkých analyzovaných lokalít a zároveň najvyššiu priemernú úroveň VPD. SSP5-8.5 projektuje ďalší výrazný rast (+0,00368 kPa/rok), pričom do roku 2100 dosahuje modelovaná ročná hodnota 0,796 kPa. Ide teda o lokalitu s výrazným a už historicky preukázaným zosilňovaním atmosférického dopytu po vode. Podľa európskeho kombinovaného indikátora sucha CDI sa lokalita počas obdobia jeho dostupnosti nachádzala v niektorej z kategórií sucha v priemere približne 28 % dní roka. Satelitné údaje zároveň identifikovali pri Dunaji významný pokles NDRE, čo predstavuje ďalší nezávislý signál zhoršovania stavu vegetácie.

Scenáre nárastu sucha

Priemerná hodnota SPEI-12 sa z približne –0,02 v referenčnom období posúva pri SSP5-8.5 v období 2071–2100 približne na –3,68. V tejto projekcii by väčšina mesiacov dosahovala hodnotu SPEI-12 pod hranicou –2, teda kategóriu extrémneho sucha. Pri strednom scenári SSP2-4.5 je zmena podstatne menšia: priemerný SPEI-12 dosahuje približne –1,22 a približne 19 % mesiacov sa nachádza pod hranicou extrémneho sucha. Rozdiel medzi scenármi ukazuje výraznú závislosť veľkosti budúceho vodného deficitu od trajektórie ďalšieho otepľovania.

V scenárovej vetve CMIP6 pri SSP5-8.5 sa medzi modelovým historickým obdobím 1981–2010 a obdobím 2071–2100 projektuje nárast priemerného ročného maxima CDD približne o 23 %. Tento výsledok poukazuje na predĺžovanie najdlhších období bez zrážok. Uvádzame iba relatívnu zmenu v rámci tej istej modelovej vetvy; absolútne modelové hodnoty CDD sa s ERA5-Land priamo neporovnávajú.

Na Dunaji sa kombinuje najsilnejší historický rast VPD zo všetkých analyzovaných lokalít s poklesom júlového prietoku, ktorý v samostatnom mesačnom teste dosiahol $p < 0,05$; projekcie zároveň predlžujú obdobia bez zrážok.



© Andrej Barát / Greenpeace

Vydavateľ: Greenpeace

Vydané: 2026

Autori: Greenpeace Slovensko

Mgr. Jozef Pecho

(Regionálny klimatologický inštitút)

Ing. Viera Rattayová, PhD.

(Regionálny klimatologický inštitút)

Grafická úprava: Soňa Gyűrösiová

Zodpovednosť za obsah reportu
nesú autori.

www.greenpeace.sk

**Greenpeace je nezisková
mimovládna organizácia
ochrancov životného
prostredia aktívna vo viac
ako 40-tich krajinách sveta.**

GREENPEACE