



SLOVENSKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV



Predstavenie scenárov zmeny klímy pre Slovensko za obdobie rokov 2021-2100

Mgr. Marcel Garaj, PhD.

Mgr. Ladislav Markovič, PhD.

Odbor Klimatologická služba
Slovenský hydrometeorologický ústav

Odborný seminár k aktuálnym témam v oblasti ochrany ovzdušia, Demänovská Dolina, 08.10.2025



Prejavy a príčiny zmeny klímy

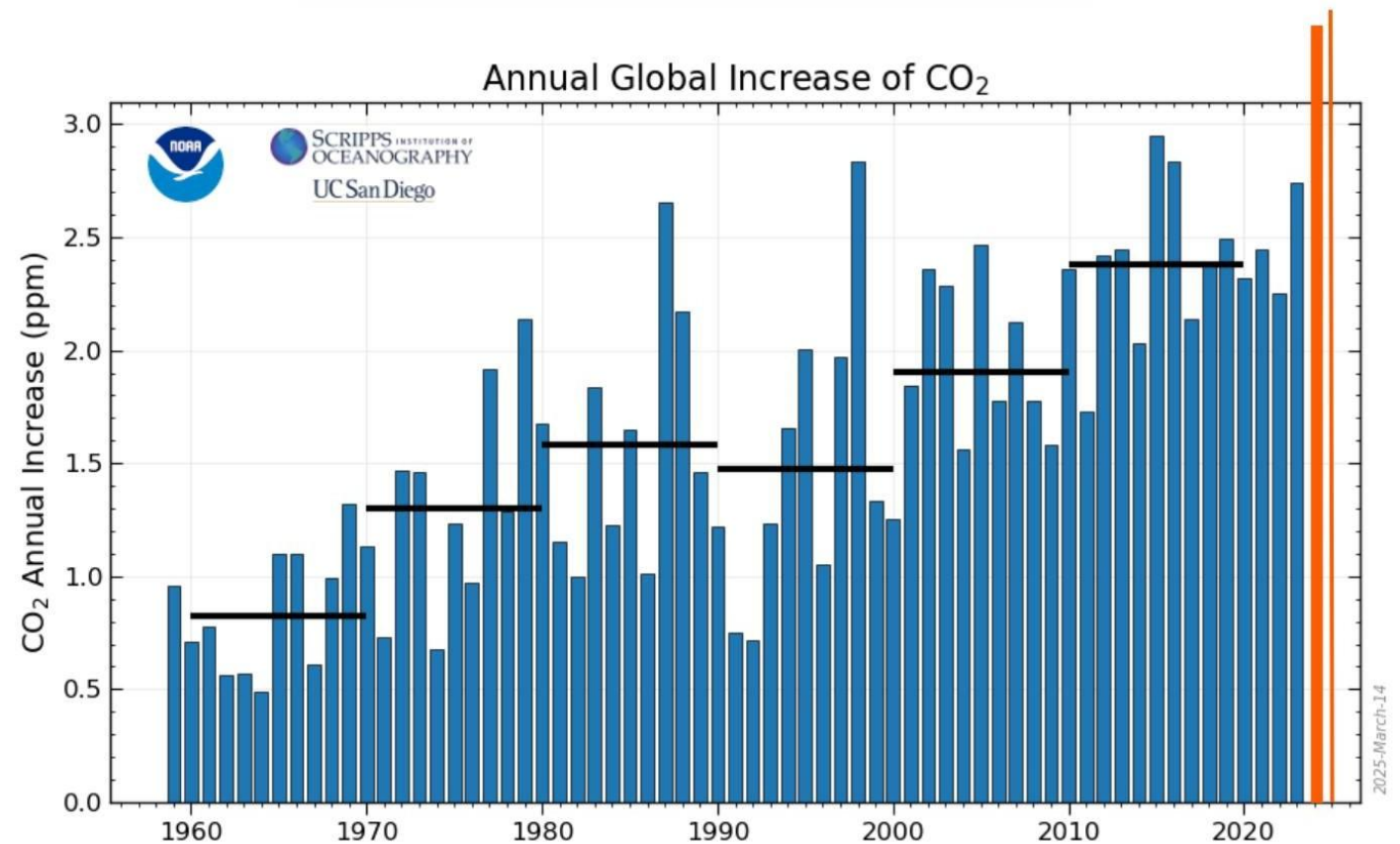
Zvyšujúca sa **globálna koncentrácia skleníkových plynov** je hlavnou príčinou klimatickej zmeny, pričom tento nárast je výsledkom nevyrovnanej bilancie medzi emisiami skleníkových plynov z ľudských (antropogénnych) zdrojov a ich pohlcovaním (záchytnom) biosférou a oceánmi.

Predbežné údaje za rok 2024 naznačujú, že koncentrácia CO₂ dosiahne alebo dokonca prekročí v tomto roku hodnotu **430 ppm**. Priemerná rýchlosť rastu globálnej koncentrácie CO₂ sa počas troch po sebe nasledujúcich desaťročíach (1985-1995, 1995-2005 a 2005-2015) zvýšila z 1,42 ppm/rok na 1,86 ppm/rok, ďalej až a na 2,06 ppm/rok, v poslednom období.

V prípade, že sa započíta radiačný účinok všetkých skleníkových plynov, celková koncentrácia v CO₂eq dosahuje v súčasnosti hodnotu **500 ppm** (AGGI index podľa NOAA).

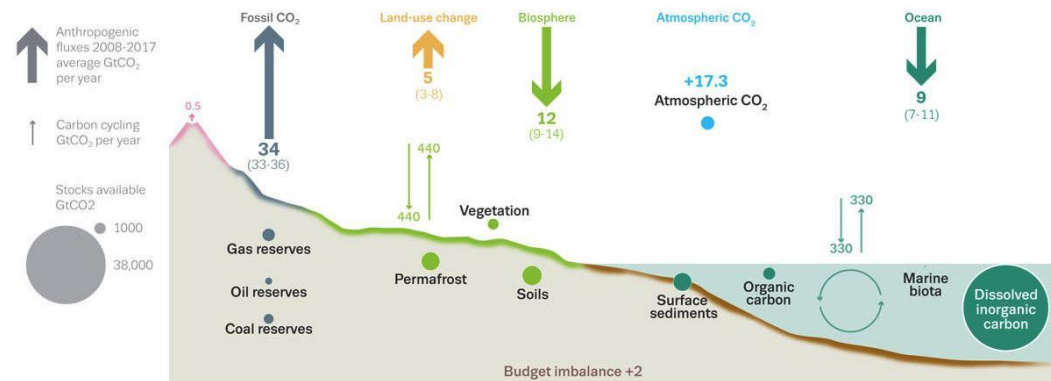
Podľa emisných scenárov RCPs, môže koncentrácia CO₂ do konca tohto storočia dosiahnuť hodnoty od 420 ppm (RCP2.6) do 950 ppm (RCP8.5); pre **CO₂eq až 1250 ppm** (do roku 2100).

V pripravovanej 6. správe IPCC bude využitá nová generácia globálnych GCMs (CMIP6) kombinovaná s novou generáciou emisných scenárov **RCPs a SSPs** (klimatická citlivosť s lepšou parametrizáciou oblačnosti a silnejšej spätnej väzby zo strany uhlíkového cyklu bude pravdepodobne vyššia ako pri CMIP5 a CMIP3 modeloch; **~4-6 °C**).



The rise in atmospheric CO₂ causes climate change

The global carbon cycle 2008-2017



Prejavy a príčiny zmeny klímy

Rok 2024 bol najteplejším rokom aspoň od roku 1850 ($+1,55 \pm 0,13$ °C v porovnaní s predindustriálnym obdobím).

Dlhodobé antropogénne podmienené globálne otepľovanie sa v súčasnosti odhaduje na $1,34 - 1,41$ °C nad úrovňou referenčného obdobia 1850–1900.

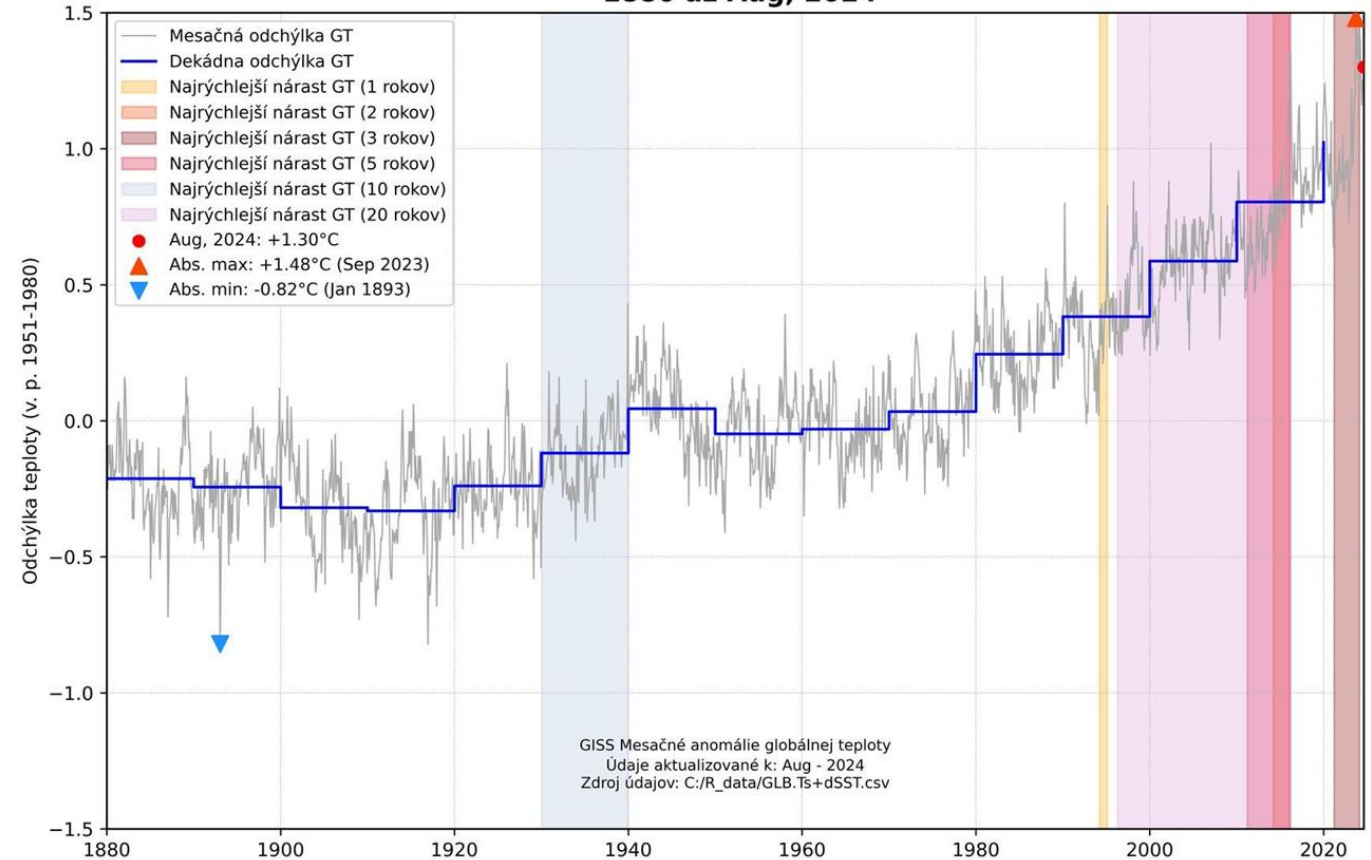
Rýchlu mieru oteplenia v priebehu posledných 70 rokov vykazujú aj všetky oceánske oblasti, a to až do hĺbky 2000 metrov.

Mnohé kontinentálne oblasti na severnej pologuli vykazujú oteplenie aj o viac ako **2,0 °C** (1880-2022).

Polárne oblasti na severnej pologuli (**Arktída** + Grónsko) sa od polovice 20. storočia otepľujú 2- až 3-násobne rýchlejším tempom ako zvyšok planéty.

Databázy globálnej teploty (NASA, NOAA, JMA, CRU, ECMWF-ERA) sú v odhade rastu teploty **časovo konzistentné**.

Odchýlka globálnej priemernej teploty (oceány a pevniny)
1880 až Aug, 2024



NASA GISTEMP
Zdroj údajov: C:/R_data/GLB.Ts+dSST.csv

Úbytok snehovej pokrývky v dôsledku zmeny klímy

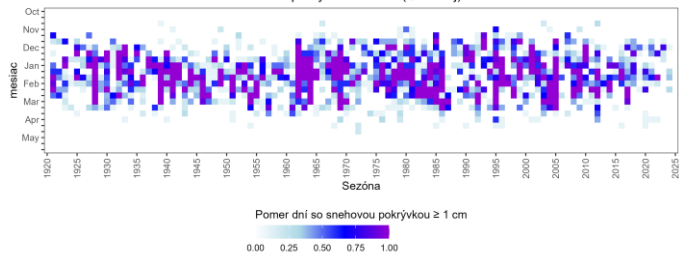
Nárast teploty vzduchu a zmena cirkulačných podmienok vzduchu v zimnom období spôsobuje menej časté snehové zrážky, limitovanú akumuláciu a prerušovaný výskyt snehovej pokrývky v polohách pod 1500 m.

V zimnom období pozorujeme **pribúdanie tekutých zrážok** na úkor tuhých a zmiešaných zrážok, pričom v nížinných a kotlinových polohách pod cca 400 m na juhu a 500 m na severe územia už v zime pozorujem prevahu dní s tekutými zrážkami, pričom táto hranica ďalej stúpa.

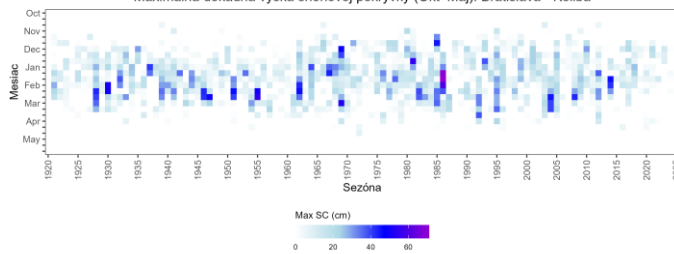
Zmeny v teplotných a zrážkových pomeroch v zime sa prejavujú v zmenách snehových pomerov. Tie sú demonštrované jednak v znížení počtu dní so snehovou pokrývkou a tiež v **poklese priemernej výšky snehovej pokrývky**.

Nedostatok snehu a teplé zimné počasie negatívne ovplyvňuje zimný turizmus a nedostatok vlhky z topiacej sa snehovej pokrývky podmieňuje výskyt sucha v jarnom období.

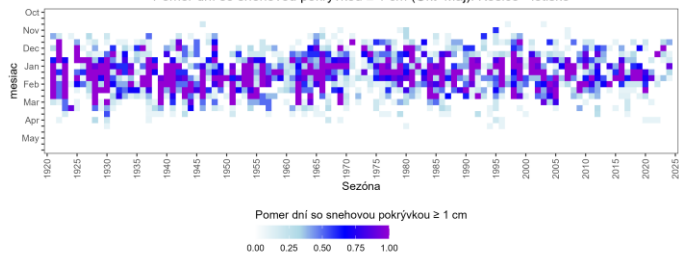
Pomer dní so snehovou pokrývkou ≥ 1 cm (Okt-Máj): Bratislava - Koliba



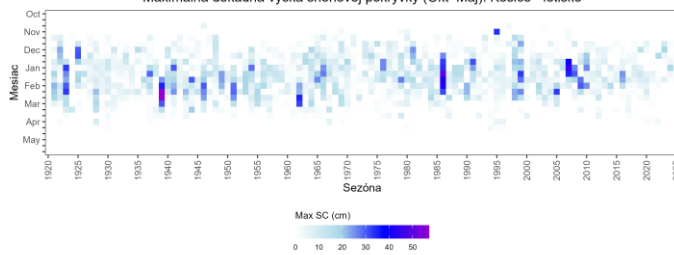
Maximálna dekádna výška snehovej pokrývky (Okt-Máj): Bratislava - Koliba



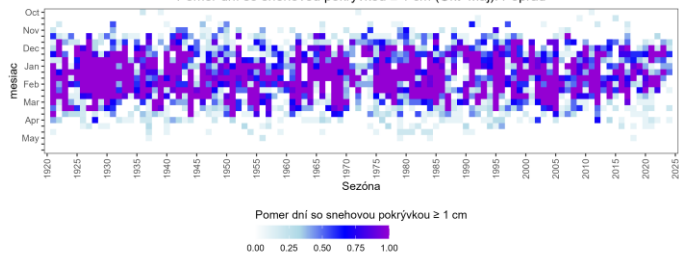
Pomer dní so snehovou pokrývkou ≥ 1 cm (Okt-Máj): Košice - letisko



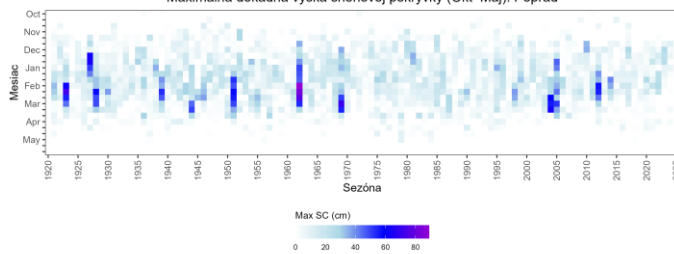
Maximálna dekádna výška snehovej pokrývky (Okt-Máj): Košice - letisko



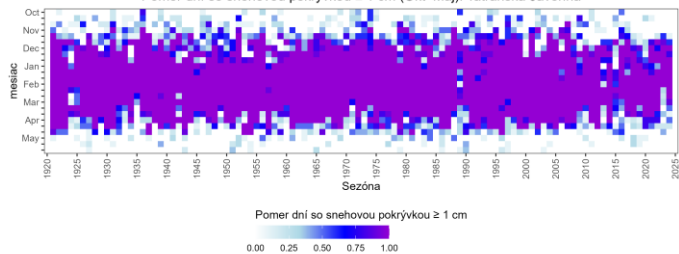
Pomer dní so snehovou pokrývkou ≥ 1 cm (Okt-Máj): Poprad



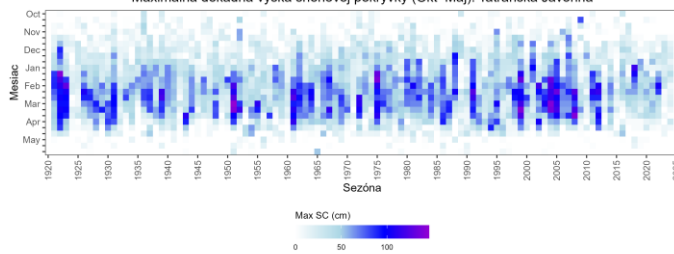
Maximálna dekádna výška snehovej pokrývky (Okt-Máj): Poprad



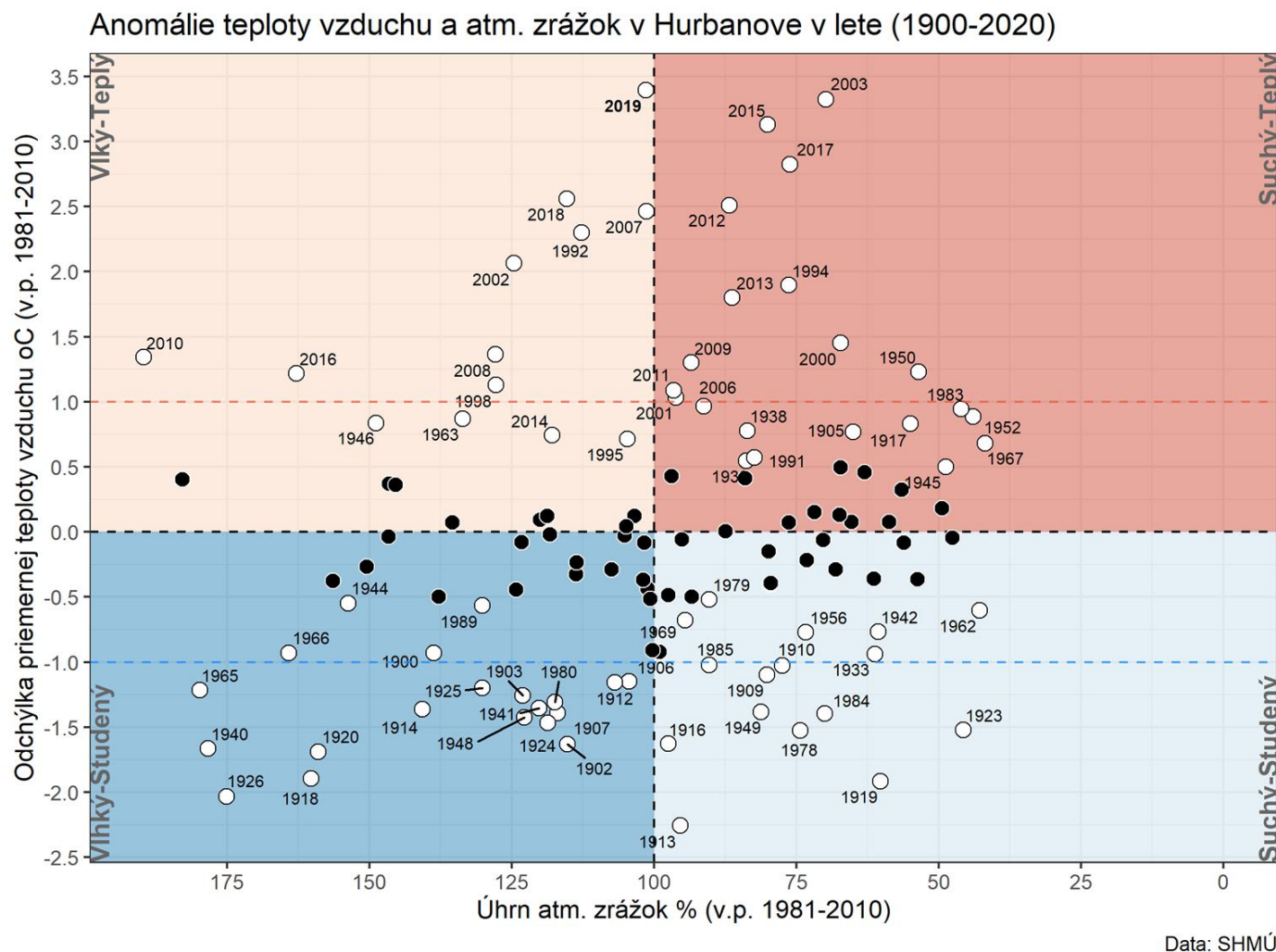
Pomer dní so snehovou pokrývkou ≥ 1 cm (Okt-Máj): Tatranská Javorina



Maximálna dekádna výška snehovej pokrývky (Okt-Máj): Tatranská Javorina



Nárast extrémnosti počasia v dôsledku zmeny klímy



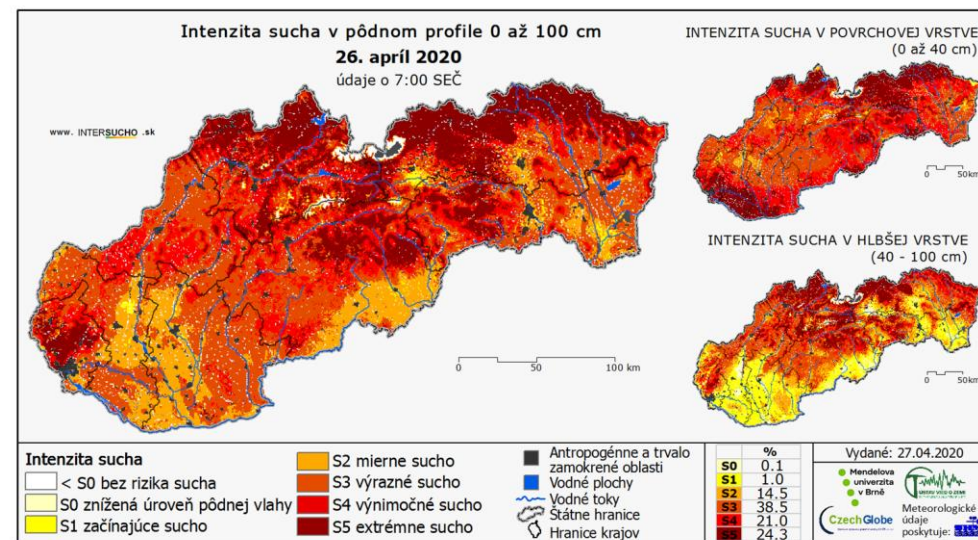
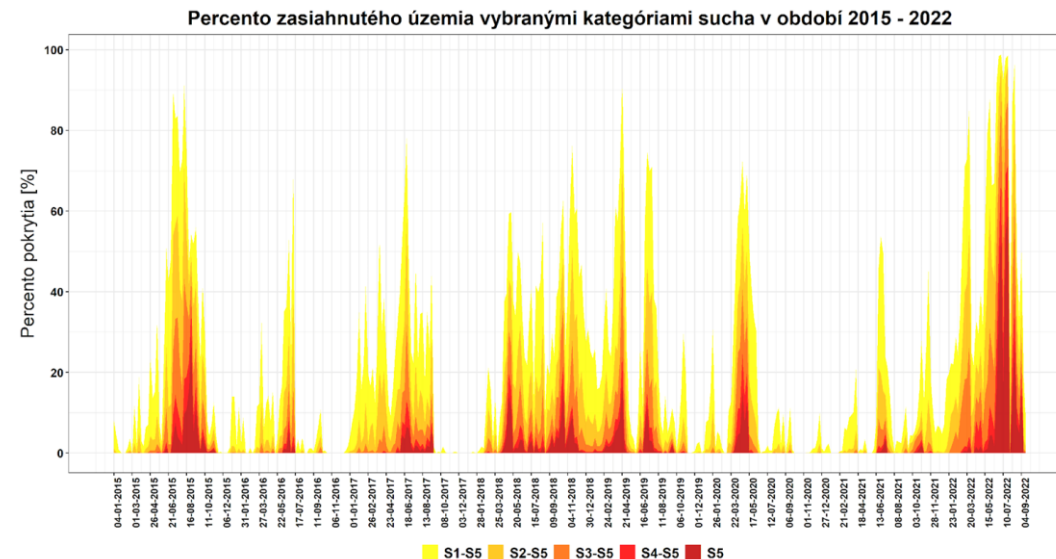
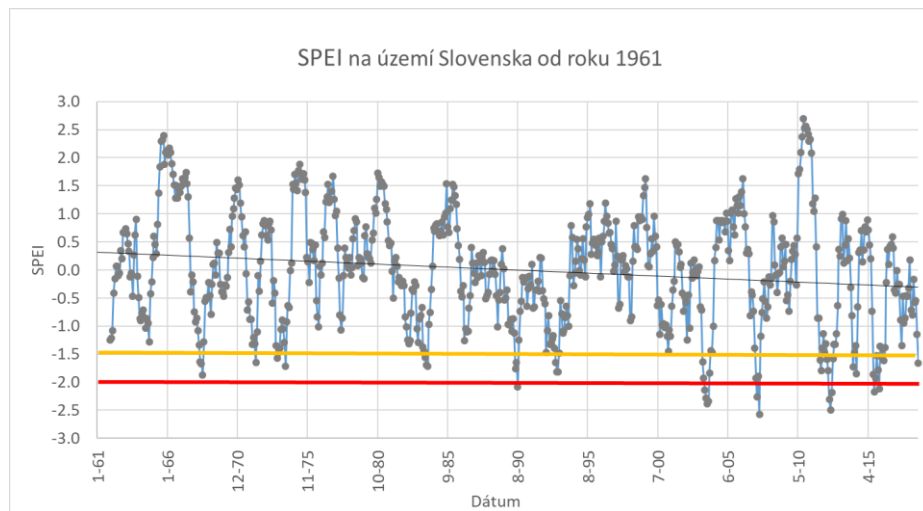
Rast sucha súvisí aj s **extremalizáciou niektorých zložiek hydrologického cyklu**. Prívalové krátkodobé zrážky sa ukazujú byť častejšie a intenzívnejšie (o približne 7-14 % na každý 1 °C oteplenia), zvyrazňujú sa aj extrémny denných a viacdenných úhrnov zrážok. V dôsledku vyššej teploty a vlhkosti vzduchu sa očakáva častejší výskyt silnejších a intenzívnejších konvekčných búrok.

Významne sa zvyšujú predovšetkým intenzity **5 až 180 minútového dažďa**, čo je možné zdôvodniť častejším výskytom krátkodobých **konvekčných** zrážok a naopak zriedkavejším výskytom dlhotrvajúcich (a plošne rozsiahlejších) zväčša **stratiformných** zrážok.

Zmeny v teplotných a zrážkových pomeroch v zime sa prejavujú v zmenách snehových pomerov. Tie sú demonštrované jednak v znížení počtu dní so snehovou pokrývkou a tiež v **poklese priemernej výšky snehovej pokrývky**.

Výskyt extrémnejšieho počasia, častejšieho sucha a mimoriadne teplých sezón už dnes **významne ovplyvňuje všetky sektory národného hospodárstva Slovenska** (s nevyhnutnou častejšou sanáciou škôd, odškodňovaním poistných nárokov, etd.).

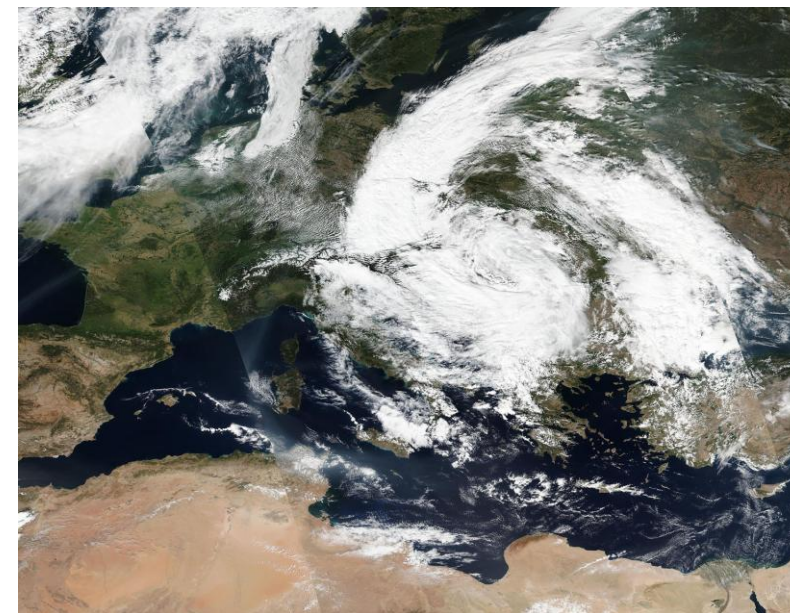
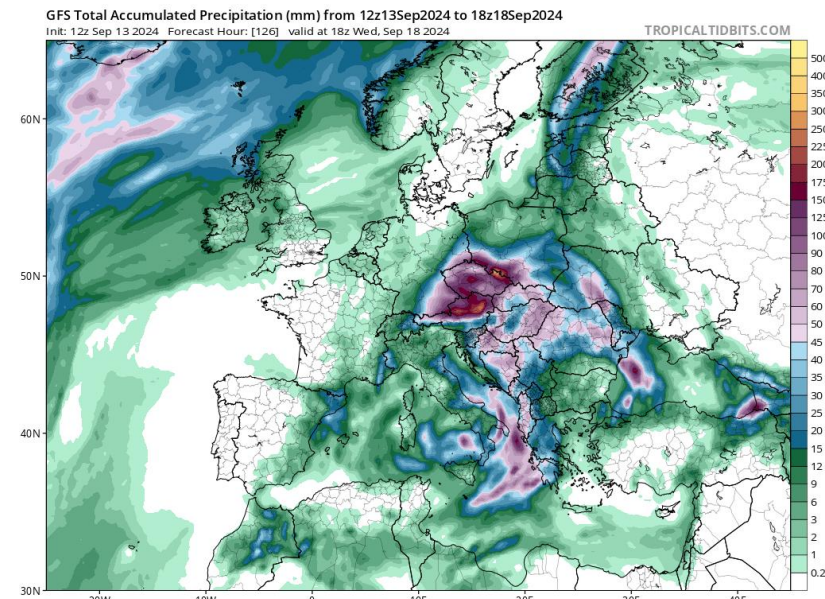
Nárast extrémnosti počasia v dôsledku zmeny klímy



Klimatické riziká: Extrémne javy (príklad)

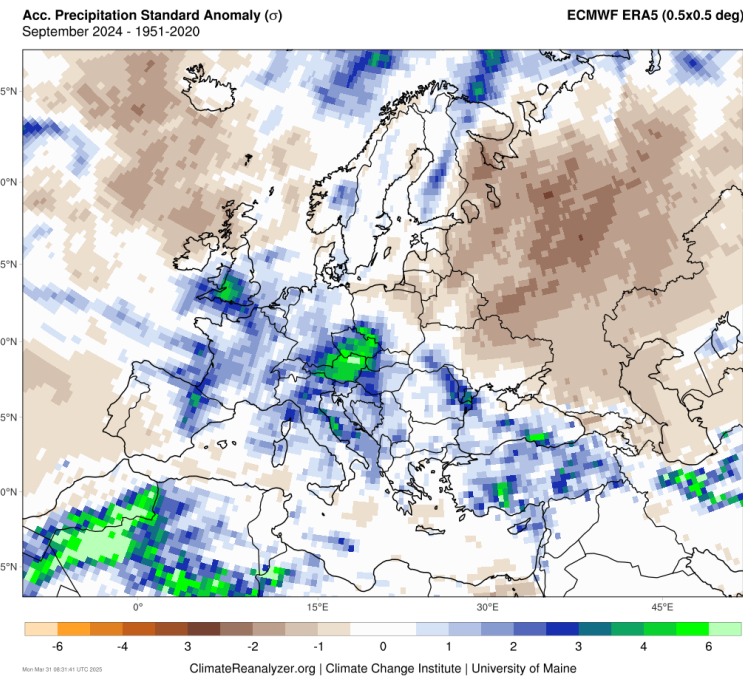
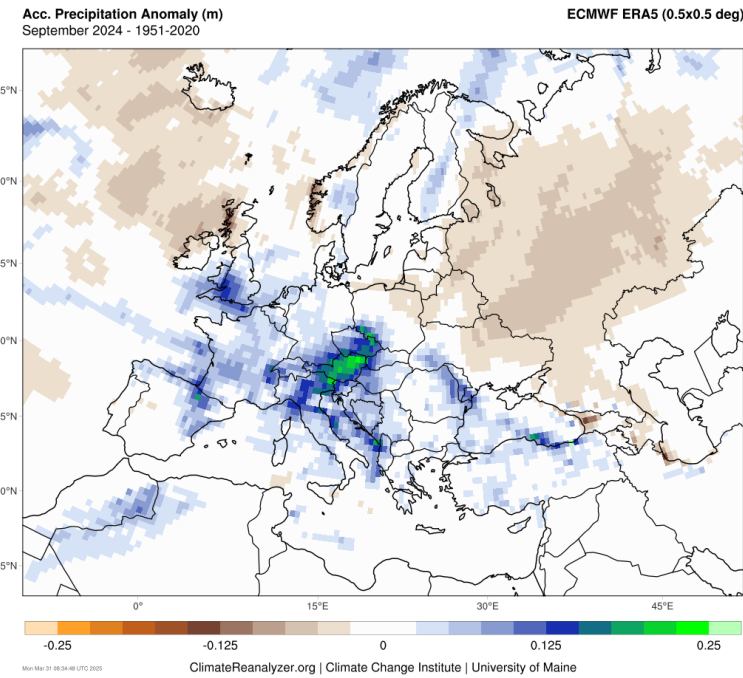
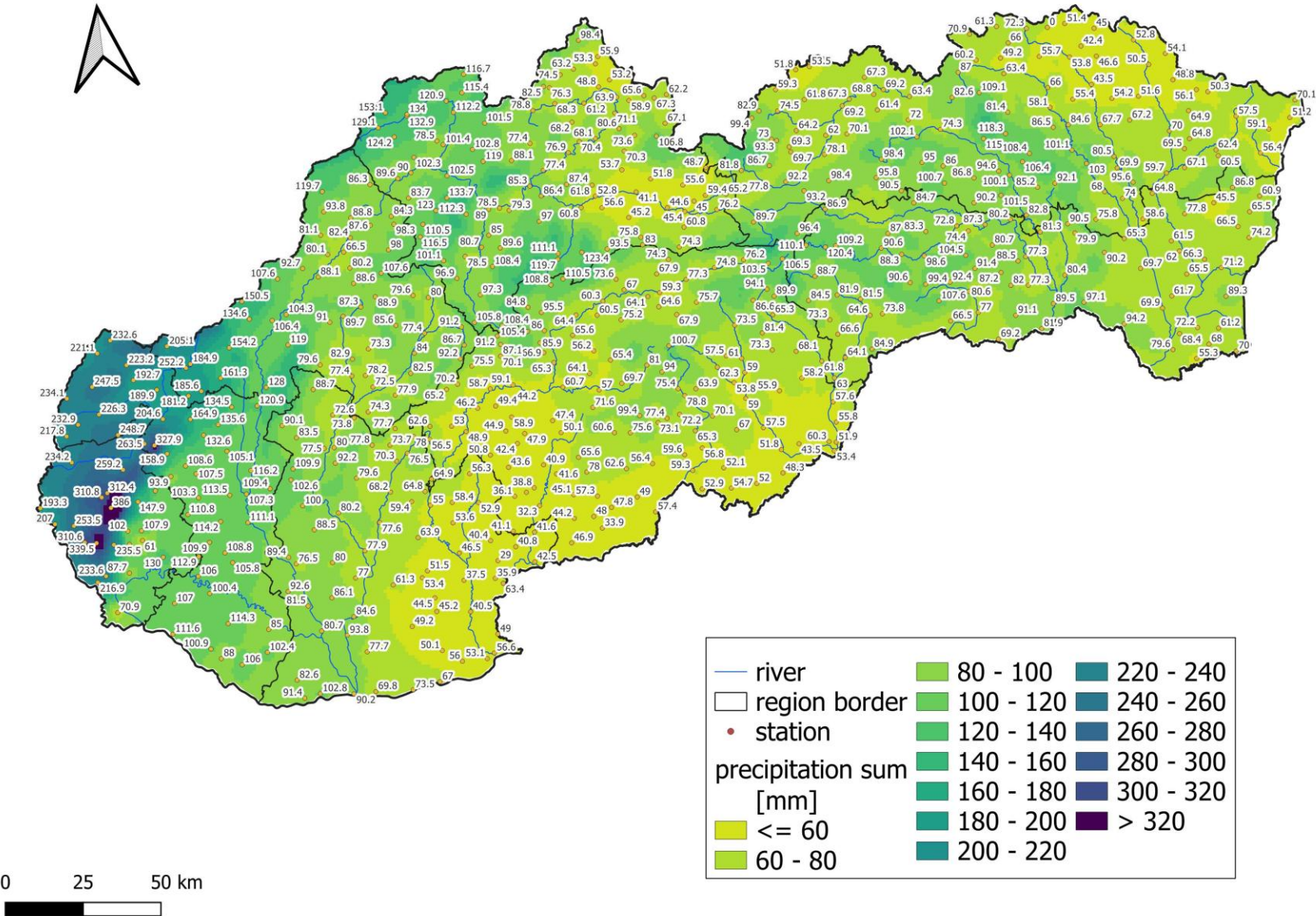
Cyklóna Boris (12.-16. september 2024):

- V septembri 2024 zasiahla strednú, východnú a južnú Európu mimoriadne silná **cyklóna Boris**, ktorá priniesla rekordné dažde a katastrofálne povodne. Najnovšia vedecká štúdia odhalila (*How climate change intensified storm Boris' extreme rainfall, revealed by near-real-time storylines, Athanase et al. 2024*), ako konkrétne klimatická zmena ovplyvnila túto extrémnu udalosť a aké dôsledky môžeme očakávať do budúcnosti.
- Vedci využili inovatívny prístup tzv. **"storyline simulácií"**, ktoré dokážu v takmer reálnom čase analyzovať, aký podiel na extrémnych poveternostných javoch má otepľovanie planéty. Štúdia ukázala, že cyklóna Boris priniesla približne **o 9 % viac zrážok** v dôsledku otepľovania spôsobeného ľudskou činnosťou.
- Oblasť s extrémnymi dažďami **presahujúcimi 100 mm bola o 18 % väčšia, než by bola bez klimatickej zmeny.**
- V simulácii budúcnosti s globálnym otepľovaním o 4 °C by sa táto oblasť mohla zväčšiť ešte o 14 %, čo by viedlo k ešte väčším rizikám povodní.
- Rekordné dažde: Cyklóna Boris priniesla v období 12.–16. septembra 2024 zrážky dosahujúce až 225 mm/deň, čo je o 50 mm viac, než by bolo možné bez klimatickej zmeny.
- Viac vlhkosti v atmosfére: Východné Stredomorie a Čierne more, kľúčové oblasti zdrojov vlhkosti pre túto búrku, sa otepľujú rýchlejšie, čo zvyšuje množstvo vodnej pary v atmosfére. Tento nárast vlhkosti bol o 15 % vyšší, než by zodpovedal štandardnému očakávaniu podľa Clausius-Clapeyronovej škály.



Klimatické riziká: Extrémne javy (príklad)

Cyklóna Boris (12.-16. september 2024):



Dôsledky zmeny klímy na sektory hospodárstva

- **Poľnohospodárstvo** - Zmeny klímy ovplyvňujú výnosy plodín, potrebu zavlažovania, a zvyšujú riziko sucha, škodcov a extrémnych udalostí.
- **Biodiverzita a ekosystémy** - Degradácia ekosystémov, strata biodiverzity a zmena ekosystémových služieb v dôsledku klimatických vplyvov.
- **Kultúrne dedičstvo** - Ohrozenie pamiatok a historických objektov klimatickými extrémami, ako sú záplavy a teplotné výkyvy.
- **Riadenie rizika katastrof, civilná ochrana a kritická infraštruktúra** - Zvýšené nároky na zvládanie klimatických katastrof a ochranu kritickej infraštruktúry.
- **Hospodárstvo a priemysel** - Ekonomické straty spojené s narastajúcou frekvenciou extrémnych udalostí a prerušením dodávateľských reťazcov.
- **Energia** - Vplyv na výrobu energie, najmä obnoviteľnej, a zmeny dopytu po energii v dôsledku teplotných zmien.
- **Financie** - Rastúce náklady na adaptáciu, poistenie a obnovu po extrémnych udalostiach.
- **Lesné hospodárstvo** - Riziká pre zdravie lesov spôsobené škodcami, požiarom a klimatickými extrémami.
- **Geologické prostredie a pôda** - Zvýšená erózia, degradácia pôdy a zmeny v geologickej stabilite.
- **Zdravie** - Dopady horúčav, chorôb prenášaných vektormi a znečistenia ovzdušia na verejné zdravie.
- **Hydrologický režim a manažment vodných zdrojov** - Nedostatok vody, zmeny v zrážkových režimoch a riziko povodní.
- **Informačné a komunikačné technológie (IKT)** - Potreba zvýšenej odolnosti IKT infraštruktúry voči extrémnym poveternostným podmienkam.
- **Územné plánovanie** - Adaptácia urbanistických plánov na riziká spojené s klimatickými zmenami.
- **Cestovný ruch** - Negatívny dopad na sezónny cestovný ruch, prírodné atrakcie a kultúrne pamiatky.
- **Doprava, infraštruktúra a budovy** - Riziká pre dopravnú sieť a stavebné objekty spôsobené extrémnymi poveternostnými javmi.
- **Cezhraničné, kaskádové a vznikajúce riziká** - Medzinárodné a prepojené dopady klimatických zmien, napr. na obchod a migráciu.

Revízia a aktualizácia národnej stratégie adaptácie na zmenu klímy na Slovensku

Výstup 2.3: Hodnotenie klimatických rizík a zraniteľnosti Slovensko



Klimatické údaje ako základ pre udržateľné plánovanie

Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) je kľúčovou rezortnou inštitúciou MŽP SR, ktorá zabezpečuje monitorovanie, výskum a analýzu meteorologických, klimatologických, hydrologických a environmentálnych údajov. Ústav je zodpovedný za sledovanie a hodnotenie stavu atmosféry, vody, a kvality ovzdušia, pričom údaje získava prostredníctvom rozsiahlej siete meteorologických, klimatologických staníc a účelových staníc.

Synoptické stanice:

Slúžia na zber údajov o počasí v reálnom čase. Vykonávajú kontinuálne merania každú hodinu alebo častejšie. Na Slovensku **je približne 20 synoptických staníc**.

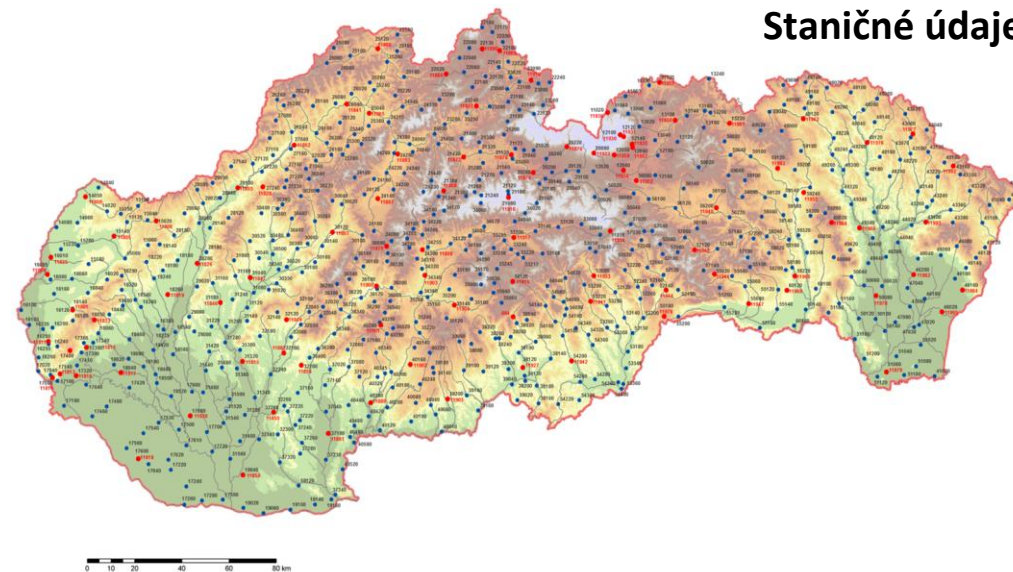
Klimatologické stanice:

Monitorujú dlhodobé klimatické údaje a trendy. Údaje sa zaznamenávajú v hodinových, denných alebo mesačných intervaloch. Slovensko má **viac ako 100 klimatologických staníc**, ktoré poskytujú údaje o miestnych klimatických podmienkach.

Zrážkomerné stanice:

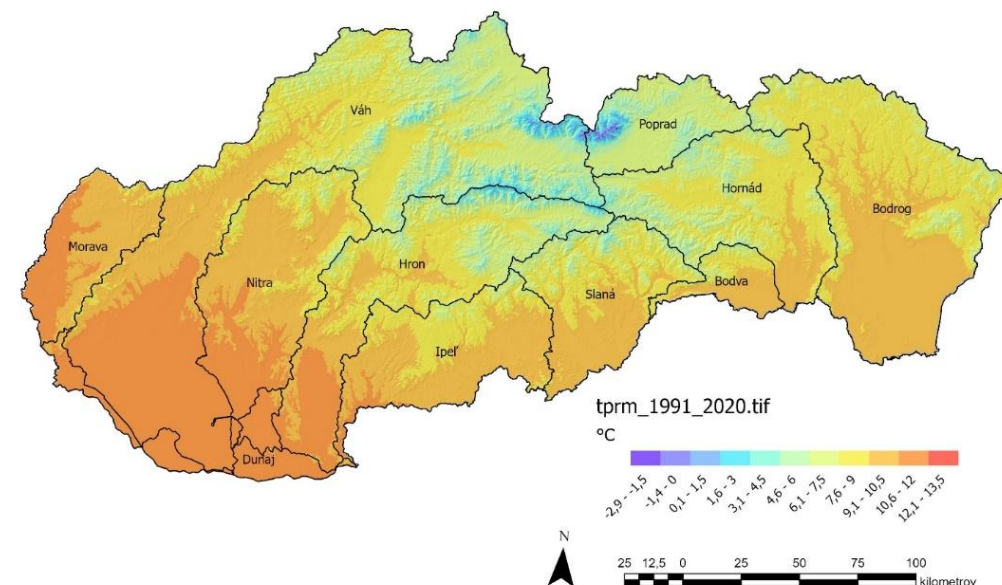
Zameriavajú sa na meranie atmosférických zrážok (dážď, sneh, krúpy). Dôležité sú pre monitorovanie povodní a vodného režimu. Na Slovensku je **viac ako 500 zrážkomerných staníc**.

Staničné údaje



Dlhodobá priemerná ročná teplota vzduchu [°C] na Slovensku za obdobie rokov 1991-2020

Gridované údaje



Odbor klimatologická služba SHMÚ

Historické údaje ako základ pre analýzu klimatickej zmeny

Teplota vzduchu:

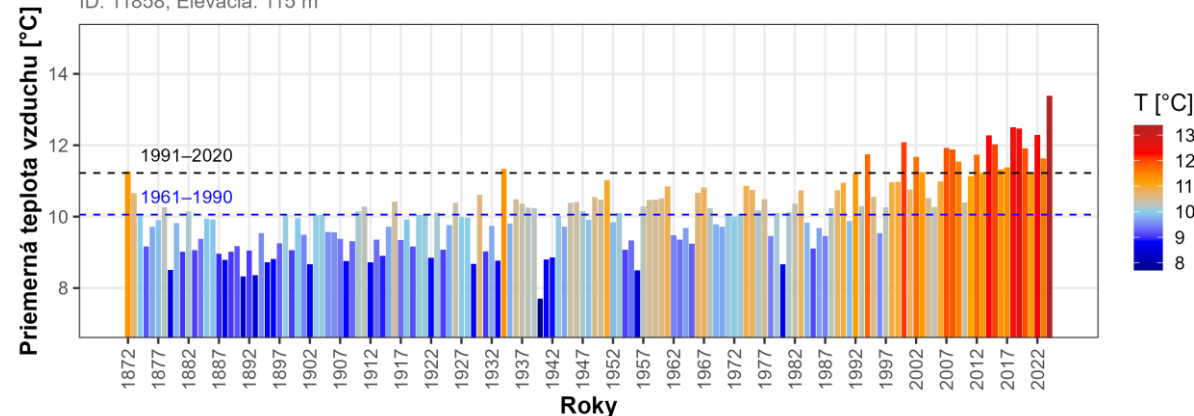
- Priemerná ročná teplota na Slovensku **od roku 1881 stúpala o 2 °C**, čo predstavuje nárast o 0,15 °C za dekádu.
- V rokoch 2000–2020 bola priemerná rýchlosť oteplenia 0,0646 °C ročne, čo je dvojnásobok svetového priemeru.
- Počet letných dní (≥ 25 °C) a tropických dní (≥ 30 °C) výrazne vzrástol od konca 20. storočia.
- Najteplejšie **leto bolo zaznamenané v roku 2024** s priemernou teplotou 20,7 °C, čo prekonalo predchádzajúci rekord z roku 2022.
- Nárast teplôt je najvýraznejší v letných mesiacoch – napríklad augustové teploty vzrástli o viac ako 1,8 °C oproti predchádzajúcim referenčným obdobiam.
- Frekvencia **vín horúčav** sa výrazne zvýšila, pričom tropické teploty sa objavujú už koncom apríla a začiatkom mája.

Atmosférické zrážky:

- Zrážky vykazujú vysokú priestorovú a časovú variabilitu.
- Najvyšší nárast bol zaznamenaný **vo vyšších nadmorských výškach**.
- V lete 2024 bol zaznamenaný deficit zrážok, pričom zrážky v júli a auguste dosiahli len 15–40 % dlhodobého priemeru.
- Časté **extrémne búrky** v júni prispeli k lokálnym záplavám, ale zároveň k veľkým rozdielom v rozložení zrážok.
- Dlhodobo sa znižuje odtok v jarňoch a letných mesiacoch, čo súvisí s **nárastom sucha**.

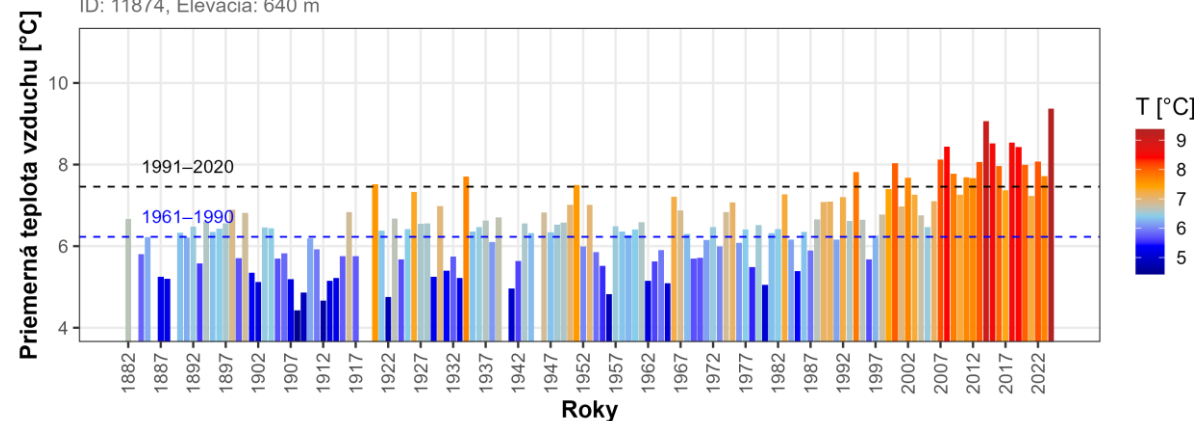
Priemerná ročná teplota vzduchu (Hurbanovo)

ID: 11858, Elevácia: 115 m

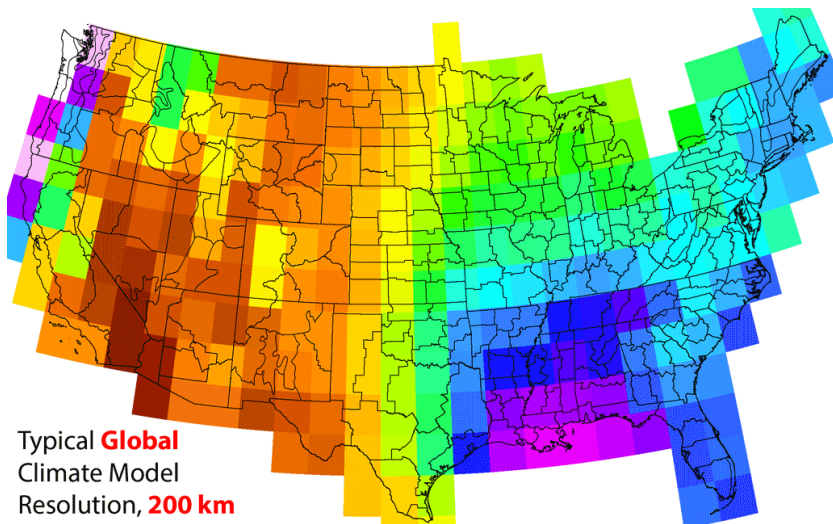
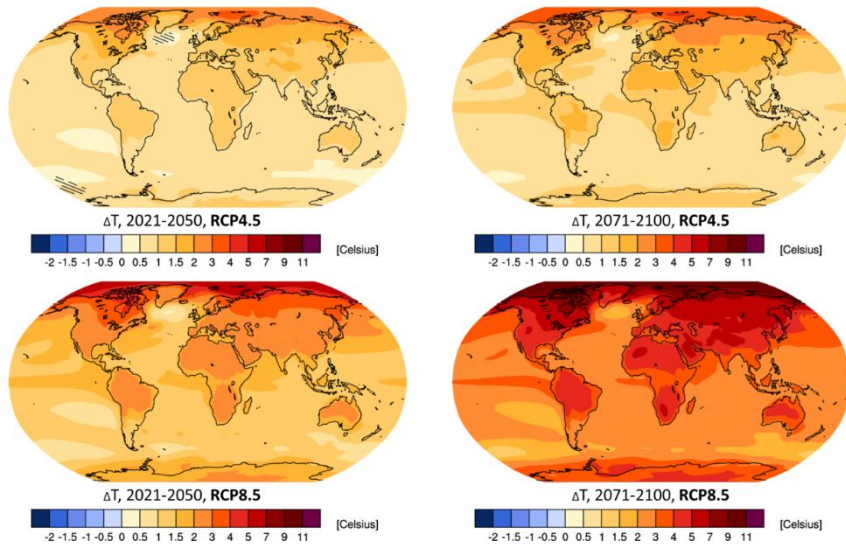


Priemerná ročná teplota vzduchu (Liptovský Hrádok)

ID: 11874, Elevácia: 640 m



Klimatické projekcie: Pohľad do budúcnosti



GCMs ("general circulation model" alebo "global climate model") predstavujú matematické modely globálneho klimatického systému, sú založené na riešení pohybových a termodynamických rovníc, ktoré popisujú procesy v klimatickom systéme, pomocou metód numerickej matematiky. Numericke riešenie rovníc prebieha v sieti tzv. **gridových (uzlových) bodov** a v rôznych vertikálnych hladinách – vzájomná horizontálna vzdialenosť uzlových bodov určuje horizontálne rozlíšenie modelu.

GCMs simulujú pomerne spoľahlivo veľkorozmerná poľa klimatologických veličín vo voľnej atmosfére. Kvôli malému horizontálnemu rozlíšeniu však **nie sú schopné dobre zachytiť lokálne črty klímy.**

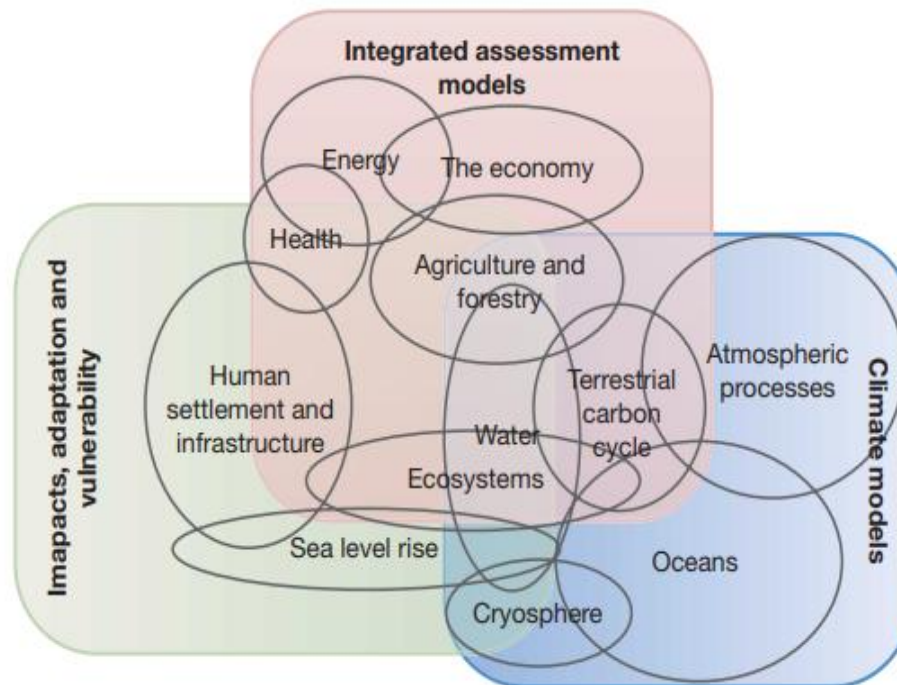
- **dynamický downscaling**
- **štatistický downscaling**

Regionálne klimatické modely **RCMs** predstavujú jednu z najpoužívanějších metód zmenšovania mierky výstupov GCMs (využitím **dynamického downscalingu**). Modelová simulácia v tomto prípade neprebieha na celom glóbose, ale na obmedzenej oblasti, zato s väčším priestorovým i časovým rozlíšením.

Dostupnosť  COPENICUS/C3S
(CMIP5 & CMIP6, EURO-CORDEX, ERA5)

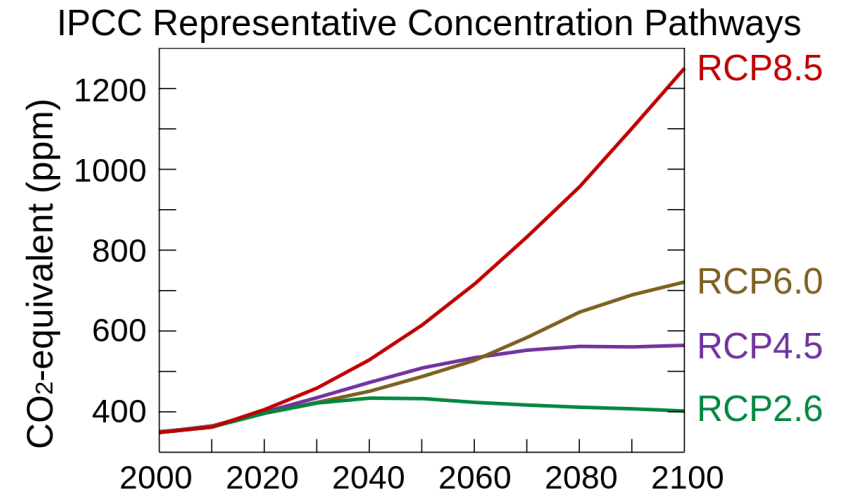
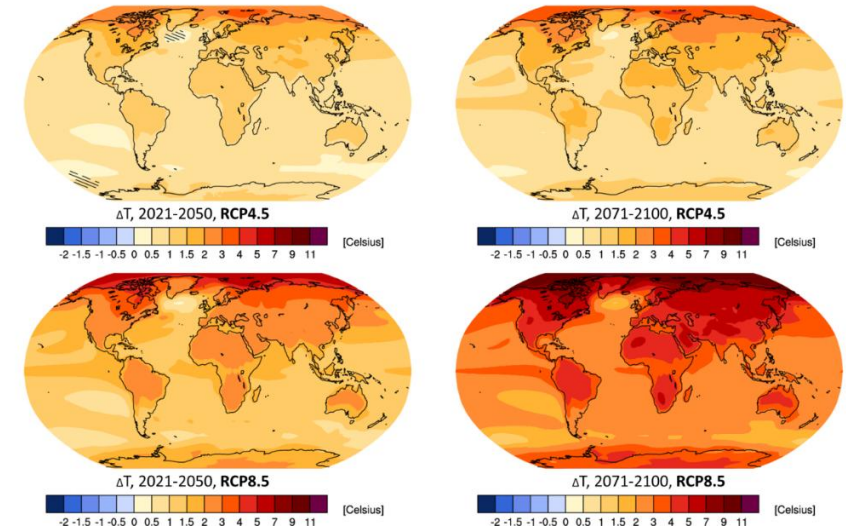
Klimatické scenáre (RCPs)

- Táto štúdia využíva emisné scenáre, tzv. „*Representative concentration pathways*“ (RCPs), ktoré vo svojej práci prezentuje Moss et al. (2010) do roku **2100**, resp. s rozšírením do roku 2300
- Využíva tu synergiu integrovaných socio-ekonomických modelov v prieniku s klimatickými modelmi a hodnotením dopadov a zraniteľnosti



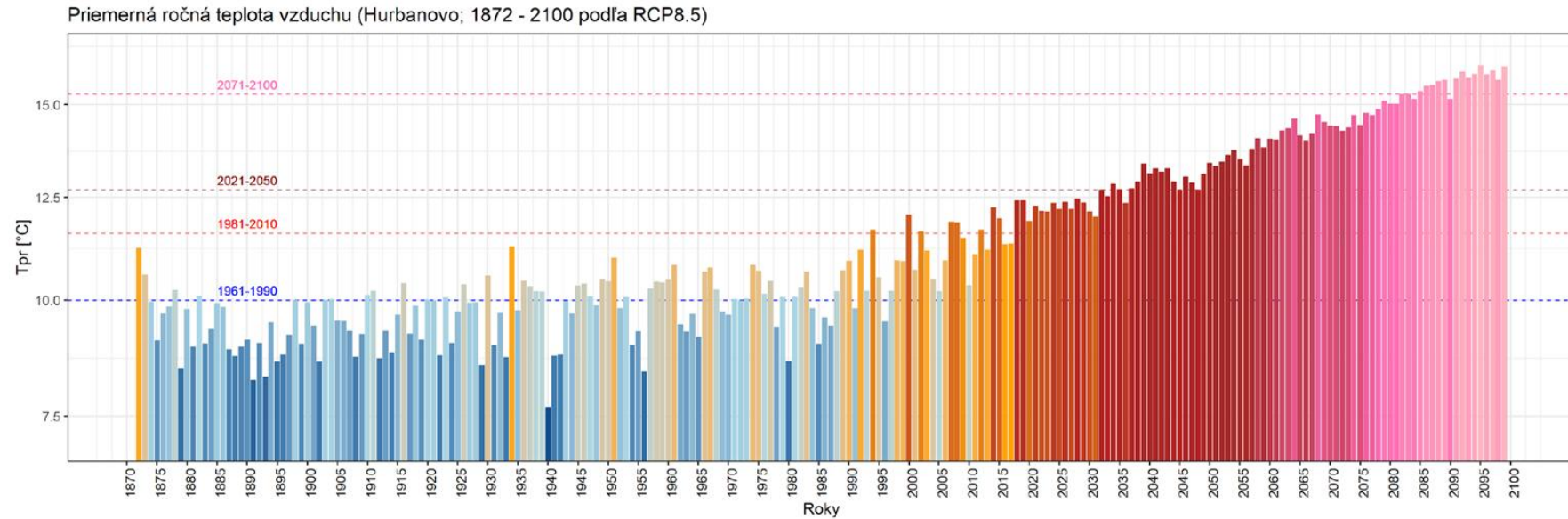
Klimatické scenáre (RCPs)

- **RCP2.6** – „*optimistický*“ scenár. Maximum dopadajúceho žiarenia približne v polovici 21. storočia na úrovni 3.1 W/m^2 a ďalej klesá do roku 2100 na **2.6 W/m^2** . Max CO_2 v atmosfére by mala byť približne na úrovni **490 p.p.m.** pre rokom 2100
- **RCP4.5** – „*stabilizačný*“ scenár. Nárast teploty vzduchu v globálnom priemere o $+2^\circ\text{C}$ do roku 2050. Stabilizácia žiarenia na úrovni **4.5 W/m^2** a maximálnou koncentráciou CO_2 v atmosfére na úrovni cca **650 p.p.m.** po roku 2100
- **RCP6.0** – „*stabilizačný*“ scenár. V praxi je najmenej používaný. Počíta však so stabilizáciou žiarenia na úrovni až **6 W/m^2** a maximálnou koncentráciou CO_2 v atmosfére na úrovni cca **850 p.p.m.** po roku 2100.
- **RCP8.5** – „*business as usual*“ scenár. Nepočíta s redukciou emisií skleníkových plynov. Pri tomto scenári bude žiarenie na úrovni **8.5 W/m^2** v roku 2100 a následne bude ďalej rásť. Maximálna koncentrácia CO_2 v atmosfére bude na hodnote približne **1370 p.p.m.**

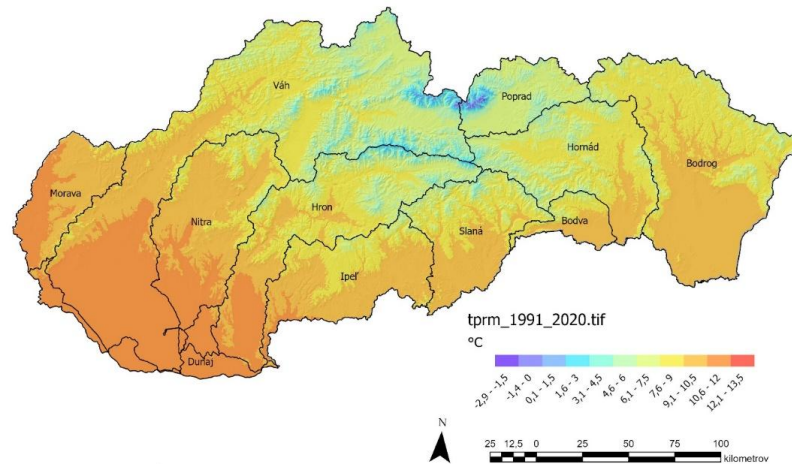


Klimatické projekcie na základe RCPs a EURO-CORDEX modelov

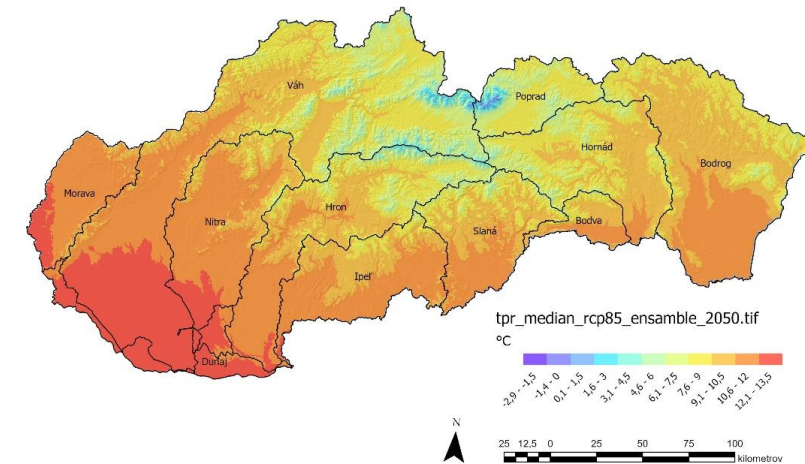
Pohľad do budúcnosti



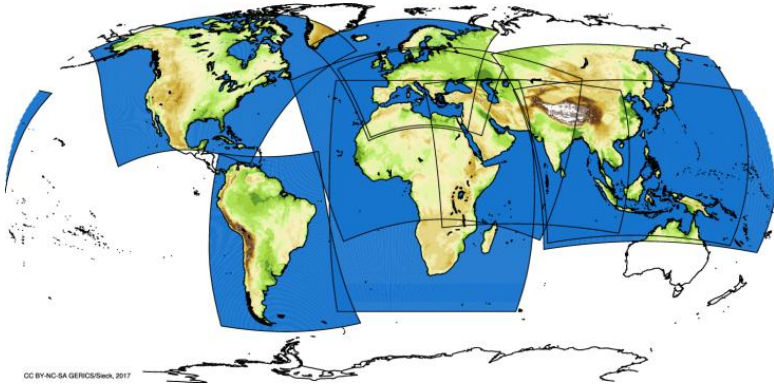
Dlhodobá priemerná ročná teplota vzduchu [°C] na Slovensku za obdobie rokov 1991-2020



Dlhodobá priemerná ročná teplota vzduchu [°C] na Slovensku pre RCP8.5 a horizont 2050



Klimatické projekcie a scenáre



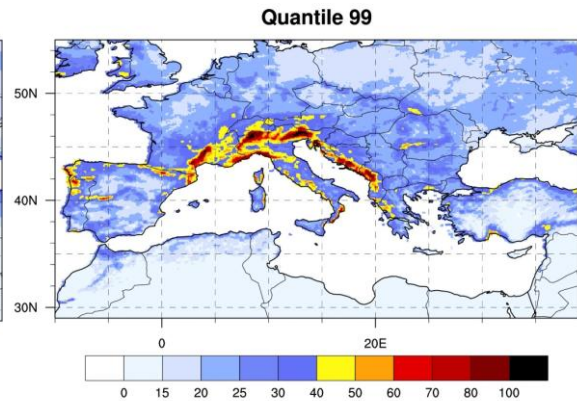
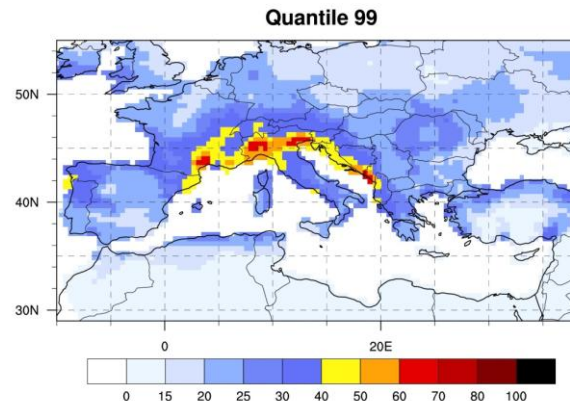
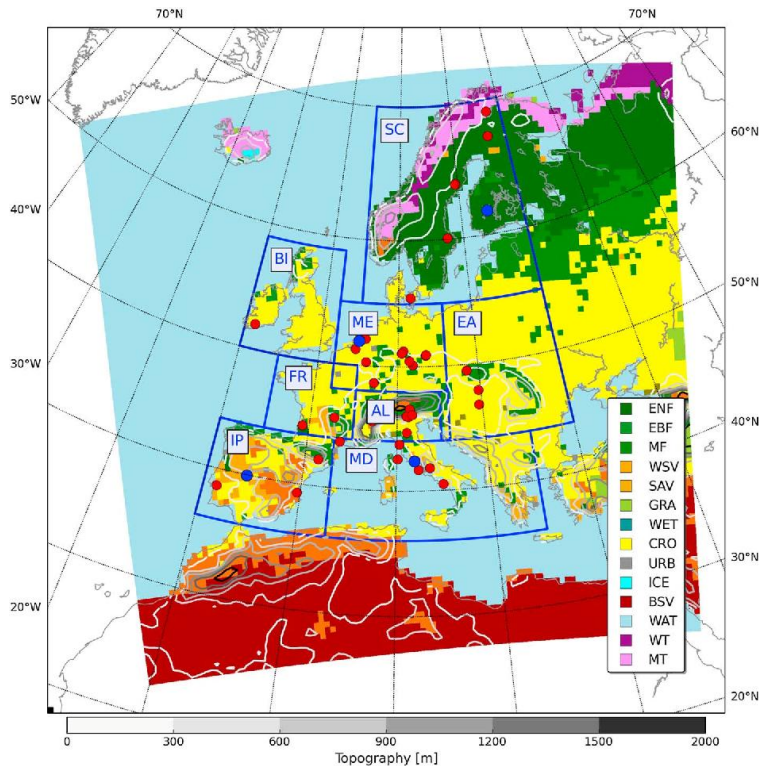
Projekt **CORDEX** (<http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>) je momentálne najvýznamnejšou výskumnou iniciatívou v oblasti globálneho/regionálneho modelovania, časť projektu zaoberajúca sa oblasťou Európy sa nazýva **EURO-CORDEX** (www.euro-cordex.net) – čaká sa na update!

RCMs EURO-CORDEX sú riadené globálnou reanalýzou **ERA-Interim** (ERA5; RCPs -> SSPs emisné scenáre).

Pre prípravu scenárov bolo využitých 5 RCMs EURO-CORDEX s rozlíšením 12 × 12 km, pre obdobie 2030 – 2100 (hist. behy pre 1951 – 2006).

Pre korekciu odchýlok simulácií scenárov boli využité metódy bias-correction (kvantilové mapovanie „Qmap“ + gama distribúcia, napr. pre denné úhrny zrážok).

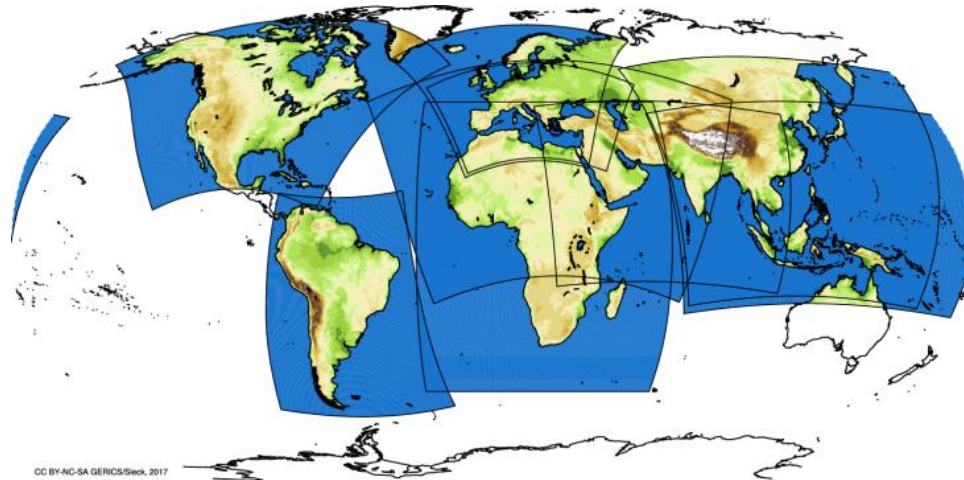
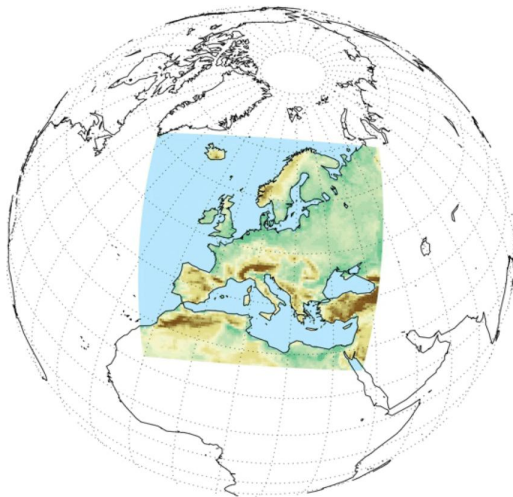
Vybrané metódy pre BC využitím Qmap:
<https://github.com/saedoquililongo/climQMBC>



SHMU KAŽDÝ DEŇ S VAMI

EURO-CORDEX a regionálne klimatické modely

- Údaje z **RCMs** použité v tejto práci sú voľne dostupné v rámci jedného z komponentov programu Copernicus (**C3S**) známeho tiež pod skratkou CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*), konkrétne z časti projektu, ktorá sa zameriava na Európu - **EURO-CORDEX**
- Simulácie EURO-CORDEX sú založené na **štatistickom a dynamickom downcalingu** GCMs
- Pre potreby tohto výskumu bolo vybratých **5** nasledovných **modelov** s rozlíšením **12km x 12 km**, ktoré najlepšie vystihovali klimatické podmienky strednej Európy:



MOHC (Met Office Hadley Centre) – vyvinutý vo Veľkej Británii, model poskytuje v rámci EURO-CORDEX podkladové údaje pre regionálny downscaling a to najmä pre analýzu a zachytenie extrémnych poveternostných udalostí v Európe,

MPI (Max Planck Institute for Meteorology) – vyvinutý v Nemecku, tento model v sebe zachytáva model všeobecnej cirkulácie atmosféry v kombinácii s oceanickou. Vďaka tomu popisuje komplexný uhlíkový cyklus v interakcii pevnina oceán. V EURO-CORDEXe popisuje hraničné hodnoty,

CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques), vyvinutý vo Francúzsku v Meteo France, ide o integrovaný model procesov prebiehajúcich na úrovni atmosféra-oceán-zemský povrch. Zahŕňa v sebe tiež komplexnú fyzikálnu parametrizáciu oblačnosti a radiácie. V rámci EURO-CORDEXu pomáha simulovať variabilitu klímy Európy podľa rôznych emisných scenárov,

EC-Earth – vyvinutý konzorciom európskych výskumných inštitúcií, funguje na základe vyššie spomenutých interakcií avšak navyše zahŕňa interakciu s morským ľadom. Model sa vyznačuje svojou schopnosťou simulovať dlhodobý vývoj klímy a extrémne typy poveternostných situácií,

NorESM (Norwegian Earth System Model) – model zameriavajúci sa na severnú Európu a Arktickú oblasť s osobitým zreteľom na vývoj plochy ľadovcov. Reprezentuje tiež okrajové podmienky v rámci EURO-CORDEXu.



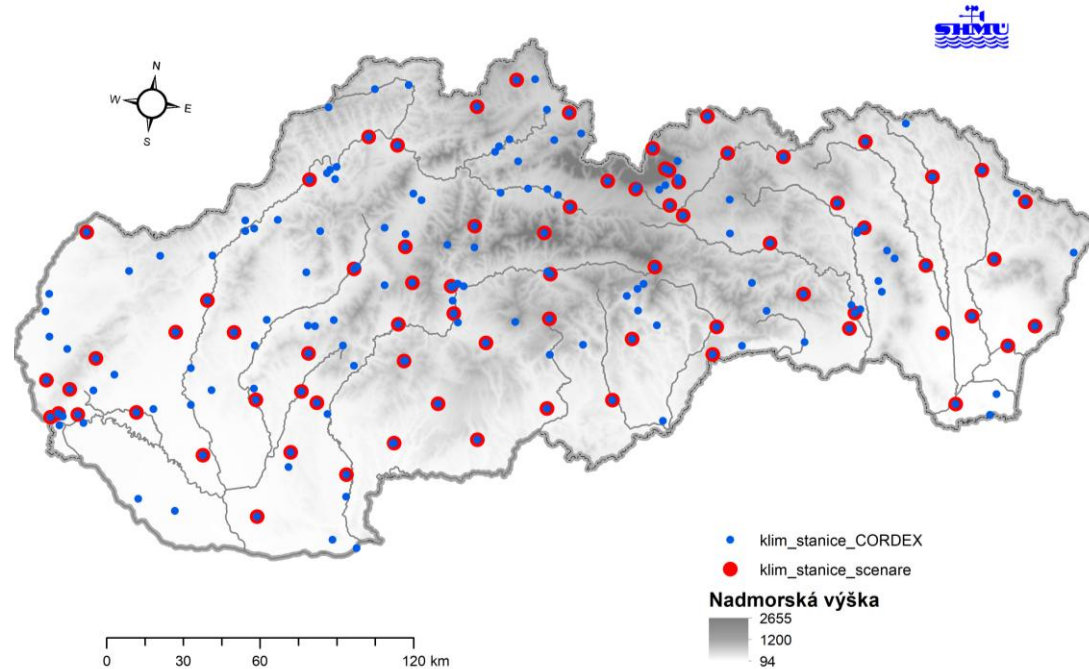
MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR METEOROLOGIE



Údajové a mapové spracovanie

- **Denné údaje** vybraných meteorologických prvkov **Tpr, Tmax; Tmin; Precip; HR; WVP; WS; Srad** z týchto piatich modelov boli extrahované z rotovaných NetCDF súborov (.nc), pričom po geometrickej transformácii súradnicového systému bolo potrebné pre niektoré premenné vykonať konverziu základných jednotiek
- Následne boli gridované údaje extrahované pre súbor **75 klimatologických staníc**
- Pre každú stanicu bol vytvorený časový rad denných údajov v rámci obdobia rokov 1981 – 2100 (pre obdobie po roku 2006 boli následne počítané aj priemery vybraných meteorologických prvkov pre 30-ročné obdobia, napr. **2021 – 2050 a 2071 – 2100**)
- Na výpočet výslednej hodnoty klimatického scenára pre zvolený prvok alebo charakteristiku bol použitý **medián** z vyššie uvedených 5 modelov.

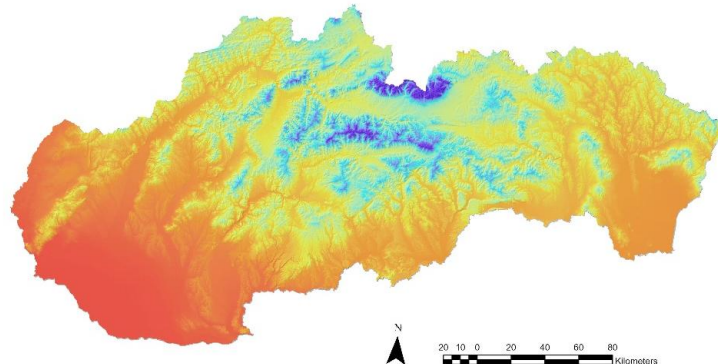
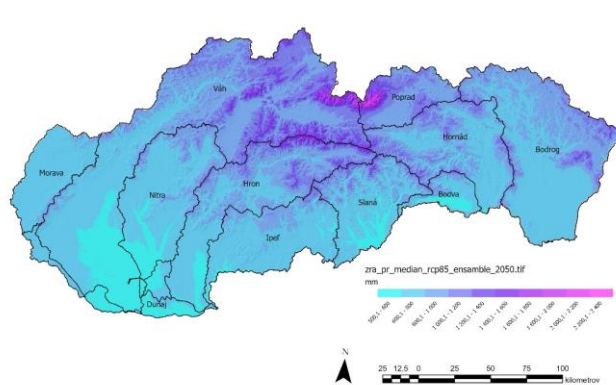
11810	-576597	-1279625	180	888.5964367	-1279625	180	888.5964367
11811	-578254	-1265173	179	865.7108669	-1265173	179	865.7108669
11812	-569170	-1268798	584	769.6977855	-1268798	584	769.6977855
11813	-573606	-1278191	287	878.0948496	-1278191	287	878.0948496
11816	-566053	-1278672	133	887.2579443	-1278672	133	887.2579443
11817	-543122	-1277847	123	907.9733664	-1277847	123	907.9733664
11819	-527693	-1246454	178	863.2400688	-1246454	178	863.2400688
11820	-517124	-1294517	112	911.1553606	-1294517	112	911.1553606
11826	-515341	-1234075	163	836.0637631	-1234075	163	836.0637631
11833	-558918	-1256754	530	775.7825855	-1256754	530	775.7825855
11841	-452274	-1170397	309	728.9057373	-1170397	309	728.9057373
11846	-504928	-1246588	182	842.0694337	-1246588	182	842.0694337
11849	-475882	-1254821	319	796.2995836	-1254821	319	796.2995836
11850	-482831	-1293381	145	891.6503399	-1293381	145	891.6503399
11855	-496382	-1272928	135	883.0695842	-1272928	135	883.0695842
11856	-472557	-1274007	261	861.3234365	-1274007	261	861.3234365
11858	-495935	-1318481	115	923.6830988	-1318481	115	923.6830988
11862	-475460	-1187062	255	775.0080928	-1187062	255	775.0080928
11865	-441067	-1173653	358	720.4440692	-1173653	358	720.4440692
11867	-458015	-1221808	260	764.6442985	-1221808	260	764.6442985
11868	-409898	-1158567	785	581.5190333	-1158567	785	581.5190333
11874	-373568	-1197664	640	697.9107002	-1197664	640	697.9107002
11876	-358894	-1187513	978	608.8486502	-1187513	978	608.8486502



Údajové a mapové spracovanie

- Na vizualizáciu hodnôt jednotlivých prvkov pre celé územie Slovenska bolo potrebné zvoliť optimálny spôsob digitálnej reprezentácie
- Pre tento účel bola vybraná interpolačná metóda s názvom „*Kriging with external drift*“, ktorá prebiehala v prostredí skriptovacieho jazyka **R**.
- Táto priestorová interpolácia umožňuje zohľadniť vo výpočte sekundárnu, resp. „externú“ premennú, ktorou bola v tomto prípade **nadmorská výška**. **Sekundárna premenná** alebo **kovariant**, výrazne spresňuje výsledné hodnoty, keďže analyzované meteorologické prvky a klimatické indikátory výrazne korelujú s rastom nadmorskej výšky
- Táto do výpočtu vstupovala ako digitálny model reliéfu (**DMR**) s horizontálnym rozlíšením **500m x 500m** pre územie Slovenska. Použitá geoštatistická metóda funguje na princípe vyhľadávania regresných vzťahov medzi primárnou a sekundárnou premennou
- Výsledné vypočítané gridované vrstvy boli exportované v rastrovom formáte **GeoTiff (.tiff)** v **S-JTSK (EPSG: 5513)** alebo v **NetCDF (.nc)**

Priemerné mediánové sumy zrážok [mm] na Slovensku podľa scenára RCP8.5 pre horizont 2050



```
1 setwd("~/R_data/SAZP")
2
3 library(sp)
4 library(gstat)
5 library(raster)
6
7 #read data in
8 zra <- read.table("tpr_median_rcp85_ensemble_2050.dat")
9 names(zra) <- c("ind", "x", "y", "elev", "precip")
10 zra[1:10,]
11
12 #plotting stations
13 plot(zra$x, zra$y)
14
15 coordinates(zra) <- ~x+y
16 spplot(zra, c("precip"), cuts=c(20,22,24,26,28,30,32))
17
18 #variogram estimation
19 vzra <- variogram(precip~1, zra, zra, 100000, 10000)
20 plot(vzra)
21
22 #fit variogram model
23 zram <- vgm(10000, "Exp", 50000, 15000)
24 plot(vzra, zram)
25
26 #automatic fit
27 model2016 <- fit.variogram(vzra, vgm(10000, "Exp", 50000, 15000))
28 plot(vzra, model=model2016)
29
30 jpeg("model2016.jpg")
31 plot(vzra, model=model2016)
```

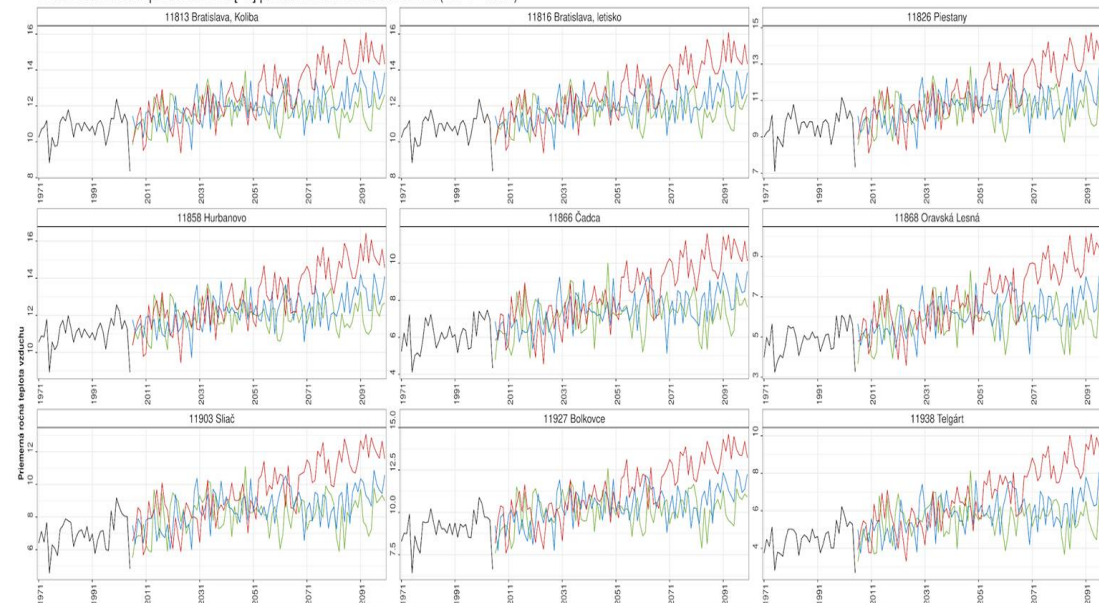


Klimatické projekcie pre územie Slovenska

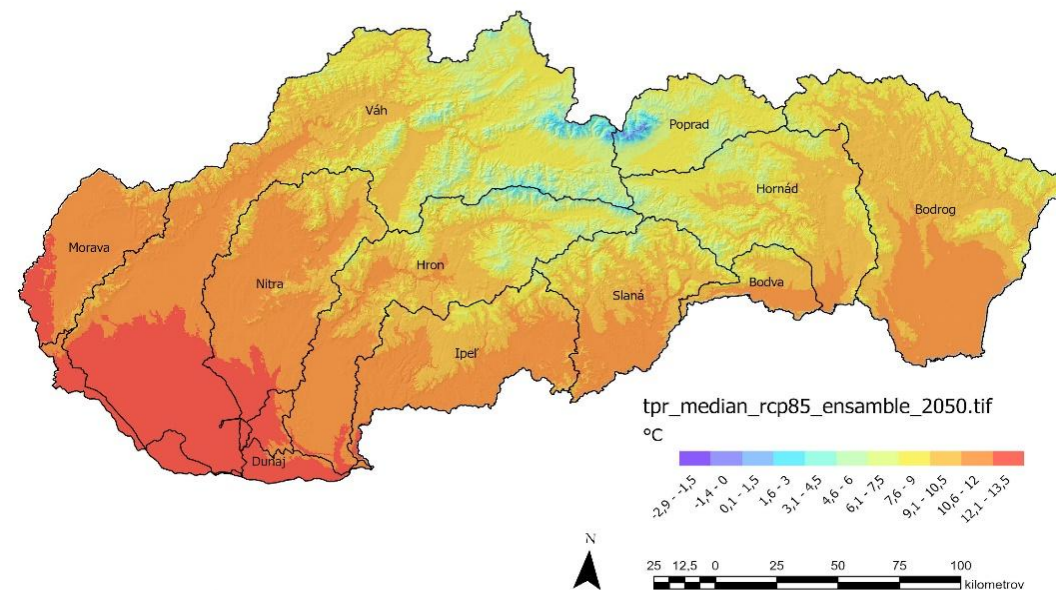
Teplota vzduchu:

- Budúci rozsah klimatických zmien do roku 2100 bude závisieť od emisií skleníkových plynov a ich koncentrácie v atmosfére, pričom scenáre RCP (napr. RCP4.5 a RCP8.5) a SSP poskytujú rôzne projekcie.
- Slovensku sa do roku 2100 očakáva **nárast priemernej ročnej teploty** o 1,3 °C až 3,2 °C v strednom scenári (RCP4.5) a až o 6 °C v scenári vysokých emisií (RCP8.5).
- Do roku 2030 sa očakáva zvýšenie teploty o 0,7–0,9 °C, do roku 2050 o 2–3 °C a do roku 2100 až o 3,5–6 °C.
- **Tropické dni** ($\geq 30\text{ °C}$) výrazne pribudnú: Bratislava by mohla zaznamenať až 30,5 tropických dní ročne do roku 2100 v rámci RCP8.5, čo je nárast o 18 dní oproti referenčnému obdobiu 1991–2020.
- Predpokladá sa pokles počtu mrazových a ľadových dní a častejšie, **intenzívnejšie a dlhšie vlny horúčav**, ktoré by sa mohli objavovať už v máji a trvať až do septembra.
- Do roku 2100 sa očakáva výrazné otepľovanie v zime (+2,5–5 °C) a v lete (+1,5–4 °C), pričom jeseň bude vykazovať pomalšie otepľovanie.
- Nárast teploty by mal byť sprevádzaný **intenzívnejšími extrémami**, ako sú dni so silným dažďom alebo suché obdobia, čo podčiarkuje potrebu adaptácie v riadení vodných zdrojov a povodní.
- Zmena teploty a zrážok bude mať významné dopady na regióny a mestá, pričom južné a nížinné oblasti budú postihnuté výraznejším nárastom teplôt a počtu tropických dní.

Priemerná ročná teplota vzduchu [°C] podľa RCMs EURO-CORDEX (1971 - 2100)



Dlhodobá priemerná ročná teplota vzduchu [°C] na Slovensku pre RCP8.5 a horizont 2050



Odbor klimatologická služba SHMÚ

Teplota vzduchu a odvodené charakteristiky pre roky 2021-2050 a 2071-2100

Indikátor	Mesto	Absolútne zmeny referenčného obdobia 1991-2020				
		Ref. Obdobie 1991-2020	Blízka budúcnosť 2021-2050		Ďaleká budúcnosť 2071-2100	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Teplota [°C]	Bratislava	10,9	+0,6	+0,3	+1,3	+2,8
	Trnava	10,5	+1,0	+0,8	+1,6	+3,2
	Nitra	10,7	+0,8	+0,6	+1,3	+3,0
	Trenčín	10,0	+0,7	0,6	+1,2	+2,9
	Banská Bystrica	9,1	+1,0	+0,9	+1,5	+3,2
	Žilina	8,8	+0,9	+0,8	+1,3	+2,9
	Prešov	9,0	+1,2	+1,2	+1,7	+3,4
	Košice	9,8	+0,9	+0,9	+1,5	+3,2
Tropické dni [Dni]	Bratislava	25,8	+6,1	+5,8	+11,1	+30,5
	Trnava	23,3	+5,3	+5,2	+10,4	+30,3
	Nitra	27,8	+6,3	+6,8	+12,5	+31,7
	Trenčín	21,3	+4,8	+5,2	+10,0	+28,6
	Banská Bystrica	14,0	+3,9	+4,2	+9,7	+27,1
	Žilina	15,1	+4,6	+4,4	+8,3	+24,2
	Prešov	13,4	+3,2	+3,9	+9,2	+26,9
	Košice	16,3	+3,3	+4,8	+10,8	+29,5

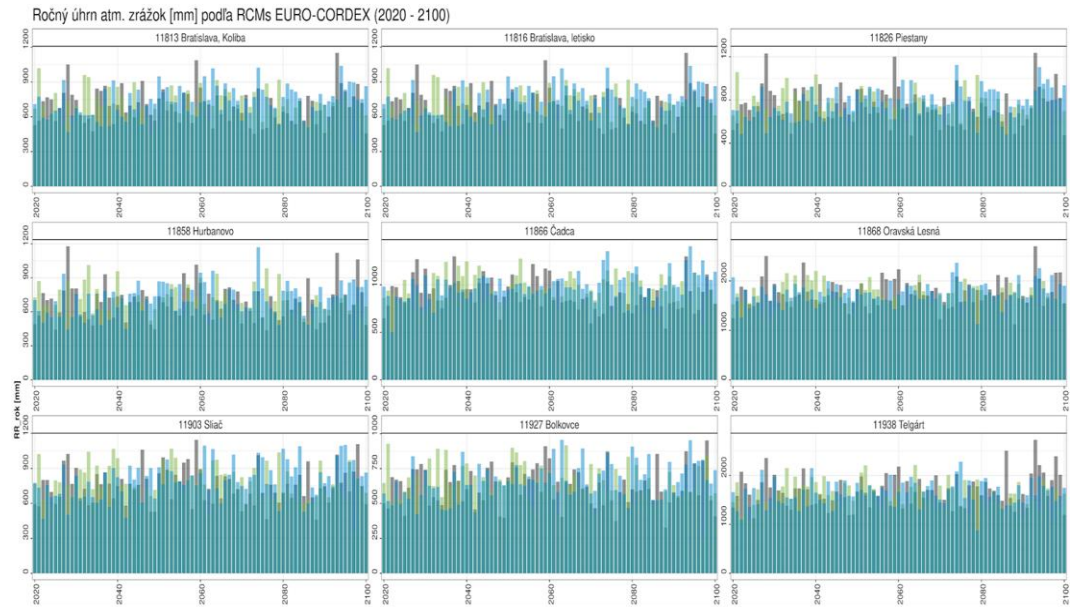
- Nárast dlhodobej priemernej teploty vzduchu v mestách o viac ako +3°C do 2100
- minimálne teploty budú rásť rýchlejšie ako maximálne teploty
- V ročnom režime sa neočakávajú žiadne zásadné zmeny, prechodné ročné obdobia by sa mali otepľovať rýchlejšie. Do roku 2100 sa však očakáva zvýšenie priemerných letných teplôt vzduchu o +1,5 až +4,0 °C a zimných o +2,5 až +5,0 °C
- Do 2050 dôjde k zvýšeniu počtu letných a tropických dní
- vlny horúčav budú častejšie, dlhšie a intenzívnejšie



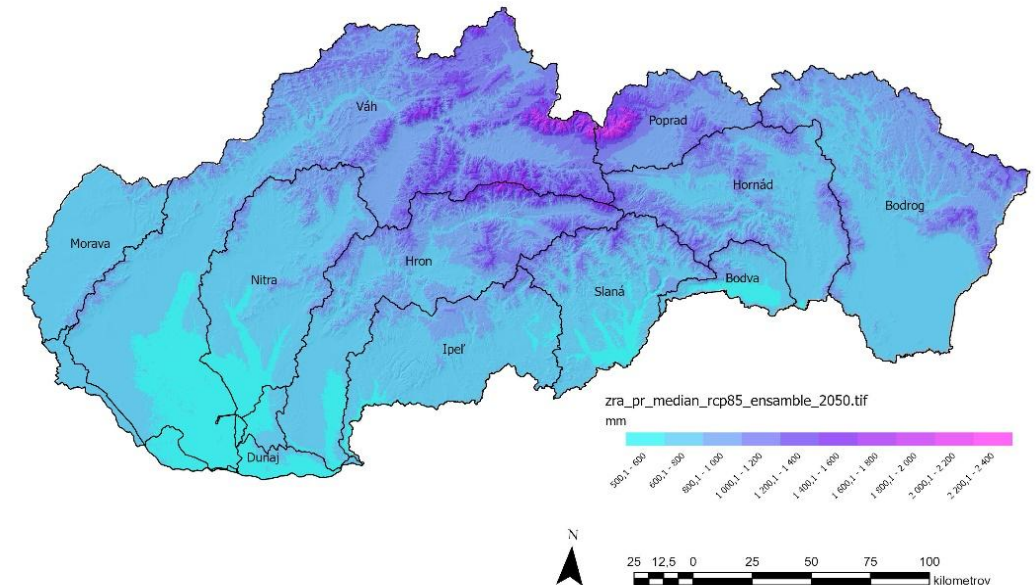
Klimatické projekcie pre územie Slovenska

Atmosférické zrážky a extrémny:

- Očakáva sa **nárast ročných zrážok o 10–15 %** do roku 2100, s vyššími nárastmi v zime a na severe, zatiaľ čo letné zrážky môžu klesnúť.
- Krátkodobé intenzívne dažde sa zvýšia, čo spôsobí vyššie riziko povodní. Letné suchá budú častejšie, najmä na juhu, s poklesom letného **odtoku až o takmer 70 %**. Intenzívne dažde sa zvýšia najmä v Žiline a Nitre, kde sa ich počet môže takmer zdvojnásobiť v scenári vysokých emisií (RCP8.5).
- Zimný a jarný odtok pravdepodobne vzrastie, čo však môže byť kompenzované letným nedostatkom vody.
- Potenciálne **zvýšenie sucha a nedostatku vody** v nižších nadmorských výškach však ohrozí úrodu a zvýši nároky na zavlažovanie.
- **Nárast intenzity búrok a krupobitia o 40–150 %**, nárazy vetra môžu byť o 20–80 % častejšie a silnejšie.
- K intenzívnejšej erózii pôdy prispievajú častejšie prívalové dažde a zvýšená veterná erózia v suchých obdobiach.
- Do roku 2075 sa očakáva **deficit vody v nižších oblastiach 200–400 mm ročne**, čo zvýhodní suchu odolné rastliny, no ohrozí lesy v nižších a stredných polohách.
- Adaptačné stratégie budú musieť zahŕňať lepšie hospodárenie s vodou, aktualizované poľnohospodárske postupy a nové metódy ochrany proti erózii.

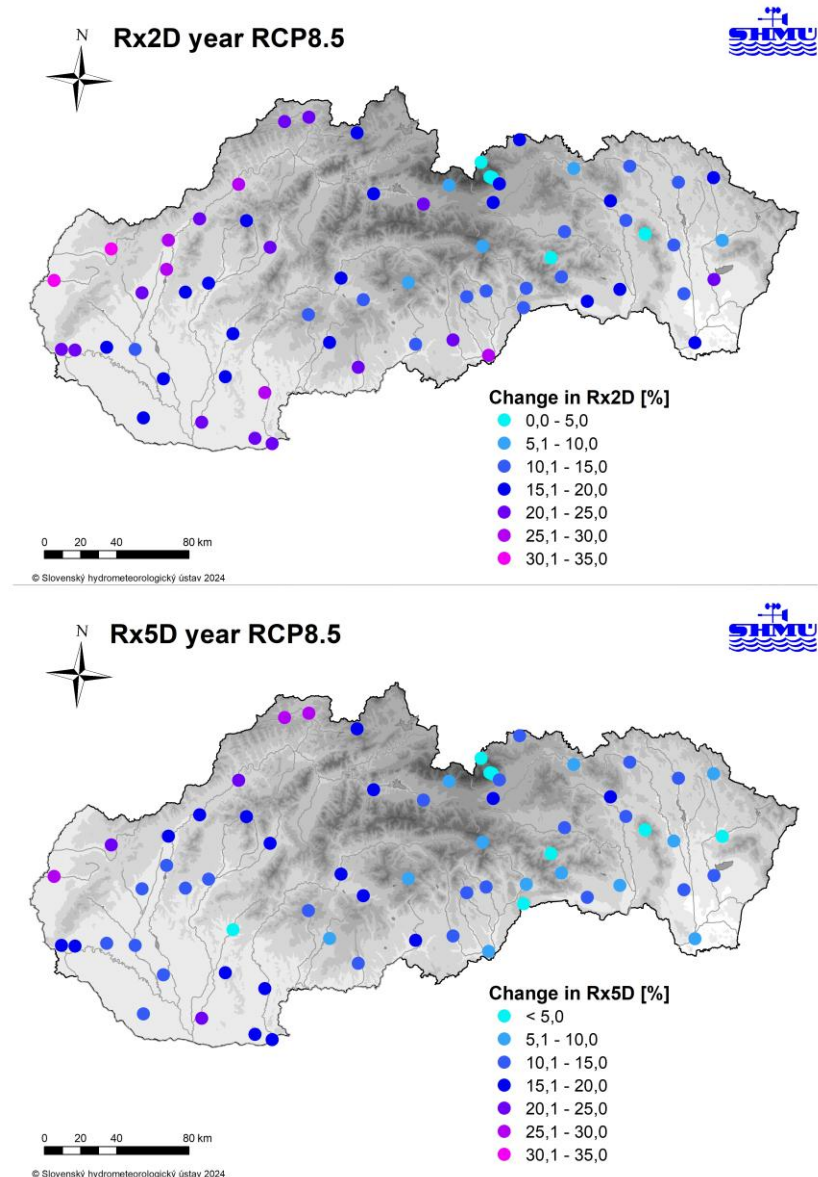


Priemerné mediánové sumy zrážok [mm] na Slovensku podľa scenára RCP8.5 pre horizont 2050



Odbor klimatologická služba SHMÚ

Scenáre vývoja ročného chodu a výskytu extrémnych úhrnov zrážok



- Podľa pesimistického scenára RCP8.5 možno očakávať zvýšenie mesačných úhrnov v zimnej až jarnej sezóne hlavne v podobe zrážok v kvapalnej forme, zatiaľ čo v letných mesiacoch by podľa spracovaných modelov malo dôjsť k celkovému poklesu mesačných úhrnov.
- Na základe výstupov modelov sa pre scenár RCP8.5 predpokladá nielen štatisticky významný nárast denných ale aj viacdenných úhrnov zrážok (Rx2D a Rx5D) a to predovšetkým v chladnom polroku (X – III).
- Pre lokality na západe a severozápade územia možno podľa emisného scenára RCP8.5 očakávať medzi horizontom 2080 a 2099 nárast Rx2D a Rx5D o viac ako 30%.

Zrážkové pomery a odvodené charakteristiky pre roky 2021-2050 a 2071-2100

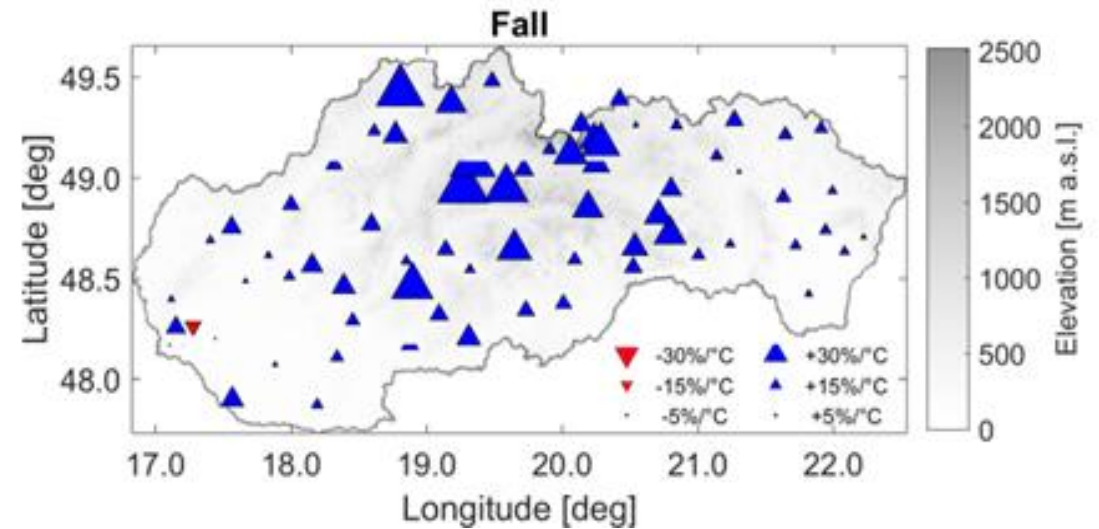
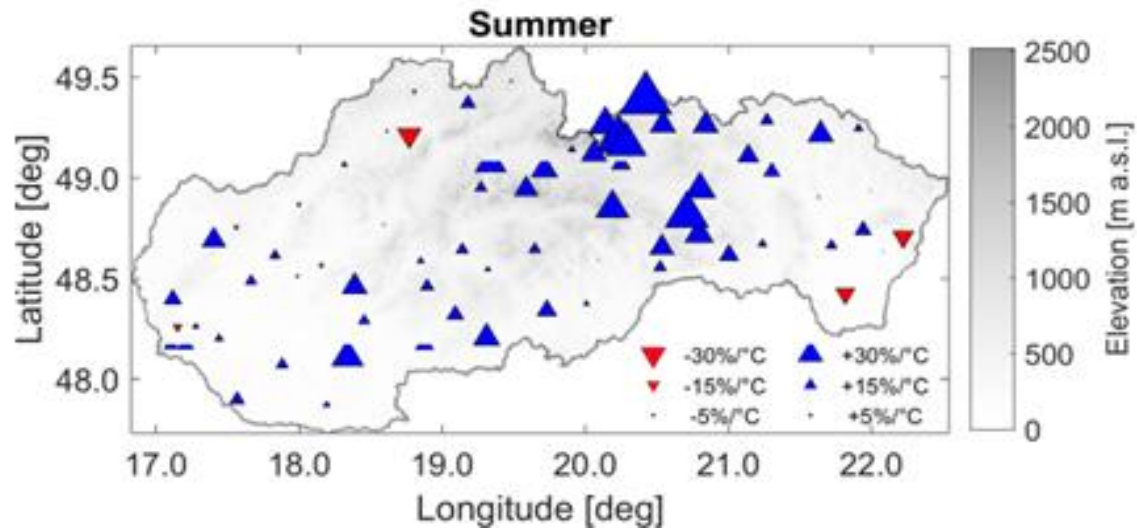
		Relatívne zmeny oproti referenčnému obdobiu 1991-2020 v %			
		Ref. Obdobie 1991-2020	Blízka budúcnosť 2021-2050		Ďaleká budúcnosť 2071-2100
Indikátor	Región		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 RCP8.5
Silný dážď [Dni]	Bratislavský kraj	0,76	22	25	36 74
	Trnavský kraj	0,60	47	50	63 112
	Nitriansky kraj	0,56	59	63	77 129
	Trenčiansky kraj	0,76	55	67	74 111
	Banskobystrický kraj	0,85	53	68	73 105
	Žilinský kraj	0,87	83	106	108 138
	Prešovský kraj	0,93	47	63	68 97
	Košický kraj	0,81	44	56	62 98
		Absolútne zmeny oproti referenčnému obdobiu 1991-2020 v mm			
		Ref. Obdobie 1991-2020	Blízka budúcnosť 2021-2050		Ďaleká budúcnosť 2071-2100
Indikátor	Región		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 RCP8.5
Klimatický ukazovateľ zavlaženia [KUZ=PE-R]	Bratislavský kraj	176	5	-9	18 75
	Trnavský kraj	180	30	16	35 95
	Nitriansky kraj	176	40	28	38 95
	Trenčiansky kraj	-70	59	42	41 81
	Banskobystrický kraj	-63	-12	-29	-28 26
	Žilinský kraj	-331	-11	-34	-43 -24
	Prešovský kraj	-171	-19	-35	-45 -6
	Košický kraj	9	0	-11	-4 43

- Počet dní s mimoriadne intenzívnymi zrážkami ($\geq 40\text{mm}/24\text{hod}$) bude narastať
- Zrážky budú viesť k častejšiemu výskytu lokálnych záplav
- Predpokladá sa, že priemerné úhrny zrážok budú narastať najmä v horských oblastiach, o +10 % pri RCP4.5 a +15 % pri RCP8.5=nárast o +50 až +70 mm pre RCP4.5 a 100 až 120 mm pre RCP8.5
- KUZ naznačuje postupné vysušanie nížinných lokalít a mierne narastanie humidnosti horských oblastí
- Celková výška snehovej pokrývky bude v polohách do 1500m n. m. ubúdať a nad pribúdať



Frekvencia zrážkových extrémov narastá

- Intenzity dažďov narastajú a vyskytujú sa častejšie ako v minulosti
- Podľa dostupných klimatických modelov budú silnieť
- Množstvo vodnej pary v atmosfére rastie cca. 7% /°C



Návrhové hodnoty pre projekčnú činnosť - aktualizácia technických noriem

- Prehodnotenie pravdepodobnostných modelov výskytu extrémnych javov (COPULA, BAYESIAN STATISTICS, MACHINE LEARNING, AI)
- Nevyhnutné sú zmeny technických noriem a návrhových hodnôt
- Alokácia prostriedkov pre realizáciu adaptačných a mitigačných opatrení
- Orientovať sa na nefosílné zdroje energie
- Podporovať ekologické formy dopravy a vytvárať patričnú infraštruktúru
- Zodpovednejšia politika odpadového hospodárstva
- Vzdelávať mladú generáciu, zaviesť povinnú environmentálnu výchovu







ĎAKUJEME ZA POZORNOSŤ

