

Inštitút environmentálnej politiky

Vedúci!

Horia

obce!

**Identifikácia stupňov ohrozenia zmenou klímy
na úrovni samospráv Slovenskej republiky**

Apríl 2023

Ekonomická analýza 14



Inštitút environmentálnej politiky je nezávislý analytický útvar pri Ministerstve životného prostredia SR. Naším poslaním je poskytovať kvalitné a spoľahlivé analýzy a prognózy v oblasti životného prostredia pre slovenskú vládu a verejnosť.

Ministerstvo
životného
prostredia
SR

Upozornenie

Materiál prezentuje názory autorov Inštitútu environmentálnej politiky (IEP), ktoré nemusia nutne odzrkadľovať oficiálne názory Ministerstva životného prostredia. Cieľom publikovania analýz je podnecovať a zlepšovať odbornú a verejnú diskusiu na aktuálne environmentálne témy. Citácie textu by preto mali odkazovať na IEP (a nie MŽP SR) ako autorov týchto názorov.

PodĎakovanie

Týmto ľuďom patrí naše poďakovanie za pomoc pri vypracovávaní tejto štúdie: Eva Čulová (Hlavné mesto SR Bratislava), Ján Dzurdženík (Agentúra na podporu regionálneho rozvoja Košice), Anna Hinerová (MŽP SR), Juraj Holec (SHMÚ), Zuzana Hudeková (Bratislava – MČ Karlova Ves), Ľudmila Chovancová (MŽP SR), Vladimír Jurík (Smart Cities klub), Martin Koška (MŽP SR), Zdenka Kurčíková (MŽP SR), Ľubica Midriaková Zaušková (SAŽP), Katarína Mikulová (SHMÚ), Peter Mozolík (MŽP SR), Jozef Pecho (SHMÚ), Stella Slučiaková (IEP), Jozef Škultéty (MŽP SR), Andrej Šteiner (KRI), Danka Thalmeinerová (MŽP SR)

Táto analýza sumarizuje výsledky spoločnej štúdie IEP a OECD "Adaptation measurement: Assessing municipal climate risks to inform adaptation policy in the Slovak Republic". Za OECD na štúdiu pracovali Catherine Gamper, Mikaela Rambali a Maike Kirsch.

Autori a autorky

Katarína Nánasiová (IEP)
Martin Gális (IEP)
Ján Dráb (IEP)
Hana Arnold (IEP)
Karin Hrnčiarová (IEP)
Veronika Tóth (IEP)

katarina.nanasiova@enviro.gov.sk
martin.galis@enviro.gov.sk
jan.drab@enviro.gov.sk
hana.arnold@enviro.gov.sk
karin.hrnciarova@enviro.gov.sk
veronika.toth@enviro.gov.sk

Obsah

Zoznam tabuliek, grafov, obrázkov a boxov	4
Zoznam skratiek	5
Zhrnutie	6
Úvod	8
1 Ako sa adaptujeme na zmenu klímy	9
2 Cesta k definícii stupňov ohrozenia zmenou klímy	12
3 Kde hrozia najhoršie dopady zmeny klímy?	16
3.1 Hrozba extrémnych horúčav	16
3.2 Hrozba sucha	19
3.3 Hrozba extrémnych zrážok	21
Bibliografia	26
Príloha	29

Zoznam tabuliek, grafov, obrázkov a boxov

Tabuľka 1: Zoznam slovenských samospráv s adaptačnými plánmi a stratégiami	10
Tabuľka 2: Čiastkový prehľad financovania adaptácie na Slovensku do roku 2021	11
Tabuľka 3: Použité indikátory	14
Tabuľka 4: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne horúčavy)	29
Tabuľka 5: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (sucho)	30
Tabuľka 6: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne zrážky v mestách)	30
Tabuľka 7: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne zrážky).....	31
Graf 1: Počet obyvateľov na stupne ohrozenia (v tisícoch)	16
Graf 2: Hrozba sucha	19
Graf 3: Počet obyvateľov na stupeň ohrozenia (v tisícoch)	21
Obrázok 1: Stupne ohrozenia obcí.....	6
Obrázok 2: Tvorba stupňov ohrozenia obcí.....	13
Obrázok 3: Stupne ohrozenia extrémnymi horúčavami.....	17
Obrázok 4: Vzťah medzi nadmorskou výškou a stupňami ohrozenia.....	18
Obrázok 5: Vplyv predpovedí na stupne ohrozenia	18
Obrázok 6: Stupne ohrozenia suchom	20
Obrázok 7: Vplyv napojenia domácností na verejný vodovod na stupne ohrozenia suchom	20
Obrázok 8: Predikcie zmien sucha medzi rokmi 2041-2070 a referenčným obdobím 1971-2000 (scenár RCP 4.5).....	21
Obrázok 9: Stupne ohrozenia extrémnymi zrážkami	22
Obrázok 10: Vplyv predpovedí na stupne ohrozenia extrémnymi zrážkam	23
Obrázok 11: Vplyv erózie a zosuvov pôdy na stupne ohrozenia	23
Box 1: Metodika tvorby kompozitného indexu	14
Box 2: Prehľad literatúry o účinnosti adaptačných opatrení.....	24

Zoznam skratiek

DEA	Data envelopment analysis (obáľková dát analýza)
EEA	European Environmental Agency (Európska agentúra životného prostredia)
IZP	Inštitút zdravotnej politiky
MF SR	Ministerstvo financií SR
MPRV SR	Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR
MŽP SR	Ministerstvo životného prostredia SR
OECD	Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj
POO	Plán obnovy a odolnosti
SAŽP	Slovenská agentúra životného prostredia
SPEI	Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index

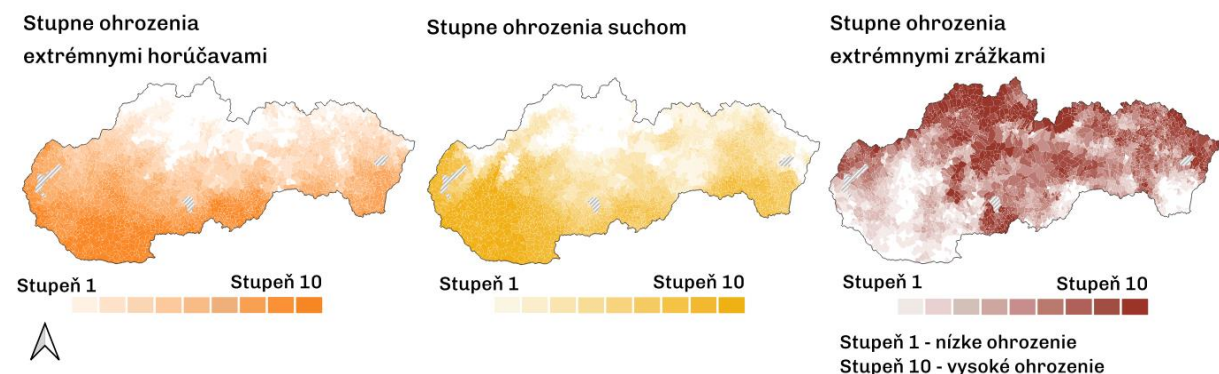
Zhrnutie

Prispôsobenie sa dopadom zmeny klímy bude v najbližších desaťročiach predstavovať kľúčovú sociálnu, ekonomickú a politickú výzvu. Adaptácia má znížiť zraniteľnosť ľudských a ekologických systémov voči nadchádzajúcim zmenám. Efektívna implementácia adaptačných opatrení je komplexný proces a vyžaduje si spoločné úsilie rôznych sektorov a aktérov. Keďže dopady zmeny klímy sa líšia a budú sa líšiť naprieč regiónmi Slovenska, opatrenia budú musieť reflektovať špecifiká jednotlivých území krajiny. Potrebná tak bude spolupráca na všetkých úrovniach verejnej správy.

Zmena klímy a jej prejavy majú a budú mať na Slovensko zásadné negatívne dopady. Zvyšujúce sa teploty, pokles vlhkosti pôdy, zmeny v premenlivosti klímy, dlhšie a intenzívnejšie obdobia sucha, či meniace sa trendy ročných úhrnov zrážok naprieč krajinou postihnú územie Slovenskej republiky v rôznej intenzite. To bude mať dôsledky na ekonomiku, ľudské zdravie a ekosystémy a prehĺbia sa tak aj existujúce sociálne nerovnosti.

Táto analýza určuje stupne ohrozenia obcí troma klimatickými hrozbami - extrémnymi horúčavami, extrémnymi zrážkami a suchom. Obce sú rozdelené do desiatich kategórií podľa stupňov ohrozenia jednotlivými hrozbami – čím vyšší stupeň, tým vyššie sú potenciálne negatívne dopady zmeny klímy. Stupne ohrozenia zohľadňujú tak socioekonomické, ako aj krajinné špecifiká jednotlivých oblastí.

Obrázok 1: Stupne ohrozenia obcí



Extrémnymi horúčavami je najviac ohrozený juh Slovenska vrátane hlavného mesta Bratislavy. Najrizikovejšími okresmi sú Bratislava I, Komárno a Nové Zámky, ale vysoký stupeň ohrozenia majú aj Šaľa, Lučenec, či Rimavská Sobota. Podmieňujú to hlavne počty tropických dní a nocí a predpokladané budúce zmeny teplôt. Ako významne ohrozené boli hodnotené aj okresy s nízkou dostupnosťou zdravotnej starostlivosti a vysokým podielom detí do štyroch rokov. Viac ako 16 % obyvateľov Slovenska žije v oblastiach s najvyšším stupňom ohrozenia extrémnymi horúčavami.

Suchá predstavujú významné riziko pre okresy na juhozápade krajiny, vrátane Žitného ostrova. Žitný ostrov je dôležitou poľnohospodárskou oblasťou a najväčšou zásobárňou pitnej vody na Slovensku, suchá tak ohrozujú zásobovanie vodou a potravinovú bezpečnosť. Okresy s najvyšším stupňom ohrozenia sú Bratislava II, Senec a Bratislava V. Na určenie stupňa ohrozenia má najväčší vplyv súčasná situácia a predpovede budúcich zmien výskytu sucha, čiastočne aj podiel domácností bez prístupu k verejnemu vodovodu.

Hrozba extrémnych zrážok sa sústreďuje najmä na severe krajiny, osobitné riziko predstavuje v oblastiach s marginalizovanými rómskymi komunitami. Najviac rizikové sú okresy Tvrdošín, Dolný Kubín a Kysucké Nové Mesto. Tieto oblasti boli v minulosti vystavené silným dažďom a zároveň sú výrazne náchylné na zosuvy pôdy, čo zvyšuje ich zraniteľnosť. Podľa predpovedí sa bude výskyt zrážok značne zvyšovať aj v okolí okresu Veľký Krtíš. Extrémne zrážky majú významné sociálne dôsledky a to hlavne v oblastiach, kde žijú menšiny bez dostatočnej ochranej infraštruktúry, čo môže viesť k obzvlášť tragickým dôsledkom. V roku 1998 si extrémne dažde a povodne v Jarovniciach (okres Sabinov) vyžiadali 50 mŕtvych a spôsobili iné vážne škody.

Adaptačná politika Slovenska je postavená na komplexnom rámci stratégií a plánov, avšak táto zložitá štruktúra nie je zjednotená so systémom financovania opatrení. Väčšina prostriedkov určených na adaptáciu prichádza zo zahraničných zdrojov a investície neodzrkadľujú priority stanovené v strategických dokumentoch. Doteraz bývali zdroje alokované na adaptačné opatrenia zamerané primárne na protipovodňové opatrenia. Definované ciele a priority zároveň nie sú pre aktérov záväzné.

Financovanie adaptačných opatrení by malo byť sústredené do najpostihnutejších oblastí krajiny. Výsledky a metodika vypracované v rámci tejto štúdie by mali slúžiť ako východiskový podklad pri rozhodovacích procesoch týkajúcich sa financovania a implementácie adaptačných opatrení. Dôležitým zdrojom financií bude v najbližších rokoch Program Slovensko 2021-2027, ktorý významne zvyšuje alokáciu zdrojov na vodozádržné opatrenia v sídlach a krajine.

Premietnutie klimatických hrozieb do územných a krajinných plánov pomôže upevniť záväznosť adaptácie. Táto štúdia zároveň môže poslúžiť ako návod na zlepšenie kvality metodík pre vypracovanie lokálnych adaptačných stratégií. Obce, ktoré sú v tejto štúdii definované ako vysoko rizikové, by mali vo vlastnom záujme uvažovať o vypracovaní vlastných adaptačných stratégií s cieľom ich integrácie do územného plánu, aby preventívne zamedzili takej výstavbe a zmenám krajinných štruktúr, ktoré môžu ešte zhoršiť budúce dopady zmeny klímy. Pozitívnym príkladom sú samosprávy, ktoré majú už dnes vypracované svoje adaptačné stratégie a medzičasom ich integrovali do svojich územných plánov. Takéto stratégie si však doteraz dal vypracovať len nepatrný počet obcí.

Úvod

Zmena klímy má zásadné globálne negatívne vplyvy. Horúčavy, záplavy, lesné požiare či suchá sú stále častejšími javmi. Keďže sa predpokladá ďalšie zvyšovanie priemerných globálnych teplôt v dôsledku ľudských aktivít a dlhodobým zotrvaním skleníkových plynov v atmosfére, budú sa tieto javy zintenzívňovať. Podľa stredného scenáru Medzivládneho panelu pre zmenu klímy by mala byť koncom storočia priemerná teplota na Zemi o 2,1 až 3,5 °C vyššia ako v rokoch 1850 – 1900 (IPCC, 2021).

Už dnes na Slovensku vidieť dopady zmeny klímy. V krajine boli v posledných rokoch zaznamenané vyššie teploty vzduchu (Ministerstvo životného prostredia SR, 2018), zníženie úhrnu zrážok na juhu a zvýšenie na severe krajiny, pokles relatívnej vlhkosti na južnom Slovensku a zníženie snehovej pokrývky na miestach do 1 000 m n. m. Od roku 1993 dochádza najmä na juhu k postupnej dezertifikácii pre dlhotrvajúce suché obdobia s veľmi nízkymi zrážkami počas vegetačných období (Ministerstvo životného prostredia SR, 2017). Okrem toho sa zvýšil výskyt vln horúčav, ako aj vln chladu.

Je významný predpoklad, že situácia sa bude naďalej zhoršovať. Všetky pozorované vplyvy zmeny klímy na Slovensku prekonalí svoje predikcie z hľadiska frekvencie ako aj intenzity. V rokoch 2001 až 2017 došlo k vplyvom, ktoré boli pôvodne predpokladané až na rok 2030 (Ministerstvo životného prostredia SR, 2017). Očakáva sa, že priemerné teploty vzduchu sa budú postupne zvyšovať o 2 až 4 °C v porovnaní s priemerami v rokoch 1961 – 1980 (Ministerstvo životného prostredia SR, 2018).

Meniaca sa klíma bude mať dopad na každodenný život obyvateľov a obyvateľiek Slovenska. Suchá ohrozujú poľnohospodárstvo, potravinovú bezpečnosť i ekosystémy. Extrémne zrážky poškodzujú infraštruktúru a ohrozujú ľudské životy. Vysoké teploty vzduchu sú rizikom pre zdravie najzraniteľnejších skupín obyvateľstva. Preto nestačí len dôsledne znižovať emisie skleníkových plynov, ale je potrebné zároveň adaptovať krajinu i sídla na prichádzajúce zmeny. Cieľom adaptácie nie je len znižovať zraniteľnosť a možné negatívne dôsledky, ale využívať aj pozitívne účinky zmeny klímy a príležitosti, ktoré prináša. Napríklad, zvýšené teploty môžu byť devastáčny pre plodiny, ktoré sa na Slovensku pestujú teraz, ale aj príležitosťou na pestovanie iných druhov. Opatrenia zároveň môžu mať mnoho podôb - od technologických až po zmeny správania.

Cieľom tejto publikácie je identifikovať stupne ohrozenia dopadmi zmeny klímy pre jednotlivé samosprávy SR a to pre tri hlavné oblasti: extrémne horúčavy, sucho a extrémne zrážky. Dôsledky zmeny klímy sa v jednotlivých okresoch či dokonca obciach Slovenska líšia. Tieto zmeny pocítia všetky regióny, niektoré ale budú vystavené alebo zraniteľné viac. Je nutné identifikovať najohrozenejšie oblasti, ktoré by sa mali adaptovať ako prvé, a tak predísť nenávratným škodám. Hodnotenie rizík predložené v tejto štúdii má pomôcť samosprávam, regiónom i štátu ako celku efektívnejšie umiestňovať zdroje i svoju pozornosť tak, aby sme dosiahli čo najlepšiu pripravenosť na zmenu klímy.

Táto analýza sumarizuje výsledky spoločnej štúdie Inštitútu environmentálnej politiky a Organizácie pre ekonomickú spoluprácu a rozvoj (OECD), ktorá vyšla v anglickom jazyku pod názvom „Adaptation measurement: Assessing municipal climate risks to inform adaptation policy in the Slovak Republic“. Tá okrem iného obsahuje aj prílohu s podrobnou metodikou, popisom a vizualizáciou všetkých indikátorov. Súčasťou štúdie sú aj vrstvy na Národnom geoportáli, ktoré interaktívne zobrazujú stupne ohrozenia jednotlivých samospráv: <https://geoportal.geocloud.sk/maps/climate-change-risks/>.

1 Ako sa adaptujeme na zmenu klímy

Cieľom adaptačných opatrení je minimalizovať zraniteľnosť ľudských a ekologických systémov zmenou klímy (IPCC, 2022). Prípravou a prispôbením sa na negatívne dopady zmeny klímy na krajinu a spoločnosť je možné týmto vplyvom zabrániť alebo ich aspoň obmedziť. Slovensko je zmluvnou stranou Parížskej dohody, ktorá zaväzuje štáty posilňovať svoju odolnosť a znižovať svoju zraniteľnosť voči zmene klímy. Stratégia adaptácie EÚ na zmenu klímy má zase za cieľ presunúť dôraz z adaptačného plánovania na skutočnú implementáciu (European Commission, 2021). Na znižovanie dopadov klimatických rizík budú aj preto potrebné čoraz ambicióznejšie plány a investície, preto je dôležité zvážiť, kde sa budú realizovať aké opatrenia.

Základné piliere štátnej politiky v oblasti adaptácie na zmenu klímy sú definované v Stratégii environmentálnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 (Ministerstvo životného prostredia SR, 2019). Ako hlavné opatrenie sa uvádzajú legislatívne zmeny, ktoré majú zabezpečiť povinnosť prípravy adaptačných stratégií na úrovni regiónov a miest. Tie majú obsahovať konkrétne opatrenia a vyčlenené finančné prostriedky a predovšetkým majú viesť k následnému premietnutiu do územných plánov. MŽP SR koordinuje politiky, je zodpovedné za implementáciu, monitorovanie a podávanie správ o pokroku a vyhodnocuje efektivitu a udržateľnosť prístupu k adaptácii. Vzhľadom na komplexnosť problematiky sú zodpovednosť a implementácia, ako aj čiastkové plány a stratégie, často v pôsobnosti iných rezortov či orgánov verejnej správy.

Nosnými sektorovými strategickými dokumentami sú Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na zmenu klímy (2018) a následný Akčný plán pre implementáciu (2021). Hlavným cieľom SR v oblasti adaptácie je znížiť ohrozenosť a zvýšiť adaptívnu schopnosť systémov voči aktuálnym alebo očakávaným negatívnym dôsledkom zmeny klímy (Ministerstvo životného prostredia SR, 2018). Do konca roka 2025 má MŽP SR záväzok predložiť novú, aktualizovanú Stratégiu. Na Stratégiu nadväzujúci Akčný plán pre implementáciu vytyčuje 6 prierezových strategických priorít, 45 špecifických opatrení a 169 úloh, ktorých realizácia je pre naplnenie cieľov žiaduca. MŽP SR má povinnosť priebežne informovať vládu o napredovaní v oblasti adaptácie. Informácia o dosiahnutom pokroku pri realizácii adaptačných opatrení v Slovenskej republike bola vládou SR schválená v marci 2023. MŽP SR bude vládu SR informovať aj o pokroku pri dosahovaní krátkodobých cieľov plánu, a to do 30. júna 2024.

Javy späté so zmenou klímy majú rozličnú intenzitu a frekvenciu, je preto nutné, aby opatrenia odzrkadľovali lokálne klimatické hrozby a socioekonomické podmienky. Pre proces adaptácie je potrebné zapojenie širokého spektra aktérov. Adaptácia tak vyžaduje extenzívnu vedeckú, technickú a ekonomickú expertízu a spoluprácu vo verejnom i súkromnom sektore vrátane zaangažovania samospráv, ktoré sú zodpovedné za realizáciu opatrení na lokálnej úrovni. Samosprávy a samosprávne kraje nemajú formálnu povinnosť vypracovať si adaptačné stratégie a plány, ale rôzne nástroje ich k tomu motivujú. Ide najmä o podmienku vypracovať si adaptačný plán, ak sa obce chcú uchádzať o Nórske fondy. Na nižšej ako národnej úrovni bolo prijatých 16 plánov a stratégií a štyri z ôsmich samosprávnych krajov si vytvorilo vlastné adaptačné stratégie.

Tabuľka 1: Zoznam slovenských samospráv s adaptačnými plánmi a stratégiami

Kraje	Bratislava, Košice, Prešov, Trnava
Mestá	Bratislava, Hlohovec, Kežmarok, Košice, Prešov, Trenčín, Trnava, Zvolen, Žilina
Mestské časti	Karlova Ves, Košice – západ
obce	Spišská Teplica
Medzinárodné spolupráce	okresy Michalovce a Sobrance spolu s okresom Užhorod (Ukrajina)
Oblasti	Horná Ondava

Zdroj: Slovenská agentúra životného prostredia

Implementácia opatrení v samosprávach nie je pre obce záväzná a nie je ani meraná. Monitorovanie a vyhodnocovanie pokroku v adaptácii na zmenu klímy má na starosti pracovná skupina pre adaptáciu vedená MŽP SR. V najbližších rokoch bude na adaptáciu k dispozícii viac zdrojov, vrátane fondov EÚ, a preto bude kľúčové ekonomicky efektívne rozdeľovanie financií.

Adaptácii na zmenu klímy sa venuje aj Plán obnovy a odolnosti. Reforma krajinného plánovania môže zabezpečiť záväznosť adaptácie prostredníctvom premietnutia adaptačných priorít do dokumentácie pre krajinné plánovanie. Reforma cieľi na nastavenie adekvátnej ochrany pred narušovaním krajinných štruktúr. Komponent venovaný adaptácii na zmenu klímy ďalej obsahuje aj reformy vodného hospodárstva a reformu národných parkov. Plánované investície v Pláne obnovy a odolnosti v rámci adaptácie sú vo výške 159 mil. eur a zahŕňajú renaturácie vodných tokov, výkupy pozemkov za účelom rozširovania bezzásahových území a projekty rozvoja cestovného ruchu v dvoch národných parkoch.

Hlavným finančným zdrojom pre investície do adaptačných opatrení sú fondy EÚ, najmä Európske štrukturálne fondy a Spoločná poľnohospodárska politika. Čiastočným zdrojom financovania adaptácie na zmenu klímy boli doteraz Program LIFE Európskej únie a Granty EHP a Nórska. Program LIFE podporoval rozvoj miestnych adaptačných stratégií, adaptáciu v mestských oblastiach apod. Granty EHP a Nórska podporujú okrem iného aj budovanie zelenej a modrej infraštruktúry a mäkké opatrenia pre formálne aj neformálne vzdelávanie študentov a verejnosti o zmierňovaní zmeny klímy a adaptácii na ňu. Celkovo SK-Klima program financovaný EHP a Nóorskymi grantmi doteraz podporil projekty sumou 19,81 miliónov eur. Implementácia programu potrvá do roku 2024.

V novom programovom období by malo dôjsť k zvýšeniu pozornosti pre vodozádržné opatrenia. Európska komisia v roku 2022 schválila Program Slovensko 2021-2027, kde je na adaptačné opatrenia a posilnenie odolnosti vyčlenených vyše 239 miliónov eur. Financie sú zamerané okrem iného na tvorbu koncepčných východísk pre realizáciu opatrení, ako aj na samotnú implementáciu na národnej, regionálnej a miestnej úrovni. Adaptácia sa na Slovensku v minulosti zameriavala najmä na protipovodňové opatrenia, kým investície do vodozádržných opatrení v mestách boli relatívne nevýznamné. Preto sú okrem protipovodňových opatrení v aktuálnom období alokované financie osobitne aj na vodozádržné opatrenia v sídlach aj krajine, čisto na ktoré je vyčlenených vyše 127 mil. eur.

Tabuľka 2: Čiastkový prehľad financovania adaptácie na Slovensku do roku 2021¹

Program financovania	Adaptačné opatrenia	Počet projektov	Schválené prostriedky na celé obdobie (mil. eur)	Poznámka
Európske štrukturálne a investičné fondy (2014-2020)	Vodozádržné opatrenia v sídlach	88	18,2	Vodozádržné záhrady, vodozádržné nádrže
	Protipodvodňové opatrenia	29	124,6	Šedé a zelené protipodvodňové opatrenia
Spoločná poľnohospodárska politika (2015-2020)	Zalesňovanie	12	0,2	
	Prevenca a odstraňovanie škôd spôsobených lesnými požiarimi, prírodnými katastrofami a udalosťami	15	58,1	
	Obnova lesov poškodených lesnými požiarimi, prírodnými katastrofami a udalosťami	143	29,9	
	Zlepšenie odolnosti a environmentálnej hodnoty lesných ekosystémov	255	4,3	
	Obnova, ochrana a posilnenie ekosystémov súvisiacich s poľnohospodárstvom a lesníctvom	2	139,7	
Envirofond (2020)	Kvalita ovzdušia	30	2,8	Budovanie zelenej infraštruktúry v súlade s legislatívou o nepôvodných a invázných druhoch
	Prístup k vode	36	4,5	Budovanie alebo rekonštrukcia verejného vodovodu
	Protipodvodňové opatrenia	2	0,3	Opatrenia na rieke alebo povodí
Samosprávy		neznáme	neznáme	Rôzne; napr. výsadba stromov a zachytávanie vody v mestských oblastiach
LIFE (2014-2020)	Klimatická odolnosť obytných budov a podpora biodiverzity v mestských oblastiach, klimaticky inteligentné lesnícke opatrenia	2	5	Prioritná oblasť: Adaptácia na zmenu klímy
	Zvyšovanie povedomia o zelenej mestskej infraštruktúre		0,2	Prioritná oblasť: Správa a informatizácia zmeny klímy
	Zvyšovanie povedomia o mestskej zelenej infraštruktúre	1	0,2	Prioritná oblasť: Správa a informatizácia klimatických činností
EHP a Nórske granty (SK-Klíma) (2014 – 2021)	Šetrenie energií, E-mobilita, zelená a modrá infraštruktúra, zvýšenie infiltračnej schopnosti pôdy, zníženie produkcie odpadu a jeho ďalšie opätovné využitie, obnova degradovaných mokraďových ekosystémov	49	19,8	Kombinácia mitigačných a adaptačných opatrení, kontinuita mokradí a inundácií (opakovane zaplavovaných oblastí) s povrchovým tokom, manažment mokradí a manažment mokraďových biotopov, záplavový potenciál mokradí, hydrologický režim mokradí

Zdroj: Inštitút environmentálnej politiky; na základe údajov MŽP SR a MPRV SR

¹ V súčasnosti neexistuje komplexná databáza finančných zdrojov a výšky finančných prostriedkov vynaložených na podporu adaptačných projektov a aktivít.

2 Cesta k definícii stupňov ohrozenia zmenou klímy

Náklady na adaptačné opatrenia budú v blízkej budúcnosti narastať. Vzhľadom na obmedzené zdroje je nutné stanoviť priority, na základe ktorých budú financie prerozdeľované s cieľom maximalizovať úžitok. To si vyžaduje posúdenie stupňov klimatických rizík na celom Slovensku a identifikáciu najohrozenejších oblastí. Metódy, postupy a kritéria hodnotenia investícií na adaptáciu dnes sumarizuje Priorizácia investičných projektov v rezorte Ministerstva životného prostredia SR (Ministerstvo životného prostredia SR, 2021).

Súčasnú hodnotenie investícií nezohľadňuje rôznorodosť klimatických hrozieb, ani menšie obce. Dokument sa sústreďuje iba na sídla nad 5000 obyvateľov a obyvateľiek, v rámci ktorých definuje prioritné investičné oblasti pre adaptáciu ako celok. V praxi však často nie je možné pripraviť adaptačné opatrenia, ktoré by odpovedali na všetky klimatické hrozby naraz. Kým pre mestá je v horúčavách dôležité tienenie a možnosť sa schladiť, tieto opatrenia nemusia byť najefektívnejšie pri suchu, ktoré trápia poľnohospodárov a tiež nepomôžu pri privalových dažďoch. **Preto je potrebné sledovať separátne tri najväčšie hrozby – extrémne horúčavy, extrémne zrážky a sucho².**

Extrémne horúčavy sú výzvou najmä pre mestá a v nich žijúce zraniteľné skupiny obyvateľov. Zastavané prostredie urbanizovaných území je náchylné na výskyt tepelného ostrova, kedy sa mesto nedokáže dostatočne ochladiť. Zelená a modrá infraštruktúra v podobe parkov a vodných prvkov môže tieto prejavy pomôcť zmierniť. Ak je však mesto tvorené prevažne nepriepustnými povrchmi a materiálmi akumulujúcimi teplo, trpia tým najmä osobitne zraniteľné skupiny obyvateľstva – napríklad deti a seniori. Najhoršie dopady vie ešte odvrátiť dobrá dostupnosť zdravotnej starostlivosti, avšak tá by nemala suplovať dobré urbanistické riešenia zamerané na predchádzanie horúčavám.

Extrémne zrážky sú najväčším problémom v oblastiach so zvýšenou náchylnosťou k erózii a zosuvom pôdy. Nestabilná pôda sa môže vplyvom extrémnych zrážok uvoľniť a spôsobiť významné škody na majetku a ohroziť obyvateľov dotknutých území. V urbanizovanom prostredí s nadmerným výskytom nepriepustných povrchov môžu privalové dažde tiež dočasne spôsobiť problémy ako napríklad ochromenie dopravy či poškodenie infraštruktúry.

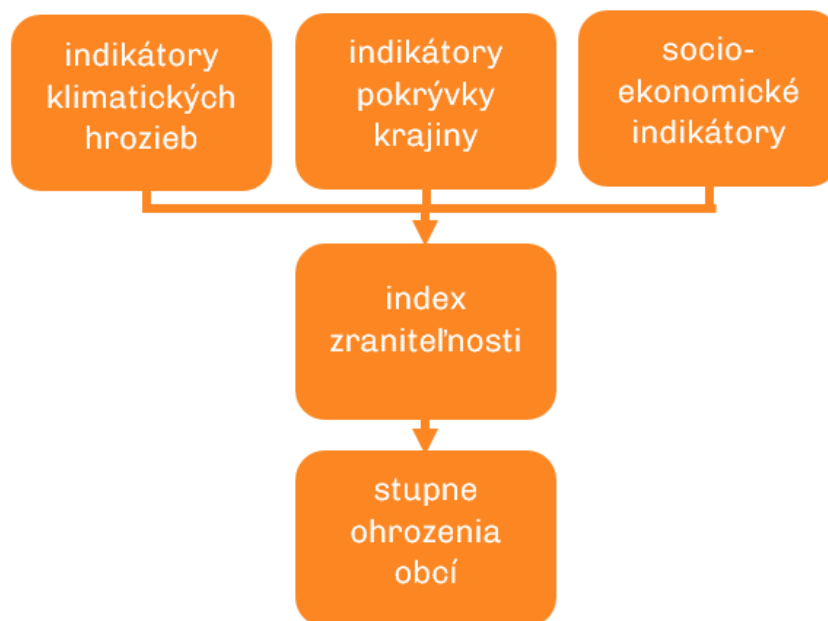
Dopady sucha sú najcitlivejšie na poľnohospodárskej pôde, čo má nepriaznivé dôsledky na produkciu. Súčasný spôsob hospodárenia na poľnohospodárskej pôde zapríčinil jej zníženú schopnosť zadržiavať vodu, pričom mnohé územia boli v minulosti zámerne odvodňované za použitia melioračnej infraštruktúry. Okrem krajiny môžu byť suchom výraznejšie postihnuté aj domácnosti, ktoré nie sú pripojené na vodovod, pretože dlhodobé sucho nepriaznivo ovplyvňuje aj výdatnosť vodných zdrojov.

Na hodnotenie zraniteľnosti boli použité tri skupiny indikátorov – klimatické, socioekonomické a ukazovatele o fyzickom prostredí. Indikátory boli zvolené na základe literatúry (napr. Ludena a kol. (2015)), expertných konzultácií a dátovej dostupnosti. Každý z troch indexov – pre extrémne horúčavy, sucho a extrémne zrážky - používa výber

² Okrem spomínaných sú pre krajinu ďalšou výzvou povodne. Priorizácia v danej oblasti vychádza z hodnotenia povodňových rizík zastrešených Koncepciou vodnej politiky, ktorej aktualizáciu v súčasnosti pripravuje MŽP SR. V prípade potreby posúdiť zraniteľnosť území aj vzhľadom na iné klimatické hrozby, táto metodika môže slúžiť ako podklad pre ďalšie analýzy.

indikátorov tak, aby boli relevantné pre daný typ hrozby. Skupiny indikátorov nám umožňujú zachytiť rôzne aspekty klimatickej zmeny v konkrétnom kontexte, čo reflektuje komplexnosť potenciálnych adaptačných aktivít.

Obrázok 2: Tvorba stupňov ohrozenia obcí



Zdroj: IEP podľa IPCC (2007)

Súčasnú a budúce klimatické indikátory sú najdôležitejšou súčasťou hodnotenia. Indikátory týkajúce sa klimatických hrozieb vychádzajú jednak z priemerných hodnôt nameraných za ostatné tri desaťročia, a tiež z predikcií vývoja klímy namodelovaných pre celú Európu až do roku 2050. Kombináciou súčasného a budúceho ohrozenia vieme jednak identifikovať regióny, ktoré už teraz trpia dôsledkami klimatických zmien, ale aj tie, ktoré to ešte len čaká. Kvôli nedostatočným investíciám do adaptačných opatrení bude nutné jednak dohnať adaptačný dlh, ale aj aktívne reagovať na predpovedané výzvy.

Dopady klimatických zmien vie výrazne ovplyvniť fyzický charakter prírodného, ale aj ľudmi vybudovaného prostredia. Horúčavy budú znesiteľnejšie v mestách, kde stromy poskytujú tieň a ochladzujú vzduch v okolitom verejnom priestore. Podobne vodné plochy nemusia slúžiť len na rekreáciu, ale aj na termoreguláciu v prehriatych sídlach. Aj nedotknutá príroda v chránených územiach predstavuje potenciálne odolný priestor, kde vegetácia a pôda nestratili svoje prirodzené vodozadržné vlastnosti. Naopak v sídlach, kde nepostačuje príroda, pomáha nepriaznivé dopady kompenzovať vybudovaná infraštruktúra v podobe vodovodov či nemocníc.

Socioekonomický kontext v obciach určuje spoločenský dopad klimatických zmien a schopnosť sa s ním vysporiadať. Aby sa minimalizoval dopad na ľudí, adaptovať by sa mali prioritne husto obývané sídla, kde je predpokladaný dopad najväčší. Obce s vysokým podielom zraniteľnej populácie sú ohrozené najviac. Samostatnou výzvou je adaptácia marginalizovaných rómskych komunit, ktoré už teraz žijú v nevyhovujúcich podmienkach. Klimatická zmena má potenciál prehĺbiť spoločenské nerovnosti. Chudoba (v indikátoroch zachytená pomocou miery nezamestnanosti) je však prítomná aj mimo rómskych komunit, pričom znemožňuje obyvateľom vykonávať adaptačné opatrenia vo vlastnej réžii. V takých prípadoch je potrebná väčšia účasť verejného sektora, či už na lokálnej alebo národnej úrovni.

Tabuľka 3: Použité indikátory

Oblasť	Indikátor	Extrémne horúčavy	Extrémne zrážky	Sucho
Klimatické hrozby	Budúce extrémne horúčavy - klimatologická definícia	x		
	Budúce extrémne horúčavy - zdravotnícka definícia	x		
	Súčasnú horúčavy - tropické dni	x		
	Súčasnú horúčavy - tropické noci	x		
	Budúce sucho - počet po sebe nasledujúcich dní sucha			x
	Budúce sucho - celkový počet dní sucha			x
	Súčasnú sucho (SPEI index)			x
	Budúce extrémne zrážky		x	
	Súčasnú extrémne zrážky		x	
Socio-ekonomické ukazovatele	Hustota obyvateľstva	x	x	x
	Zraniteľná populácia - deti do štyroch rokov	x	x	x
	Zraniteľná populácia - seniori nad 70 rokov	x	x	x
	Dostupnosť nemocníc	x		
	Miera nezamestnanosti	x	x	x
	Finančné zdroje obce (na obyvateľa)	x	x	x
	Prístup k pitnej vode (vodovody)			x
	Percento segregovaných obyvateľov rómskych komunít	x	x	x
	Percento územia s pokrytím stromami (celé územie obce)		x	x
Percento územia s nepriepustnými povrchmi (celé územie obce)		x	x	
Percento územia s trávnatými povrchmi (celé územie obce)		x	x	
Percento územia s vodnými plochami (celé územie obce)		x	x	
Fyzické prostredie	Percento územia s pokrytím stromami (obývané územie, ovážené počtom obyvateľov)	x	x	
	Percento územia s nepriepustnými povrchmi (obývané územie, ovážené počtom obyvateľov)	x	x	
	Percento územia s trávnatými povrchmi (obývané územie, ovážené počtom obyvateľov)		x	
	Percento územia s vodnými plochami (obývané územie, ovážené počtom obyvateľov)	x	x	
	Podiel poľnohospodárskej pôdy		x	x
	Priemerný stupeň ochrany	x	x	x
	Podiel územia ohrozeného pôdnou eróziou		x	
	Územie ohrozené zosuvmi pôdy		x	

Zdroj: IEP

Obce delíme do desiatich úrovní rizík negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny. Takto definujeme prioritné územia, do ktorých by sa mala sústrediť pomoc s financovaním adaptačných opatrení. Metodika tvorby kompozitného indexu odzrkadľuje skutočnosť, že obce fungujú v rôznom klimatickom, krajinnom a socioekonomickom kontexte a prípadná odolnosť na zmeny sa dá dosiahnuť rôznymi spôsobmi. Každá obec má svoje významné indikátory, ktoré sú pre ňu pre dosahovanie odolnosti najefektívnejšie.

Index vzniká ako súčet príspevkov vstupných ukazovateľov, ktoré sú vynásobené automaticky pridelenou váhou. Pre dôležité indikátory je expertne stanovená dolná hranica ich podielu na výslednom indexe, ktorá musí byť dosiahnutá. Takto sú stanovené minimálne podiely pre skupiny klimatických indikátorov vo všetkých indexoch. Podobne je zdôraznená dôležitosť ukazovateľov týkajúcich sa stability pôdy v prípade zrážok alebo podielu poľnohospodárskej pôdy a pripojenia na vodovod v prípade sucha. Pre menej relevantné indikátory naopak stanovujeme horný limit. Index vzniká za použitia metódy Data Envelopment Analysis (DEA), ktorá je bližšie popísaná v Boxe 1.

Box 1: Metodika tvorby kompozitného indexu

Kompozitné indexy nám umožňujú obsiahnuť komplexné informácie do jednoduchej súhrnnej metriky. Často sa jednotlivé vstupné indikátory jednoducho priemerujú alebo sa vynásobené expertnými váhami sčítajú do výsledného indexu. Výsledky takéhoto prístupu do veľkej miery závisia od subjektívnych názorov ich tvorcov a pri nevhodnom výbere vstupných indikátorov môžu pripisovať väčšiu dôležitosť menej relevantným faktorom. Zároveň tieto prístupy neumožňujú zakomponovať špecifický kontext jednotlivých entít (obcí), ale plošne určujú rovnaké podmienky pre všetkých. Tieto problémy riešia pokročilejšie prístupy, ktoré

automaticky vytvárajú váhy pre indikátory pomocou matematického modelu. Vďaka tomu je zaručená väčšia objektivita výsledkov, ktoré nie sú založené len na expertných odhadoch.

Data envelopment analysis (DEA, obáľková analýza dát) vychádza z myšlienky, že jednotlivé jednotky, v našom prípade obce, fungujú v rozdielnom kontexte a svoju efektívnosť dosahujú rôznymi spôsobmi. Preto má každá obec pridelený vlastný súbor váh, ktorý jej umožní dosiahnuť najlepší možný výsledok v jej špecifických podmienkach. Prípadné nedostatky v jednej oblasti tak môže obec kompenzovať lepšími v inej. Výhodou DEA je možnosť do modelu zahrnúť aj expertné ohraňovania pre podiel indikátorov na výsledku a vyzdvihnúť tak vplyv dôležitých ukazovateľov.

Naša analýza postupuje podľa metodiky popísanej v príručke od OECD (2008), kde kompozitný index CI_e je definovaný ako pomer výkonu skúmanej obce e k výkonu benchmarku:

$$CI_e = \frac{\sum_{e=1}^M I_{qe} w_{qe}}{\sum_{e=1}^M I_{qe}^* w_{qe}}$$

Kde I_{qe} je normalizované skóre q -tého indikátora ($q=1, \dots, Q$) pre obec e ($e=1, \dots, M$), w_{qe} je prislúchajúca váha a I^* je hodnota pre hypotetickú obec, ktorá maximalizuje celkový výkon vzhľadom na neznámu množinu váh w . Benchmark je riešením maximalizačného problému

$$I^* = I^*(w) = \operatorname{argmax}_{I_k, k \in \{1, \dots, M\}} \left(\sum_{q=1}^Q I_{qk} w_q \right)$$

Súbor optimálnych váh získame ako výsledok optimalizačnej úlohy pre všetky obce $e=1, \dots, M$:

$$CI_e^* = \operatorname{argmax}_{w_{qe}, q=1, \dots, Q} \frac{\sum_{q=1}^Q I_{qe} w_{qe}}{\max_{I_k, k \in \{1, \dots, M\}} \left(\sum_{q=1}^Q I_{qk} w_{qe} \right)}$$

pričom $w_{qe} \geq 0$, kde $q = 1, 2, \dots, Q$.

Hodnoty indexu sa hýbu medzi 0 až 1, pričom vyššia hodnota znamená lepšiu efektívnosť. Váhy neobmedzujeme priamo, ale nastavujeme limit pre podiel súčinu váhy a indikátora v indexe:

$$L_q \leq \frac{I_{qe} w_{qe}}{\sum_{q=1}^Q I_{qe} w_{qe}} \leq U_q \text{ kde } q = 1, 2, \dots, Q.$$

V našom prípade sme zvolili nasledovné obmedzenia pre všetky tri indexy:

- Súčasné klimatické hrozby (spolu) – min. 40%
- Súčasná klimatická hrozba (každá zvlášť) – min. 10%
- Budúce klimatické hrozby (spolu) – min. 15%
- Každý indikátor (iný ako klimatická hrozba) – max. 30%

Obmedzenia pre index ohrozenia extrémnymi zrážkami:

- Seniori nad 70r. - max. 2%
- Dostupnosť nemocnice – max. 2%
- Erózia + zosuvy pôdy – min. 15%

Obmedzenia pre index ohrozenia suchom:

- Seniori nad 70r. – max. 2%
- Deti do štyroch rokov – max. 2%
- Dostupnosť pitnej vody + podiel poľnohospodárskej pôdy – min. 15%

Obce sú na základe hodnôt KI rozdelené do 10 kvantilov označujúcich úroveň ohrozenia, kde nízke hodnoty prislúchajú vysokému stupňu ohrozenia. Kvôli lepšej interpretácii sú stupne rizika v ďalšom kroku otočené, aby vyššia hodnota znamenala vyššie riziko. Počet obcí s daným stupňom je pre každú úroveň rovnaký, len v prípade rovnakých hodnôt sú obce zadelené do tej istej skupiny.

DEA sa štandardne používa na tvorbu KI v rôznych oblastiach od školstva (Stumbriene a iní, 2020), cez životné prostredie (Rogge, 2012) až po spoločenskú zodpovednosť firiem (Oliveira a iní, 2019). Hodnoteniu zraniteľnosti voči klimatickým zmenám sa venujú napr. Huang a iní (2019) alebo Huang a iní (2011), ale štandardne je zahrnutý menší počet jednotiek (zväčša krajín). Naša analýza tak kvantitou dát presahuje zvyčajný rozsah doterajších analýz.

3 Kde hrozia najhoršie dopady zmeny klímy?

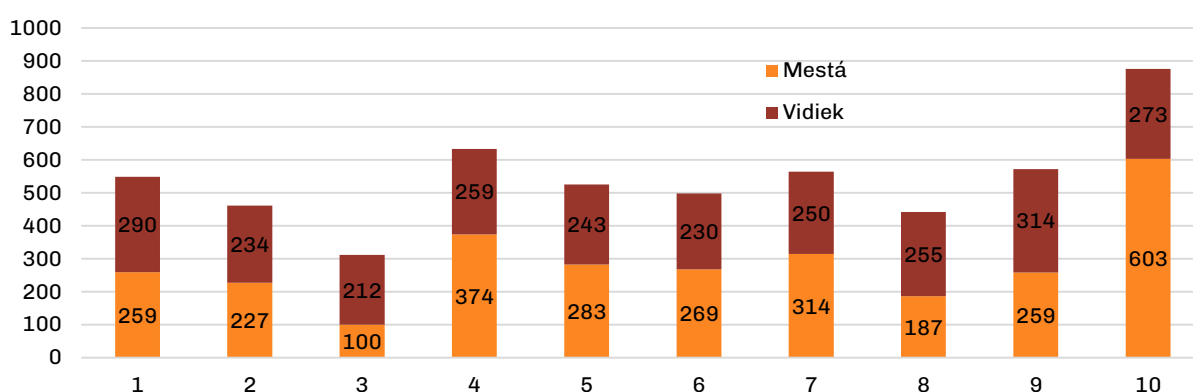
Indexy ohrozenia zmenou klímy určujú, ktoré obce patria medzi najohrozenejšie dopadmi zmeny klímy, a tým pádom by im mala byť venovaná osobitná pozornosť pri implementovaní adaptačných opatrení. Jednotlivým obciam sú pridelené stupne ohrozenia od 1 (najmenšie riziko) po 10 (najväčšie riziko) a to zvlášť v rámci troch hlavných klimatických hrozieb. Väčšina obcí čeliacich riziku extrémnych horúčav sa nachádza na juhu Slovenska. Obce vystavené riziku sucha sú sústredené prevažne na juhozápade a extrémne zrážky sú hrozbou hlavne pre obce na severe a východe.

Indexy zahŕňajú údaje o klimatických hrozbách, socioekonomické ukazovatele, ako aj stav pokrývky krajiny. Takto dokážeme brať do úvahy niekoľko úrovní, ktoré vplyvajú na kapacity obce čeliť zmene klímy. Napríklad niektoré obce sú osobitne ohrozené kvôli tomu, že nemajú zdroje a vytvorené podmienky na zvyšovanie odolnosti a znižovanie zraniteľnosti voči klimatickým hrozbám (napr. marginalizované rómske komunity). Iné obce sú oproti ostatným dobre vybavené, ale klimatická hrozba ich zasahuje viac. Je to príklad Bratislavy, ktorá je síce ekonomicky silná, ale bude aj kvôli silnej urbanizácii čeliť intenzívnym horúčavám i suchu.

3.1 Hrozba extrémnych horúčav

Vyše 16 % obyvateľov Slovenska žije v oblastiach s najvyšším stupňom ohrozenia extrémnymi horúčavami. Medzi najohrozenejšie oblasti patrí mesto Bratislava a okresy Komárno, Nové Zámky, Šaľa, Bratislava IV, či Bratislava V. Ohrozené regióny sú koncentrované na juhozápade krajiny v okolí hlavného mesta a Žitného ostrova, ale aj na juhu stredného Slovenska. Okresy Bratislava I, Komárno a Nové Zámky zároveň v súčasnosti patria medzi miesta s najvyšším priemerným počtom tropických dní ročne.

Graf 1: Počet obyvateľov na stupne ohrozenia (v tisícoch)

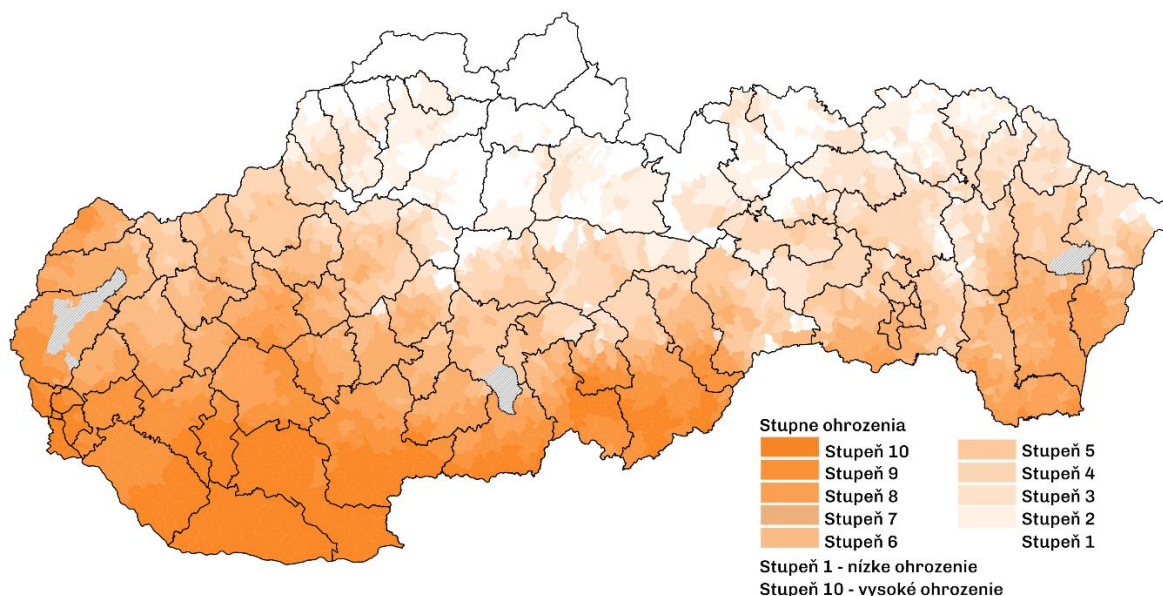


Zdroj: IEP

Väčšie, hustejšie obývané a zastavanejšie mestá bývajú ohrozenejšie. Bratislavu I postihovali v minulosti časté tropické noci, počas ktorých teploty vzduchu neklesli pod 20 °C. Takéto noci sú charakteristické pre urbanizované miesta, pretože budovy a cesty v mestách akumulujú teplo, čo spomaľuje poklesy teplôt počas nocí. Bratislavské - Staré Mesto je obcou s vysokým množstvom nepriepustných povrchov, čo prispieva k

vytváraníu ostrovov tepla v mestách. Je to zároveň husto obývaná mestská časť, čo znamená, že vplyvy horúčav pociťuje vysoké množstvo obyvateľov a obyvateľiek koncentrovaných na jednom mieste.

Obrázok 3: Stupne ohrozenia extrémnymi horúčavami

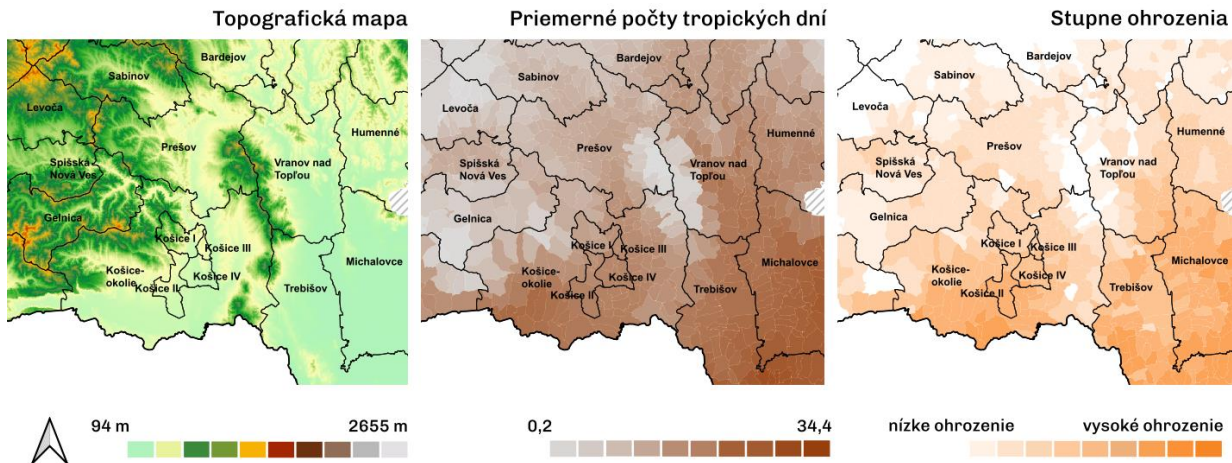


Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu SR; MF SR; Atlasu Rómskych komunít; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR

Najvyššie priemerné počty tropických dní za rok zaznamenávajú okresy Komárno a Nové Zámky. V meste Hurbanovo v okrese Komárno bola zároveň nameraná najvyššia zaznamenaná teplota na Slovensku a to 40,3 °C. Tieto okresy sú zároveň pomerne zraniteľné, keďže v nich žije vysoký počet obyvateľstva vo veku nad 70 rokov, ktorí majú relatívne zlý prístup k zdravotnej starostlivosti. V niektorých obciach v Nových Zámkoch je minimálny čas cestovania do najbližšej nemocnice či polikliniky aspoň 50 minút. Počas extrémnych horúčav je preto obyvateľstvo viac zraniteľné.

Obce položené vo vyšších nadmorských výškach sú menej vystavené horúčavam. Sever krajiny je oproti juhu hornatejší, čo znamená, že počty tropických dní a nocí sú v priemere značne nižšie. Význam nadmorskej výšky vidieť pri Levoči, ktorú postihli v posledných rokoch v priemere iba štyri tropické dni ročne, kým v Prešove to bolo vyše 11 dní. Topografická mapa (Obrázok 4) ukazuje pohoria Levočských a Slanských vrchov, ktorých okolie je menej ohrozené. Aj preto sú najmenej ohrozené okresy Námestovo, Tvrdošín a Čadca na severe krajiny. Vypovedajú o tom tiež doteraz zaznamenané teploty, ako aj predpovede do budúcnosti a to napriek tomu, že niektoré obce v okrese Námestovo ako Nová a Oravská Lesná majú relatívne nízku dostupnosť zdravotnej starostlivosti.

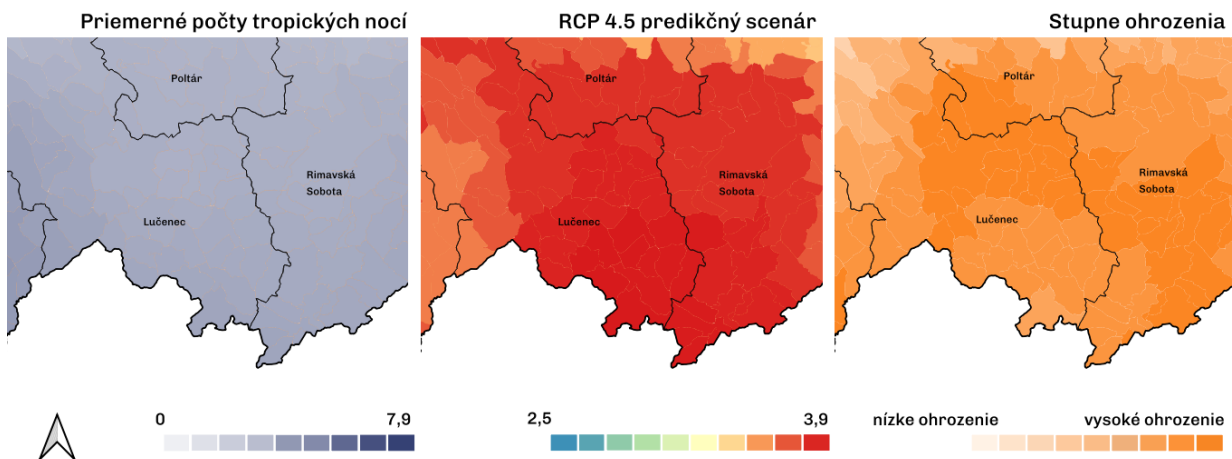
Obrázok 4: Vzťah medzi nadmorskou výškou a stupňami ohrozenia



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunit; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

V budúcnosti sa v niektorých okresoch, ako je napríklad Lučenec, očakáva prudkejší nárast teplôt. V Lučenci doteraz nebol zaznamenaný taký vysoký počet tropických dní a nocí ako napríklad v Nových Zámkoch či Komárne, no vo výsledku je stupeň ohrozenia Lučenca porovnateľný s najrizikovejšími okresmi (Obrázok 5). Je tomu tak kvôli predpovediam, ktoré avizujú nárast denných a nočných teplôt. Situáciu v okrese ovplyvňujú aj sociálnoekonomické faktory, ktoré zvyšujú zraniteľnosť, keďže v niektorých obciach žije relatívne vysoký podiel zraniteľného obyvateľstva, napr. detí do štyroch rokov. V Lučenci je zároveň vyšší počet koncentrovaných rómskych komunit, ktoré častokrát nemajú prístup k infraštruktúre, ktorá je kľúčová pre ochranu pred dopadmi extrémnych horúčav.

Obrázok 5: Vplyv predpovedí na stupne ohrozenia



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunit; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

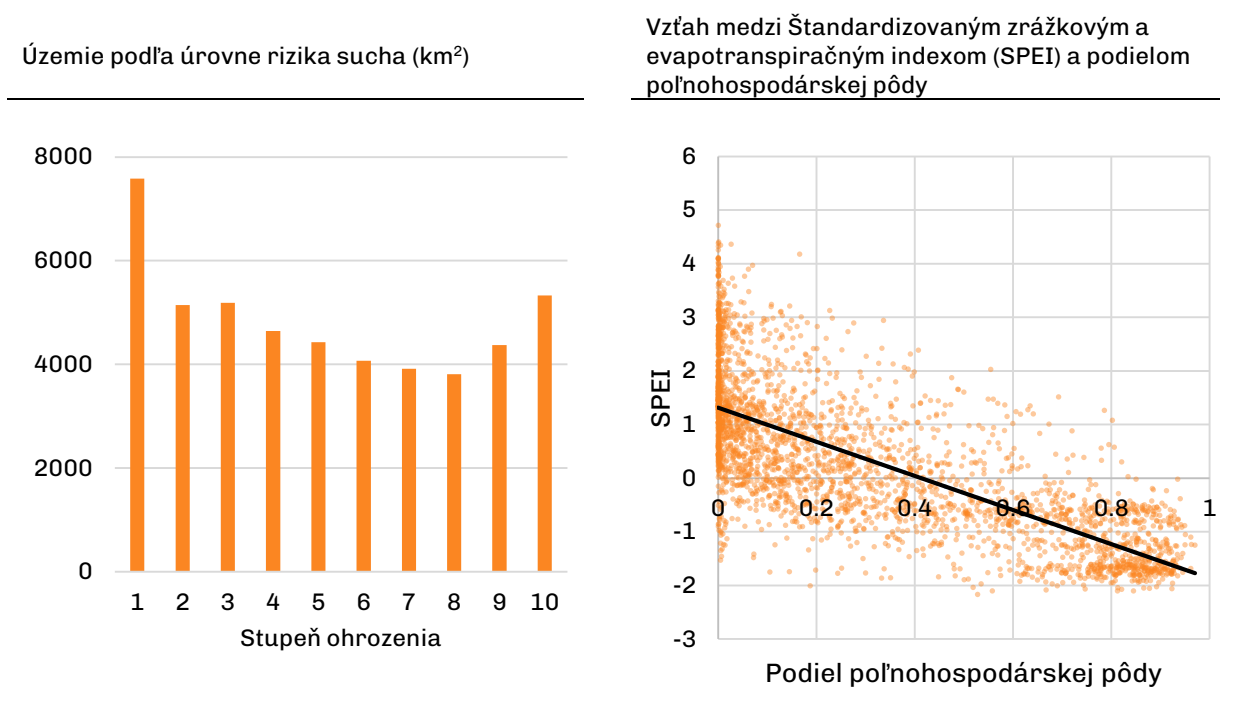
Na stupne ohrozenia obcí vplyvajú hlavne doteraz namerané extrémne teploty. Výsledné stupne do veľkej miery ovplyvňujú počty tropických nocí (kedy v noci neklesne teplota pod 20 °C) za rok, ktoré najviac postihovali Bratislavu, kde bolo v niektorých mestských častiach v rokoch 1991 až 2020 zaznamenané v priemere viac ako 7 tropických nocí ročne. Ďalší dôležitý faktor sú aj tropické dni – teda priemerný počet dní medzi 1991-

2020, počas ktorých bolo nameraných viac ako 30 °C. V Nových Zámkoch ich bolo nameraných najviac a to až 34, zatiaľ čo slovenský priemer bol približne 18 dní. Ďalšie dôležité ukazovatele sú aj podiel detí do štyroch rokov, predpovede o zmenách teplôt v budúcnosti, dostupnosť zdravotnej starostlivosti, či hustota obyvateľstva.

3.2 Hrozba sucha

Zmena klímy a jej dôsledky v suchu budú mať významný dopad na poľnohospodársku výrobu a aj preto Žitný ostrov patrí medzi najviac ohrozené regióny Slovenska. Žitný ostrov je mimoriadne významná poľnohospodárska oblasť a najväčšia zásobáreň pitnej vody na Slovensku. Jeho územie je najväčším riečnym ostrovom v Európe a v dôsledku poľnohospodárskej činnosti je z veľkej časti odlesnené, čo prehlbuje mieru zraniteľnosti. Poľnohospodárske oblasti sú na Slovensku sústredené v nižších nadmorských výškach a hlavne v južnejších, teplejších oblastiach. Naopak, hornatejšie severné regióny sú charakteristické častejšími zrážkami a nižšou kvalitou pôdy. Okrem prítomnosti poľnohospodárskej pôdy je dôležitým aspektom aj prístup obce k verejnému vodovodu.

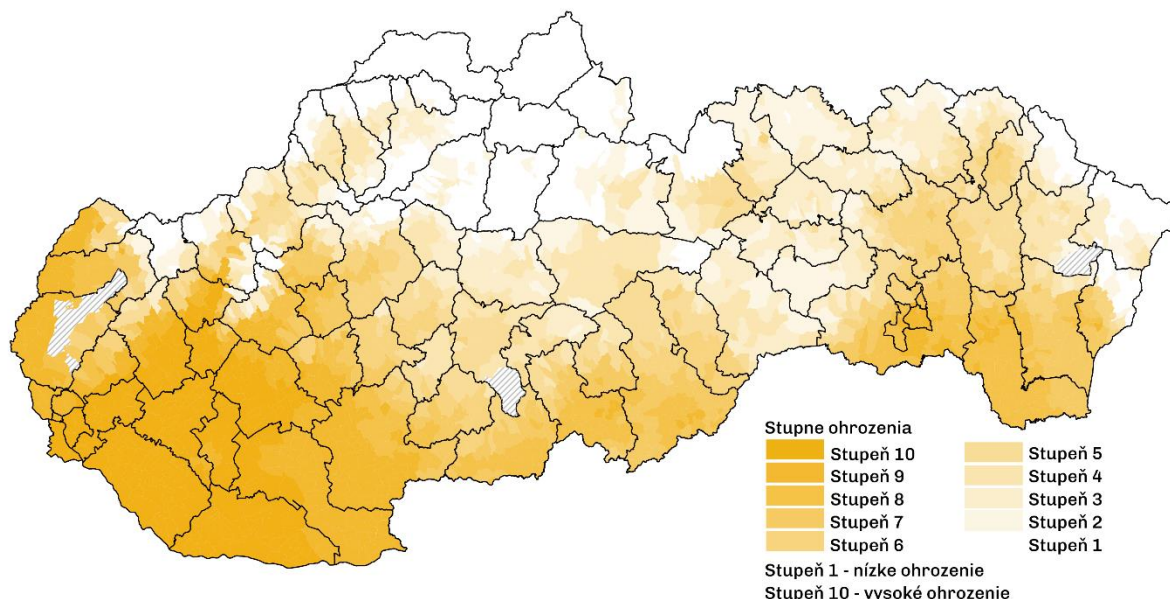
Graf 2: Hrozba sucha



Zdroj: IEP

Medzi okresy s najvyšším stupňom ohrozenia suchom patria Bratislava II, Senec a Bratislava V. Najviac k tomu prispievajú doteraz zaznamenané suchá v týchto oblastiach. Veľký podiel územia Senca je využívaný ako poľnohospodárska pôda, čo zvyšuje mieru rizika sucha. Ďalšia skupina rizikových okresov, aj keď nie tak ohrozených ako na juhozápade, sa nachádza na juhovýchode Slovenska v okolí Trebišova a Košíc. Juh stredného Slovenska (Gemer) je ohrozený nedostatkom vodných zdrojov, ktorý zhoršujú geologické faktory, ktoré bránia akumulácii vody.

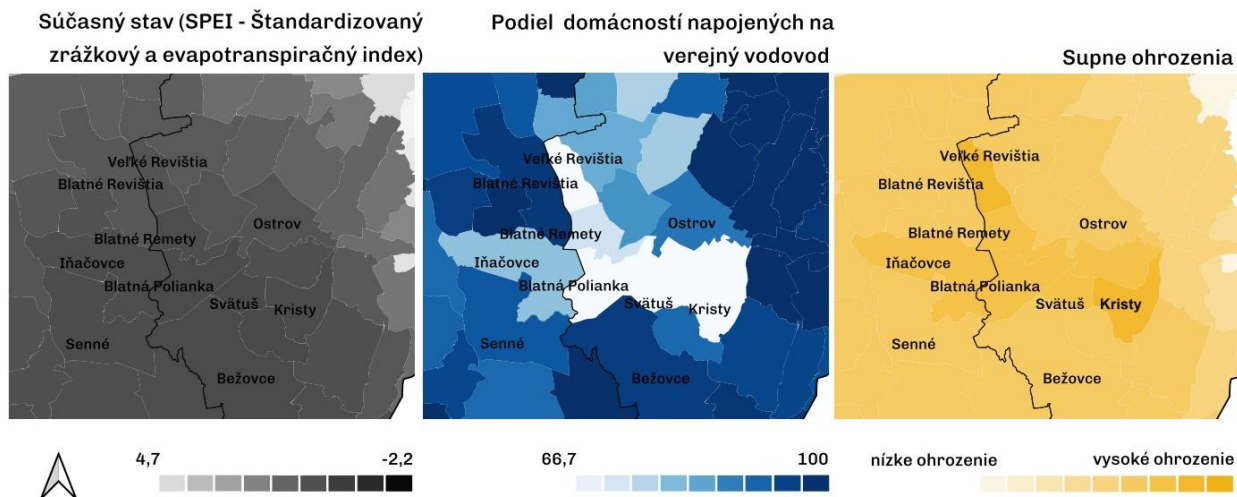
Obrázok 6: Stupne ohrozenia suchom



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunít; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

Obce, ktoré majú obmedzený prístup k verejnému vodovodu, sú viac ohrozené vplyvom sucha. Podiel domácností napojených na verejný vodovod tak ovplyvňuje stupeň ohrozenia obcí. Viditeľné je to napríklad pri susedných obciach Kristy a Svätuš v okrese Sobrance, ktorým v porovnaní s okolím chýba tento typ infraštruktúry (vid' Obrázok 7).

Obrázok 7: Vplyv napojenia domácností na verejný vodovod na stupne ohrozenia suchom



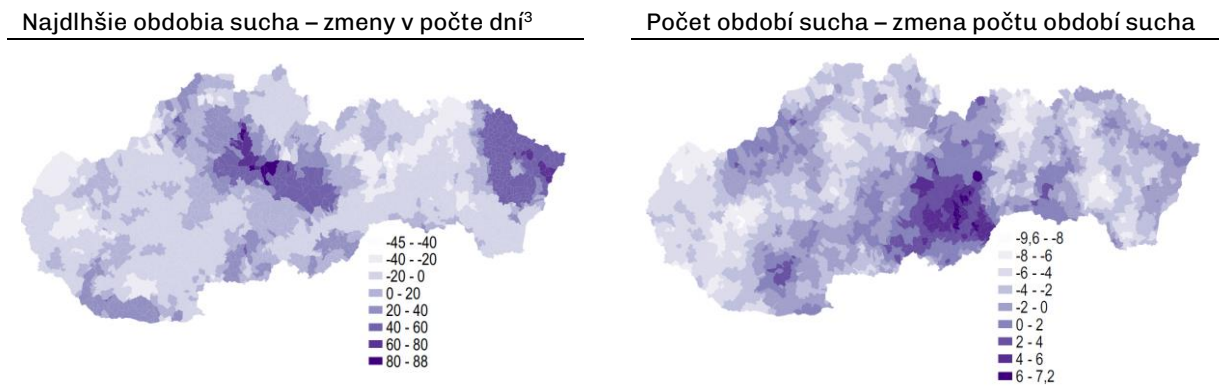
Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunít; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

Najmenej ohrozené sú okresy na severe Slovenska, a to Námestovo, Dolný Kubín a Čadca. Značne na to vplyvajú doterajšie merania, ale aj predpovede pre tento región, ktoré naznačujú, že budú v porovnaní s inými časťami krajiny menej vystavené suchám. Hoci prístup k verejnému vodovodu v obciach Námestova nie je taký vysoký ako v

niektorých najrizikovejších okresoch (napr. Bratislava II), podiel trávnatých porastov a stupne vlhkosti a zamokrenia, ktoré majú pozitívny vplyv na znižovanie zraniteľnosti obcí, vedú k tomu, že tento okres patrí medzi najmenej ohrozené suchom.

Výsledné stupne ohrozenia sú primárne ovplyvnené doterajším suchom, predikcie ale ukazujú, že v budúcnosti budú suchom zasiahnuté iné regióny ako dnes (Obrázok 8). Vplyv predpovedí najdlhších období sucha je významný pre okresy Medzilaborce a Snina. Napríklad obec Brezovec v Snine má v budúcnosti zaznamenať viac ako 70 po sebe nasledujúcich dní sucha. Najvyššie počty suchých dní za rok sa očakávajú v okresoch Revúca, Poltár a Rimavská Sobota. Investície by sa preto mali časom preorientovať na východnú časť Slovenska a regióny národných parkov Nízke Tatry a Malá Fatra.

Obrázok 8: Predikcie zmien sucha medzi rokmi 2041-2070 a referenčným obdobím 1971-2000 (scenár RCP 4.5)

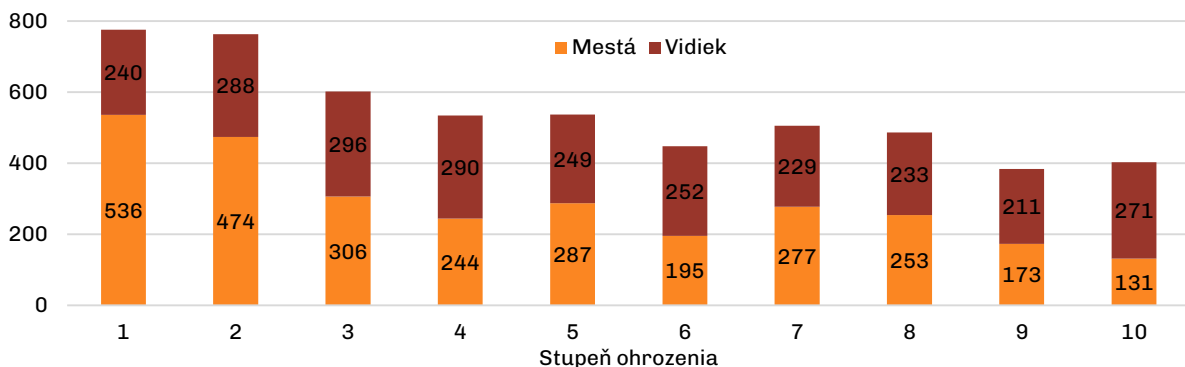


Zdroj: Copernicus Climate Change Service

3.3 Hrozba extrémnych zrážok

Aj keď je obyvateľstvo SR relatívne menej zasiahnuté extrémnymi zrážkami než horúčavami a suchom, obce s marginalizovanými rómskymi komunitami sú mimoriadne zraniteľné kvôli nedostatočne rozvinutej infraštruktúre. Týka sa to napríklad obcí Ostrovany, Chminianske Jakubovany či Jarovnice, ktoré patria medzi najviac ohrozené extrémnym dažďom. To sa ukázalo už aj v minulosti. V roku 1998 zasiahli Jarovnice (okres Sabinov) extrémne dažde a následné povodne, ktoré si vyžiadali 50 mŕtvych a značné škody na infraštruktúre.

Graf 3: Počet obyvateľov na stupeň ohrozenia (v tisícoch)

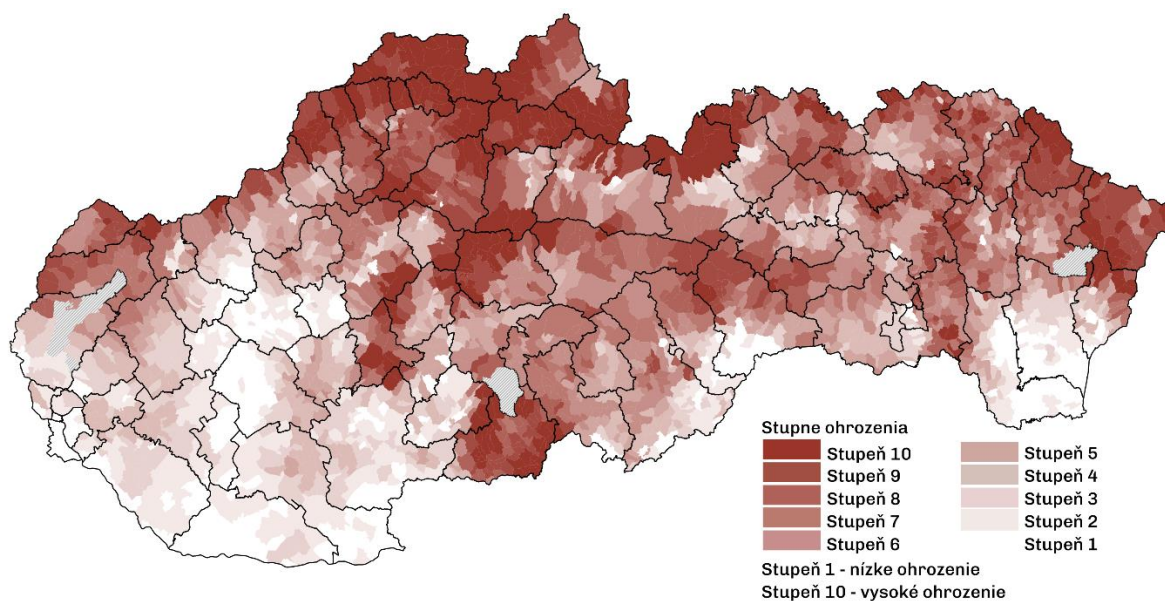


Zdroj: IEP

³ Definované ako max. počet po sebe nasledujúcich suchých dní za časové obdobie s denným úhrnom zrážok < 1 mm

Okresy Tvrdošín, Dolný Kubín a Kysucké Nové Mesto sú najviac ohrozené extrémnymi zrážkami. Tieto okresy boli za posledných 30 rokov výrazne zasiahnuté silnými dažďami a podľa predpovedí sa očakáva, že nimi budú ovplyvnené aj v budúcnosti. Okres Tvrdošín zaznamenal v priemere takmer 10 dní so zrážkami $\geq 20,0$ mm za rok a je náchylný na zosuvy pôdy. Tie značne postihujú aj okres Dolný Kubín. Kysucké Nové Mesto síce nebolo ovplyvnené extrémnymi zrážkami ako Tvrdošín, no podľa predpovedí im bude táto oblasť v budúcnosti viac vystavená, ako je tomu dnes. Sídla s najvyšším stupňom rizika extrémnych zrážok sú aj Čadca, Dolný Kubín, Handlová a Snina. V priemere najviac dní s extrémnymi dažďami – až 9,9 dní ročne - zaznamenala Banská Bystrica.

Obrázok 9: Stupne ohrozenia extrémnymi zrážkami



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunít; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

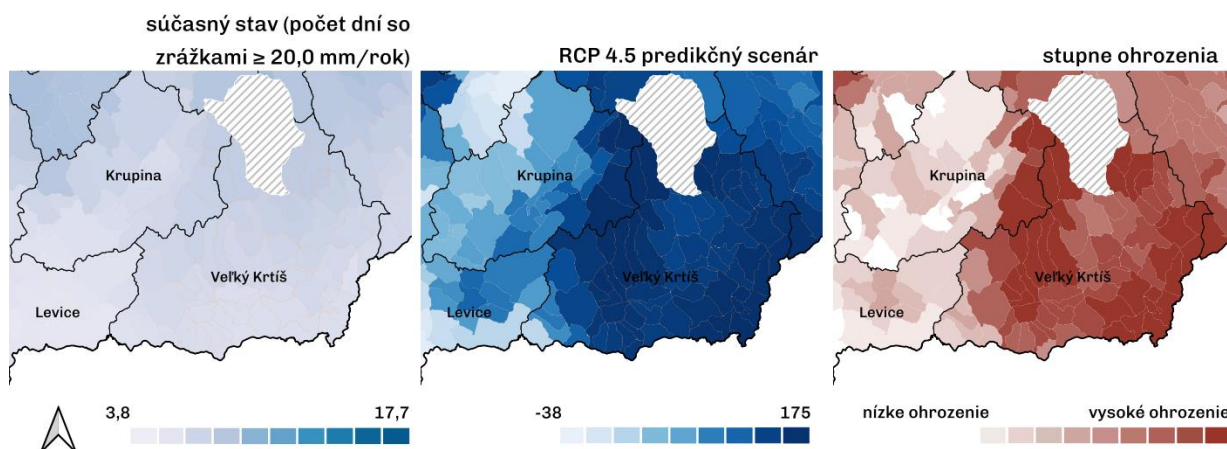
V súčasnosti extrémne zrážky výrazne postihujú najmä sever a východ Slovenska. Zasiahanuté býva okolie Vysokých Tatier, Oravy a regióny okolo pohoria Vihorlat a národného parku Poloniny. V najpostihnutejších okresoch, ako aj v susednej Žiline a Martine, sú zrážky vo všeobecnosti pozorované hlavne v zimnom období. Vihorlat a Poloniny bývajú ovplyvnené supercelárnymi búrkami⁴, ktoré do oblasti prichádzajú typicky zo severu. Ohrozené oblasti ako Skalica, Myjava, Senica a Veľký Krtíš zažívajú prevažne septembrové zrážky. Podľa predpovedí sa očakáva ich ďalší nárast, pričom stupne ohrozenia pre okres Veľký Krtíš sú podmienené najmä predpovedanými budúcimi zmenami v zrážkových udalostiach.

Index ohrozenia je ovplyvnený predovšetkým doteraz zaznamenanými zrážkami a budúcimi predpoveďami. Napríklad Tatranská Javorina v okrese Poprad zaznamenala najviac zrážok v krajine, a to v priemere vyše 17 dní s dažďami $\geq 20,0$ mm za rok. Podľa predpovedí do budúcnosti sa bude najviac zhoršovať zrážková situácia v okrese Veľký Krtíš (Obrázok 10). Najmenej rizikové okresy sú okresy Bratislava I, Bratislava II a Bratislava V, keďže tieto oblasti v minulosti nepostihovali oproti ostatným okresom

⁴ Búrky s dlhou životnosťou sprevádzané intenzívnym dažďom, nárazovým vetrom, alebo krúpami; supercelárne búrky sú búrky s mezocyklónou- ich výstupné prúdy rotujú

výraznejšie zrážky, a nemalo by tomu tak byť ani v budúcnosti. Zaznamenaných tam bolo v priemere približne 6 dní so zrážkami $\geq 20,0$ mm za rok.

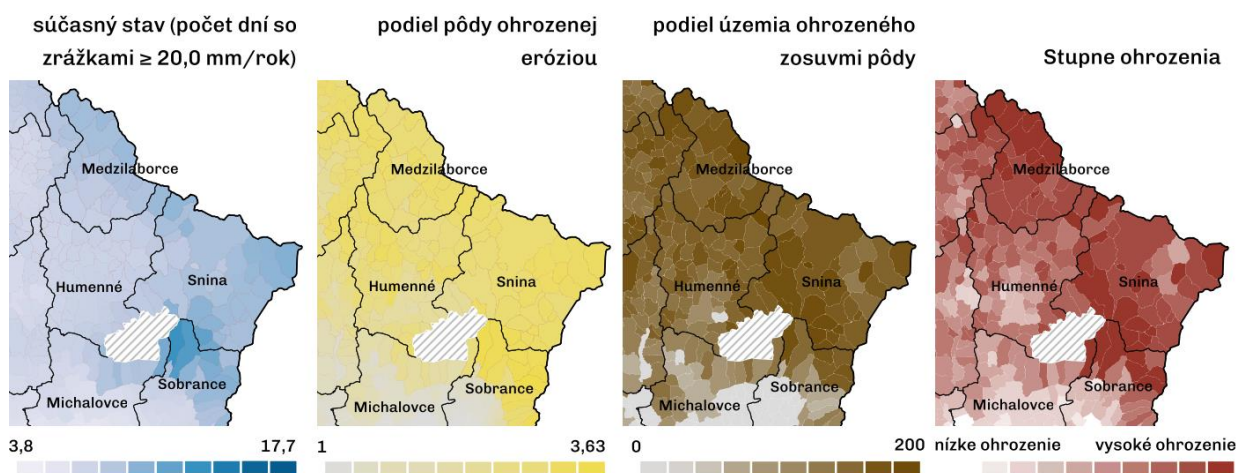
Obrázok 10: Vplyv predpovedí na stupne ohrozenia extrémnymi zrážkam



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunit; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

Spomedzi socioekonomických a krajinných indikátorov najviac k ohrozeniu prispieva náchylnosť na zosuv pôdy, miera nezamestnanosti a podiel stromovej pokrývky obce. Aj v obciach, kde zatiaľ nebývali extrémne zrážky časté, sa môže stať, že ich kvôli zlej pripravenosti a zraniteľnosti postihnú viac ako iné, exponovanejšie obce. V niektorých obciach v okresoch Snina a Sobrance, kde nie sú extrémne dažde bežné, ale majú vysokú mieru nezamestnanosti a sú náchylné na zosuvy pôdy, môžu zrážky spôsobiť vážnejšie škody (vid' Obrázok 11).

Obrázok 11: Vplyv erózie a zosuvov pôdy na stupne ohrozenia



Zdroj: IEP na základe údajov Štatistického úradu; MF SR; Atlasu Rómskych komunit; IZP; Copernicus Land Monitoring Service; Copernicus Climate Change Service; SMHÚ; Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021; MŽP SR, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum; Štátna ochrana prírody SR; The United States Geological Survey

Box 2: Prehľad literatúry o účinnosti adaptačných opatrení

Extrémne horúčavy

Jedným z najúčinnějších adaptačných opatrení proti teplu v mestách je posilnenie zelenej infraštruktúry. Starostlivo naplánované umiestnenie stromov a zelenej infraštruktúry môže znížiť efekt tepelného ostrova a ochladiť vzduch o 2 °C až 8 °C (Doick a Hutchings, 2013). Chladiaci účinok zelených plôch bez stromov je 2 až 4-krát nižší ako chladiaci účinok mestskej pokrývky stromov (Schwaab a iní, 2021). Ak je budovanie zelenej infraštruktúry správne navrhnuté, zelené koridory, parky so stromami poskytujúcimi tieň a vegetácia vo všeobecnosti môžu zlepšiť mestskú ventiláciu (Climate ADAPT, 2015).

Analýza dát o krajinskej pokrývke v USA (Ziter a iní, 2019) ukázala, že denné teploty sa výrazne znížili so zvyšujúcou sa pokrývkou koruny stromov. V oblastiach, kde bolo viac ako 25 % nepriepustných povrchov (t. j. mestské oblasti), najväčšie ochladenie nastalo, keď bola pokrývka stromov v danom polomere väčšia ako 40 %. Nepriepustné povrchy sa ukázali byť dôležitejšie ako pokrývka korunami stromov pre teploty počas noci, pretože takéto povrchy uchovávajú značné množstvo tepla, ktoré je počas noci vyžarované späť. Najúčinnějšíe adaptačné opatrenia na vysoké nočné teploty v mestských oblastiach zahŕňajú úpravy zelenej a šedej infraštruktúry, t. j. zvýšenie porastu korunami stromov a zníženie nepriepustných povrchov (*ibid*).

Ďalšia alternatíva adaptačných opatrení proti teplu, aj keď je menej účinná, zahŕňa zvýšené používanie chladných materiálov na povrchoch. Chladné povrchy sú zvyčajne biele a majú vysoký albedo efekt, t. j. schopnosť odrážať slnečné žiarenie späť do atmosféry. Štúdia v Chicagu porovnávala zelené strechy s tmavými strechami a ukázala, že povrchová teplota zelených striech sa pohybovala medzi 33 až 48 °C, zatiaľ čo tmavé strechy boli podstatne vyššie, a to 76 °C (EPA, 2008). Zelené strechy tiež znižujú prestup tepla strechou budovy, a tak majú schopnosť zlepšiť aj tepelnú pohodu v interiéri. Experiment v Tchaj-peji ukázal, že aj keď majú zelené strechy v zime malý izolačný účinok, majú výrazný chladiaci účinok počas leta, kedy môžu znížiť vnútornú teplotu o 4 °C v porovnaní s normálnymi strechami (Lei a iní, 2019). Nižšie vnútorné teploty možno efektívne dosiahnuť aj aplikáciou roliet a solárnych žalúzií na budovy.

Implementácia akčných plánov proti vlnám horúčav a zavedenie meteorologických systémov včasného varovania môže účinne zlepšiť verejné zdravie a znížiť mieru úmrtnosti. Cieľom je zvýšiť povedomie verejnosti o potenciálnom nebezpečenstve extrémnych teplôt a horúčav (Climate ADAPT, 2019). Napríklad rakúsky plán tepelnej ochrany, ktorý funguje od roku 2017, poskytuje včasné varovania, ktoré stimulujú reakciu na národnej a miestnej úrovni (*ibid*).

Sucho

Adaptačné opatrenia by sa mali zameriavať primárne na zníženie dopytu po vode a jej spotreby a efektívne využívanie a zadržiavanie vody. V poľnohospodárstve to je napríklad pestovanie plodín odolných voči suchu, aplikáciu agrochemikálií, zmena času výsadby, pestovanie skorých dozrievajúcich plodín, umiestňovanie fariem v riečnych oblastiach, používanie techník kvapkovej závlahy, biopásy, remízky a pod.

Jedným z najúčinnějších opatrení na prispôsobenie sa suchu je prechod z konvenčných zavlažovacích systémov na používanie systémov kvapkovej závlahy. Podľa Fader a iní (2016) by stredomorské krajiny mohli ušetriť 35 % vody používaním kvapkovej závlahy. Systémy kvapkovej závlahy môžu ušetriť 80 % vody a zvýšiť efektívnosť využívania vody o 38 % (Rakibuzzaman a iní, 2018). Na farmách v USA používanie systému kvapkovej závlahy znížilo spotrebu vody na farme až o 60 % a zvýšilo výnos plodín o 90 % (Chu, 2017)

Lesy sú tiež náchylné na suchu. Jedným z najúčinnějších adaptačných opatrení v lesoch je ich obnova. Obnova lesa je priamou možnosťou kontroly druhov a zloženia porastov. Aby mala regenerácia požadované adaptačné účinky, je potrebné zvýšiť genetickú diverzitu (Spathelf a iní, 2018). Dôraz by sa mal preto klásť na zmenu druhového zloženia, t. j. vyšší podiel druhov tolerantných voči suchu (Hlásny a iní, 2014). Rozširovanie bezzásahových zón a ochrana lesa sú ďalšími účinnými opatreniami. Spolu so svojimi komplexnými koreňovými systémami zohrávajú lesy dôležitú úlohu v cykle dopĺňania vody (de Jager a iní, 2022). Bezzásahové územia sú odolnejšie voči suchám, pretože sú schopné zotaviť sa zo sucha takmer bez zmeny v zložení druhov (Thompson a iní, 2009)

Suchá zvyšujú riziko požiarov v lesoch. Podľa štúdie od Kolstrom a iní (2011) patria medzi účinné adaptačné opatrenia napríklad zmena v štruktúre lesa; palivové hospodárstvo; uprednostňovanie lesných typov, ktoré majú schopnosť regenerácie po požiaroch a zvyšovanie genetickej diverzity s druhmi, ktoré majú nižšiu horľavosť; a implementácia politik na obmedzenie opustenia spálených oblastí a opatrení na zabránenie rozšíreniu invázných druhov v spálených oblastiach.

Adaptačné opatrenia v mestských oblastiach zvyčajne zahŕňajú riadenie dopytu po vode, riadenie dažďovej vody, opätovné využitie odpadových vôd a odsolovanie. V mestských oblastiach bolo zvyšovanie povedomia o znížení spotreby vody a dopytu po nej účinné v Barcelone, kde sa spotreba vody v rokoch 2006 až 2011 znížila o približne 10 % po kampaniach na zvyšovanie povedomia o ochrane vody (March a iní, 2013). Odpadové vody z domácností alebo čistiarní odpadových vôd sú alternatívnym vodárenským zdrojom, ktorý možno využiť na zavlažovanie záhrad, verejných priestranstiev, parkov a čistenie ulíc. Považuje sa za relatívne spoľahlivý zdroj zásobovania vodou, keďže je nezávislý od sucha a premenlivosti počasia (European Commission, 2019).

Extrémne zrážky

Nepriepustné povrchy a nedostatok vegetácie v mestských oblastiach znižujú schopnosť zachytávať, zadržiavať a infiltrovať dažďovú vodu (EEA, 2020). Štúdia z Mníchova preukázala, že stromy a zelené strechy výrazne zvyšujú schopnosť akumulácie vody a tým znižujú povrchový odtok (Zolch a iní, 2017). V dôsledku klimatických zmien sa intenzita zrážok zvýši, a tak sa podľa mníchovskej štúdie regulačný potenciál vegetácie a zelených striech znižuje, keďže sú ich kapacity na zadržiavanie vody obmedzené. Ak sa nepridá ďalšia vegetácia a zelené strechy, možno dosiahnuť maximálne zníženie povrchového odtoku o 2,4 % v porovnaní so základným scenárom. Ak sa vegetácia a priepustné plochy podstatne zvýšia, ozelenením všetkých strešných plôch sa dosiahne zníženie až o 14,8 %.

Ďalším adaptívnym opatrením je odpojenie nepriepustných povrchov. Výsledky modelovej štúdie v Ontáriu naznačujú, že pri odpojení strešných zvodov od kanalizačného systému možno dosiahnuť 40 % zníženie objemu odtoku a kulminačného prietoku v porovnaní s odhadmi v budúcnosti (Waters a iní, 2003). Štúdia tiež navrhla zvýšiť povrchovú akumuláciu vody. Napríklad otvorené priestranstvá, ako parky, školské dvory atď., môžu dočasne slúžiť na skladovanie vody počas silných dažďov.

Keď mestské kanalizačné systémy a odvodňovacie kanály nemajú schopnosť odvádzať množstvo dažďovej vody, extrémne zrážky môžu spôsobiť záplavy v mestských oblastiach. Pozornosť by sa preto mala zamerať na zlepšenie konvenčných kanalizačných a odvodňovacích systémov a trvalo udržateľných mestských kanalizačných systémov. Niektoré účinné adaptačné opatrenia zahŕňajú dažďové záhrady, úložné bloky, odvodňovacie priekopy, zelené strechy a vegetáciu v mestských oblastiach, retenčné jazierka a podobne (Ramos a iní, 2017).

Remízky a biopásky na poliach zachytávajú vodu a spomaľujú povrchový odtok. Dôkazy zo štúdie Spojeného kráľovstva naznačujú, že remízky listnatých stromov umiestnené na spásaných pozemkoch môžu znížiť riziko záplav (Donnison, 2012). Vo Walese bola dva roky po vysadení remízok z listnatých stromov miera infiltrácie 60-krát vyššia ako v oblastiach bez remízok.

Lesy zohrávajú dôležitú úlohu pri zadržiavaní vody a znižovaní povrchového odtoku. Lesy, ktoré sú znehodnotené a odlesnené, zadržiavajú výrazne nižší objem vody. Výsledkom je, že extrémne zrážky môžu v takýchto lesoch zmyť pôdu a spôsobiť záplavy (EEA, 2015). Na základe štúdie v Európe sa zníženie povrchového odtoku prejavuje až vtedy, keď je lesná pokrývka v malých čiastkových povodiach vyššia ako 30 %. Okrem toho zadržiavanie povrchovej vody v lesoch je o 25 % vyššie, keď sa lesná pokrývka zvýši z 30 % na najmenej 70 %. Ochrana zalesnených plôch a zalesňovanie sú preto nevyhnutné adaptačné opatrenia proti extrémnym zrážkovým javom.

Štruktúrovaný prehľad literatúry o účinnosti adaptačných opatrení sa nachádza v prílohe.

Bibliografia

Climate ADAPT, 2015. *Green spaces and corridors in urban areas*. [Online]
Available at: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/green-spaces-and-corridors-in-urban-areas>

Climate ADAPT, 2019. *Heat health action plans*. [Online]
Available at: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/heat-health-action-plans>

Doick, K. J. & Hutchings, T., 2013. *Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure*. [Online]
Available at:
https://www.researchgate.net/publication/259889679_Air_temperature_regulation_by_urban_trees_and_green_infrastructure
[Cit. 2023].

Donnison, L., 2012. *Managing the drought: A review of the evidence of the benefits of native tree species for shelter on the water regime of pasture and arable crops*, s.l.: Harper Adams University College.

EEA, 2015. *Water-retention potential of Europe's forests: A European overview to support natural water-retention measures*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EEA, 2020. *Urban adaptation in Europe: how cities and towns respond to climate change*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EPA, 2008. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. [Online]
Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf
[Cit. 2023].

European Commission, 2019. *Report from the Commission to the European Parliament and the Council: implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC) — second river basin management plans — first flood risk management plans (SWD(2019)*, s.l.: s.n.

European Commission, 2021. *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0082&from=EN>

Fader, M. a iní, 2016. Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2), pp. 953-973.

Ghofrani, Z., Sposito, V. & Faggian, R., 2017. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. *International Journal of Environment and Sustainability*, pp. 15-36.

- Handley, J., Gill, S., Ennos, R. & Pauleit, S., 2007. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built environment*, pp. 115-133.
- Hlásny, T. a iní, 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation?. *Forestry Journal*, 60(1), pp. 5-18.
- Huang, J., Liu, Y. & Ma, L., 2011. Assessment of regional vulnerability to natural hazards in China using a DEA model. *International Journal of Disaster Risk Science*, pp. 41-48.
- Huang, X., Huidong, J. & Hua, B., 2019. Vulnerability assessment of China's coastal cities based on DEA cross-efficiency model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Chu, J., 2017. *Watering the world*. [Online]
Available at: <https://news.mit.edu/2017/design-cuts-costs-energy-drip-irrigation-0420>
[Cit. 2023].
- IPCC, 2021. Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegr.
- Kolstrom, M. a iní, 2011. Reviewing the Science and Implementation of Climate Change Adaptation Measures in European Forestry. *Forests*, 2(4), pp. 961-982.
- Kyriakodis, G.-E. & Santamouris, M., 2017. Using reflective pavements to mitigate urban heat island in. *Urban Climate*, pp. 326-339.
- Lei, K.-T., Tang, J.-S. & Chen, P.-H., 2019. Numerical simulation and experiments with green roofs for increasing indoor thermal comfort. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, pp. 346-356.
- Ludena, C. a iní, 2015. *Vulnerability indicators of adaptation to climate change and policy implications for investment projects*. Technical Note No. 858 ed. Washington DC: Inter-American Development Bank.
- March, H., Domenech, L. & Saurí, D., 2013. Water conservation campaigns and citizen perceptions: the drought of 2007–2008 in the Metropolitan Area of Barcelona. *Natural Hazards*, pp. 1951-1966.
- Ministerstvo životného prostredia SR, 2018. Stratégia adaptácie na zmenu klímy, Aktualizácia.
- Ministerstvo životného prostredia SR, 2019. *Zelenšie Slovensko: Stratégia environmentálnej politiky Slovenskej republiky*. [Online]
Available at:
https://www.minzp.sk/files/iep/03_vlastny_material_envirostrategia2030_def.pdf
- Ministerstvo životného prostredia SR, 2021. *Akčný plán pre implementáciu Stratégie adaptácie SR na zmenu klímy*. [Online]
Available at: [https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/akcny-plan-
implementaciu-nas.pdf](https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/akcny-plan-implementaciu-nas.pdf)
- Ministry of Environment of the Slovak Republic, 2017. The seventh national communication of the Slovak republic on climate change.

Mushore, T. D. a iní, 2021. Climate Change Adaptation and Mitigation Strategies for Small Holder Farmers: A Case of Nyanga District in Zimbabwe. *Frontiers in Climate*, Zväzok 3.

OECD, 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators*. Paris: OECD.

Oktorie, O., 2017. A Study of Landslide Areas Mitigation and Adaptation in Palupuah Subdistrict, Agam Regency, West Sumatra Province, Indonesia. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, pp. 43-49.

Pérez, G. a iní, 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, pp. 1861-1867.

Rakibuzzaman, M. a iní, 2018. Performance of drip irrigation system over conventional irrigation technique for tomato production on rooftop. *International Journal of Business, Social and Scientific Research*, pp. 40-43.

Ramos, H. M., Pérez-Sánchez, M., Bento Franco, A. & López-Jiménez, P. A., 2017. Urban Floods Adaptation and Sustainable Drainage Measures. *Fluids*.

Rogge, N., 2012. Undesirable specialization in the construction of composite policy indicators: The Environmental Performance Index. *Ecological Indicators*, Zväzok 23, pp. 143-154.

Schwaab, J. a iní, 2021. The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *National communications*.

Staccione, A. a iní, 2021. Natural water retention ponds for water management in agriculture: A potential scenario in Northern Italy. *Journal of Environmental Management*.

Waters, D., Watt, W. E. & Marsalek, J., 2003. Adaptation of a Storm Drainage System to Accommodate Increased Rainfall Resulting from Climate Change. *Journal of Environmental Planning and Management*, pp. 755-770.

Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J. & Turner, M. G., 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *PNAS*, pp. 7575-7580.

Zolch, T., Henze, L., Keilholz, P. & Pauleit, S., 2017. Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*, pp. 135-144.

Príloha

Tabuľka 4: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne horúčavy)

Adaptačné opatrenie	Dopad	Príklad	Zdroj
Zelená infraštruktúra a vegetácia	Znižovanie teploty vzduchu	Medzi 2 °C a 8 °C	Doick a Hutchings (2013)
		Najviac sa ochladzuje, keď je stromová pokrývka vyššia ako 40 %	Ziter a iní (2019)
		Chladiaci efekt 2 až 4x účinnejší v mestských priestoroch so stromoradiám	Schwaab a iní (2021)
Používanie svetlých a odrazových materiálov	Znižovanie teploty vzduchu	Zvýšenie podielu vegetácie o 10 %, v tých častiach miest, kde je tento podiel nízky, zabezpečí udržanie teploty na úrovni rokov 1961 - 1990 aj v roku 2080	Handley a iní (2007)
		chladiace povrchy ciest a budov dokážu znížiť teplotu okolia o 1,5 °C a povrchovú teplotu o 11,5 °C	Kyriakodis a Santamouris (2017)
Zelené strechy	Znižovanie teploty vzduchu	Povrchová teplota zelených striech bola o 28 °C až 43 °C nižšia ako povrchová teplota tmavých striech	EPA (2008)
	Zlepšovanie vnútornej tepelnej pohody	Zníženie teploty vzduchu nad zelenou strechou o cca 4 °C Vnútorne teploty možno znížiť o cca 4 °C	Lei a iní (2019)
Vegetačné fasády	Zlepšovanie vnútornej tepelnej pohody	netienená fasáda sa môže v lete zohriať až na 40 °C, pričom teplota steny pod zeleným plášťom môže byť o viac ako 15 °C nižšia	Pérez a iní (2011)

Tabuľka 5: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (sucho)

Adaptačné opatrenie	Dopad	Príklad	Zdroj
Zvyšovanie povedomia o ochrane vody	Znižovanie spotreby vody	V Barcelone klesla spotreba vody až o 10 %	March a iní (2013)
Používanie kvapkové zavlažovacie systémy	Znižovanie strát vody	Šetrí 80 % vody a zvyšuje efektivitu využitia vody o 38 % Použitie kvapkového zavlažovacieho systému znížilo spotrebu vody na farme až o 60 % a zvýšilo výnos plodín o 90 %	Rakibuzzaman a iní (2018) Chu (2017)
Pestovanie plodín odolných voči suchu	Zníženie citlivosti na suchu		Mushore a iní (2021)
Budovanie nádrží na zachytávanie vody	Zásobník vody na zavlažovanie a priemyselné využitie	Zvyšuje dostupnosť vody na zavlažovanie počas sucha a nedostatku vody	Staccione a iní (2021)
Zelená infraštruktúra	Obnova prírodných ekosystémov, zadržiavanie vody, zlepšenie hospodárenia s vodou a dostupnosti vody		Ghofrani a iní (2017)
Obnova lesa	Heterogénne lesy sa s väčšou pravdepodobnosťou prispôbia zmenám životného prostredia	To sa dá dosiahnuť zvýšením genetickej diverzity v populácii sadeníc	Hlásny a iní (2014)
Biopásy pri pôdnych blokoch	Zníženie rýchlosti vetra a strát evapotranspiráciou	Úroda pšenice sa zvýšila o 3,5 % a viac v období sucha na poliach s ochrannými pásmi	Donnison (2012)

Tabuľka 6: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne zrážky v mestách)

Adaptačné opatrenie	Efekt
Dažďové záhradky	Zber dažďovej vody
Úložné bloky	Ukladanie podzemnej vody; infiltrácia
Drenážne priekopy	Zníženie odtoku a zvýšenie doplňovania podzemnej vody
Zelené strechy a vegetácia v mestských oblastiach	Skladovanie dažďovej drenáže
Retenčné jazierka	Zníženie povrchového odtoku, akumulácia vody

Zdroj: Ramos a iní (2017)

Tabuľka 7: Prehľad literatúry o vplyvoch adaptačných opatrení (extrémne zrážky)

Adaptačné opatrenie	Dopad	Príklad	Zdroj
Zelená infraštruktúra	Zvýšenie zadržiavania vody, zachytávania a infiltrácie	Zníženie o 14,8 % sa dosiahne zelenými strechami Podporuje trvalo udržateľné odvodňovacie systémy	Zolch a iní (2017)
Odpojenie nepriepustných povrchov	Zníženie povrchového odtoku	Je možné dosiahnuť 40 % zníženie odtokového objemu a maximálneho prietoku	Waters a iní (2003)
Ochrana proti zosuvom pôdy		Manažment sídiel v oblastiach s rizikom zosuvov pôdy Spevnenie svahu vegetáciou Mechanické spevnenie svahu Vyhýbanie sa stavbe domov v oblastiach so strmými svahmi, ktoré sú náchylné na zosuvy pôdy	Okorie (2017)
Modrá a zelená infraštruktúra		Regionálne mokrade, retenčné nádrže, sezónne skladovanie a zachytávanie dažďovej vody	Ghofrani a iní (2017)
Biopásy pri pôdnych blokoch	Zadržiavanie vody, ochrana proti erózii		Donnison (2012)
Ochrana a obnova lesov	Zadržiavanie vody		EEA (2015)