

Trnka, Fischer, Zeman, a kol.

Je změna klimatu hrozbou pro vodní zdroje? Jak na její dopady připravovat vodní zdroje a krajinu?

22/03/2024

31+ let zmírňování klimatické změny

1992

CO₂ – 360 ppm

Emise GHG eq, ~37.6 GT

Globální teplota +0,6°C



THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE ARRHENIUS*.

I. *Introduction: Observations of Langley on Atmospheric Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall† in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet§; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to -200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1894. Communicated by the Author.

† *Heat a Mode of Motion*, 2nd ed. p. 403 (London, 1863).

‡ *Mém. de l'Ac. R. et Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.

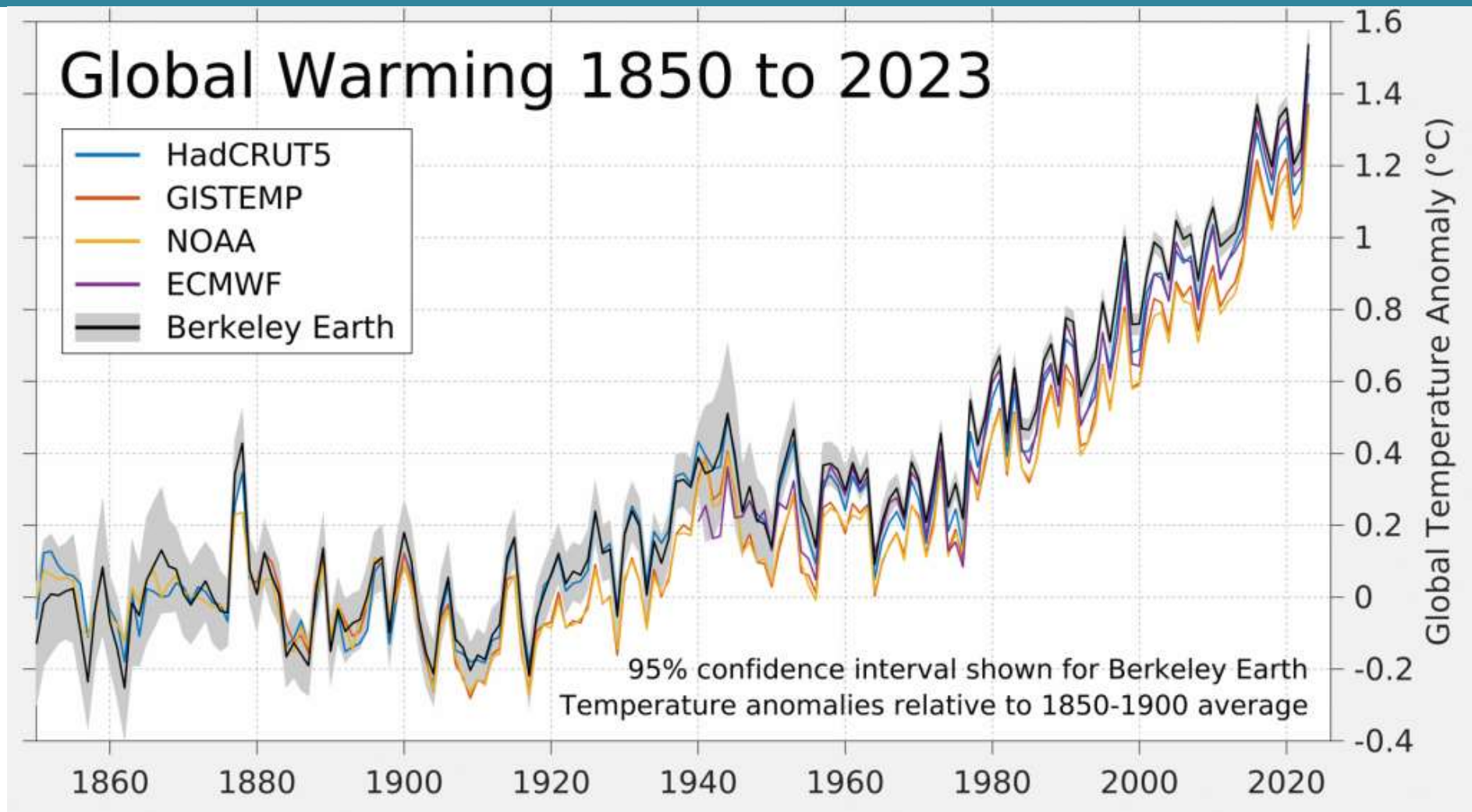
§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1833).

Phil. Mag. S. 5. Vol. 41. No. 251. April 1896.

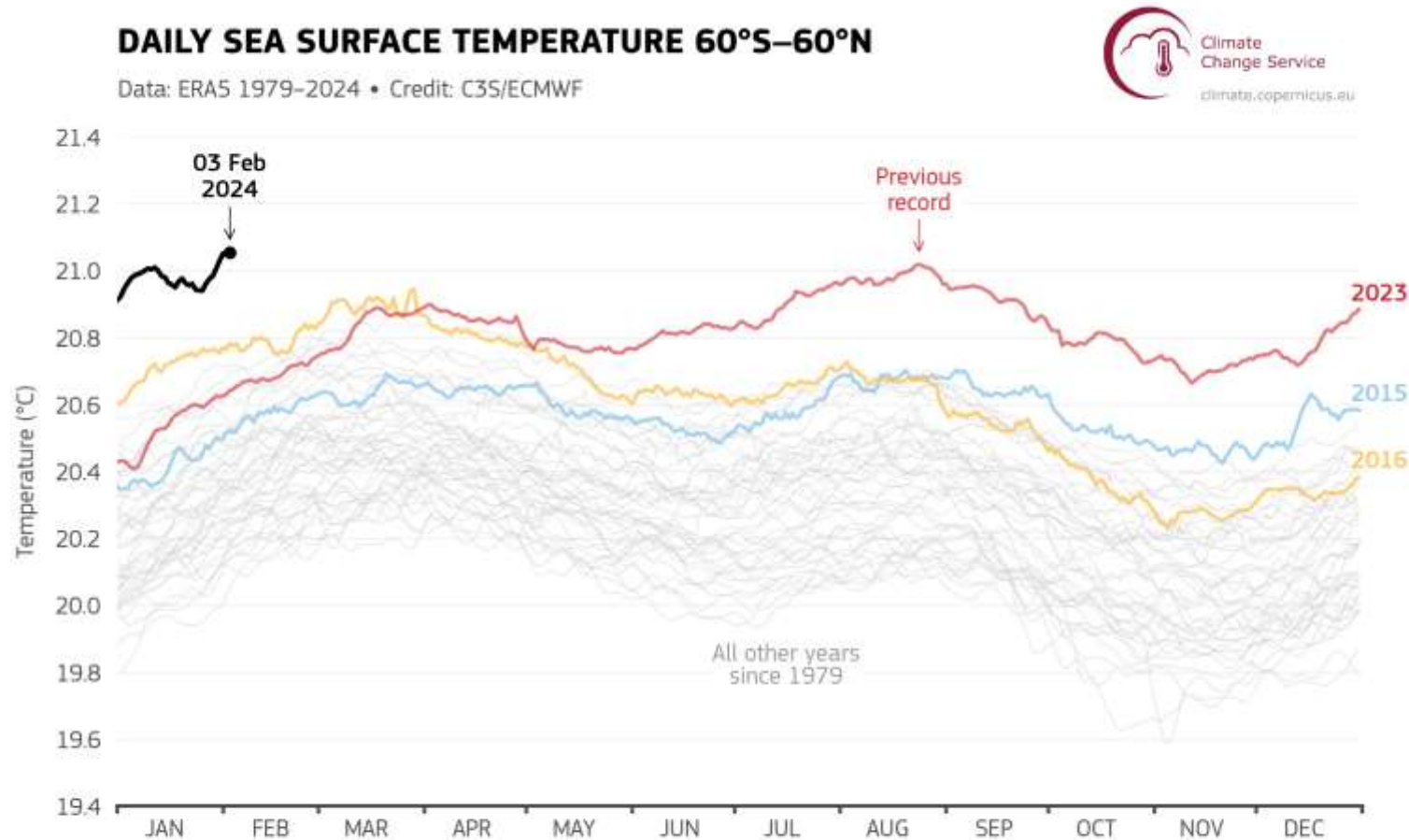
S

Hot paper. Title page of Arrhenius's paper in *Philosophical Magazine*.

Globální průměrná teplota se zásadně mění.....



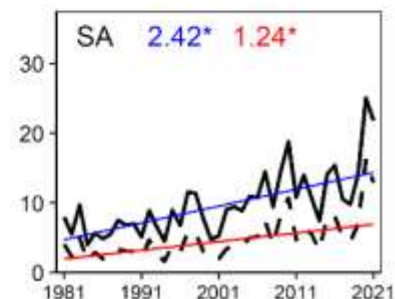
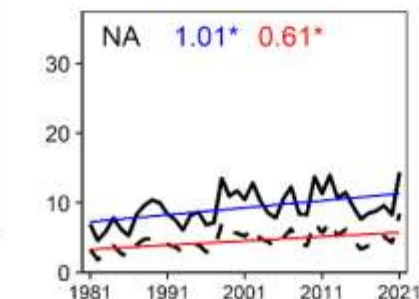
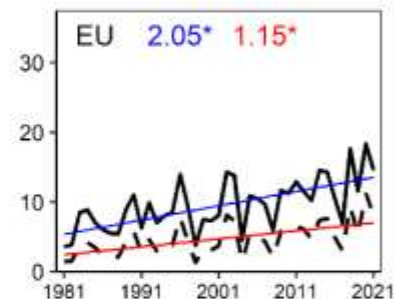
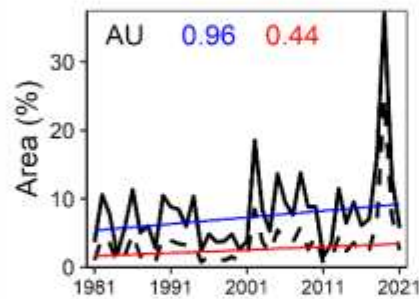
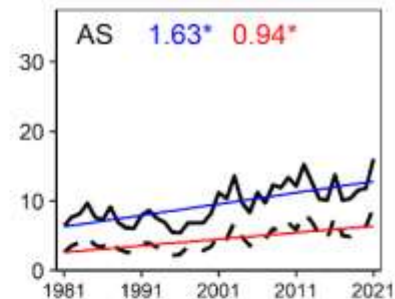
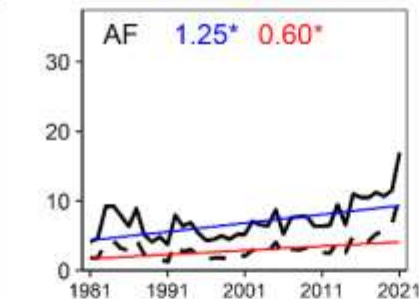
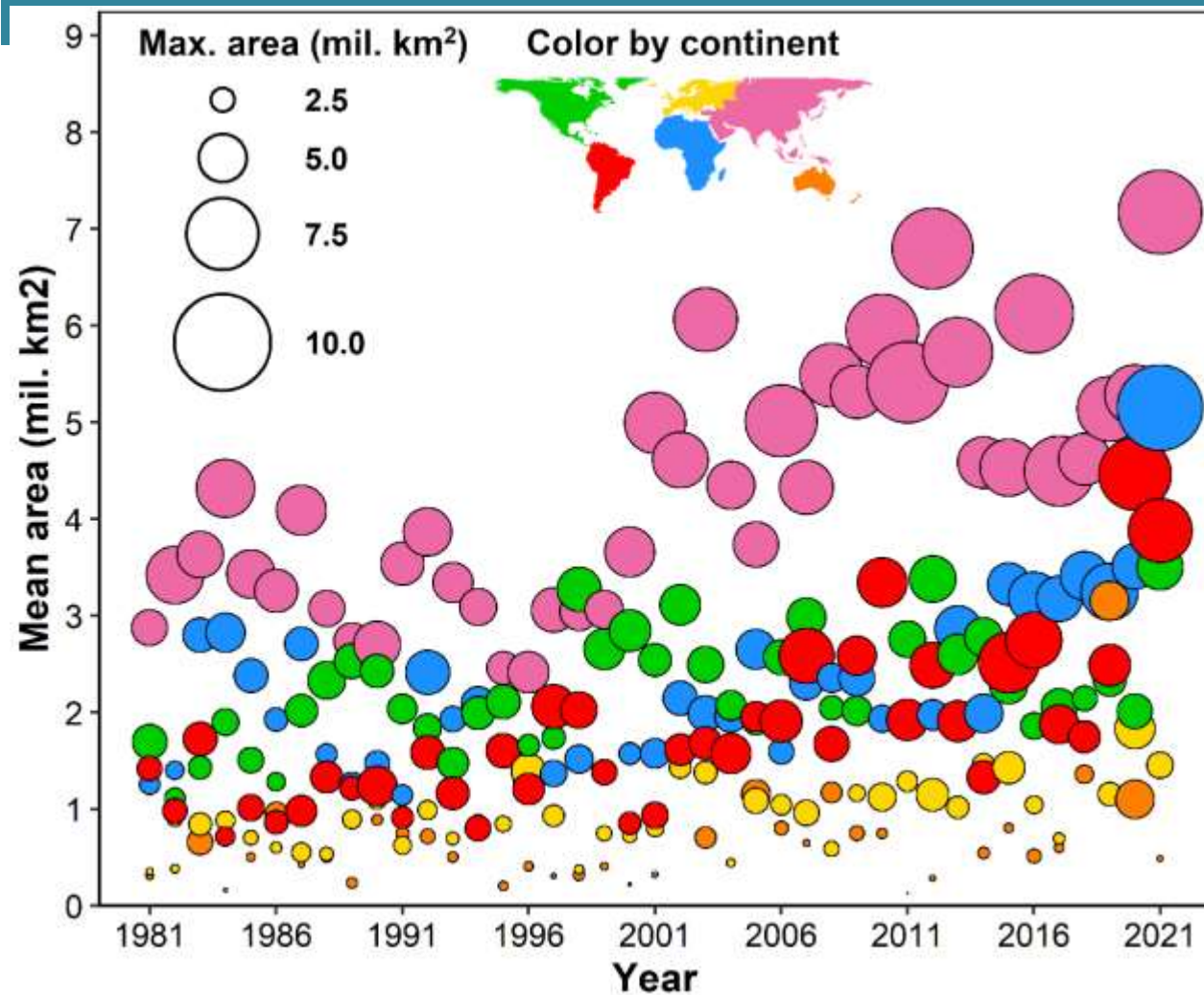
Nezvykle roste teplota světových oceánů....



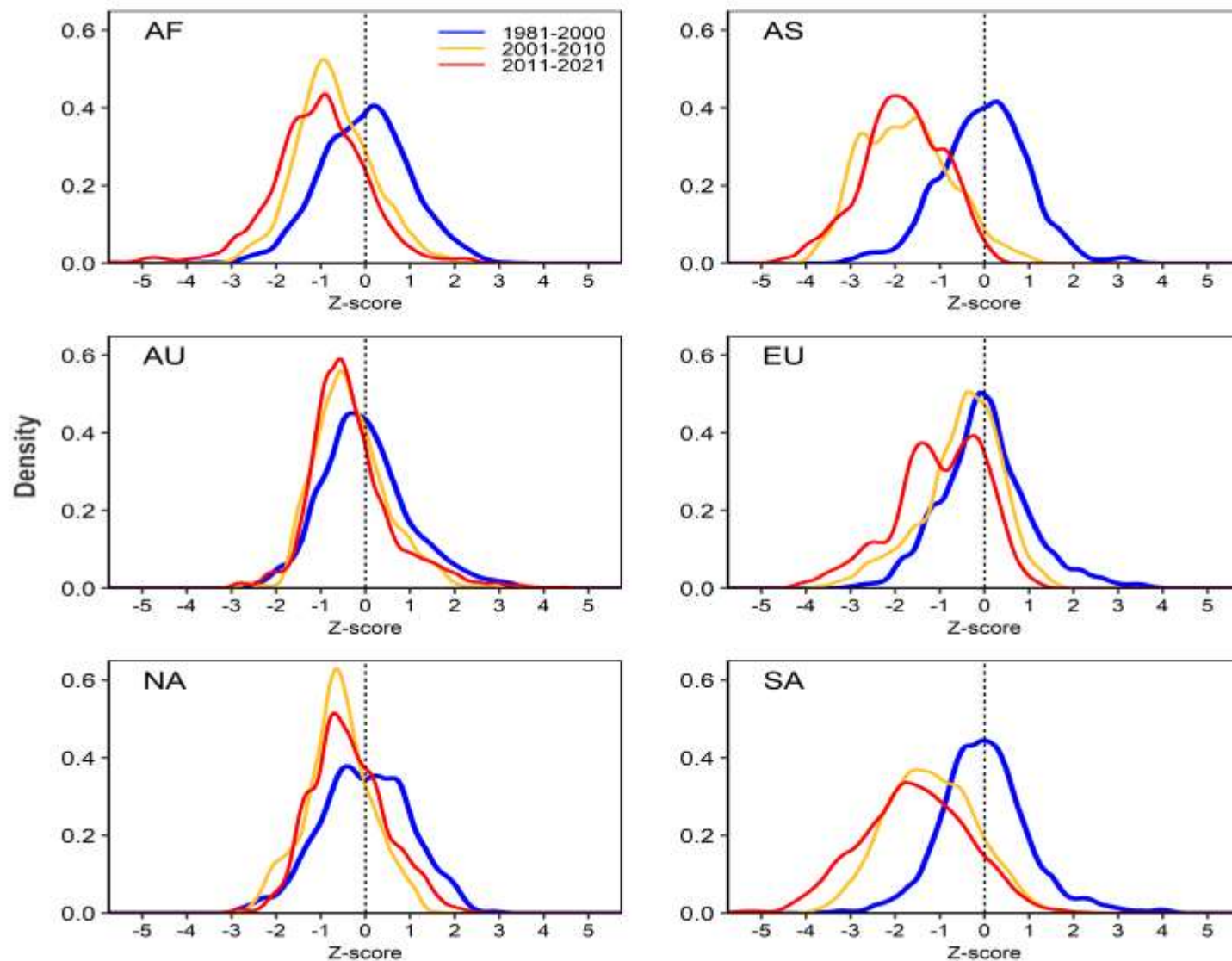
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



A ubývá vody v půdě...

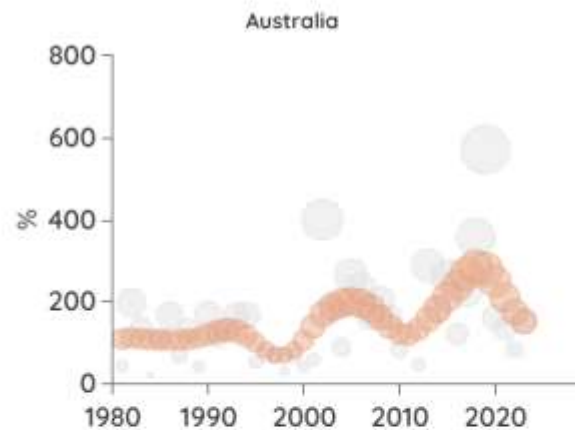
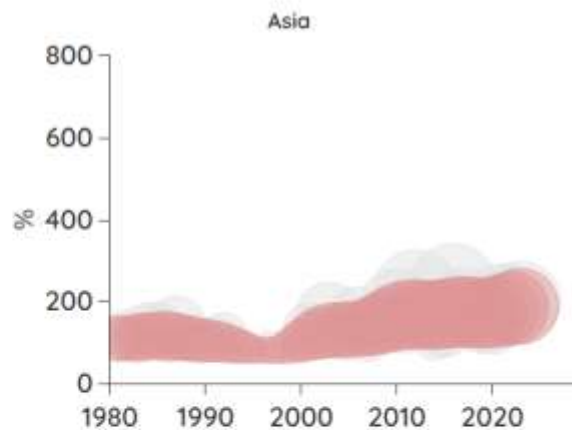
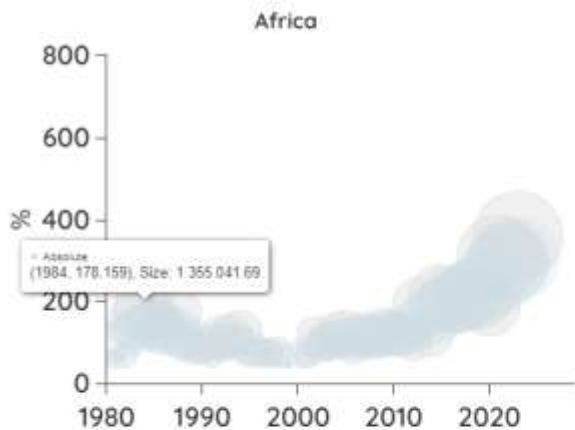


Včetně Evropy

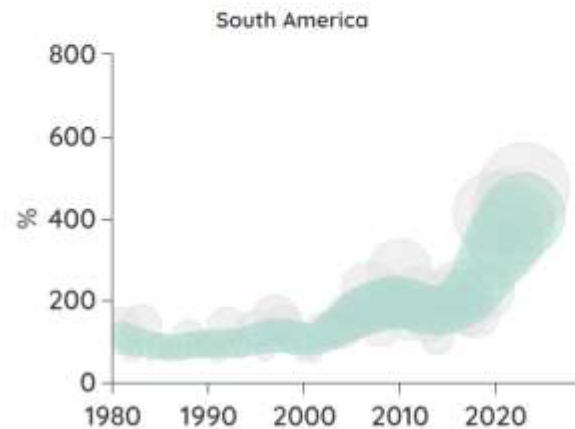
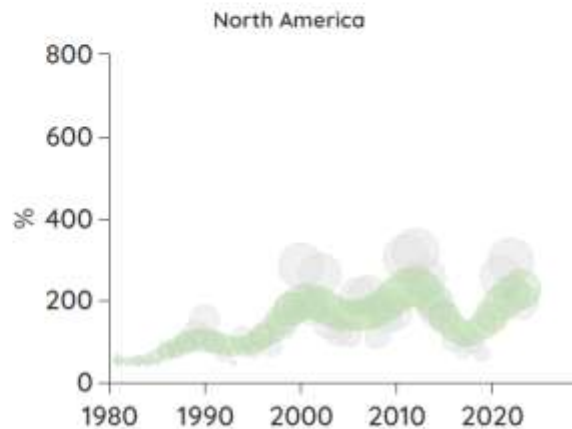
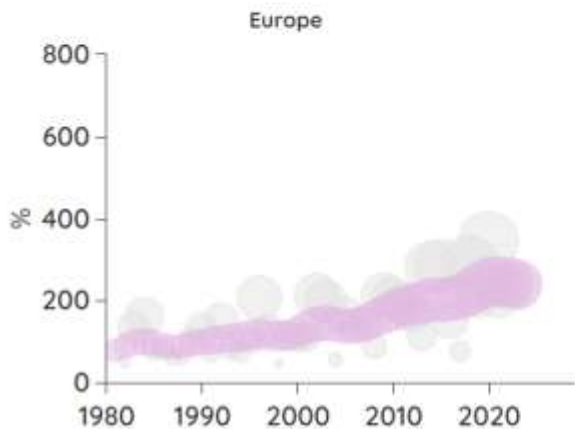


Alternativní pohled na trendy sucha...Oblasti akumulace podz. vod

Aquifers Legend multiplier:

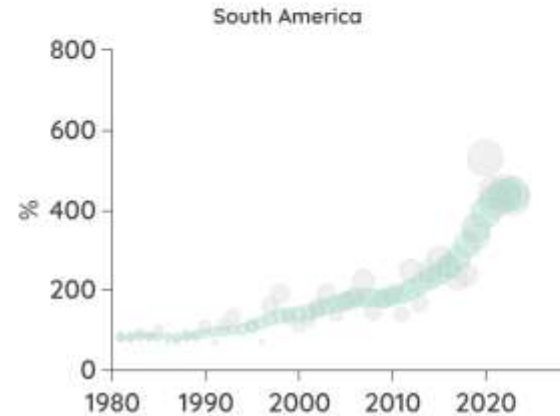
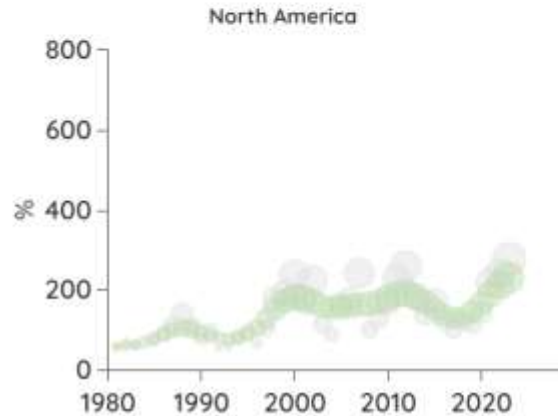
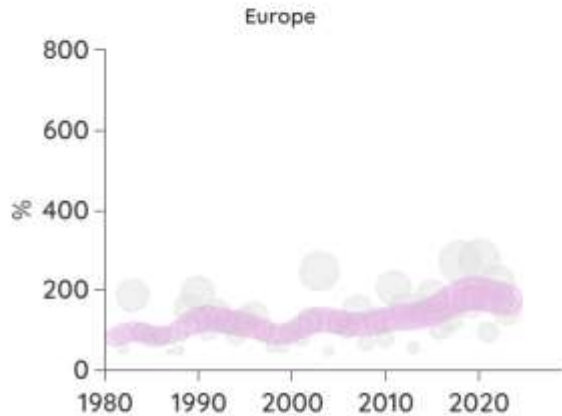
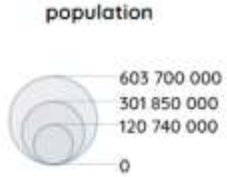
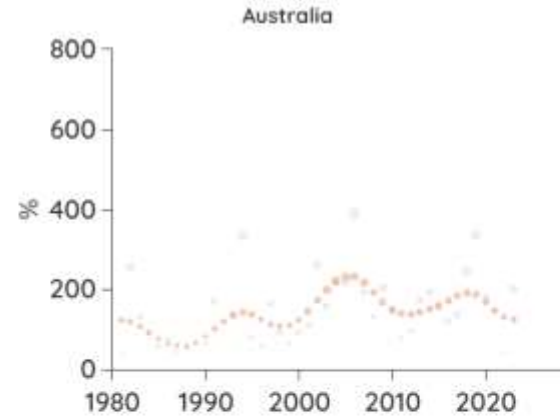
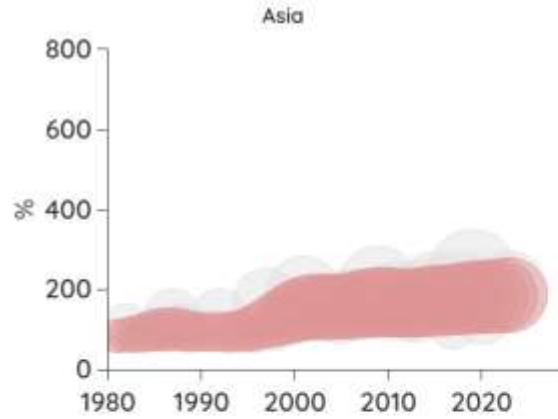
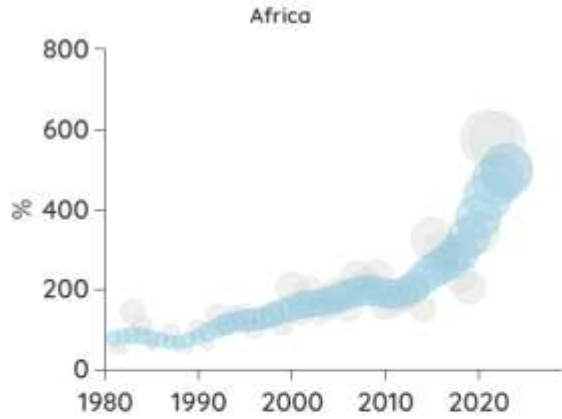


km²

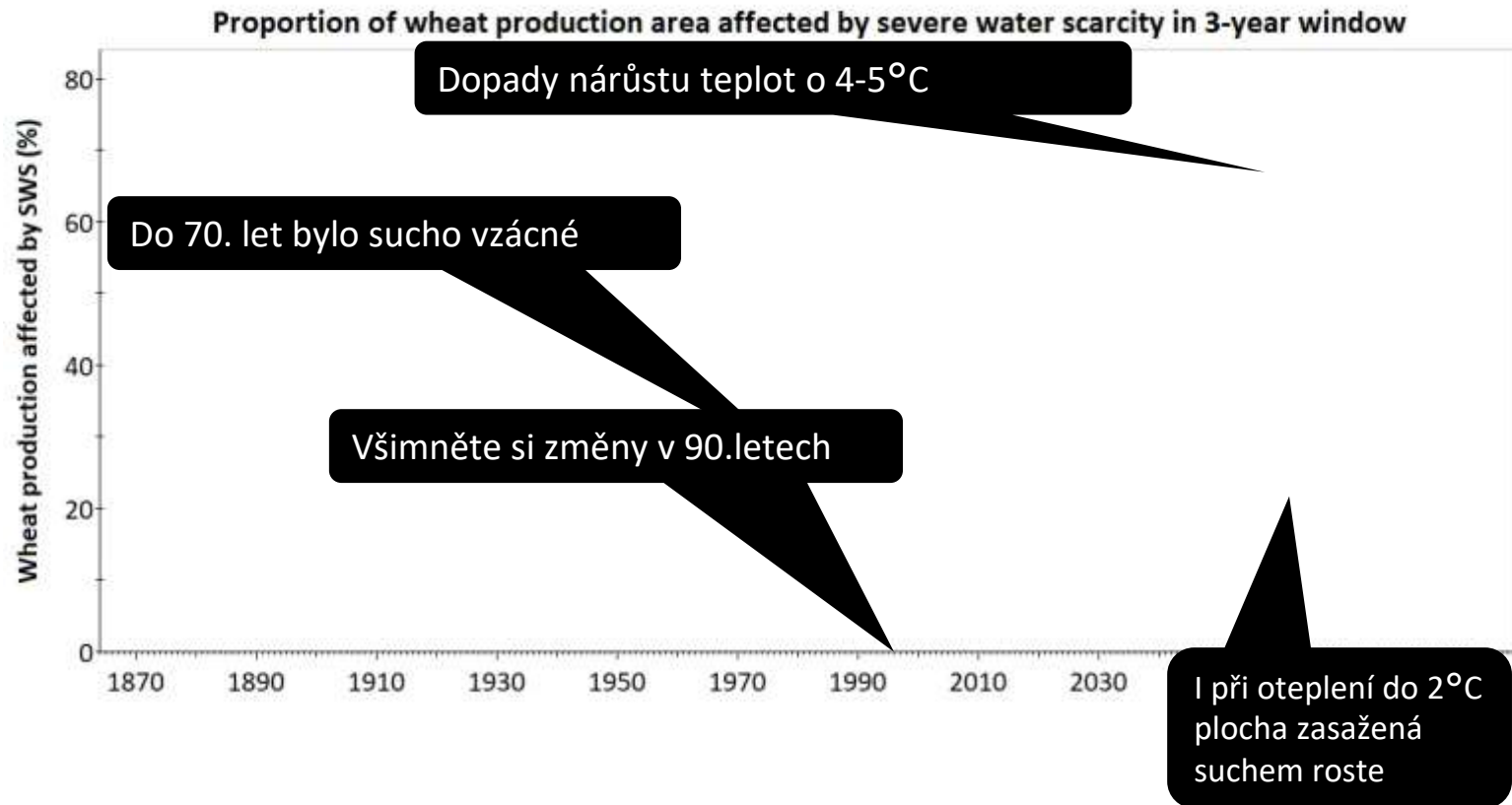


Alternativní pohled na trendy sucha...Počet zasažených obyvatel

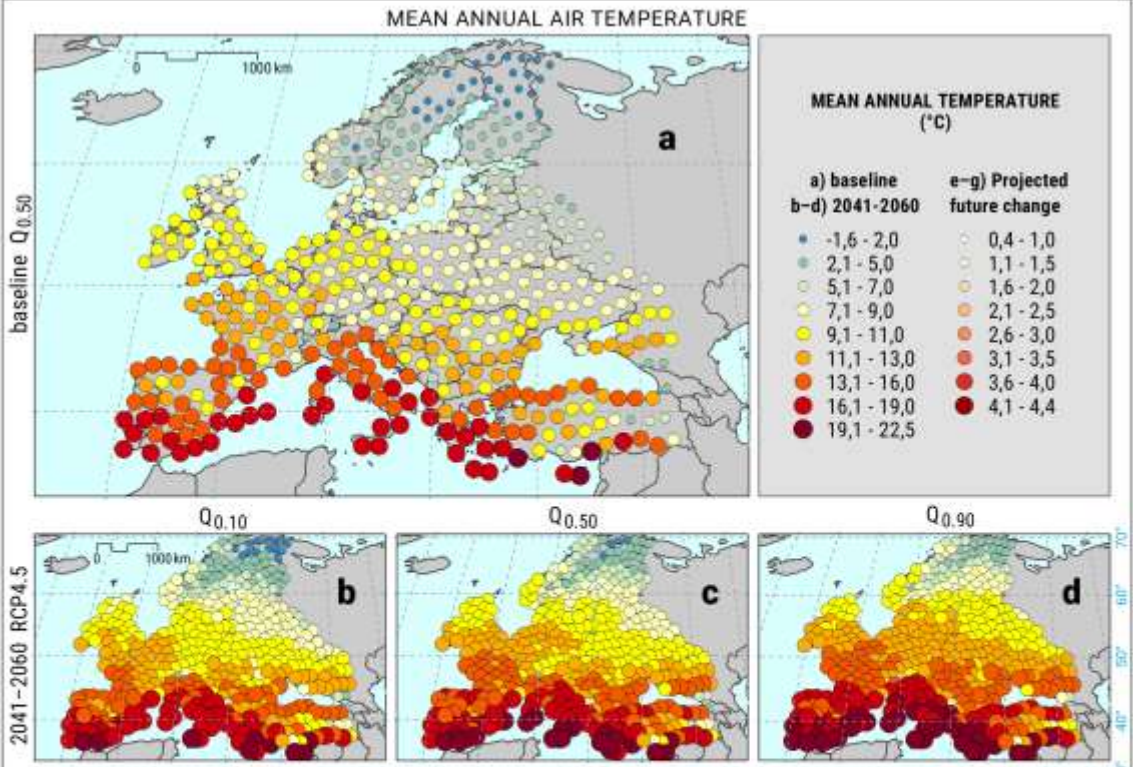
Population Legend multiplier: 10000



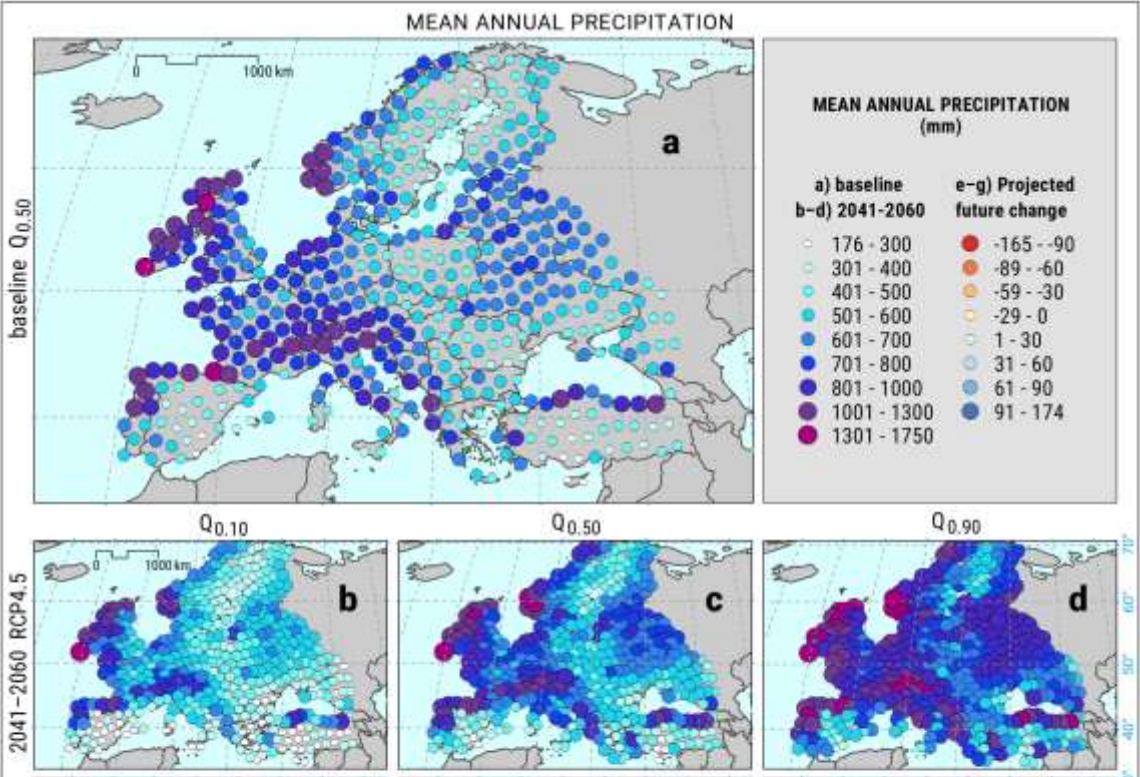
Alternativní pohled na trendy sucha....Klíčové plochy produkující pšenici



Projekce změn teplot pro Evropu....

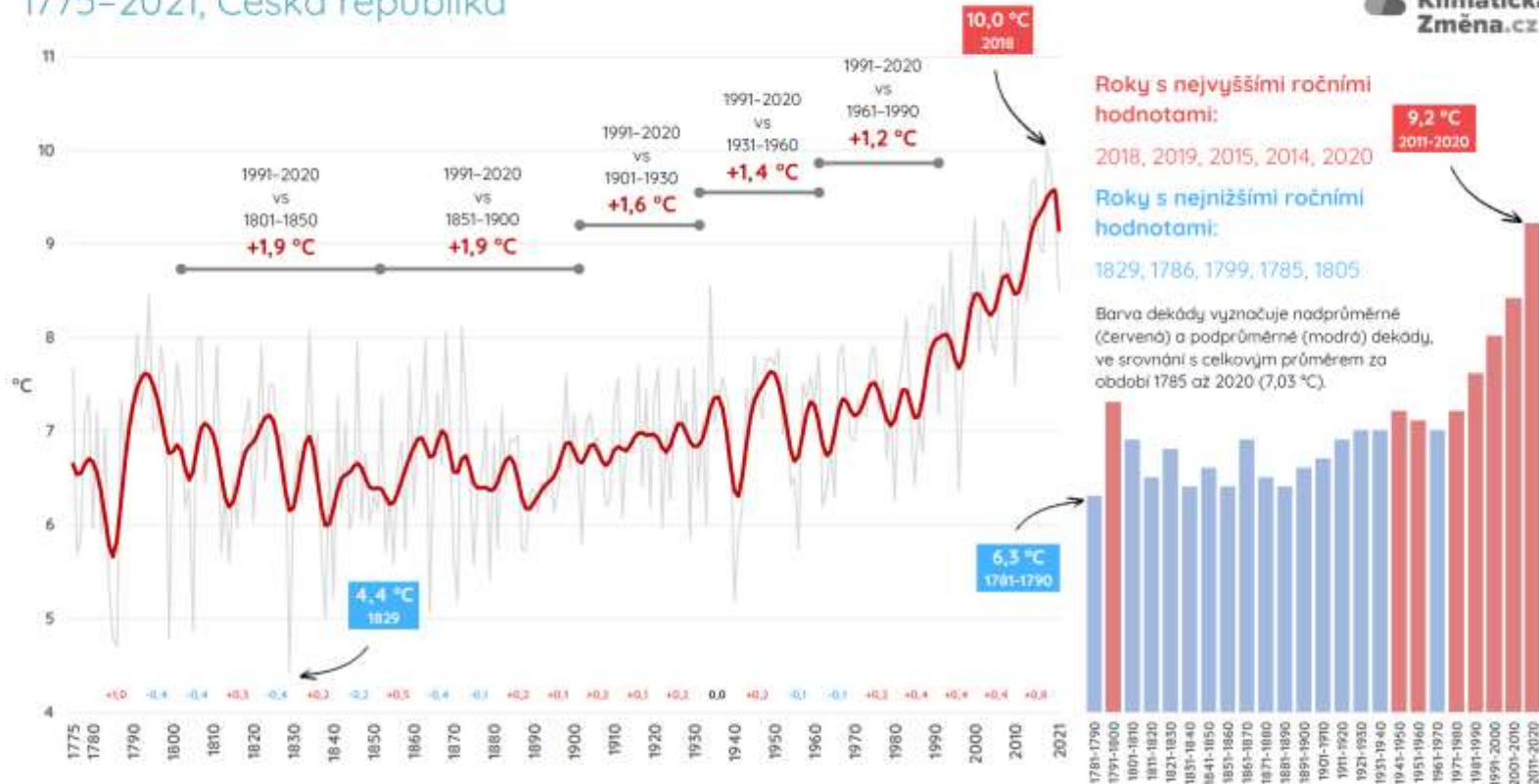


Projekce změn srážek pro Evropu



Do vodního režimu promlouvá změna klimatu již dnes...

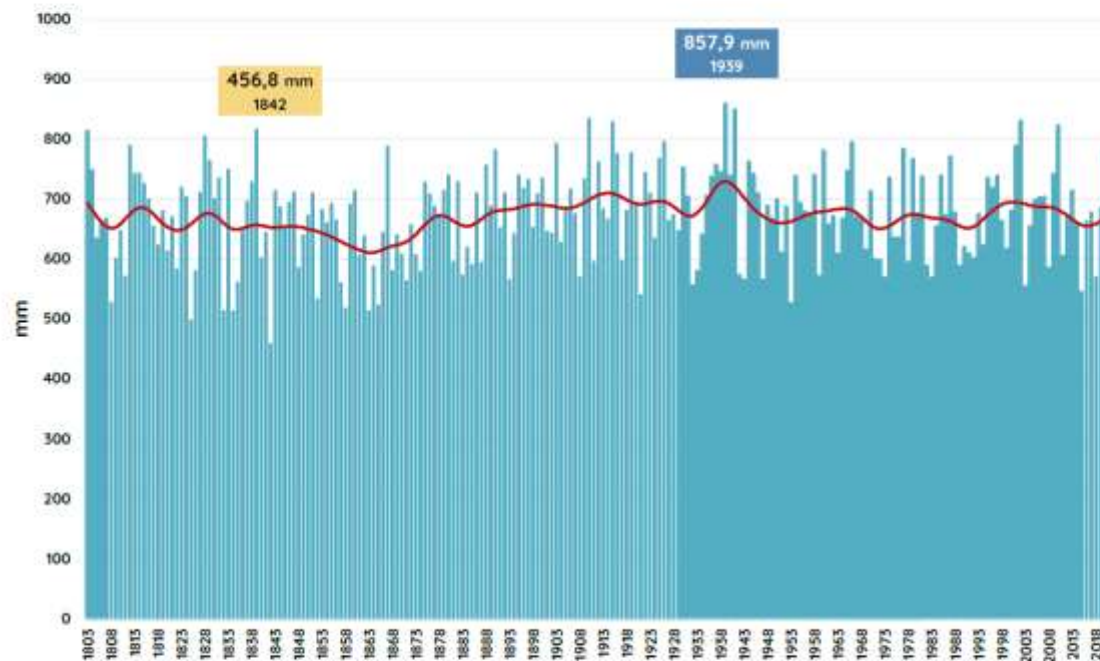
Průměrná roční teplota vzduchu 1775–2021, Česká republika



Graf ukazuje hodnoty průměrné roční teploty vzduchu v České republice za období 1775 až 2021. Uvedeny jsou roky s historicky nejvyšší, a naopak nejnižší hodnotou. Rychlý nárůst hodnot je patrný zejména od 80. let 20. století. Vůbec nejteplejší byl zatím rok 2018. V desítky let s nejvyššími hodnotami teploty vzduchu je pouze jeden rok před rokem 2000 (rok 1994) a prvních pět let s nejvyšší hodnotou bylo pozorováno v roce 2014 či později. Menší graf vpravo ukazuje průměry v jednotlivých desetiletích od roku 1780 až 2020. Pod osou X hlavního grafu je zobrazena změna oproti průměru předchozího desetiletí v °C (od 1791-1800 oproti 1781-1790, po 2011-2020 oproti 2001-2010). V hlavním grafu nahoře jsou také vyznačeny rozdíly mezi průměrnou teplotou posledního normálního období 1991-2020 a jednotlivými normály ve 20. století a padesátiletými obdobími v 19. století. Zde je patrné, že zatímco v 19. století není pozorován žádný dlouhodobý trend, ve 20. století už je pozorován pozvolný nárůst, který se výrazně zrychlil v posledních letech hodnoceného období.

SRÁŽKY STAGNOVALY

Roční úhrn srážek 1803–2021, Česká republika

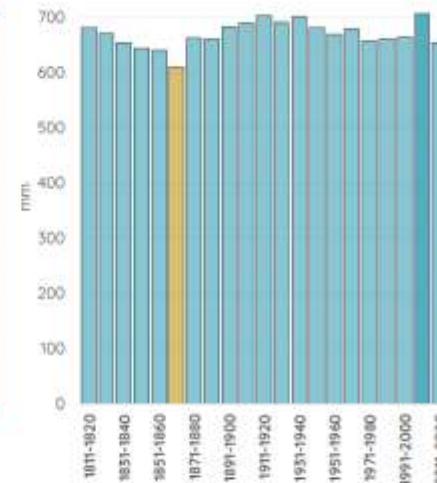


Roky s nejvyššími
ročními úhrny

1939, 1941, 1910, 2002, 1915

Roky s nejnižšími
ročními úhrny

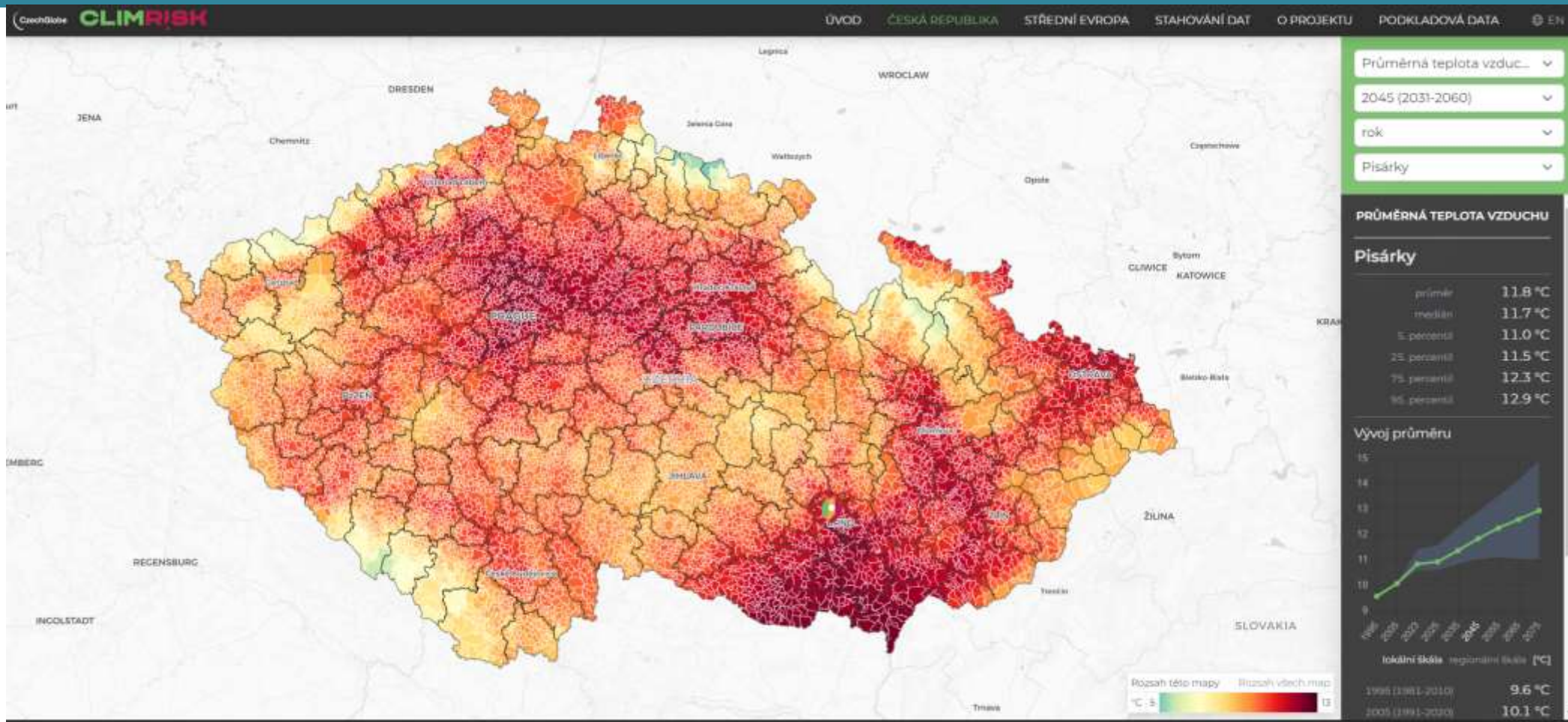
1842, 1825, 1863, 1834, 1858



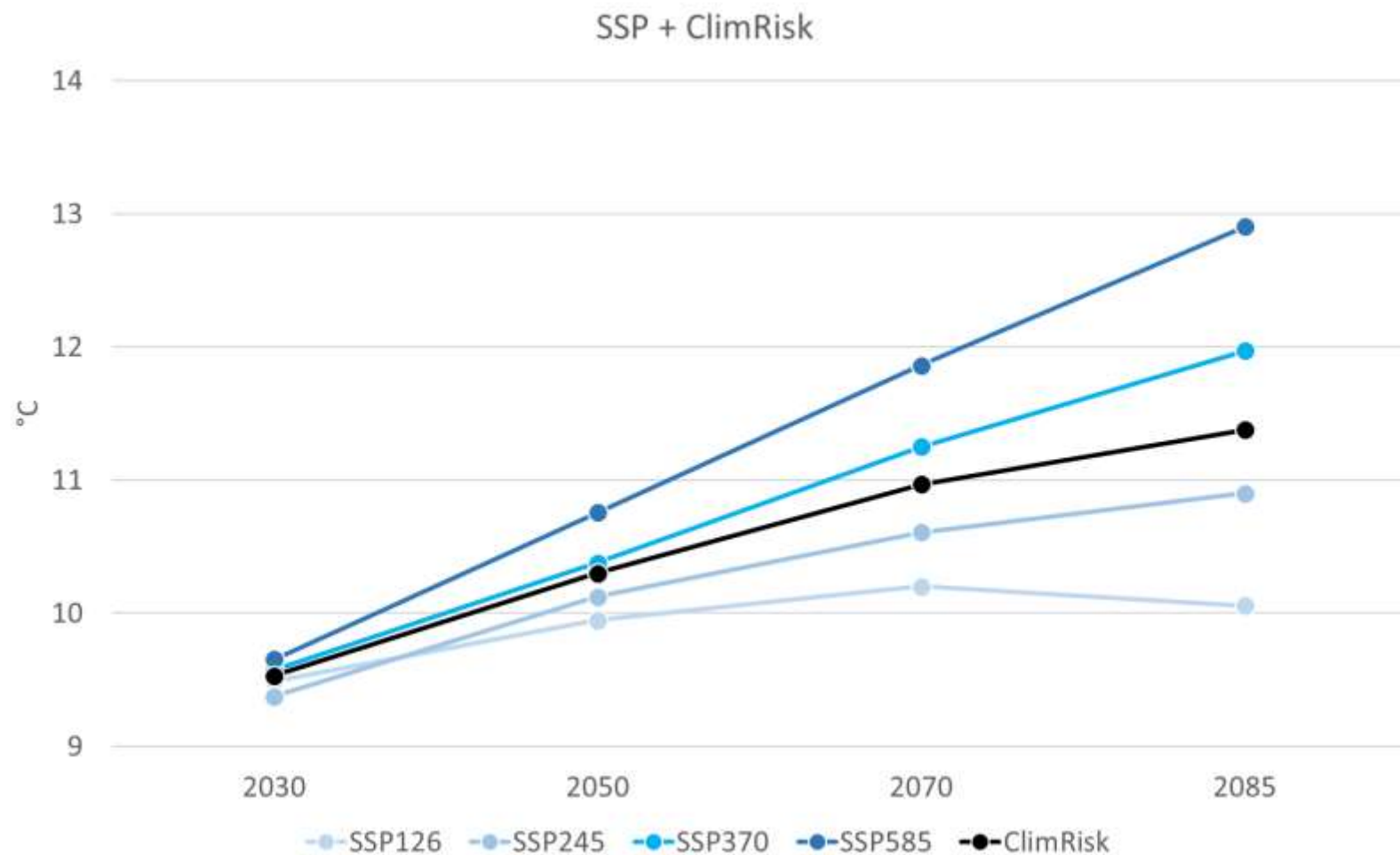
Hlavní graf ukazuje hodnoty ročních úhrnů srážek v České republice za období 1803 až 2021. Menší graf vpravo ukazuje průměrný roční srážkový úhrn pro jednotlivá desetiletí od 1811–1820 až po 2011–2020. Z grafů je patrné, že se průměrný roční úhrn v průběhu času dlouhodobě nemění a není pozorován statisticky významný dlouhodobý trend. Krátkodobě je v některých obdobích trend významný, avšak někdy je klesající, jindy stoupající a dlouhodobě se tak průměrný úhrn nemění.

To však neznamená, že k žádným změnám v chodu srážek dlouhodobě nedochází. Celkový úhrn totiž neříká nic o distribuci srážek v průběhu roku, tedy například o tom, zda srážky spadly během několika srážkově velmi intenzivních epizod, či během dlouhodobých méně intenzivních dešťů.

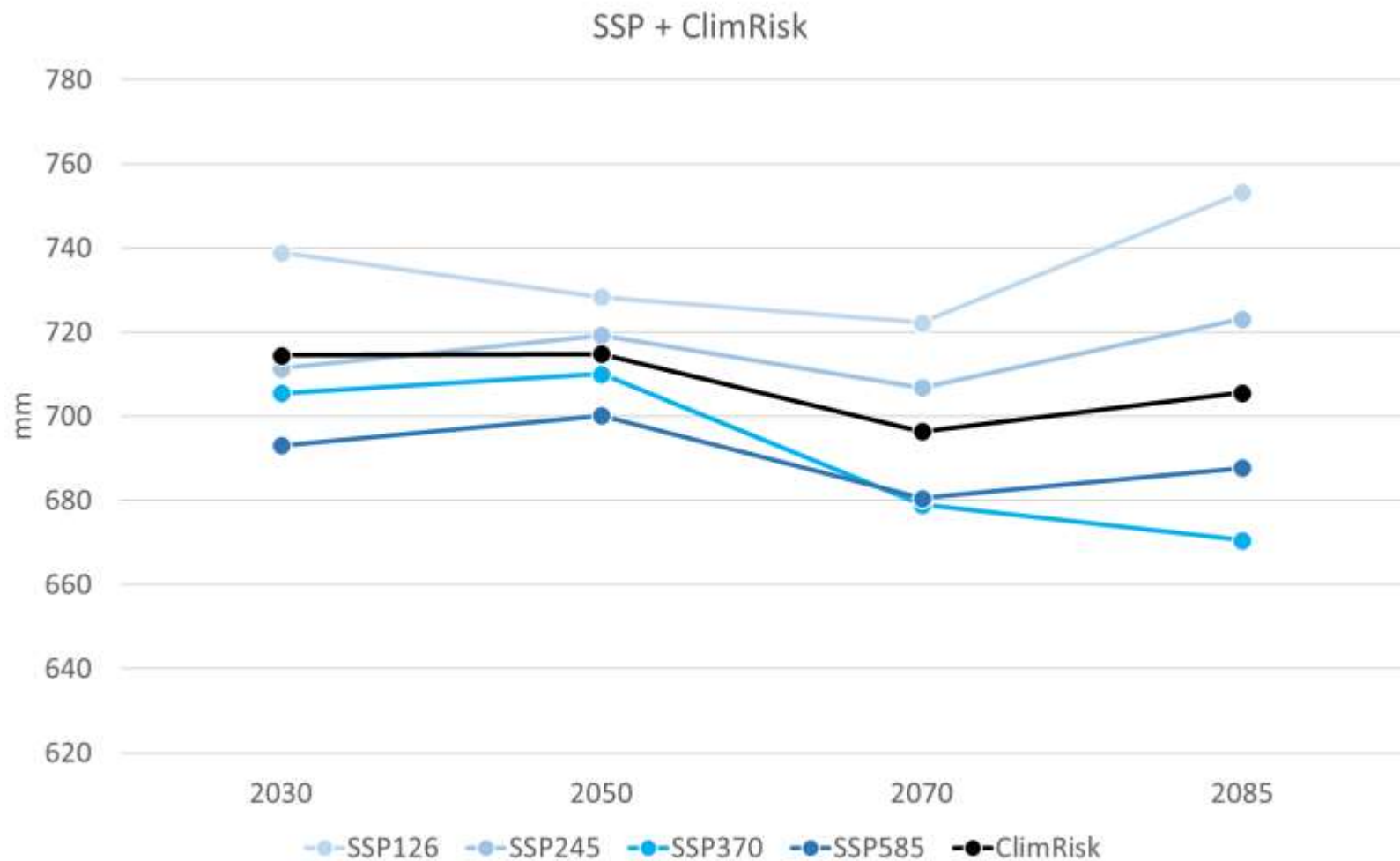
Jak si změnu klimatu představit lokálně??



Odhadovaná změna teplot pro celou ČR - průměr za rok



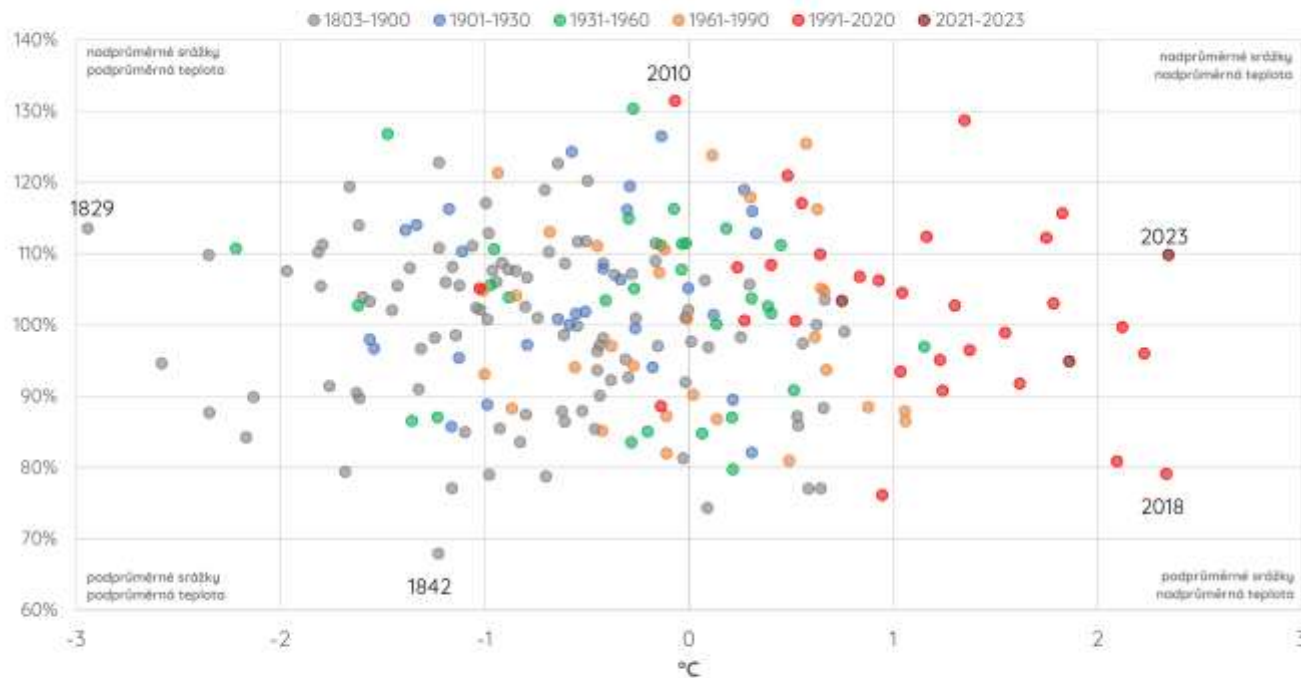
Odhadovaná změna srážek pro celou ČR - sumy srážek za rok



Jaký byl vztah teplot a srážek v předchozích 221 letech??

Průměrná teplota vzduchu a srážkový úhrn

1803–2023, Česká republika

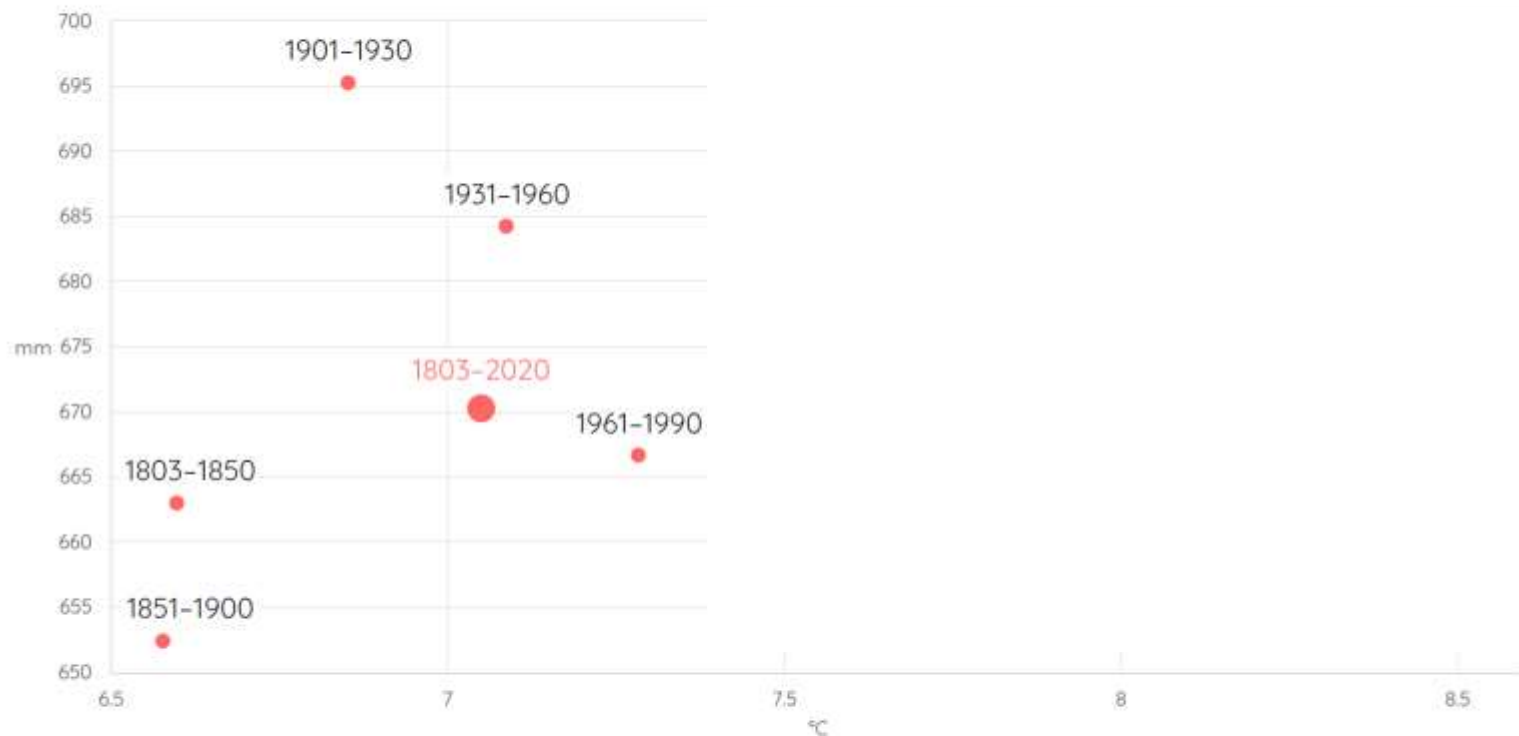


V grafu představují jednotlivé body roky. Osa X vyjadřuje odchylku průměrné roční teploty vzduchu od průměru 1961-1990, osa Y podíl průměrného srážkového úhrnu v daném roce z průměru 1961-1990. Barevně jsou odlišena různá období. V grafu jsou dále vyznačeny konkrétní roky, a to zejména u krajních, tedy v určitém smyslu extrémnějších let. Z grafu můžeme mj. vidět, že celkově nejteplejší byl rok 2023, naopak nejchladnější rok 1829.

1. Teplejší roky obecně nemají statisticky významně vyšší nebo nižší srážky;
2. Vztah je nesignifikantní, ale současně **mírně převažuje tendence k poklesu srážek za vyšších teplot!**

Klima se v ČR
již **ZÁSADNĚ**
proměnilo...

Průměrná teplota vzduchu a srážkový úhrn 1803–2020, Česká republika

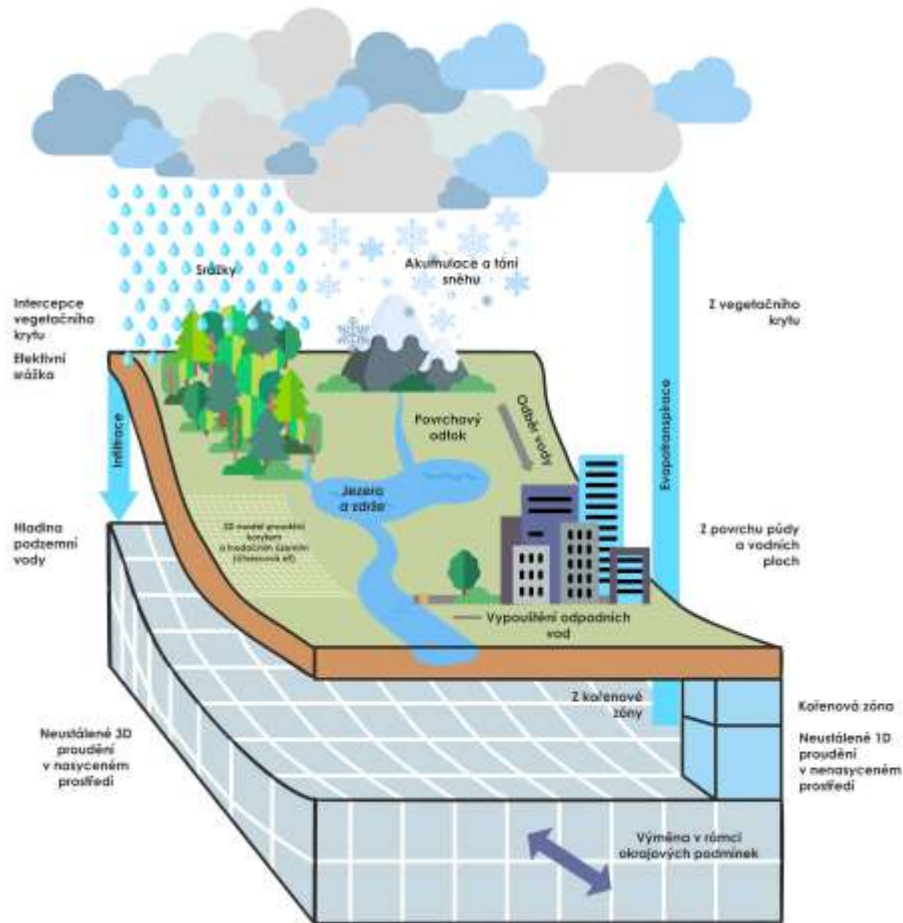


V grafu výše představují jednotlivé body různá období. Osa X vyjadřuje průměrnou roční teplotu, osa Y srážkový úhrn pro daný rok. Celkový průměr za celé období analýzy je zobrazeno větším bodem a zvýrazněno. Graf jasně ukazuje, že období 1991 – 2020 bylo teplejší velmi výrazně nadprůměrné. Naopak nejchladnější bylo v 19. století, kde mezi obdobími 1803 – 1850 a 1851 – 1900 je teplotně rozdíl nevýznamný. Co se srážek týče, bylo nejbohatší období 1901 – 1930. Zároveň je patrné, že všechna období od roku 1901 byla srážkově bohatší než obě období v 19. století.

A photograph of a modern, multi-story building with a glass facade, reflecting the sky and surrounding greenery. The building is surrounded by lush green plants and trees. A semi-transparent green box is overlaid on the right side of the image, containing the title text.

Jak na dopady změny klimatu připravovat vodní zdroje a krajinu?

Posoudit vliv možných změn vyžaduje komplexní nástroj

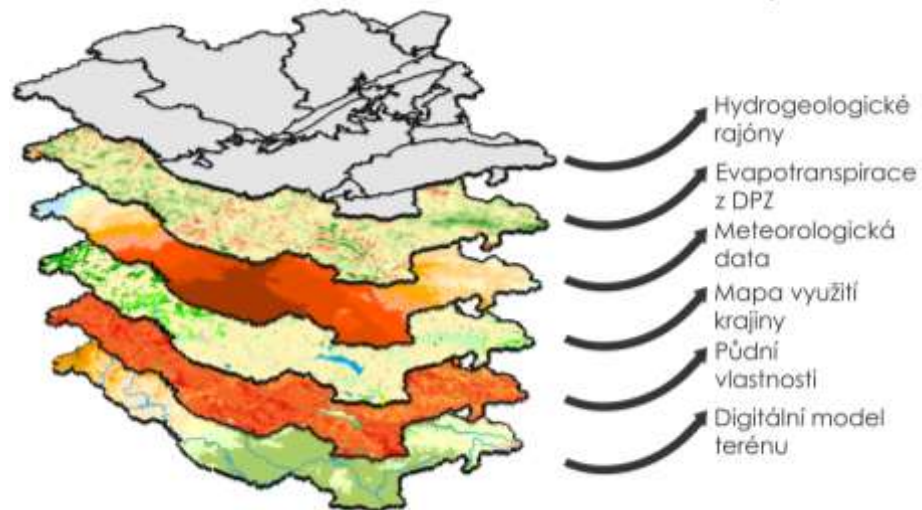
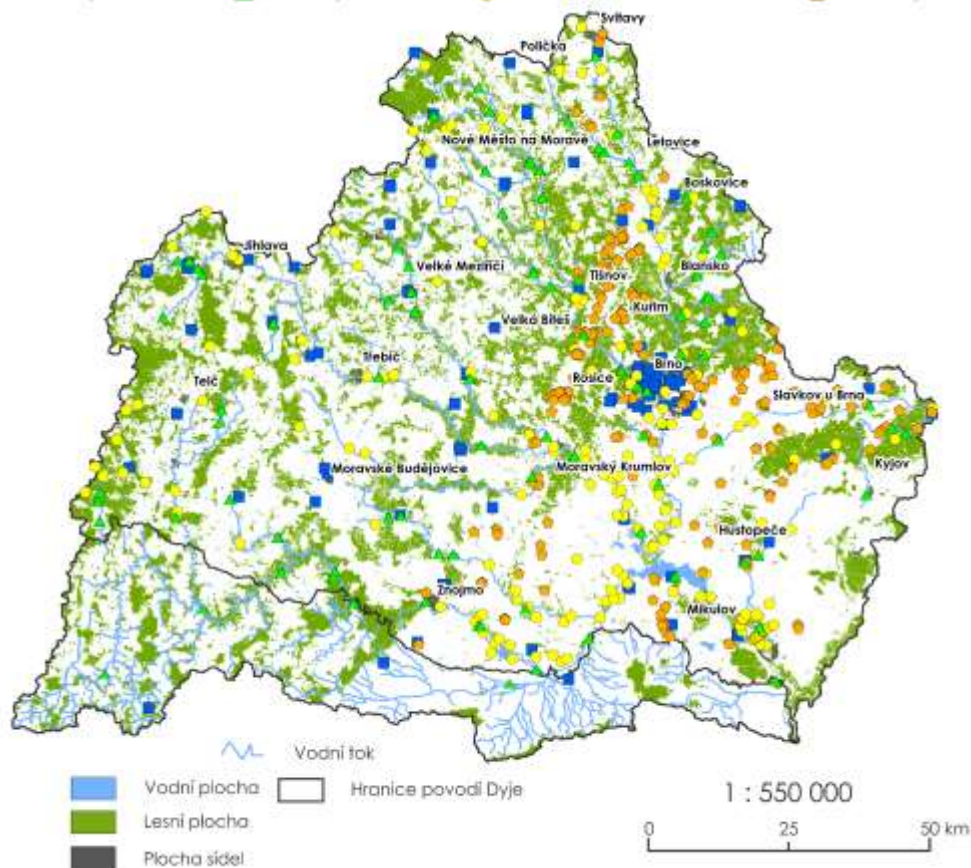


- Plně fyzikálně založený, prostorově distribuovaný a integrovaný model umožňuje detailní 3D simulace všech významných hydrologických procesů.
- Do modelu jsou integrovány data o nakládání s vodami ve významných městských aglomeracích pro různé zátěžové scénáře a se zohledněním změny klimatu.
- Model umožňuje testování širokého spektra adaptačních opatření a komplexní posuzování jejich vlivů na hydrologický cyklus a zabezpečení vodních zdrojů.
- Plná hydrodynamická simulace všech hlavních vodních toků v povodí Dyje a Želivky – zde i včetně nádrže a chování;

Integrovaný systém MIKE SHE (Système Hydrologique Européen) byl vyvinut v roce 1977 konsorciem tří institucí (Institute of Hydrology – Velká Británie, SOGREAH – Francie a DHI - Dánsko). Firma DHI systém nadále aktivně udržuje a vyvíjí.

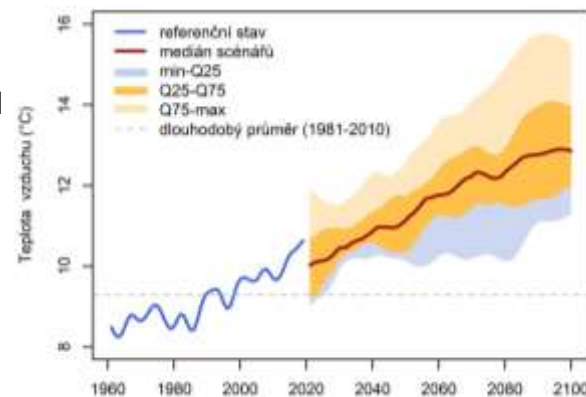
Ten umožňuje využít dostupná data...

■ Klimatologická stanice ■ Hydrologická stanice ● Měření hladiny podzemních vod ■ Hydrologický vrt

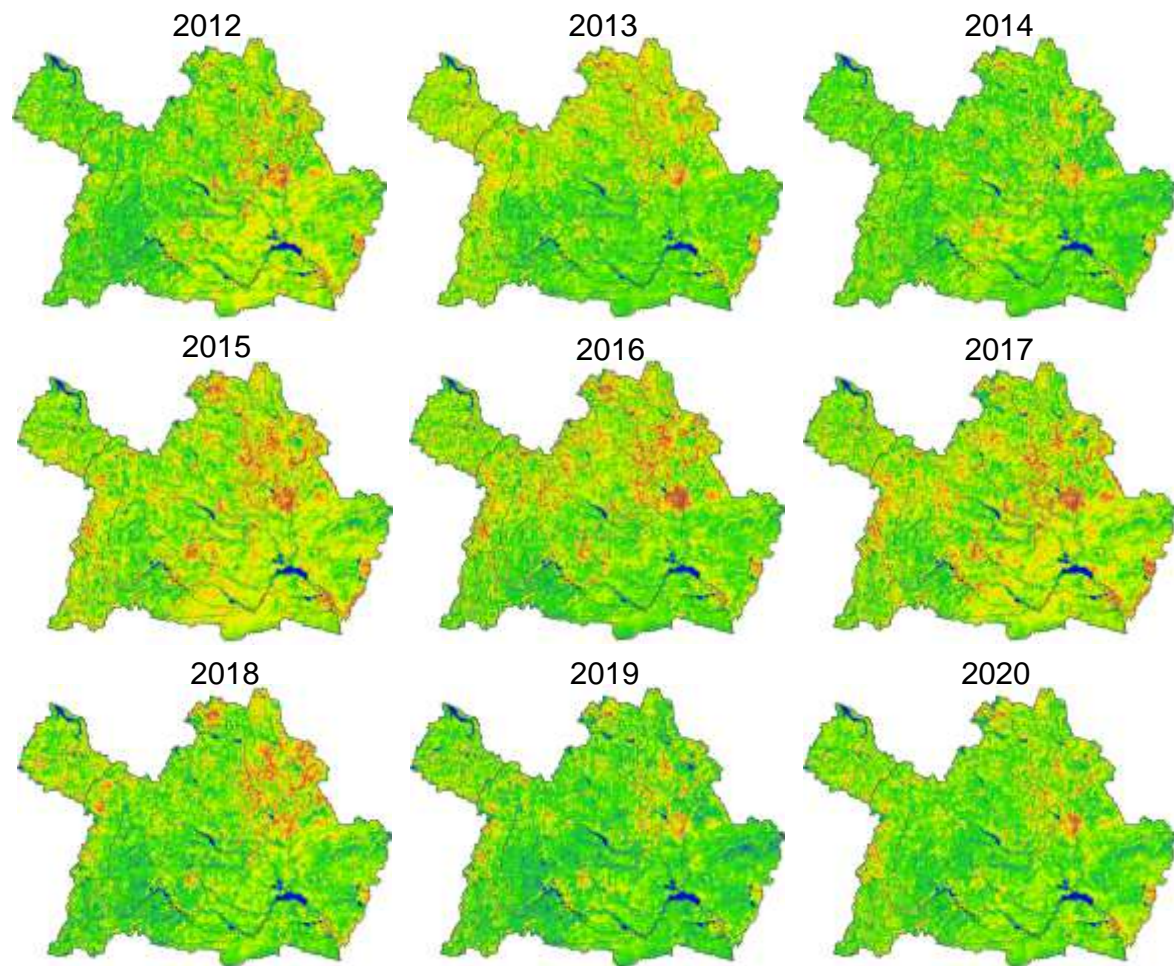
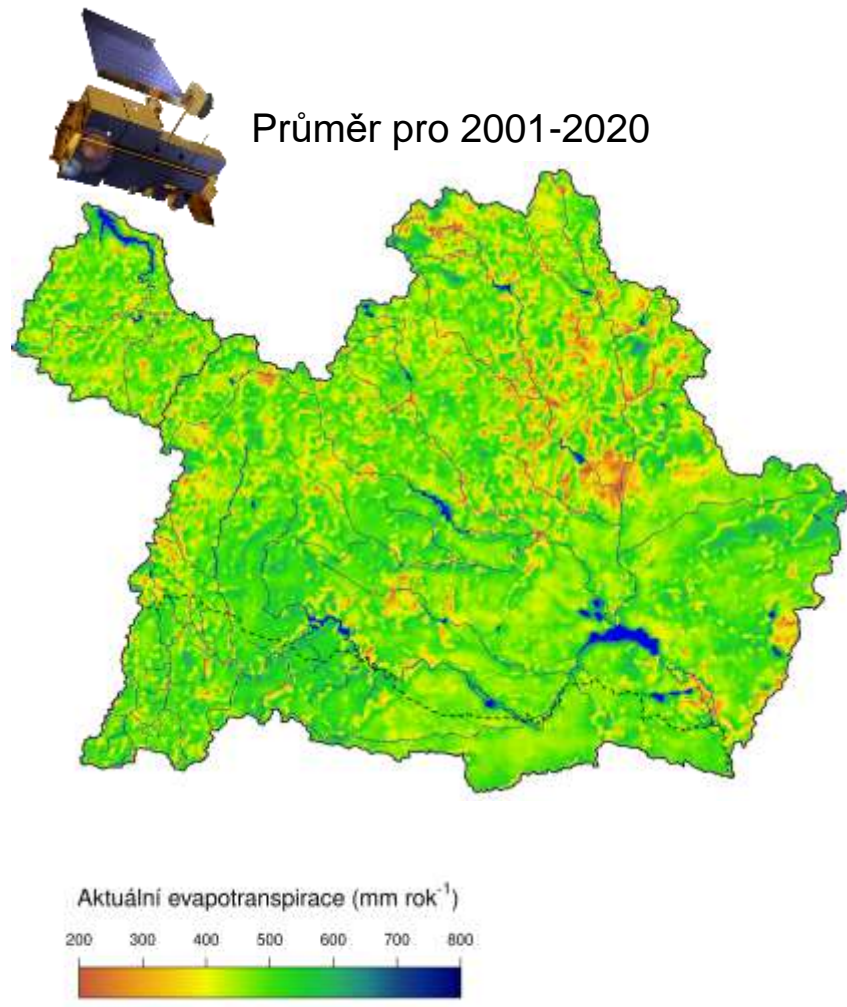


2 rozlišení modelu

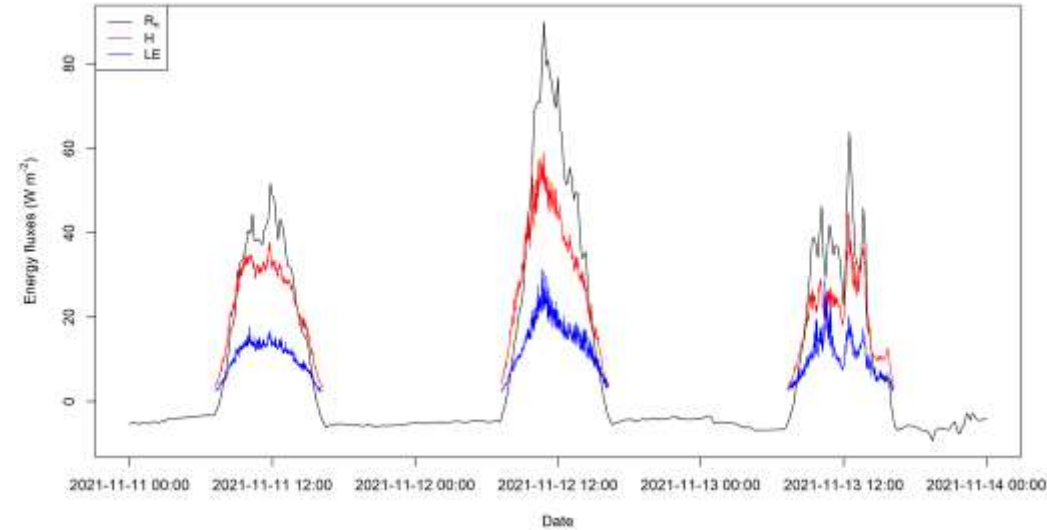
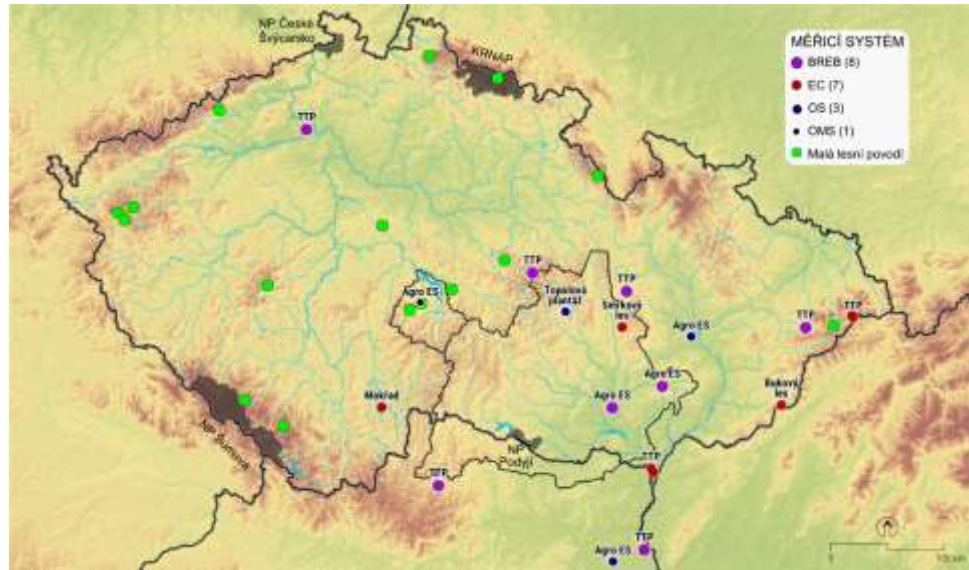
- 200 m - Svratka
- 200 m - Svitava
- 500 m - Dyje



A také přidat plošné odhady aktuální evapotranspirace na základě fyzikálních měření z družic



A propojit se sítí pozemních stanic pro sledování evapotranspirace jako dominantní složky vodní bilance v povodí....a zapojit i BIOLOGICKOU složku systému

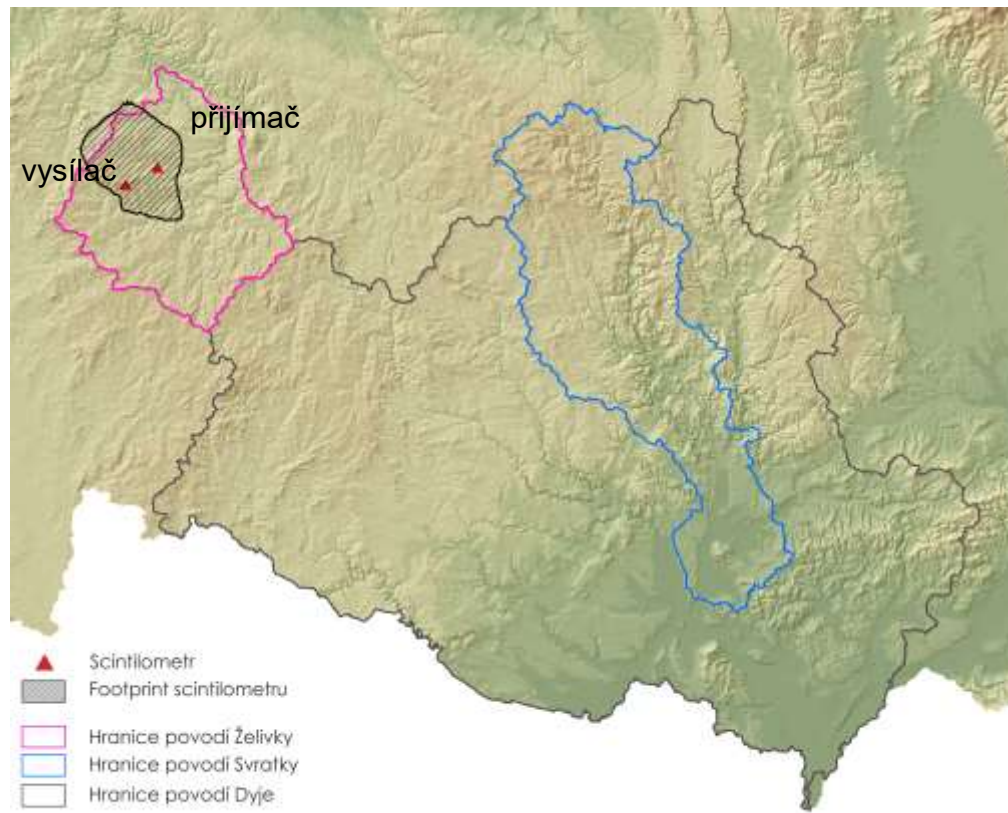


Evapotranspirace (pozemní měření): Od úrovně listu po úroveň povodí



Např. díky jediné kombinaci mikrovlnného a optického scintilometru na vysoké věži v Evropě

Vysílač na radiokomunikační věži Strážště



Měření zabírá průměrně 23 % povodí Želivky



Přijímač na atmosférické věži Košetice

To umožňuje kalibraci metod odhadu ETa v krajině reprezentativní pro zdrojnice Dyje.....

Vysílač na radiokomunikační věži Strážistě



Přijímač na atmosférické věži Košetice



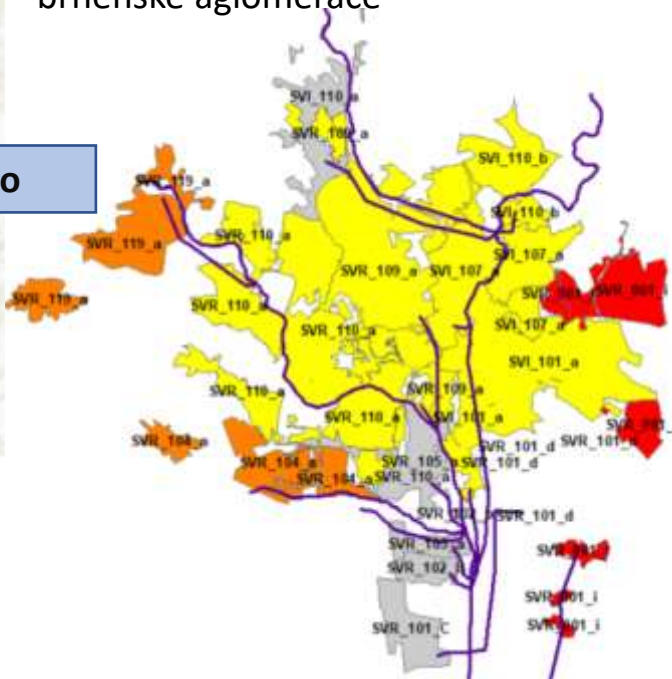
Co „vidí“ scintilometr

A zahrnout nejen krajinu ale i zastavěné plochy a jejich vliv....

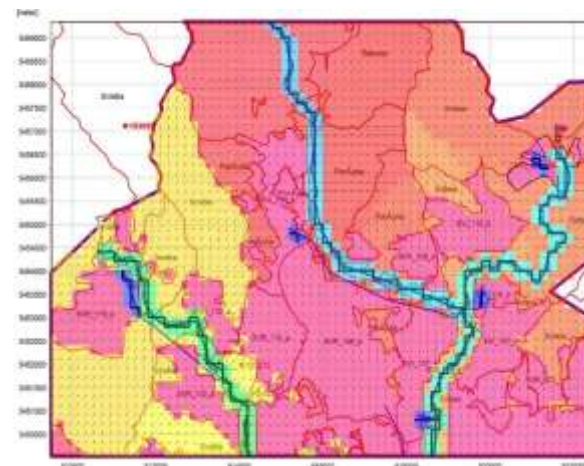
Odtoky ze zpevněných ploch - distribuce podle schématu
odvodnění aglomerace - kalibrace měřenými daty
Odtoky z ostatních měst - nad 20.000 obyvatel



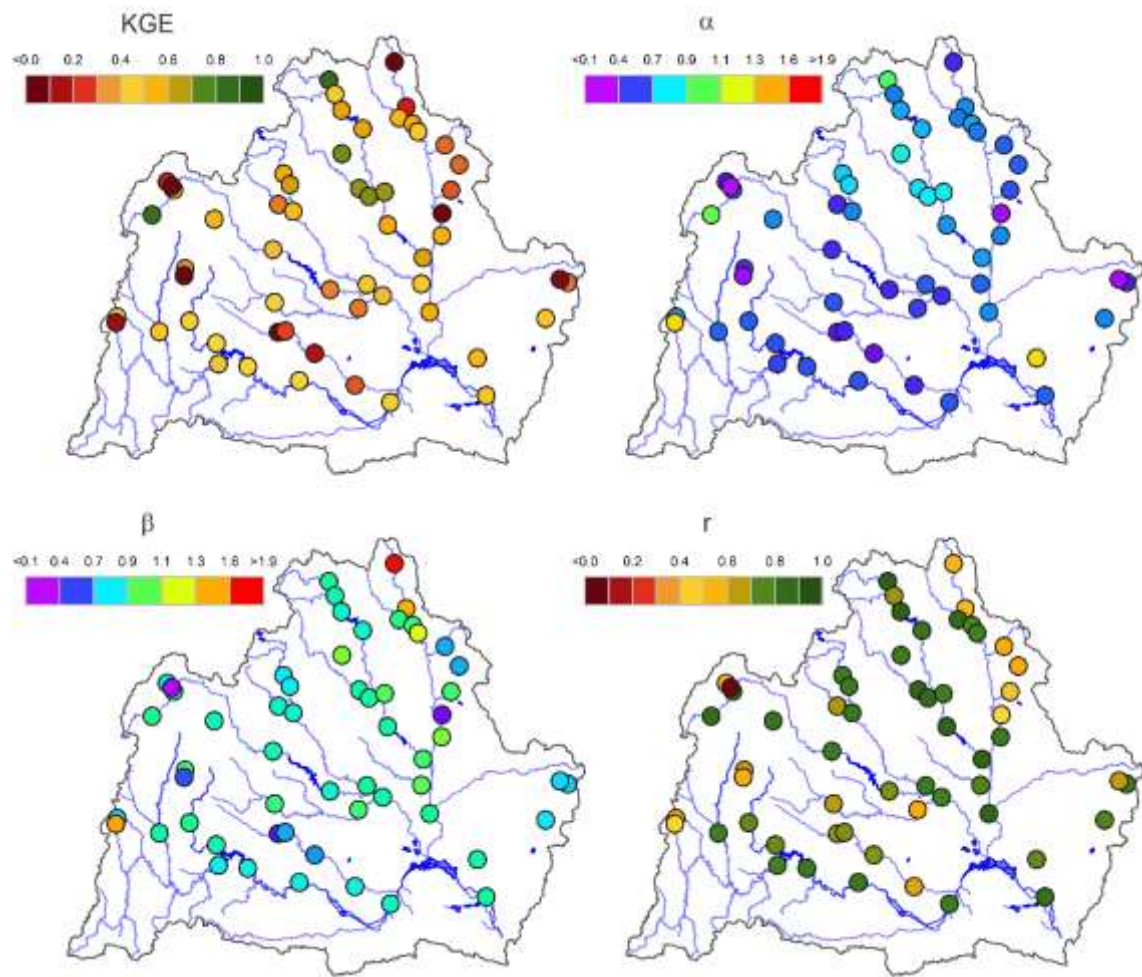
Schéma povrchových odtoků z
brněnské aglomerace



Proudění podzemní vody



Digitální dvojče povodí je nezbytné validovat – mj. s pomocí sítě stanic ČHMÚ

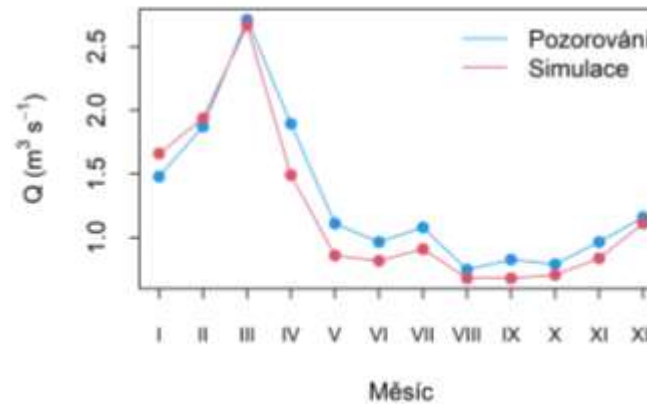
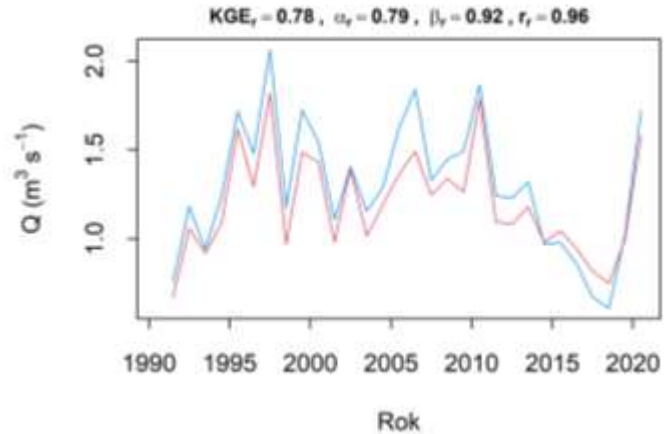
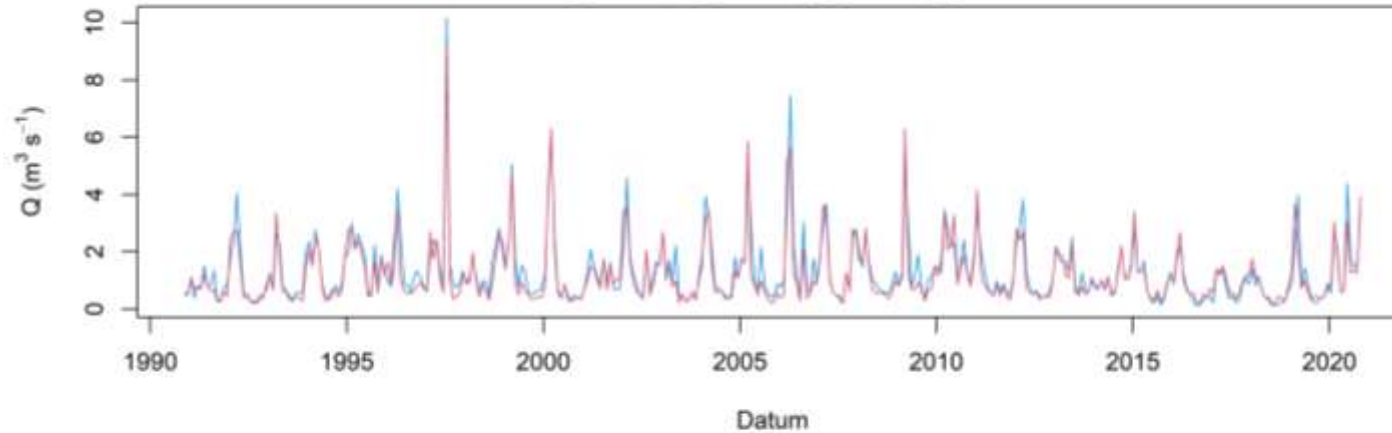


Ukázka kvality simulovaných průtoků na vodoměrných stanicích ČHMÚ v povodí řeky Dyje. Souhrnným ukazatelem kvality shody je Kling-Gupta efektivita (KGE) nabývající v ideálním případě hodnoty 1. Parametr α hodnotí shodu ve variabilitě, β systematickou chybu a r shodu v časové odezvě.

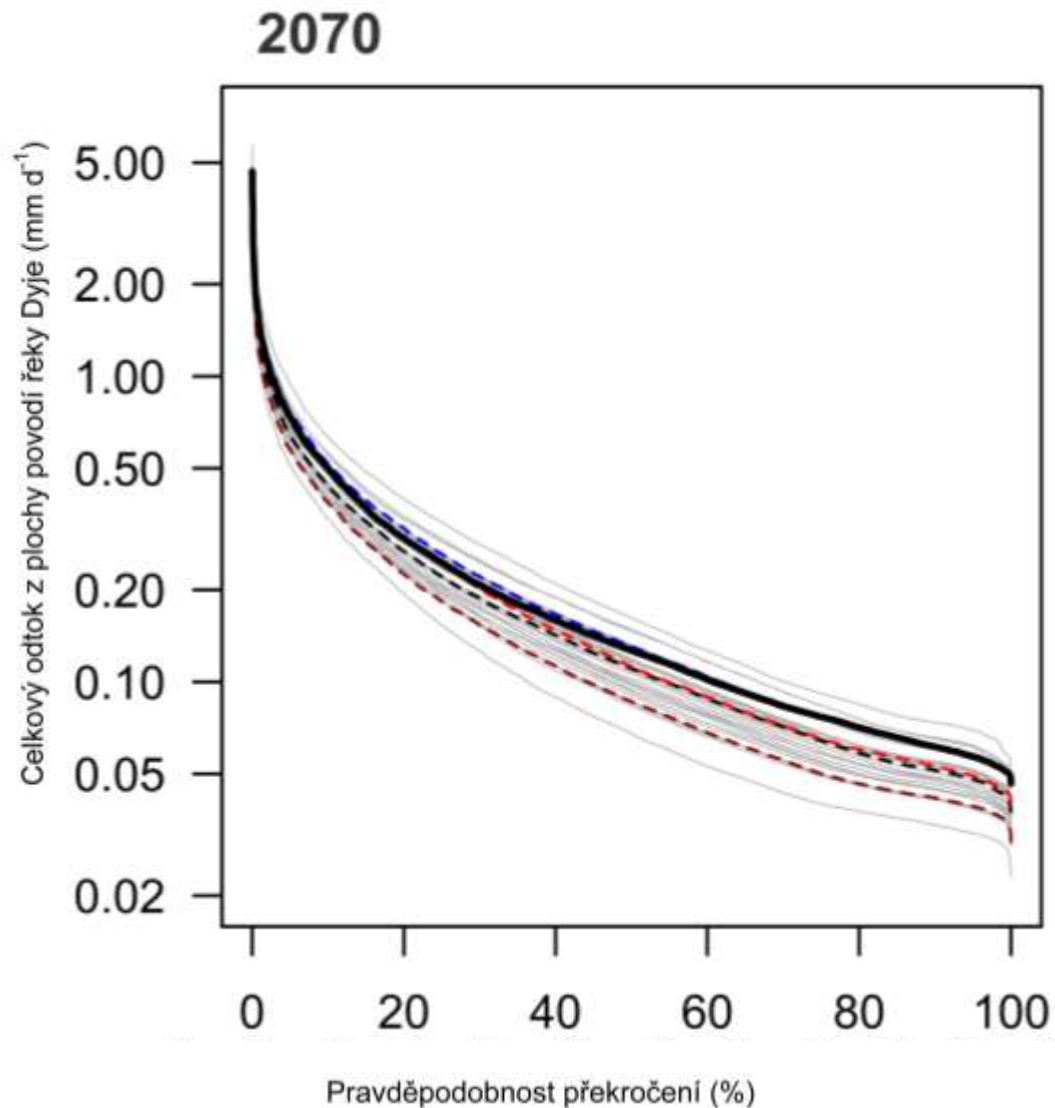
Validace je při dobrých datech poměrně úspěšná

Vodoměrná stanice: 4410

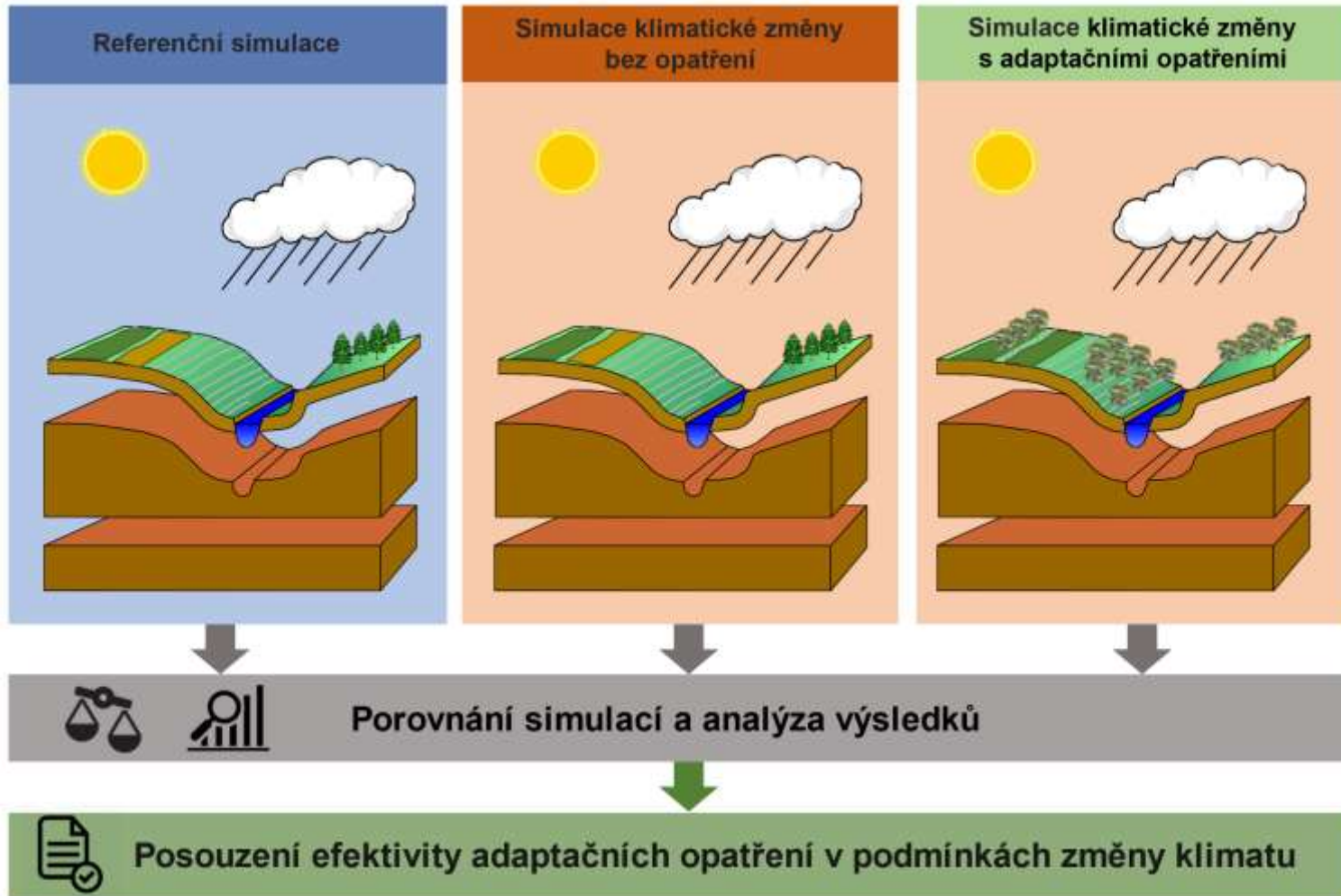
$KGE_m = 0.89$, $\alpha_m = 0.98$, $\beta_m = 0.92$, $r_m = 0.93$



*S kalibrovaným
modelem lze tak
testovat dopady změny
klimatu...*

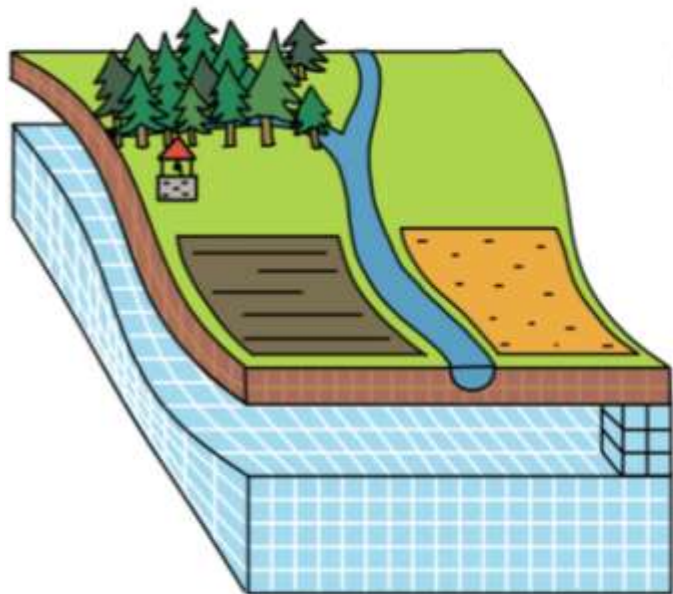


Digitální dvojče povodí umožňuje: testování „nekonečné“ řady adaptačních opatření

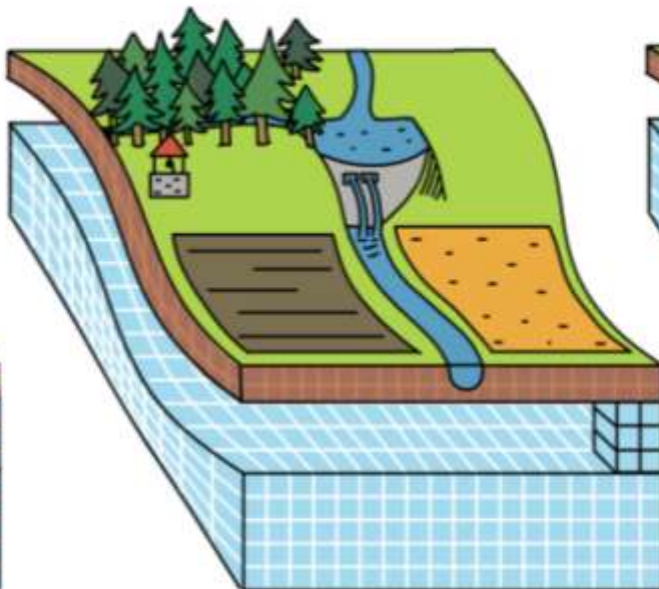


Kvantifikaci jednotlivých opatření a jejich přínosů

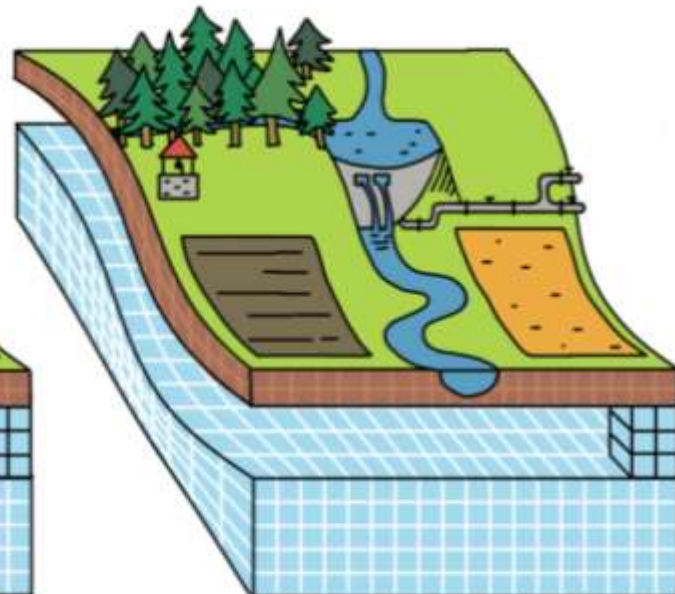
a) Referenční stav povodí



b) Jedno adaptační opatření v jednom segmentu

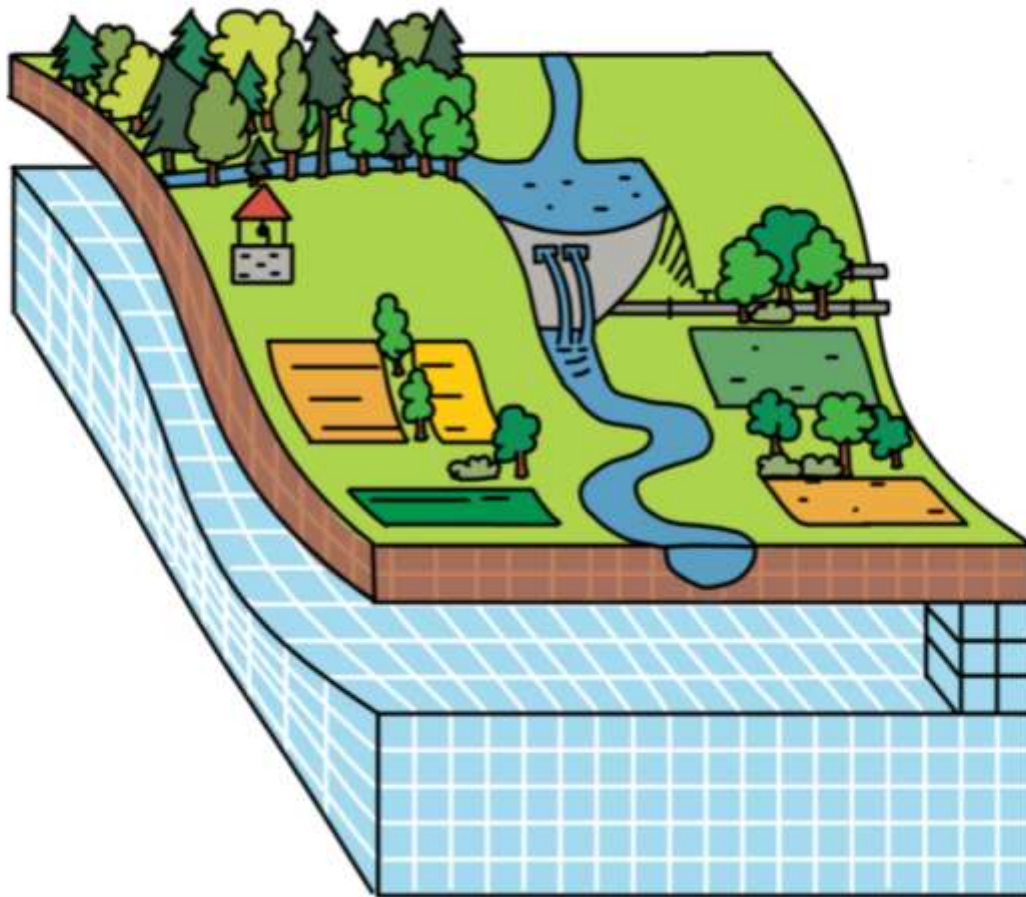


c) Více adaptačních opatření v jednom segmentu



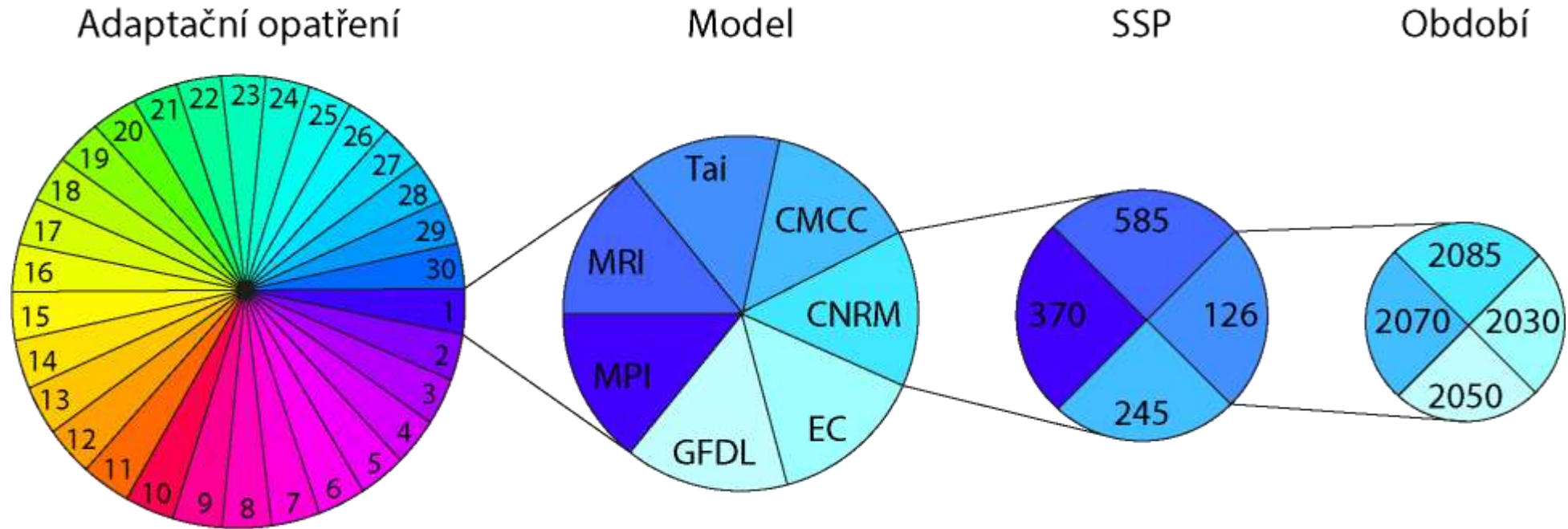
Odhadnout přínos jejich kombinací

d) Kombinace adaptačních opatření napříč segmenty



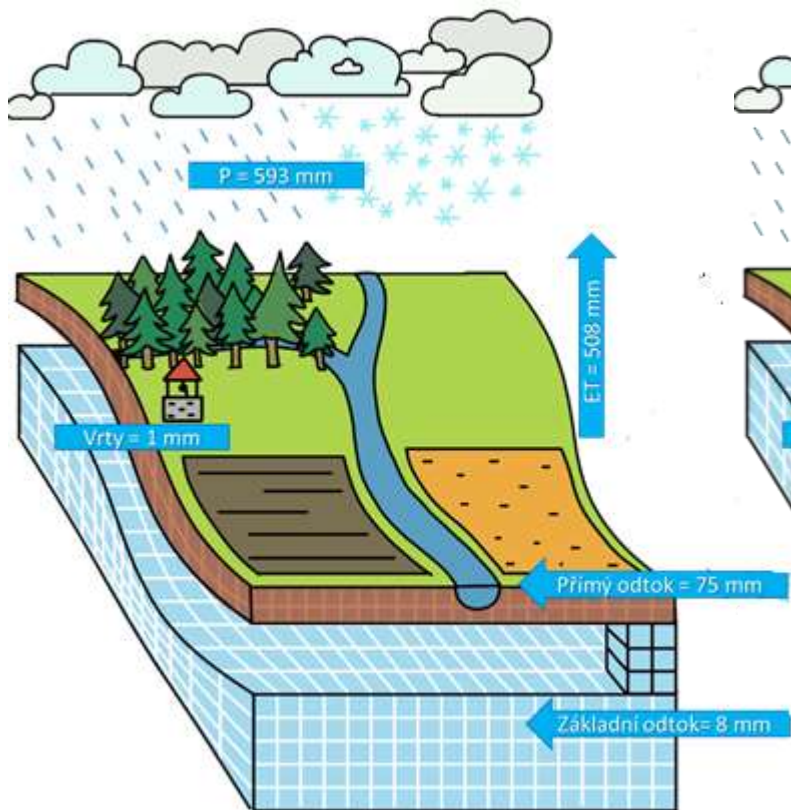
Možností je řada nicméně je nutný dostatečný výpočetní výkon....

- *Testovat lze technická opatření např. vodní nádrže, převody vody atd.*
- *A/NEBO přírodě blízká opatření*

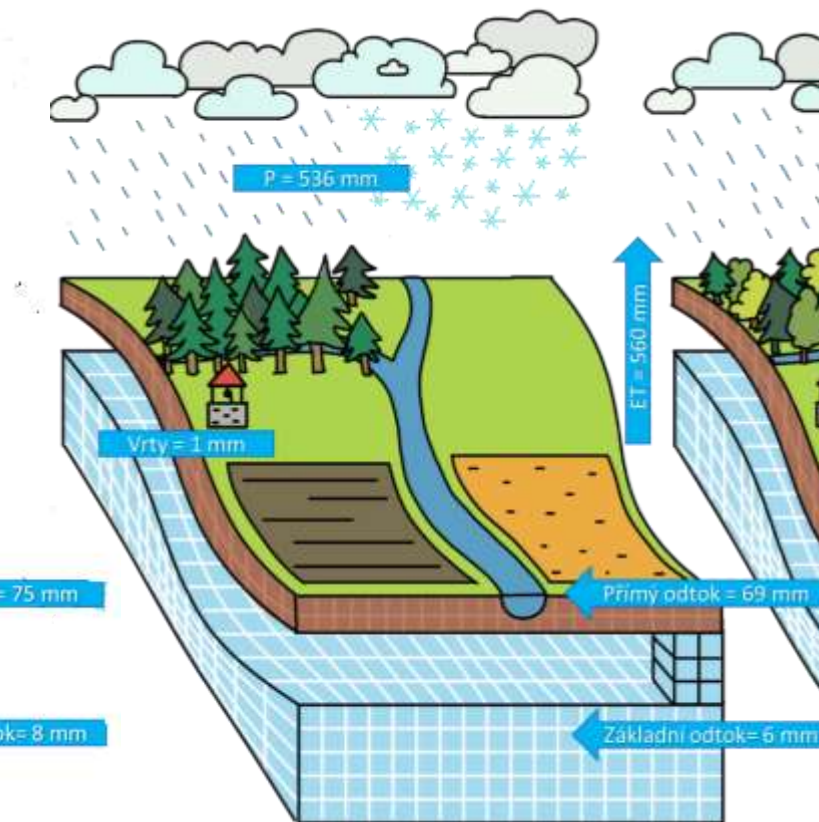


Ilustrace integrovaných výsledků...

1981-2010

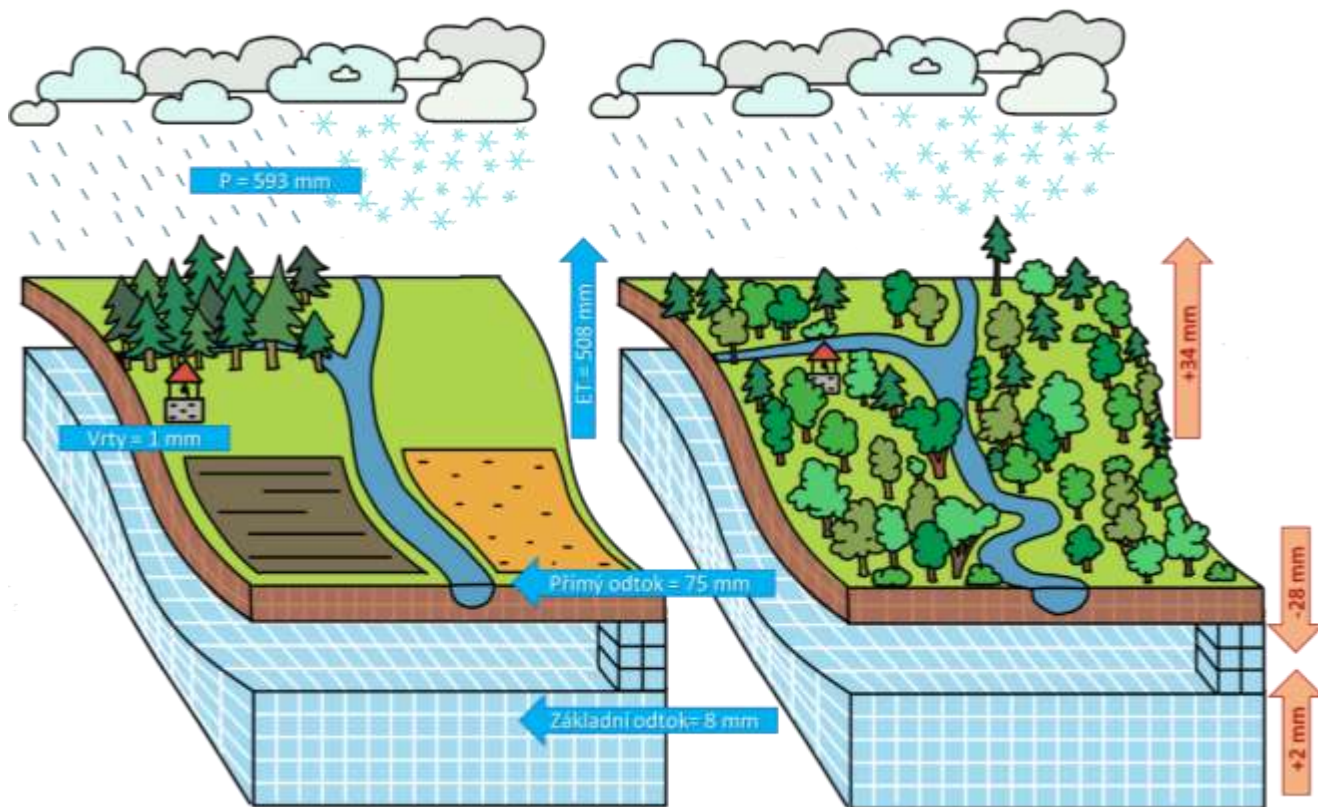


2050 – bez adaptace



Nástroj umožňuje testovat hypotetické scénáře

Koncept „Sámová říše“ – Komplexní sestava opatření reprezentující povodí bez antropogenních vlivů, ale s požadavky na vodu 21. století



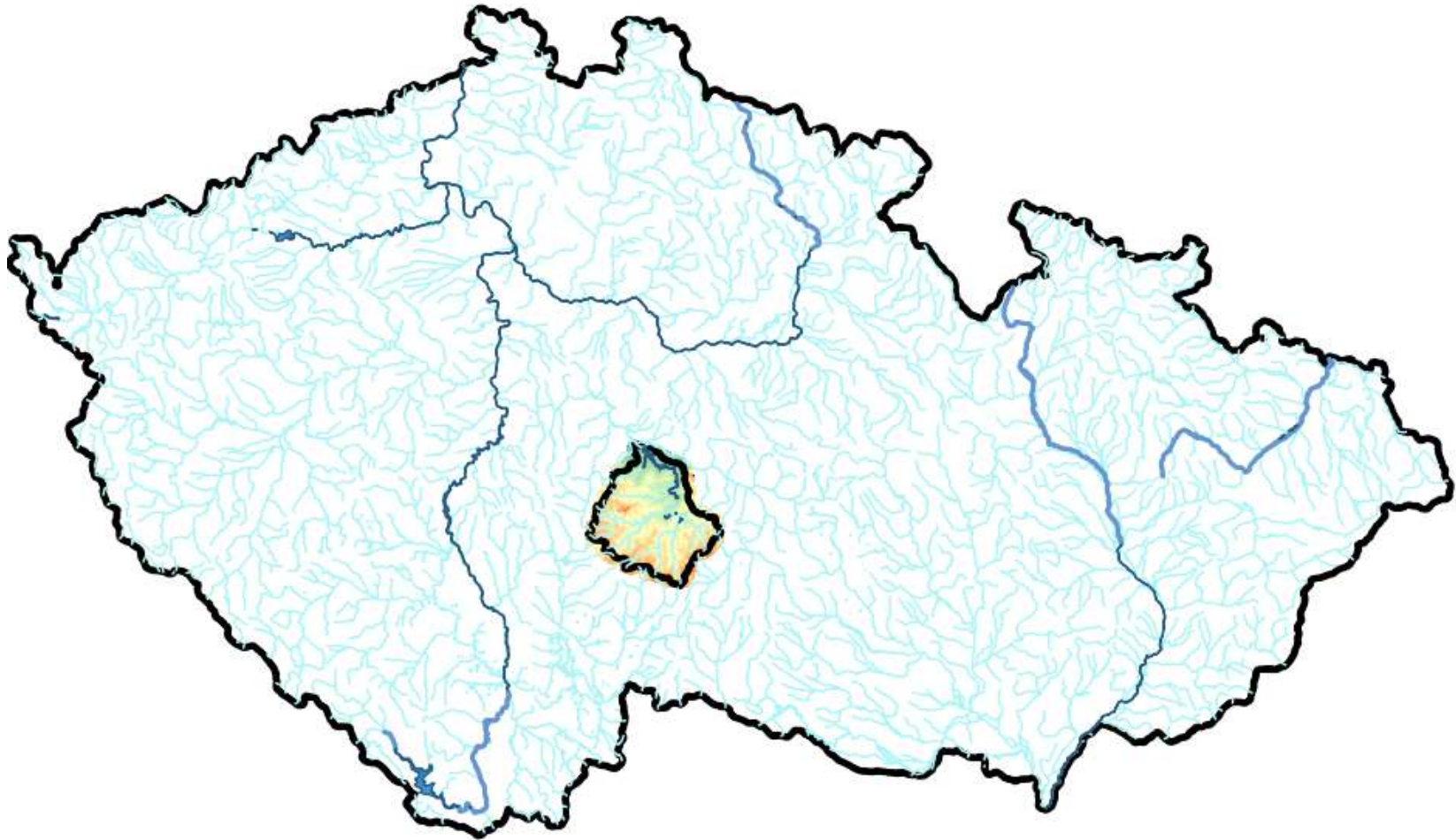
Nástroj ale umožňuje i podstatně detailnější analýzu



Byla vybrána nejdůležitější vodárenská nádrž v ČR – strategický projekt – pro CzechGlobe, TransAdapt ...a snad i ČR

- **Etapa A – 3D hydrologický model + 1D Hydrodynamický model**
- **Etapa B – WQ model v povodí – dvě úrovně schematizace**
- **Etapa C - 3D HD model nádrže**
- **Etapa D – WQ model nádrže**

Etapa A: Hydrologický model Želivky – MIKE SHE+MIKE HYDRO – základní model je „postaven“ – TransAdapt je o jeho využití!



Generace odtoku z plochy

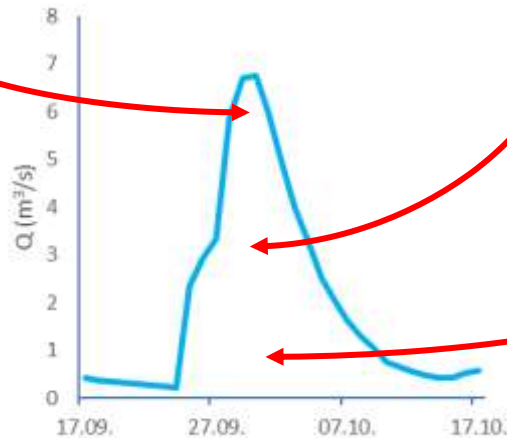
- Parametry jsou distribuovány podle místně specifických vlastností prostředí
- Distribuce parametrů ve 3D
- 3 vzájemně oboustranně propojené moduly
- Iterativní implicitní výpočet
- Odtok z plochy vstupuje do hydraulického říčního modelu, kde je dále transformován

Povrchový odtok



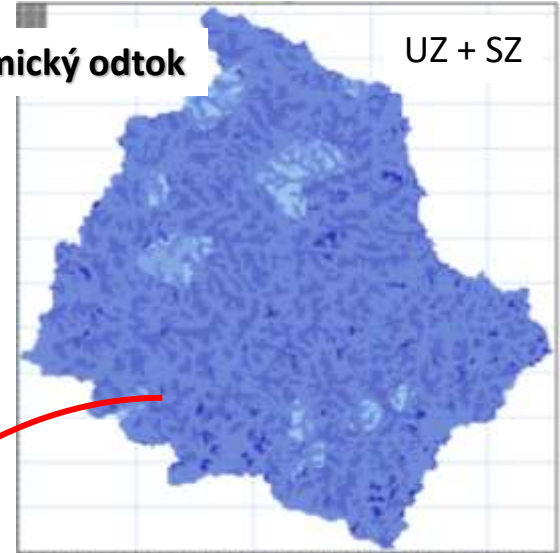
Podíl ploch s rychlým povrchovým odtokem

10% 30%

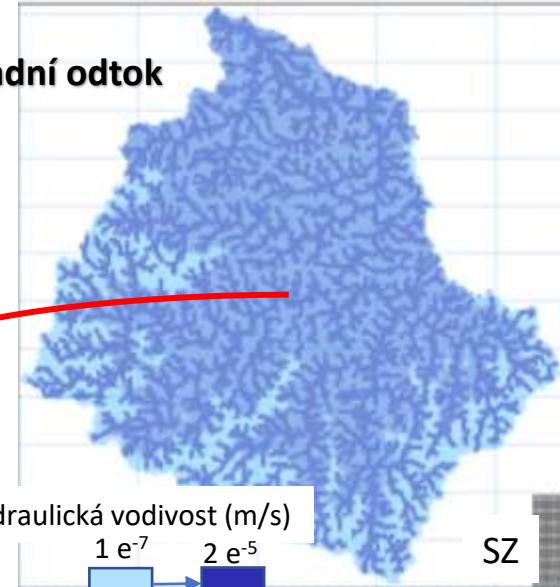


Hypodermický odtok

UZ + SZ



Základní odtok

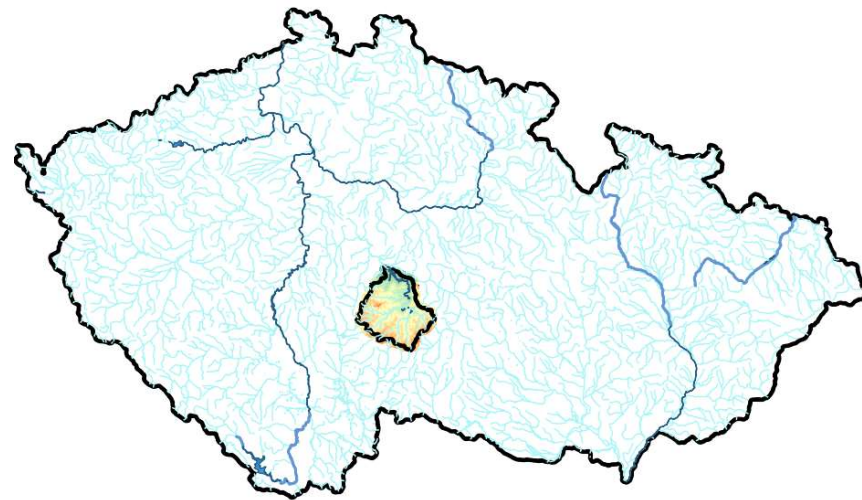


Hydraulická vodivost (m/s)

$1 \cdot 10^{-7}$ $2 \cdot 10^{-5}$

SZ

Kalibrace (období 2000-2010)

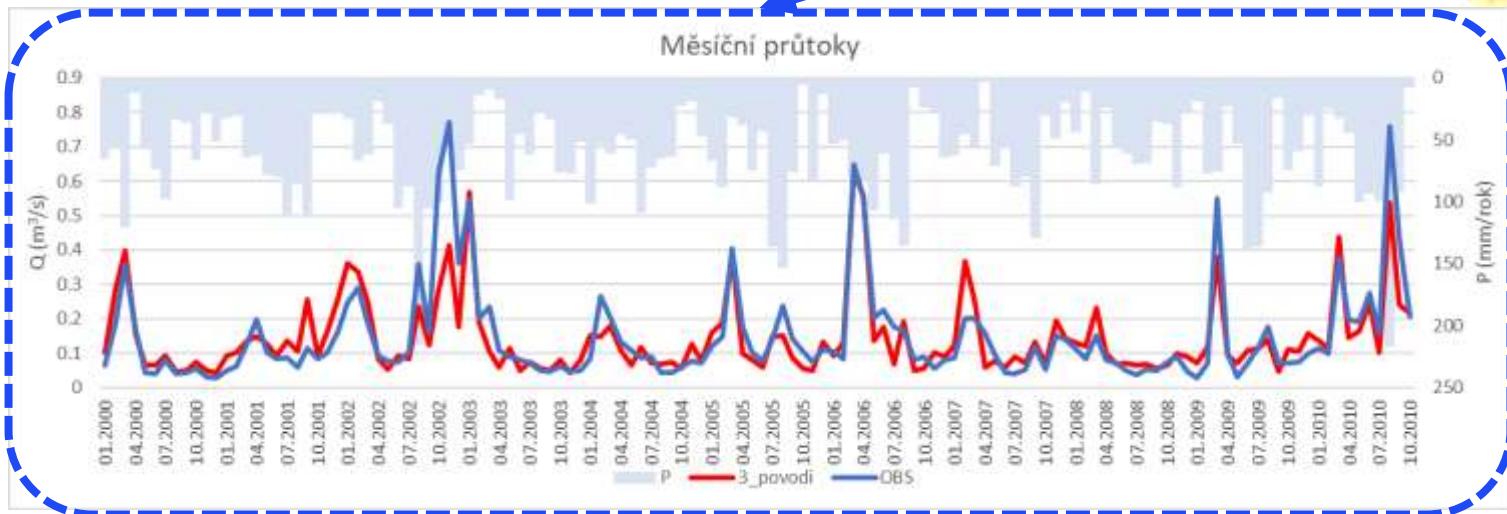


Kalibrace - srovnání průtoků:

19 vodoměrných stanic

Celková bilance + důraz na celé spektrum průtoků a roční chod

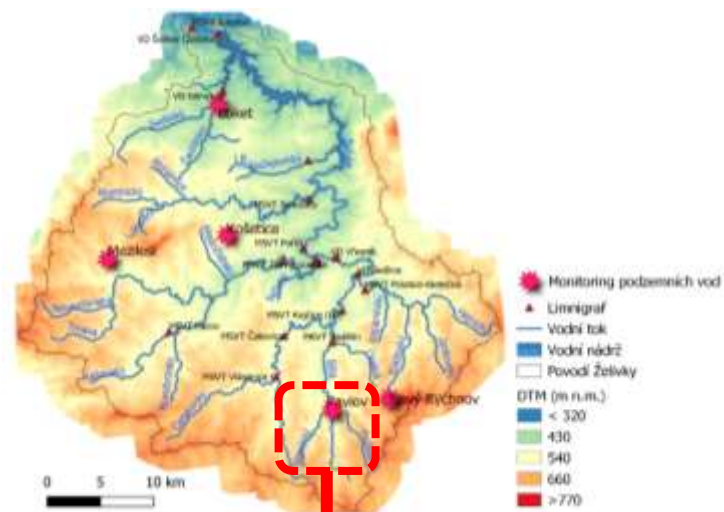
Příklad simulace průtoků na Blažejovickém potoce



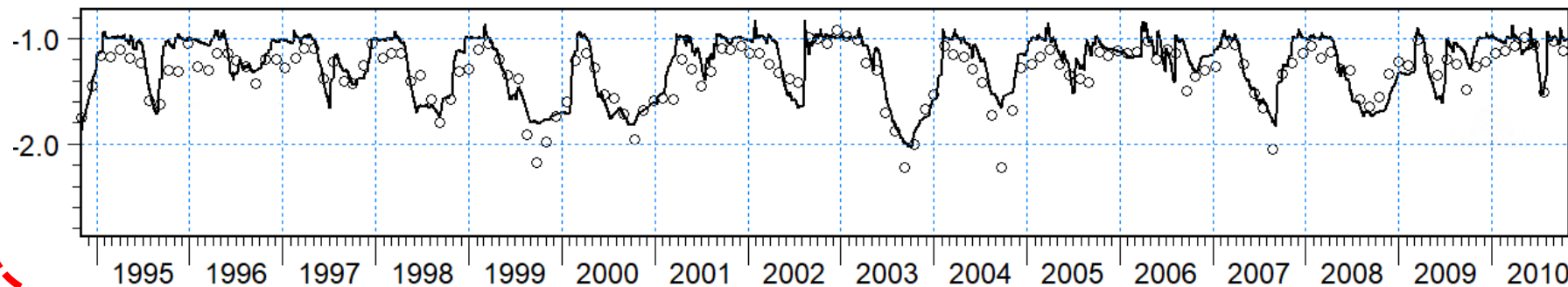
Kalibrace - srovnání hladiny podzemní vody:

Jediný vrt s kontinuálním měřením v kalibračním období (2000-2010)

Na horním toku Bělé



VP1311 [m] ○ ○
VP1311 [m] —



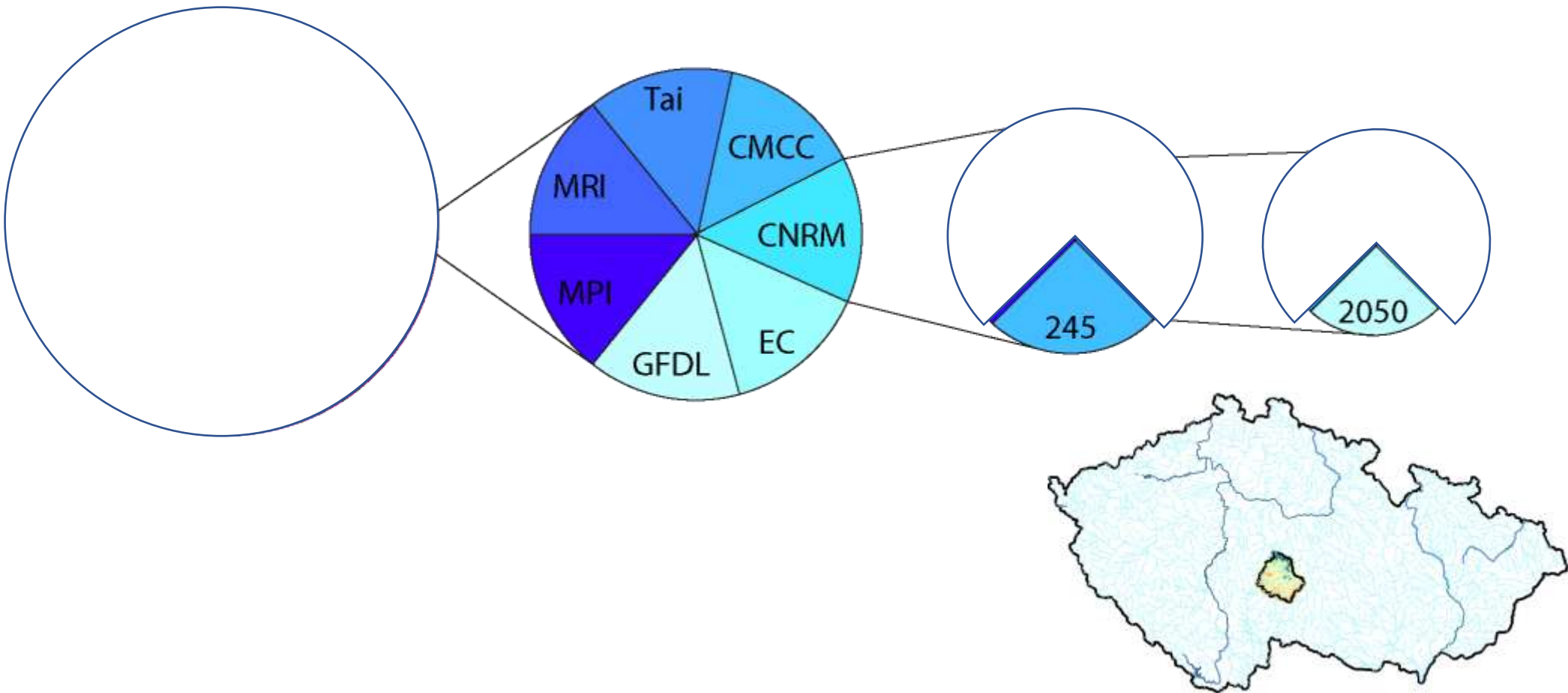
Etapa A: První iterace odhadů dopadů změny klimatu

Adaptační opatření

Model

SSP

Období



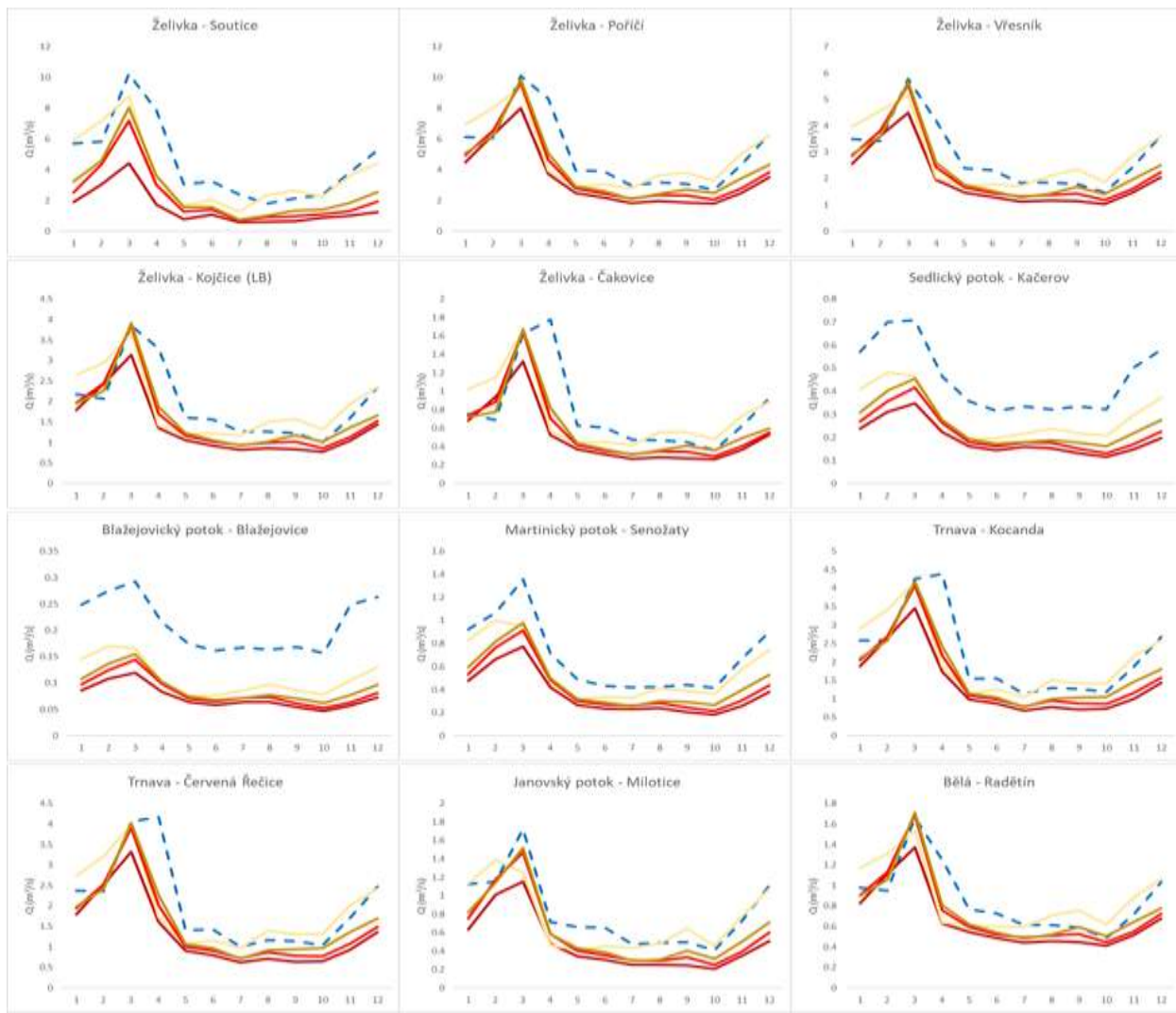
Etapa A: První iterace odhadů dopadů změny klimatu

- Z předběžných výsledků je patrné, že:
 - na všech profilech v povodí řeky Želivky dojde ke zmenšení odtoků
 - největší pokles je možné očekávat na menších tocích v západní části povodí
 - Lze očekávat spíše malou změnu srážek
 - Významný nárůst aktuální evapotranspirace, největší ztrátové položky vodní bilance v povodí řeky Želivky (+ 19 %)
 - Snížení odtoků
 - povrchový + hypodermický odtok o 42 %
 - základní odtok o 20 %

Hodnoty se budou měnit s novými pokročilejšími verzemi modelu, lze však předpokládat, že zobrazený trend bude podobný.

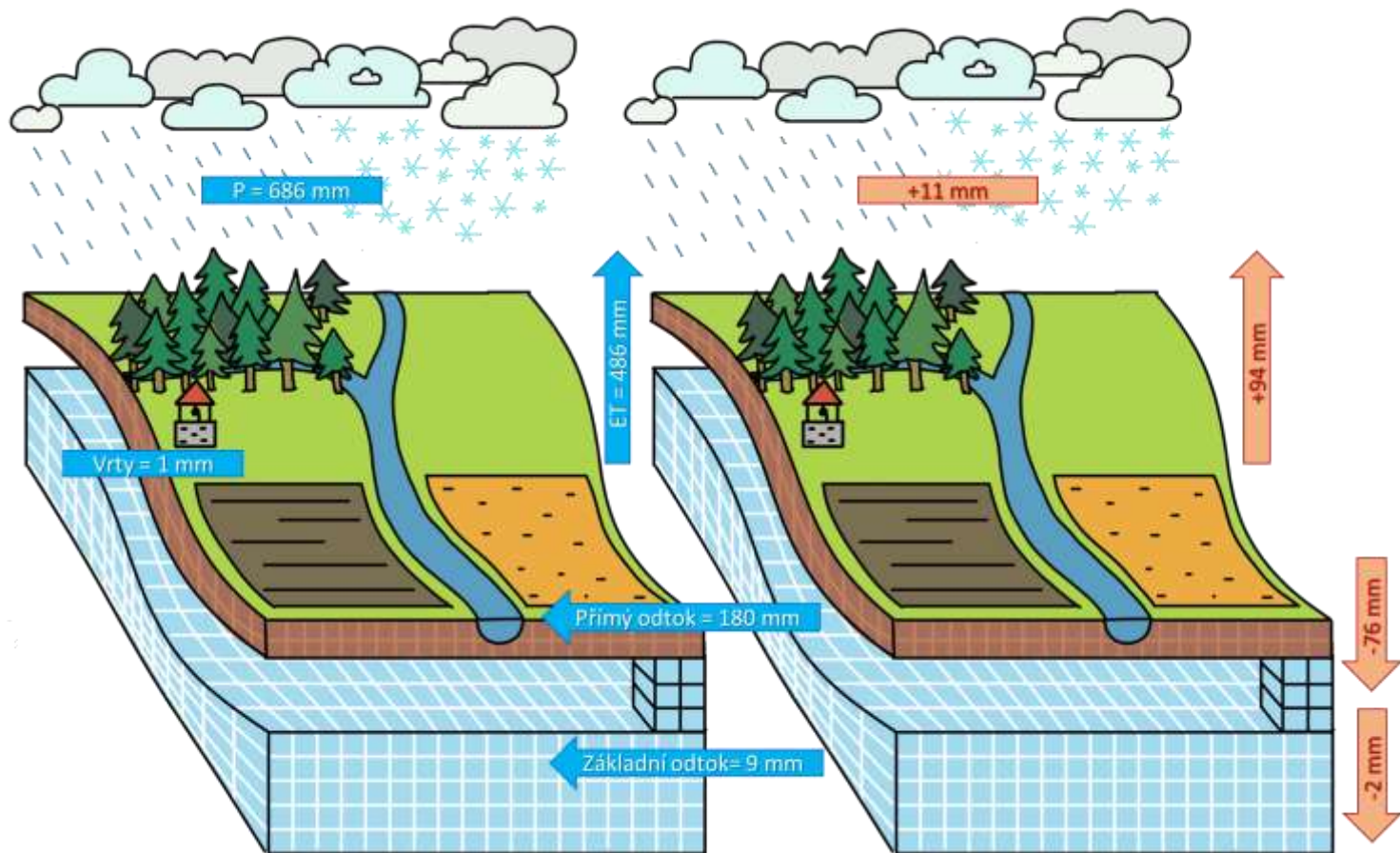
První předběžné výsledky - průtoky

Srovnání průměrného měsíčního průtoku (ze simulované 30ti-leté řady). Výsledky simulací GCM modelů pro emisní scénář SSP 245, perioda 2050 jsou zobrazeny plnou čarou v červené škále. Modrou přerušovanou linií je vyobrazen výsledek simulace referenčního období (1981-2010)



První předběžné výsledky – výsledná bilance

Vlevo je celková bilance v třicetiletém referenčním období (1981-2010) a vpravo je změna v budoucím scénáři v třicetiletém období okolo roku 2050, emisní scénář SSP245, GCM model EC-EARTH (spíše „sušší“ model)



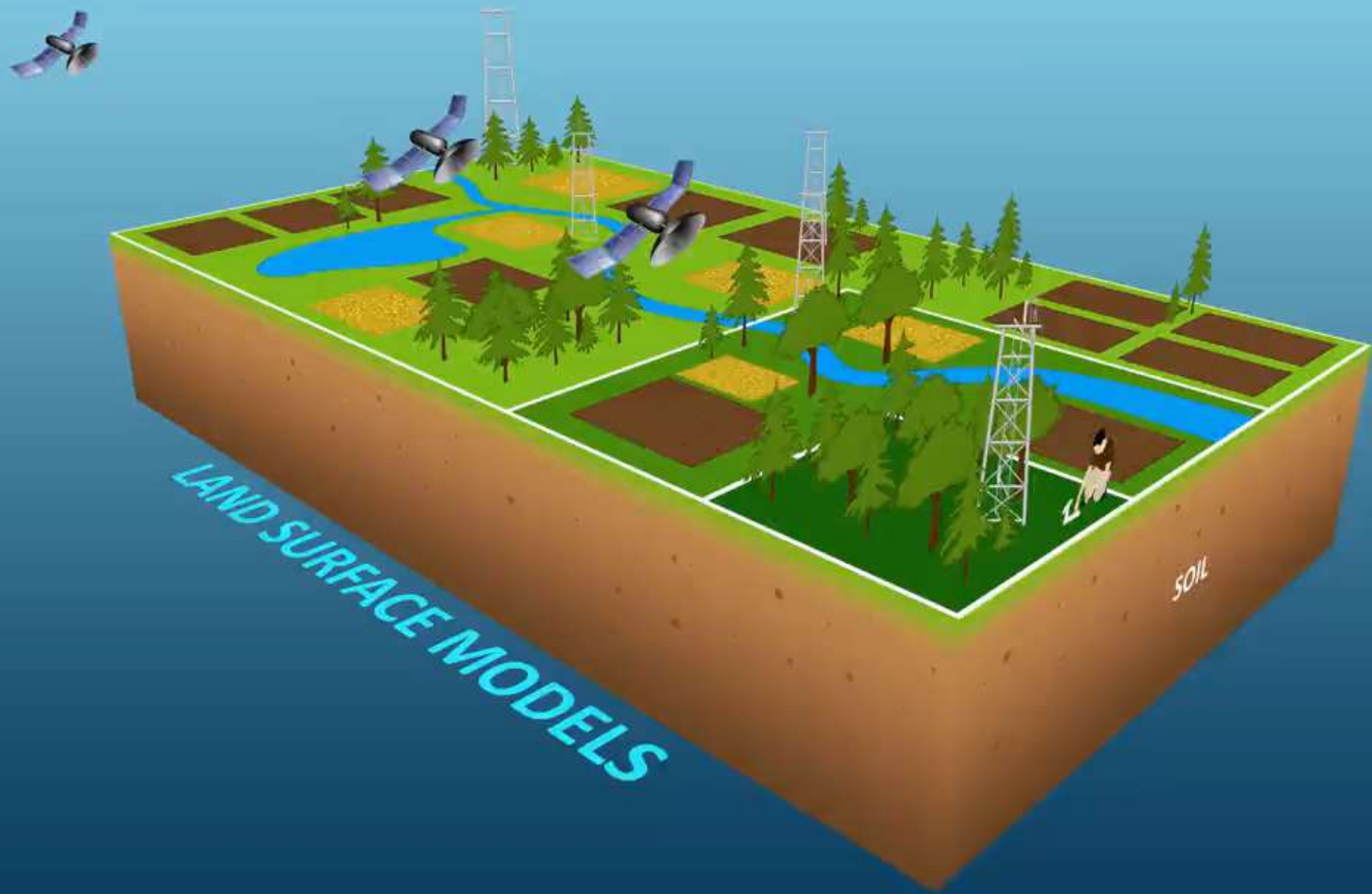
Česká vize? Nový projekt - AdAgriF

Flexibilní uhlíkový managementu s aktivními zemědělci a lesníky!
vs. Futuristická (ale také možná) řešení....

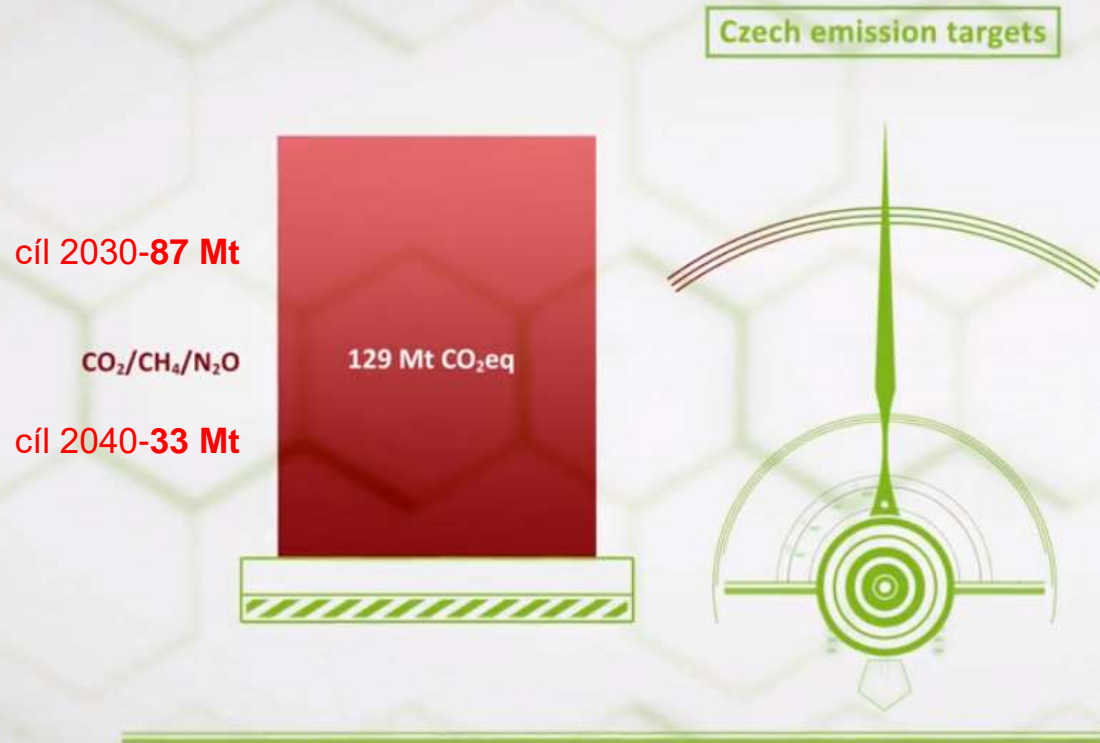
FluxPRISM - understanding GHG fluxes

FLUXPRISM WILL MAKE FLEXIBLE MANAGEMENT BASED ON WEATHER FORECAST POSSIBLE





AdAgriF se zaměřuje na nevyužitý potenciál mitigace v zemědělství a lesnictví



Nejsou snadná řešení, ale stále máme reálné možnosti



ZA AUTORSKÝ KOLEKTIV VÁM DĚKUJI ZA POZORNOST

Miroslav Trnka, Jáchym Brzezina, Dalibor Janouš, Ulf Büntgen, Petr Hlavinka, Daniela Semerádová, Milan Fischer, Jan Balek, Zdeněk Žalud, Lenka Bartošová, Eva Pohanková, Matěj Orság, Gabi Pozníková, Emil Cienciala, Monika Bláhová, Lucie Kudláčková, Martin Dubrovský, Petr Štěpánek, Pavel Zahradníček, Rudolf Brázdil, Petr Dobrovolný, Franta Jurečka, Marcela Hlaváčová, Evžen Zeman, Petr Skalák, Jan Bernsteinová, Joergen Olesen, Helena Kahiuloto, Janne Kaseva, Christian Kersebaum, Jan Esper, Emil Cienciala, Jana Beranová, Jan Albert, Josef Eitziner, Herbert Formayer, Mark Svoboda, Mike Hayes, Martin Hanel, Adam Vizina, Martin Možný, Lenka Hájková, Andreas Schaumberger, David Kopecký, a další...



A DĚKUJI I
KOLEGŮM
Z DHI ZA
DLOUHODOBO
U SMLUVNÍ
SPOLUPRÁCI
NA TOMTO
PROJEKTU