VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

Číslo úkolu: 3702.03

ČINNOSTI K PODPOŘE VÝKONU STÁTNÍ SPRÁVY V PROBLEMATICE SUCHO V ROCE 2016 – ÚKOL 3702

HYDROLOGICKÁ BILANCE MNOŽSTVÍ VODY V CELOSTÁTNÍ ÚROVNI PODROBNOSTI V DOBĚ SUCHA

Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí
Praha, prosinec 2016

Číslo výtisku:1
počet stran 105, příloh VI

Název a sídlo organizace:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ředitel:

Mgr. Mark Rieder

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí
Vršovická 65, 100 10 Praha 10

Zástupce zadavatele:

Ing. Tereza Davidová, Ph.D.

Zahájení a ukončení úkolu:

09/2016-12/2016

Místo uložení zprávy:

VÚV TGM, v.v.i., Praha

Náměstek ředitele pro výzkumnou a odbornou činnost:

Ing. Petr Bouška, Ph.D.

Vedoucí odboru:

Ing. Anna Hrabánková

Hlavní řešitel:

Ing. Adam Vizina, Ph.D.

Spoluřešitelé:

Ing. Radek Vlnas

Doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Ing. Adam Beran

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

Obsah

Souhrn 6
Anotace 6
Hlavní výsledky DÚ 03 6
Výsledky z DÚ 03 do návrhu Koncepce 7
Nejistoty řešení 7
Východiska řešení a zdrojové podklady 8
1 Modelování hydrologické bilance 9
1.1 Hydrologická bilance za období 1981-2015 9
1.2 Statistické vyhodnocení trendu jednotlivých veličin 18
1.3 Hydrologická bilance v roce 2003 a 2015 21
1.4 Modelování změny klimatu na vodní režim 27
1.2.1 SCÉNÁŘE KONCENTRACÍ RCP 27
2 Modelování dostupných vodních zdrojů 29
2.1 Vodohospodářské modelování 29
2.2 Deficitní objemy v roce 2015 30
2.3 Disponibilní zdroje vody 33
ZÁVĚR 36
LITERATURA 37
PŘÍLOHY 38
Příloha I - Pojmy 38
Příloha II – Mapy odtoků – Rok 39
Příloha III – Mapy odtoků – Měsíc 57
Příloha IV – Mapy poměru odtoků - Rok 93
Příloha VI – Mapa nádrží a jejich objemy 111
Příloha VI – Klimatická změna a dostupnost vodních zdrojů (2021-2040, 2041-2060 a 2081-2100) 112

Seznam obrázků

Obrázek 1 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů 7
Obrázek 2 Schéma modelu Bilan 9
Obrázek 3 Schéma modelu Bilan se zahrnutím užívání vody 10
Obrázek 4 Mapa řešené oblasti s rozdělením jednotlivých mezipovodí 10
Obrázek 5 Průměrný roční odtok za období 1981-2015 v mm 11
Obrázek 6 Průměrný odtokový součinitel za období 1981-2015 11
Obrázek 7 Relativní změna odtoku za rok 2015 k/ke referenčnímu období 1981-2015 12
Obrázek 8 Absolutní hodnoty odtokových výšek v mm za rok 2015 13
Obrázek 9 Změna zásoby vody ve sněhu v roce 2015 k období 1981-2015 (hodnoty jsou v mm) ... 13
Obrázek 10 Průměrné měsíční odtoky pro řešené období 1981-2015 na území České republiky ... 14
Obrázek 11 Průměrné srážkové úhrny pro řešené období 1981-2015 na území České republiky ... 15
Obrázek 12 Průměrné měsíční teploty vzduchu pro řešené období 1981-2015 na území České republiky 16
Obrázek 13 Průměrný měsíční odtokový součinitel pro řešené období 1981-2015 na území České republiky 17
Obrázek 14 Posouzení významnosti trendů pro evapotranspiraci, srážkové úhrny a teploty vzduchu 19
Obrázek 15 Posouzení významnosti trendů pro zásoby vody, základní odtok a celkový odtok 20
Obrázek 16 Změna zásoba vody ve sněhu v roce 2003 21
Obrázek 17 Relativní změna odtokových výšek v roce 2003 21
Obrázek 18 Odtokové výšky pro jednotlivé měsíce v roce 2003 22
Obrázek 19 Relativní změna odtokových výšek v roce 2003 pro jednotlivé měsíce 23
Obrázek 20 Změna zásoba vody ve sněhu v roce 2015 24
Obrázek 21 Relativní změna odtokových výšek v roce 2015 24
Obrázek 22 Odtokové výšky pro jednotlivé měsíce v roce 2015 25
Obrázek 23 Relativní změna odtokových výšek v roce 2015 pro jednotlivé měsíce 26
Obrázek 24 Schéma hodnocení vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny 27
Obrázek 25 Porovnání koncentrací CO2 [ppm] dle emisních a RCP 28
Obrázek 26 Reprezentativní vývoj koncentrací 28
Obrázek 27 Průměrné užívání vody pro jednotlivá mezipovodí v jednotlivých měsících (průměrné hodnoty za roky 2003, 2009 a 2015) 30
Obrázek 28 Deficitní objemy pro jednotlivé měsíce ve variantě mezipovodí pro rok 2015 (v tis. m3/měsíc) 31
Obrázek 29 Deficitní objemy pro jednotlivé měsíce ve variantě soustava pro rok 2015 (v tis. m3/měsíc) 32

Obrázek 30 Deficitní objemy pro měsíc září ve variantě soustava pro rok 2015 (v tis. m3/měsíc) .. 32

Obrázek 31 Disponibilní vodní zdroje pro variantu MEZI (nahoře - medián, vlevo – 5 ti leté sucho, vpravo 10 ti leté sucho) 33

Obrázek 32 Disponibilní vodní zdroje pro variantu soustava (nahoře - medián, dole vlevo - 5 ti leté sucho, vpravo 10 ti leté sucho)..... 34

Obrázek 33 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu MEZI a časový horizont 2081-2100 35

Obrázek 34 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu SOUST a časový horizont 2081-2100 35

Obrázek 35 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu MEZI a RCP 4.5 (3 časové horizonty) 35

Obrázek 36 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu SOUST a RCP 4.5 (3 časové horizonty) 35

Souhrn

ANOTACE

Dílčí úkol „Hydrologická bilance množství vody v celostátní úrovni podrobnosti v době sucha“ byl dle zadání řešen v následujících okruzích:

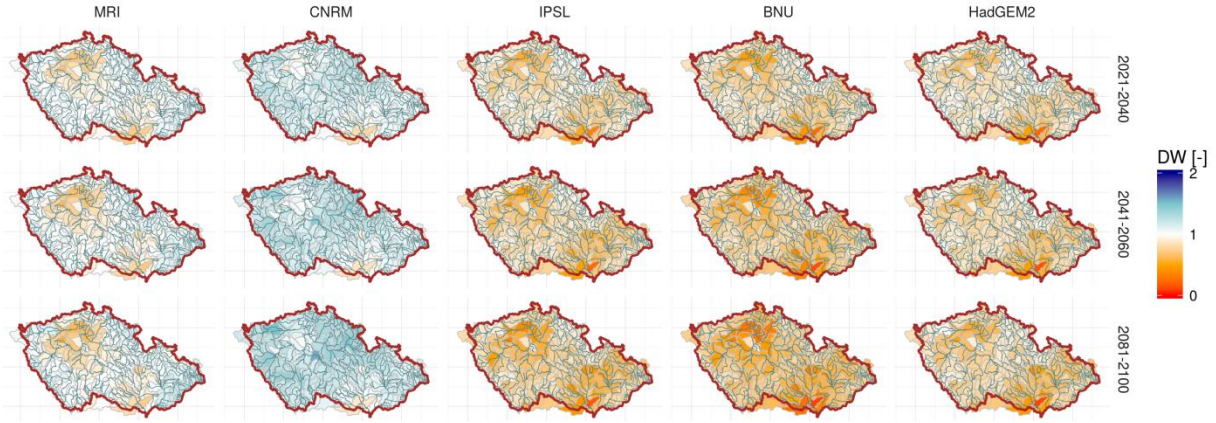
- Sběr odborných podkladů
- Hydrologická bilance na úrovni ČR v podmínkách ovlivněných změnou klimatu, pro přirozené i ovlivněné průtoky
- Zpracování závěrů a doporučení
- Definování neznalostí a nejistot stávající úrovně řešení
- Aplikace stanovených postupů na pilotní povodí, doporučení pro připravované realizace

HLAVNÍ VÝSLEDKY DÚ 03

Hlavními výsledky jsou 4 mapy s tematickým obsahem:

- Název: **Hydrologická bilance pro současné podmínky**
  - Popis: V rámci sady 133 (mezi-)povodí byla vypočtena hydrologická bilance za období 1981-2015 pro přirozené podmínky a pro ovlivněné průtoky užíváním (tzn., jsou zahrnuty odběry povrchové i podzemní vody a vypouštění)
  - Místo uložení: VÚV TGM v.v.i., Praha
  - Způsob využití: Podklad pro návrh opatření na zmírnění dopadů sucha, MŽP
- Název: **Hydrologická bilance pro výhledové podmínky**
  - Popis: V rámci sady 133 (mezi-)povodí byla vypočtena hydrologická bilance za období 2021-2040, 2041-2060 a 2081-2100 pro přirozené podmínky a pro ovlivněné průtoky užíváním (tzn., jsou zahrnuty odběry povrchové i podzemní vody a vypouštění – hodnoty za rok 2015)
  - Místo uložení: VÚV TGM v.v.i., Praha
  - Způsob využití: Podklad pro návrh opatření na zmírnění dopadů sucha, MŽP
- Název: **Propagace hydrologického sucha**
  - Popis: V rámci sady 133 (mezi-)povodí byly vyhodnoceny nedostatkové objemy v jednotlivých měsících za období 1981-2015. Tyto hodnoty jsou pro dané roky a měsíce zobrazeny na mapovém podkladu
  - Místo uložení: VÚV TGM v.v.i., Praha
  - Způsob využití: Podklad pro návrh opatření na zmírnění dopadů sucha, MŽP
- Název: **Disponibilní vodní zdroje pro současné a výhledové podmínky**
  - Popis: V rámci sady 133 (mezi-)povodí byly vypočteny disponibilní vodní zdroje, které byly stanoveny nad hodnotou minimálního zůstatkového průtoku daného mezipovodí. Pro simulaci se též uvažovalo se zásobními objemy 180 nejvýznamnějších nádrží.
  - Místo uložení: VÚV TGM v.v.i., Praha
  - Způsob využití: Podklad pro návrh opatření na zmírnění dopadů sucha, MŽP

V rámci úkolu proběhla kalibrace hydrologického modelu Bilan pro 133 mezipovodí, které pokrývají celou Českou republiku. Model Bilan byl pro tyto účely upraven tak, aby jej bylo možné kalibrovat i na jednotlivé charakteristiky odtoku, jako je průměr, minima atd. Dále byl proveden sběr odborných podkladů, které se danou problematikou zabývají. Ukázka mapového výstupu je zobrazena na **Obrázek 1**, kde jsou zobrazeny relativní změny (výhled ku současnosti) disponibilních vodních zdrojů pro výhledová období.



Obrázek 1 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů

Dílčím výstupem úkolu je formulování obecných závěrů a doporučení, které se zabývají hodnocením hydrologické bilance pro současné a podmínky ovlivněné změnou klimatu. Závěrečná zpráva též obsahuje doporučení pro hodnocení hydrologické bilance v období sucha. Dále uvádíme bodově zmíněné obecné závěry a doporučení:

1. Vyhodnotit **hydrologickou a vodohospodářskou bilanci v denním kroku** na území ČR, stanovit metodiku pro hodnocení bilance v denním kroku
2. Zpracovat **hydrologickou bilanci pro** jednotlivé **vodní útvary**
3. Vytvoření propojeného modelu hodnotícího hydrologickou, vodohospodářskou bilance v online módu
4. Zpracování dlouhodobých syntetických řad pro vyhodnocení hydrologické bilance, u které by se daly stanovit dlouhodobé doby opakování

VÝSLEDKY Z DÚ 03 DO NÁVRHU KONCEPCE

Do návrhu Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky, bod 2.2.a.i je poskytnuta mapa hydrologické bilance za období 1981-2015 pro přirozené průtoky. Dále je přiložena mapa propagace sucha za celé období v měsíčním časovém kroku a mapy porovnání změn odtokových výšek v jednotlivých měsících za rok 2015 ku průměru odtoků za referenční období 1981-2015. Výsledky jsou také použity v návrhu, bod 2.2.b.i. a slouží jako analytický podklad ohledně definování hydrologického sucha pro celý návrh koncepce.

NEJISTOTY ŘEŠENÍ

V rámci řešení dílčího úkolu byly identifikovány následující nejistoty:

- neexistence vybraných prostorově distribuovaných hydrologických podkladů v potřebné podrobnosti (minimální a maximální odtoky, charakteristiky variability odtoku, vybrané

kvantily rozdělení odtoku, charakteristiky základního odtoku apod.) pro kalibraci hydrologického modelu BILAN na mezipovodí,

- malá podrobnost řešení, která hodnotí pouze velké územní celky, lokální problémy mohou zaniknout
- neexistence syntetických řad, dle kterých je možné simulovat delší doby opakování (tzn. kvantifikovat například 100 leté sucho)

VÝCHODISKA ŘEŠENÍ A ZDROJOVÉ PODKLADY

Pro řešení dílčího úkolu byly taktéž využity výstupy z následujících projektů:

- Kód projektu: GA16-16549S
  Název projektu: Půdní a hydrologické sucho v měnícím se klimatu
  Řešitel: Česká zemědělská univerzita v Praze, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.
  Doba řešení: 2016–2018
  Zadavatel: GA ČR
- Kód projektu: TA02020320
  Název projektu: Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu
  Řešitel: VÚV TGM, v.v.i., ČHMÚ, Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.
  Doba řešení: 2012–2014
  Zadavatel: TAČR
- Kód projektu: TA01020508
  Název projektu: Udržitelné využívání vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny
  Řešitel: VÚV TGM, v.v.i., Státní podniky povodí Labe, Ohře a Vltavy
  Doba řešení: 2013–2015
  Zadavatel: TAČR

1 Modelování hydrologické bilance

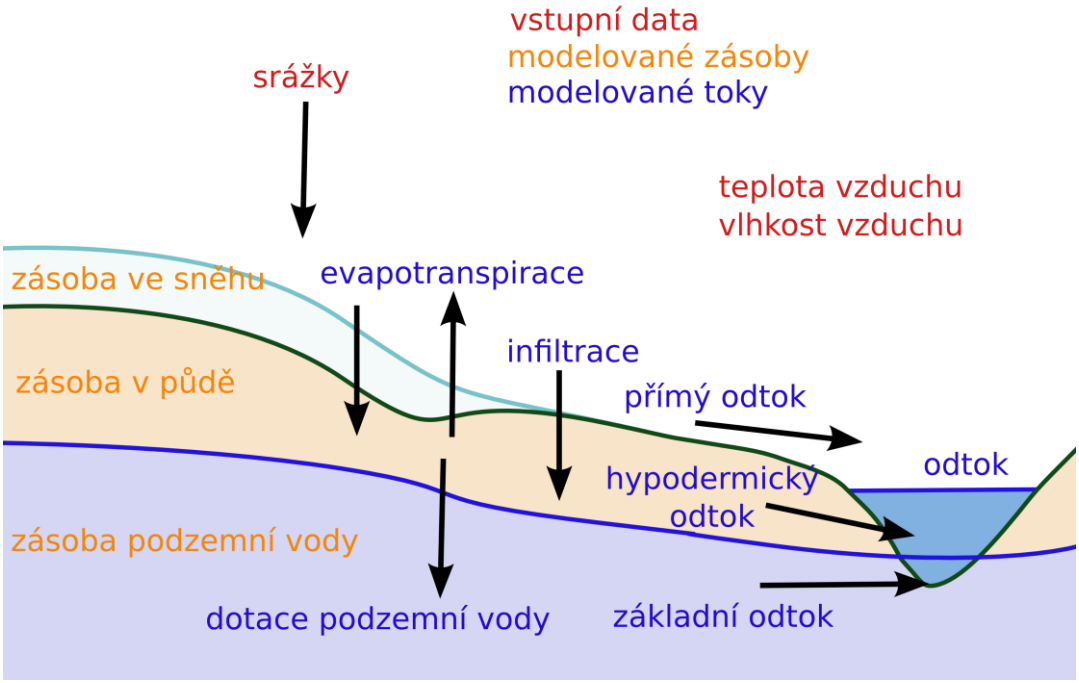
1.1 HYDROLOGICKÁ BILANCE ZA OBDOBÍ 1981-2015

Model Bilan je vyvíjen více jak 15 let na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok (např. Vizina a kol., 2015).

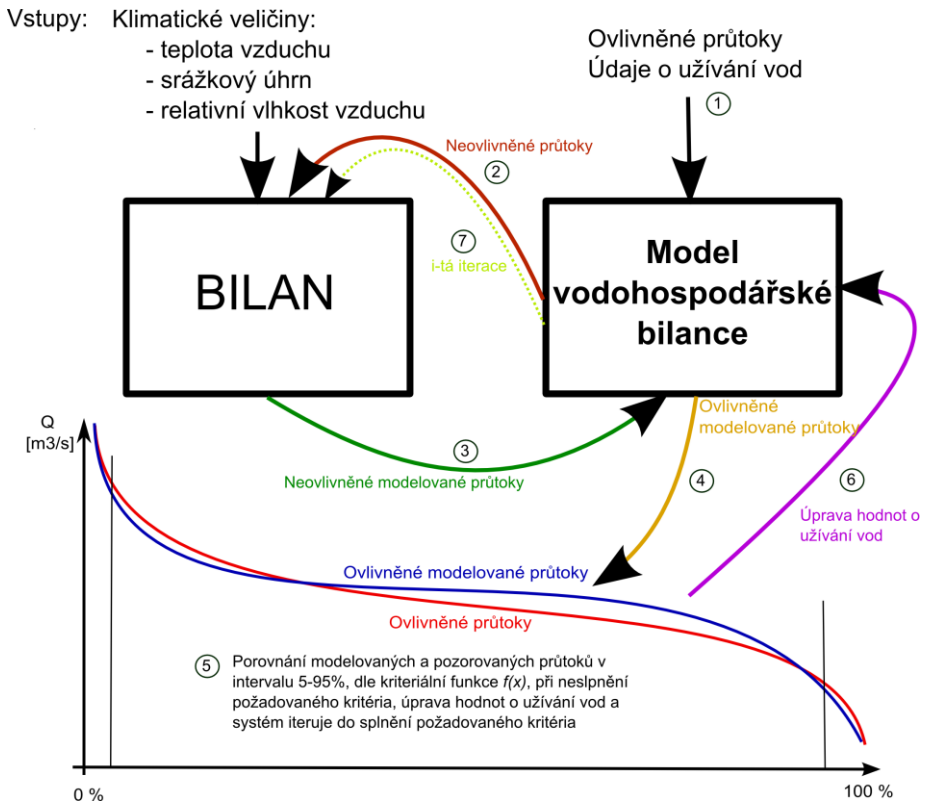
Vstupem do modelu jsou:

- srážkové úhrny [mm]
- průměrné teploty
- průměrná vlhkost vzduchu [%]
- pozorované odtokové výšky [mm]
- užívání vody [mm/měsíc]
- potenciální evapotranspirace [mm]

Schéma modelu Bilan je zobrazeno na **Obrázek 2** pro modelování přirozených (neovlivněných) průtoků a na **Obrázek 3** je zobrazeno schéma propojeného modelu Bilan, který zahrnuje užívání vody, tzn. hodnoty o podzemních i povrchových odběrech a vypouštění. Další výpočty byly provedeny v prostředí R (R Core team, 2015) a byly použity především balíky Bilan (TGM WRI, 2016) a WATERES (Horáček a Kožín, 2016).



Obrázek 2 Schéma modelu Bilan

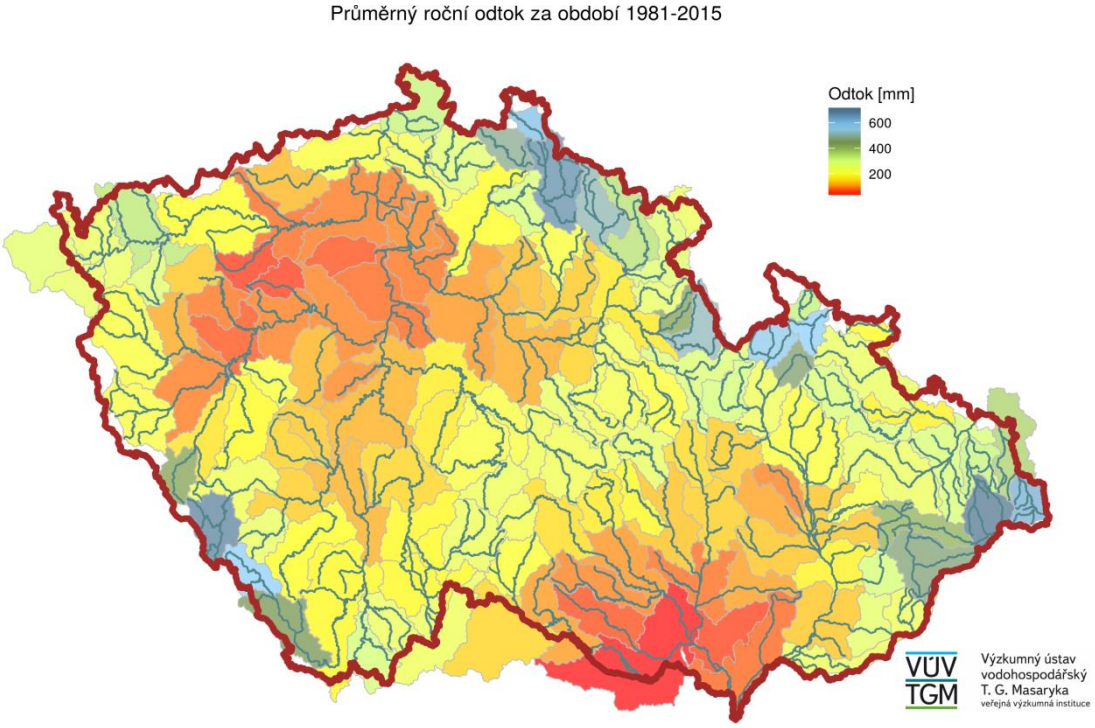


Obrázek 3 Schéma modelu Bilan se zahrnutím užívání vody

Hydrologická bilance byla modelována na sadě 133 mezipovodí, která pokrývají území celé České republiky. Rozmístění jednotlivých mezipovodí je možné vidět na **Obrázek 4**. Červená čísla jsou identifikátory jednotlivých mezipovodí, které převážně vycházejí z databázových čísel vodoměrných stanic, které se na daném území nacházejí, případně jsou závěrným profilem daného mezipovodí.

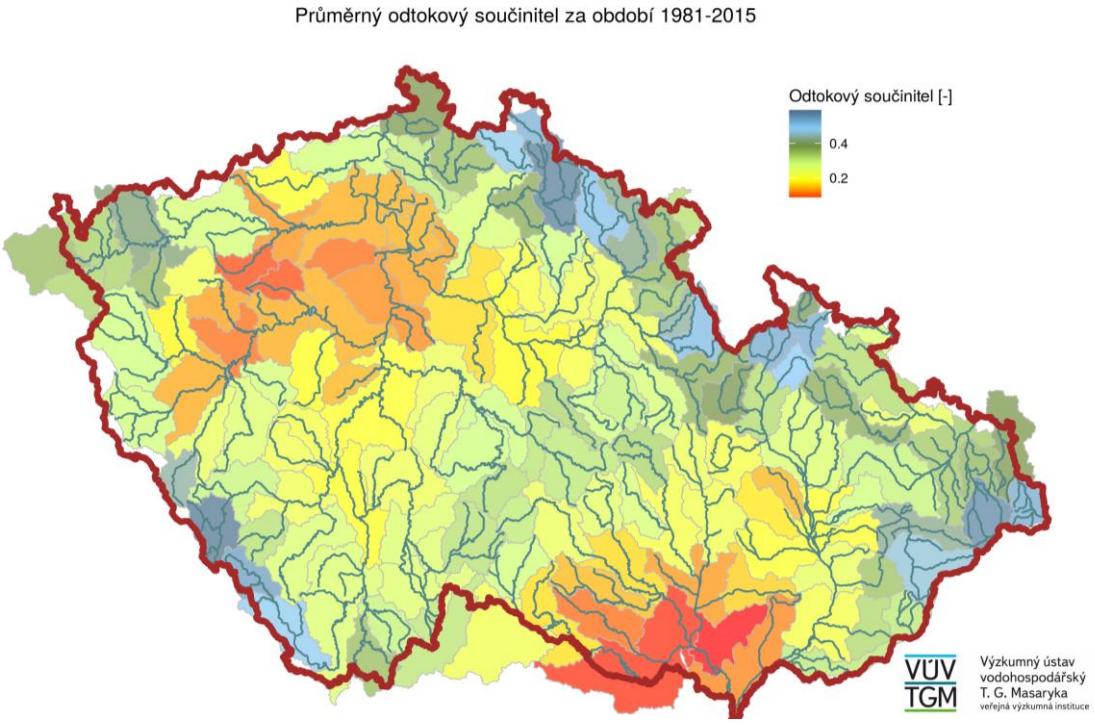
Obrázek 4 Mapa řešené oblasti s rozdělením jednotlivých mezipovodí

Průměrný roční odtok za období 1981-2015 je zobrazen na **Obrázek 5**. Lze vidět, že odtokové výšky se pro jednotlivá mezipovodí pohybují od desítek mm v suchých oblastech až po cca 700 mm pro mezipovodí nacházející se v oblastech horských.



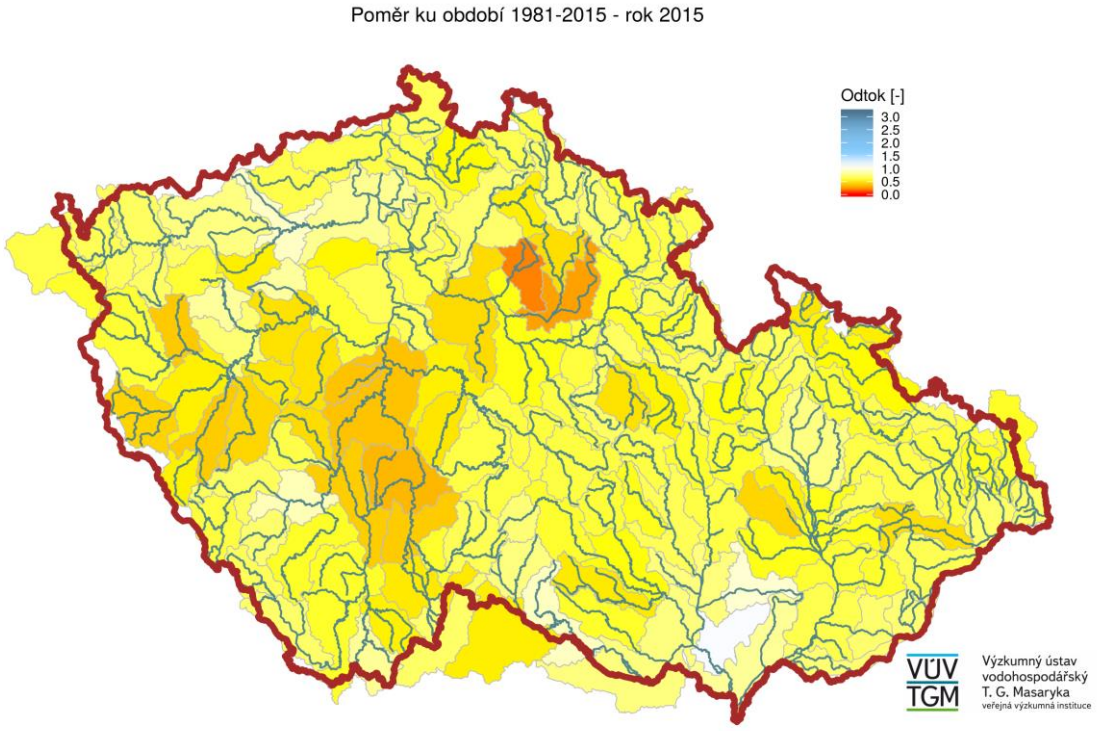
Obrázek 5 Průměrný roční odtok za období 1981-2015 v mm

Průměrný odtokový součinitel za zmíněné období nám ukazuje **Obrázek 6**. Jedná se o poměr odtokové výšky ke srážkovému úhrnu. Na základě tohoto součinitele můžeme jednoduše odvodit, že v tradičních deficitních oblastech se nacházejí i povodí s nízkým odtokovým součinitelem (tzn., že v těchto oblastech je malé množství vody, které je možné využít).



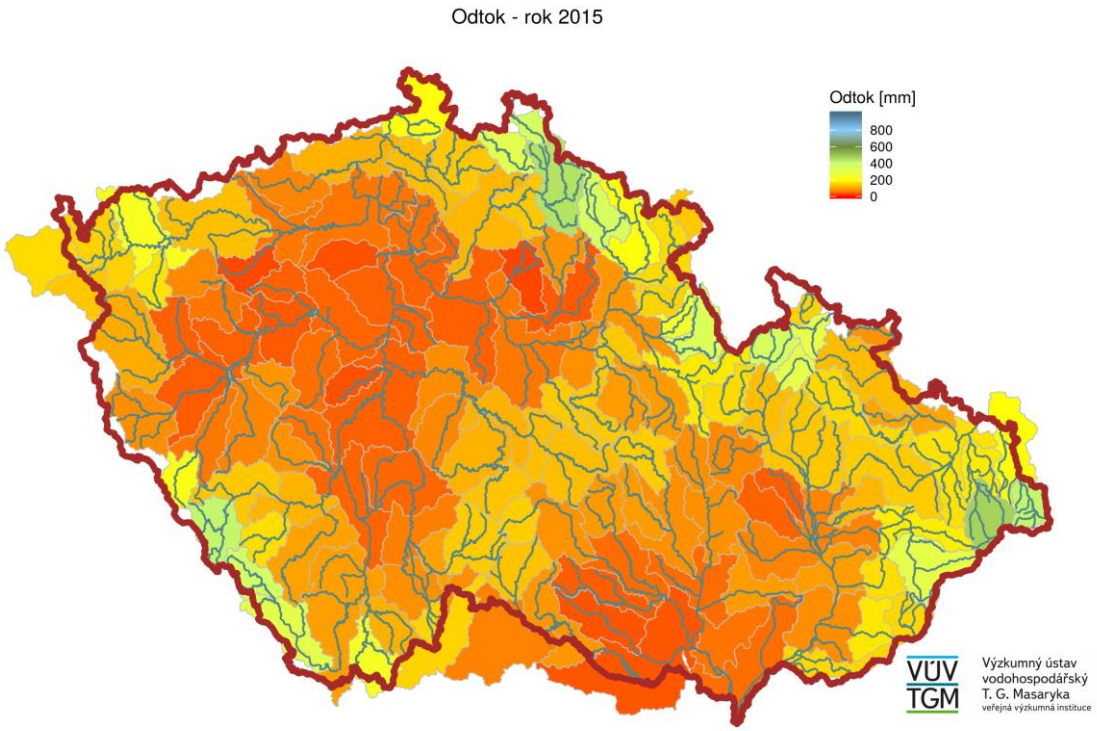
Obrázek 6 Průměrný odtokový součinitel za období 1981-2015

Sumarizované hodnocení bilance za období 1981-2015 je zobrazeno na následujících grafech. Jedná se o měsíční boxploty[1] pro všechna řešená mezipovodí (133) a jednotlivé roky za zmíněné období. Obarvení jednotlivých boxplotů je dáno průměrnou měsíční hodnotou v daném roce. Hodnoty lze určit pomocí legendy, která je uvedena v pravé části grafu. Na **Obrázek 10** jsou uvedeny měsíční hodnoty odtokových výšek (značeno 1-12, v pořadí leden-prosinec). Jak již bylo zmíněno, obarvení jednotlivých boxplotů nám udává průměrnou roční hodnotu. V tomto případě to znamená, že červená barva ukazuje roky málo vodné a směrem k barvě modré, se jedná o roky vodnatější. Na **Obrázek 10** můžeme pozorovat, že roky 2014 a 2015 patřily k těm nejméně vodným (spolu s roky na počátku devadesátých let). Modrá čára udává trend pro jednotlivé měsíce. Trendová analýza byla provedena pomocí metody GAM-Generalized Additive Models (Wood, 2006). Trend pro jednotlivé měsíce nebyl dále statisticky testován. Na grafu můžeme pozorovat, že odtokové výšky v letních měsících roku 2015 byly opravdu extrémní a v pozorované řadě se v jiném období nevyskytovaly. Pro ilustraci, jaké byly odtokové výšky v roce 2015, se přikládá **Obrázek 7**. Na mapě je možné pozorovat, že průměrné roční odtokové výšky za rok 2015 dosahují řádově 30-70% průměru za období 1981-2015 (bílá barva reprezentuje nezměněný stav, žlutá pokles a modrá nárůst). Absolutní hodnoty odtokových výšek v roce 2015 jsou poté zobrazeny na **Obrázek 8**. Analogicky je zobrazena změna zásoby vody ve sněhu v roce 2015 oproti průměrným podmínkám za období 1981-2015 (**Obrázek 9**). V tomto roce lze pozorovat výrazný pokles zásoby, což je jedním z hlavních důvodů nedostatku vody v roce 2015, v kombinaci s výrazně podprůměrnou zimou v roce 2014. Výstupy pro změny odtoku, průměrné odtoky, aktuální evapotranspirace a změny zásoby vody pro jednotlivé roky jsou dostupné na webu *http://www.suchovkrajine.cz*.

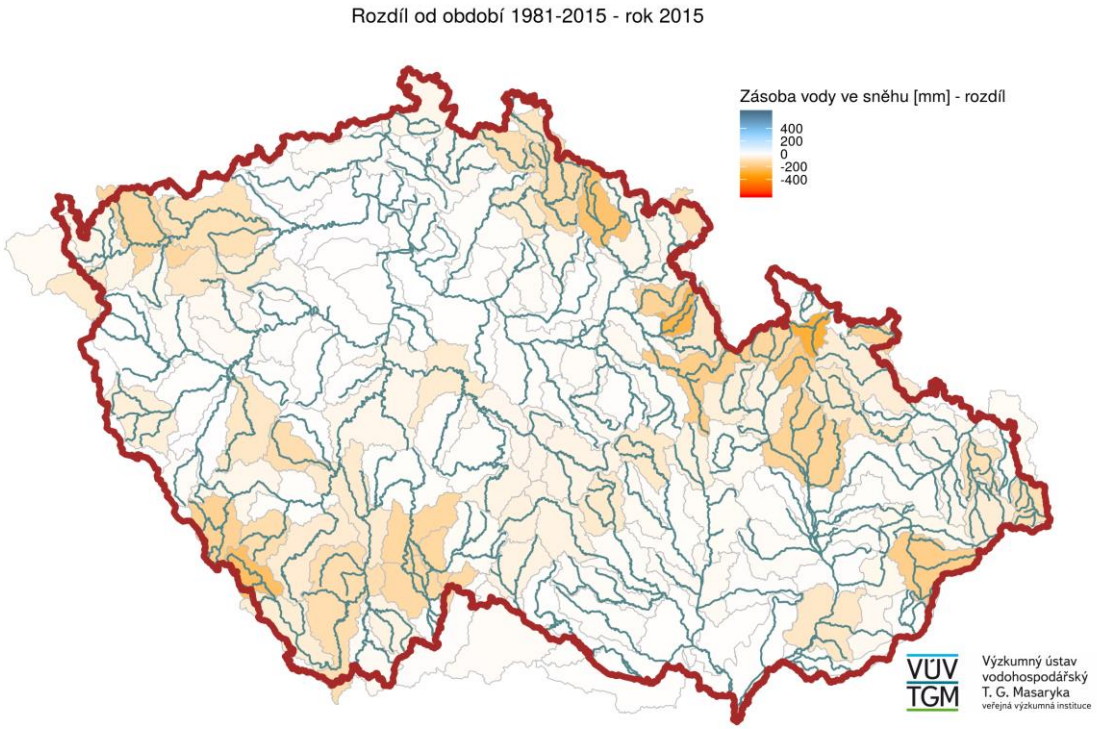


Obrázek 7 Relativní změna odtoku za rok 2015 k/ke referenčnímu období 1981-2015

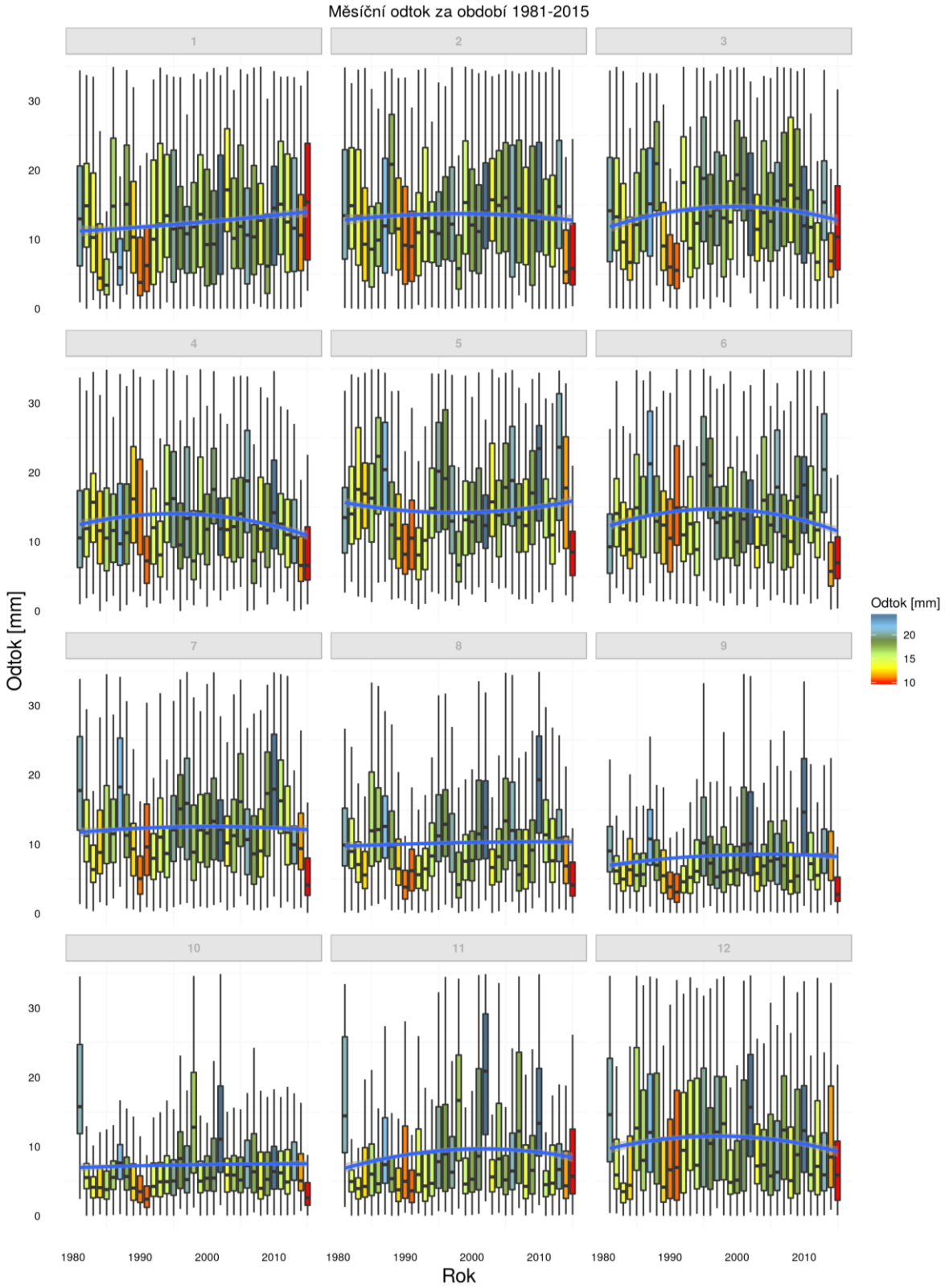
[1] V deskriptivní (popisné) statistice je boxplot neboli krabicový graf či krabicový diagram jeden ze způsobů grafické vizualizace numerických dat pomocí jejich kvartilů. Střední "krabicová" část diagramu je shora ohraničena 3. kvartilem, zespodu 1. kvartilem a mezi nimi se nachází linie vymezující medián.



Obrázek 8 Absolutní hodnoty odtokových výšek v mm za rok 2015



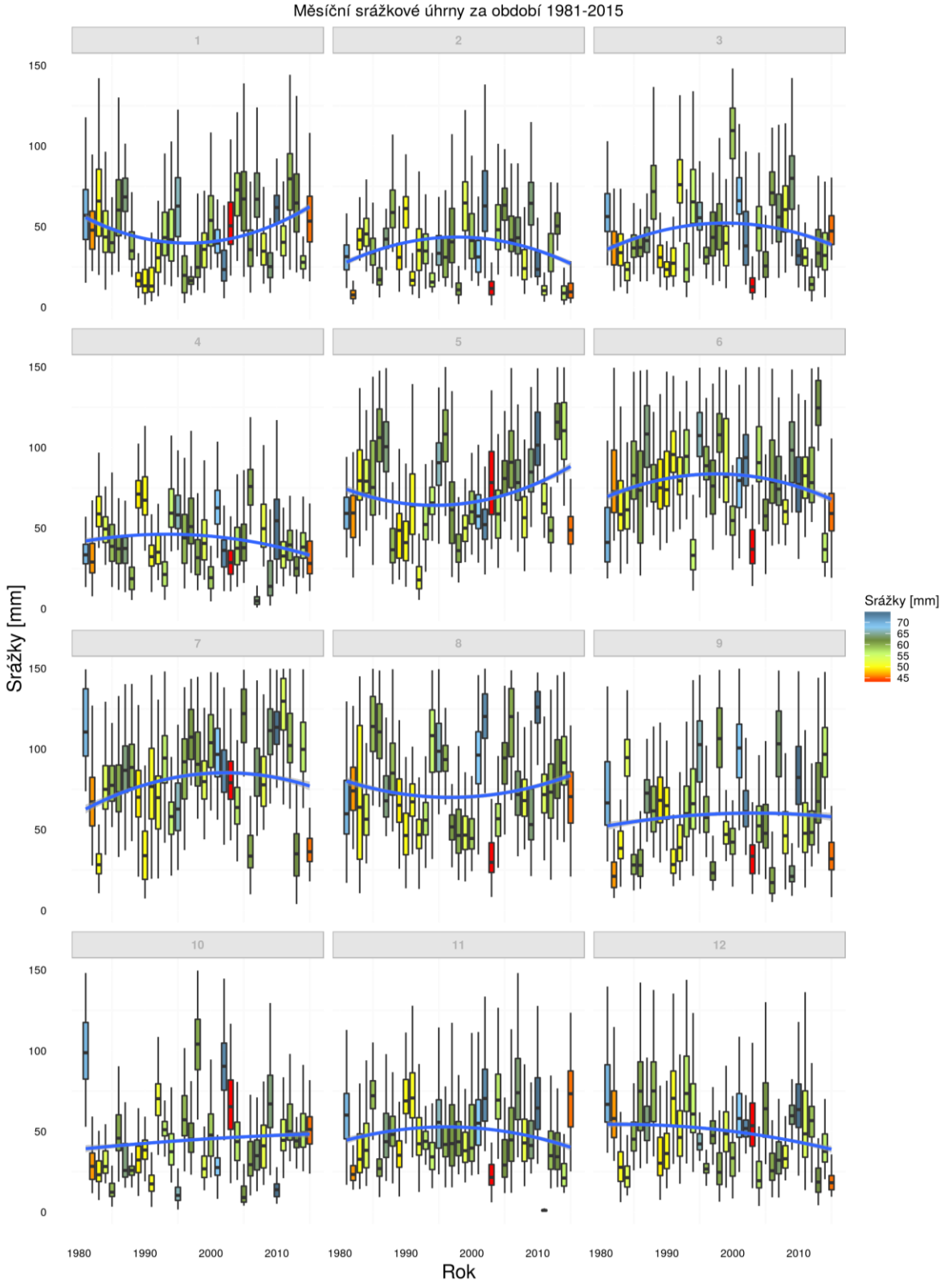
Obrázek 9 Změna zásoby vody ve sněhu v roce 2015 k období 1981-2015 (hodnoty jsou v mm)



Obrázek 10 Průměrné měsíční odtoky pro řešené období 1981-2015 na území České republiky

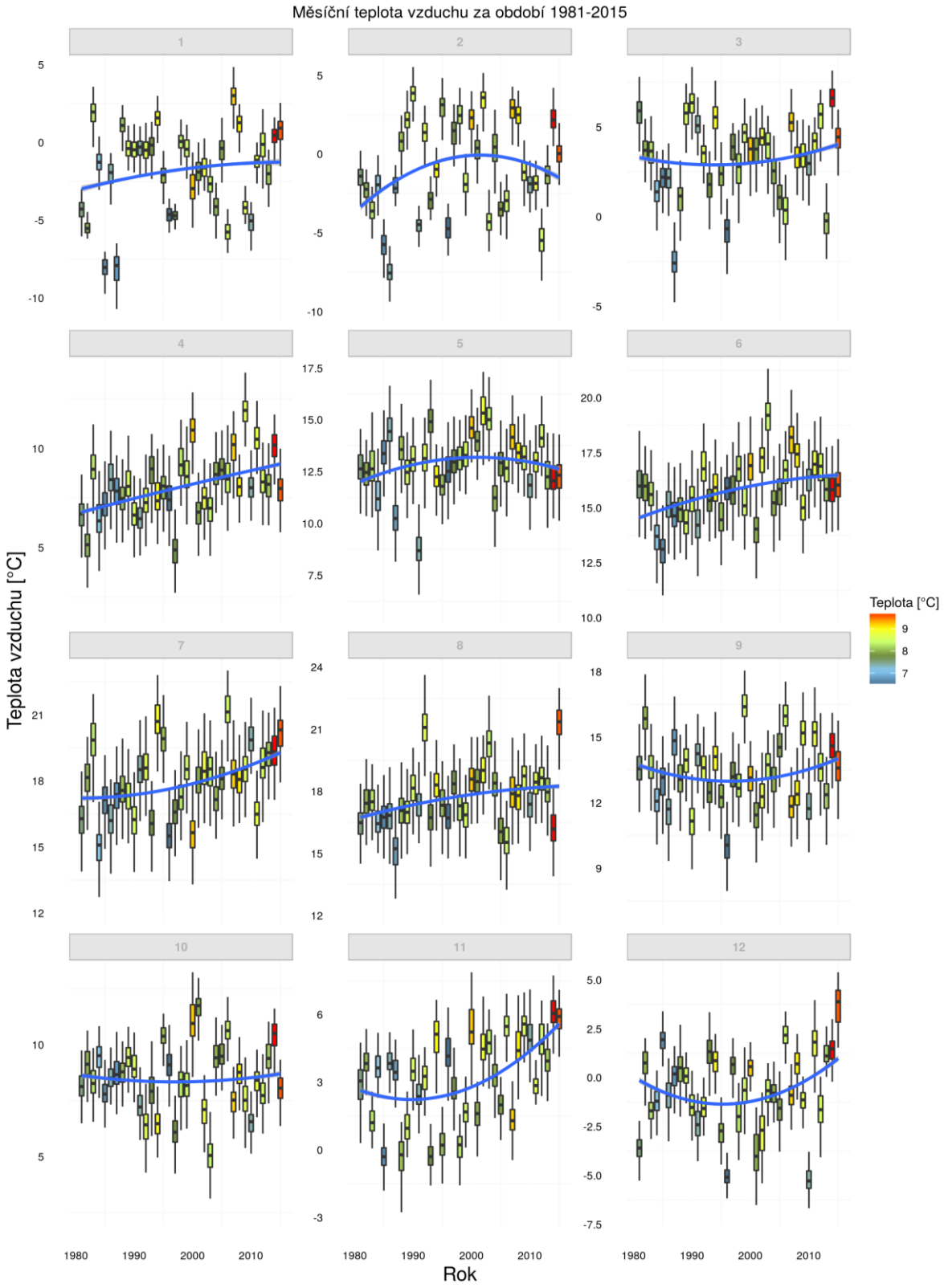
Na **Obrázek 11** jsou zobrazeny měsíční srážkové úhrny formou boxplotů pro celé řešené období. Jednotlivé boxploty jsou obarveny dle velikosti srážkového úhrnu v daném roce (tzn., červená barva ukazuje rok s nejnižší sumou srážek za daný rok, naopak tmavě modrá reprezentuje rok s nejvyšším srážkovým úhrnem). Velikost průměrného měsíčního úhrnu je zobrazena v legendě napravo. Největší rozkolísanost je možné pozorovat v letních měsících, v kterých jsou také srážkové úhrny nejvyšší. Na

grafech je vidět, že právě v roce 2015 došlo k souhře několika těchto letních měsíců, které byly srážkově podprůměrné. To vedlo k významnému meteorologickému suchu, které se hodnotí především na základě srážkových úhrnů. V kombinaci se špatnou zimou došlo k výrazným poklesům odtoku.



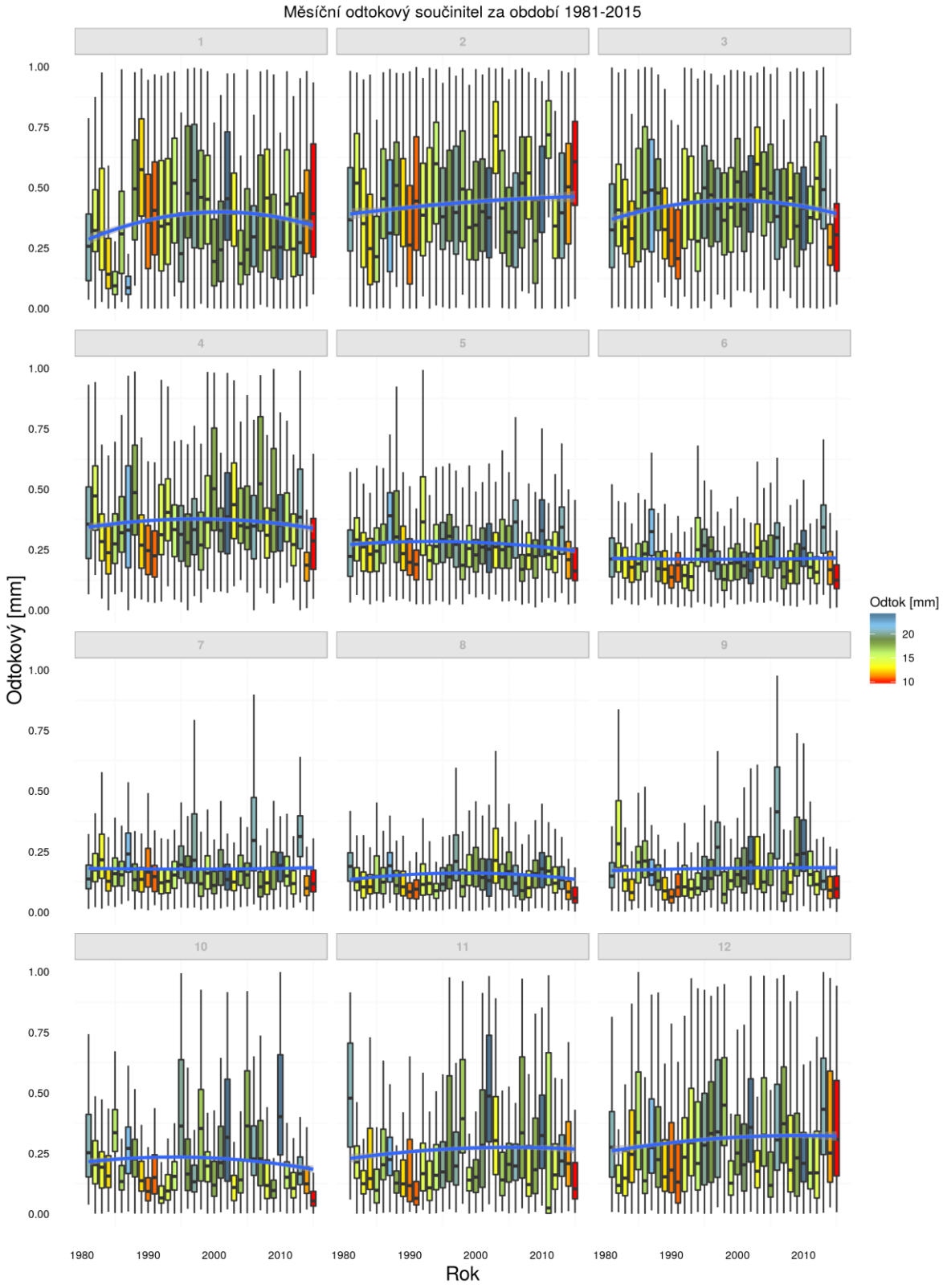
Obrázek 11 Průměrné srážkové úhrny pro řešené období 1981-2015 na území České republiky

V některých metodách se pro hodnocení meteorologického sucha využívá i teplota vzduchu, která má významný vliv na hodnotu potenciální a aktuální evapotranspirace. Měsíční hodnoty teplot vzduchu jsou zobrazeny na **Obrázek 12**. Jednotlivé boxploty jsou obarveny analogicky jako na předchozích obrázcích (červená barva označuje nejteplejší roky, modrá nejchladnější). Lze pozorovat narůstající teplotu pro většinu měsíců a tím pádem i narůstající evapotranspiraci.



Obrázek 12 Průměrné měsíční teploty vzduchu pro řešené období 1981-2015 na území České republiky

Jedna z nejdůležitějších charakteristik v hydrologii je odtokový součinitel (**Příloha 1**). Boxploty jsou obarveny dle ročního odtoku (viz. **Obrázek 10**). Je zajímavé, jak nárůst teploty mění i tento ukazatel, a to že v zimním období narůstá a naopak v letních měsících spíše klesá.



Obrázek 13 Průměrný měsíční odtokový součinitel pro řešené období 1981-2015 na území České republiky

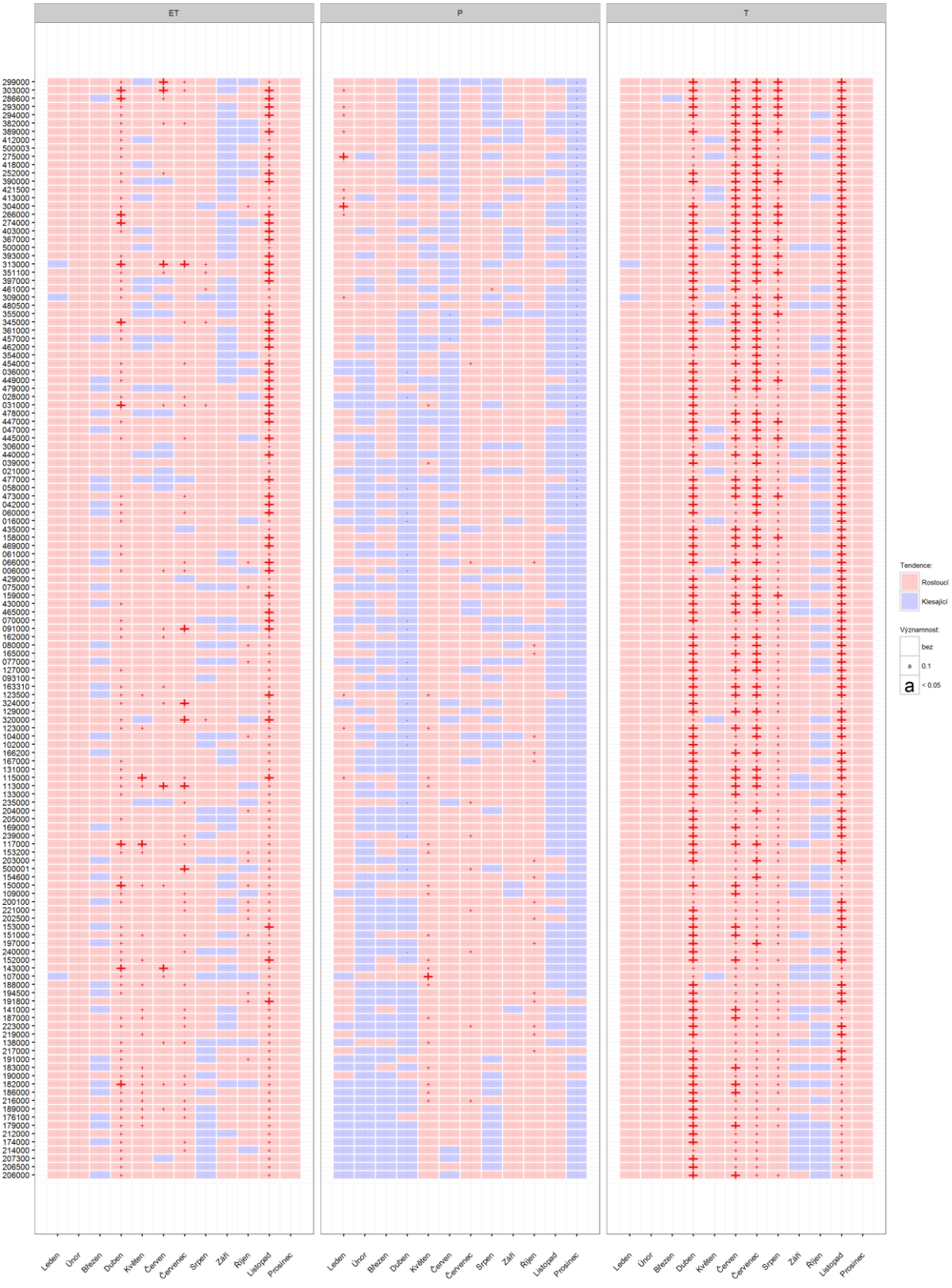
1.2 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ TRENDU JEDNOTLIVÝCH VELIČIN

Pro statistické hodnocení byl použit Mann-Kendall test. Existence trendu byla šetřena pomocí neparametrického Mann-Kendallova testu a Senova odhadu směrnice trendu v prostředí R (R Core Team, 2014). Mann-Kendallův test je často používán pro analýzu trendu v datových sadách environmentálních systémů (Kendall, 1975; Libiseller a Grimvall, 2002). Jedná se o test neparametrický, který nepředpokládá normalitu dat a není citlivý vůči odlehlým hodnotám a nelineárním trendům nízkého stupně. Test lze použít v případech, kdy je v datových sadách předpokládána spojitá monotónní rostoucí nebo klesající funkce času a rezidua rozložení s nulovou střední hodnotou. Jinými slovy za předpokladu, že rozptyl rozložení je v čase konstantní (Vlnas, 2015).

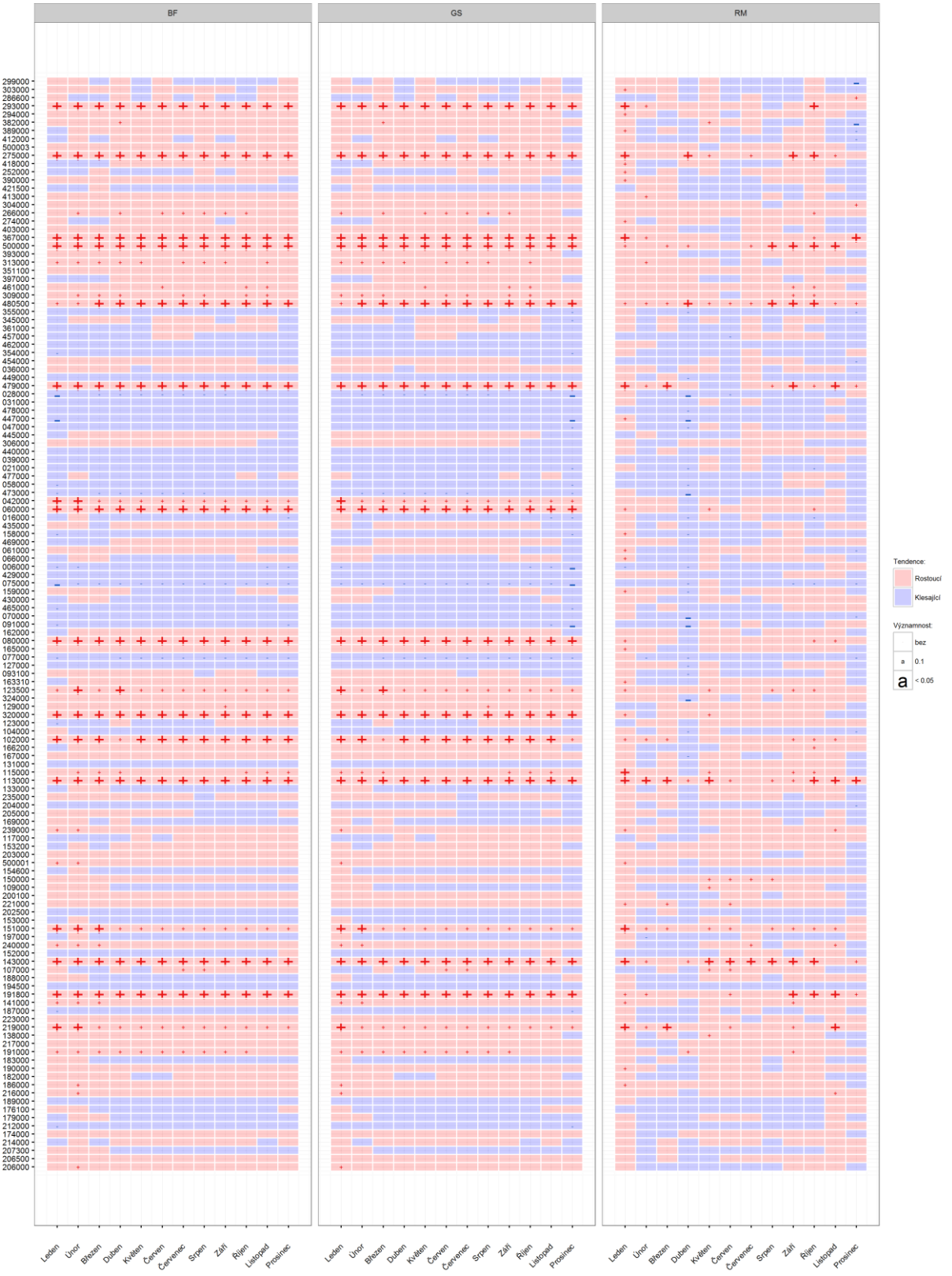
Na **Obrázek 14** a **Obrázek 15** je toto posouzení trendů jednotlivých veličin zobrazeno. Posouzení bylo provedeno pro trendy v jednotlivých měsících a pro veličiny aktuální výpar (ET), srážkový úhrn (P), teplota vzduchu (T), podzemní zásoba vody (GS), základní odtok (BF) a celkový odtok (RM). Veličiny jsou uvedeny v sloupcích. Stanice na ose y jsou seřazeny od západu k východu České republiky podle těžiště jejich povodí. Hodnocení trendu bylo provedeno na třech úrovních významnosti, a to: α =0,1, α =0,05 a α =0,01. Pokud daná veličina má statisticky významný trend, tak je pole označeno znakem plus a mínus. Velikost znaku je dána významností trendu. Znak plus ukazuje narůstající trend a znak mínus trend klesající. Pole jsou také obarveny červenou barvou pro narůstající trend (bez znaku je naznačena tendence dané veličiny) a modrou pro trend klesající.

Na **Obrázek 14** vlevo je zhodnocení aktuálního výparu, který má především narůstající trend, a to především pro měsíce duben a listopad. V těchto měsících je také výrazná shoda v trendu narůstajících teplot vzduchu a je také dostatečné množství na evapotranspiraci. U teplot vzduchu můžeme také pozorovat narůstající trend v letních měsících a klesající tendenci na některých mezipovodích pro měsíce září a říjen. Jinak ve zbytku roku můžeme mluvit o tendenci narůstající. Na prostředním grafu jsou zobrazeny srážkové úhrny, které víceméně nevykazují žádné zásadní trendy a tendence se pravidelně mění v průběhu roku.

Na **Obrázek 15** jsou zobrazeny zásoby podzemní vody a základní odtok, tyto 2 veličiny jsou významně provázány a trendy jsou tím pádem obdobné. Narůstající trend několika povodí může být dán strukturou hydrologického modelu a budou dále prověřeny. U těchto povodí se potom nachází narůstající trend i pro odtokové poměry. Na ostatních mezipovodích trendy nejsou statisticky významné nebo mají malou významnost. Lze pozorovat oblasti, které mají klesající tendenci zásob podzemních vod a celkového odtoku. V jiných částech ČR jsou tendence pro jednotlivé měsíce střídající.



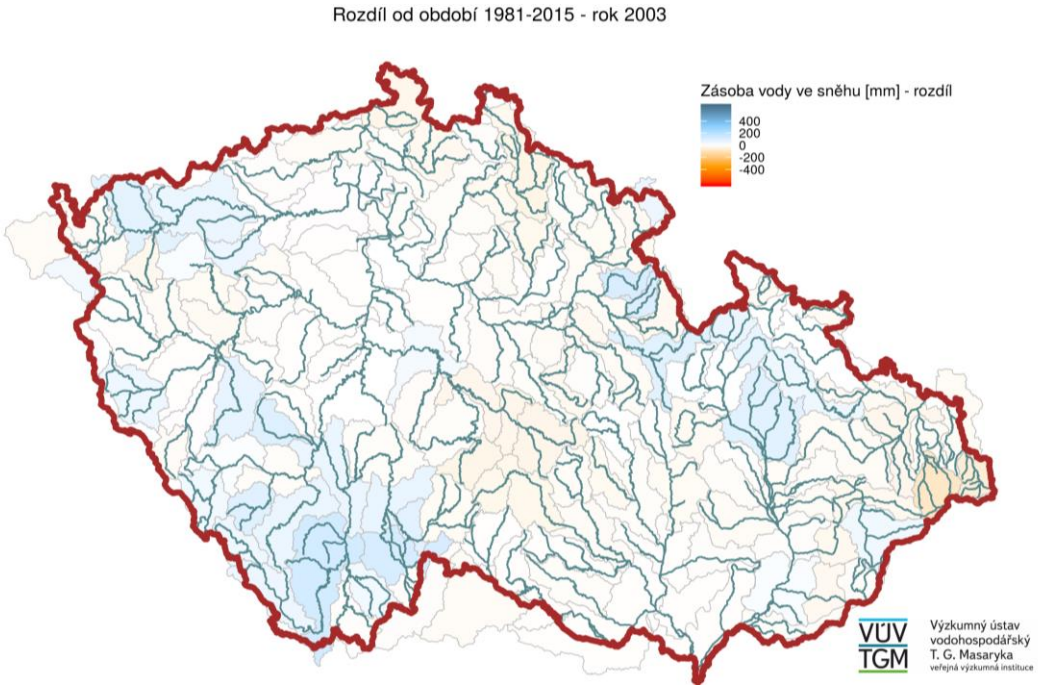
Obrázek 14 Posouzení významnosti trendů pro evapotranspiraci, srážkové úhrny a teploty vzduchu



Obrázek 15 Posouzení významnosti trendů pro zásoby vody, základní odtok a celkový odtok

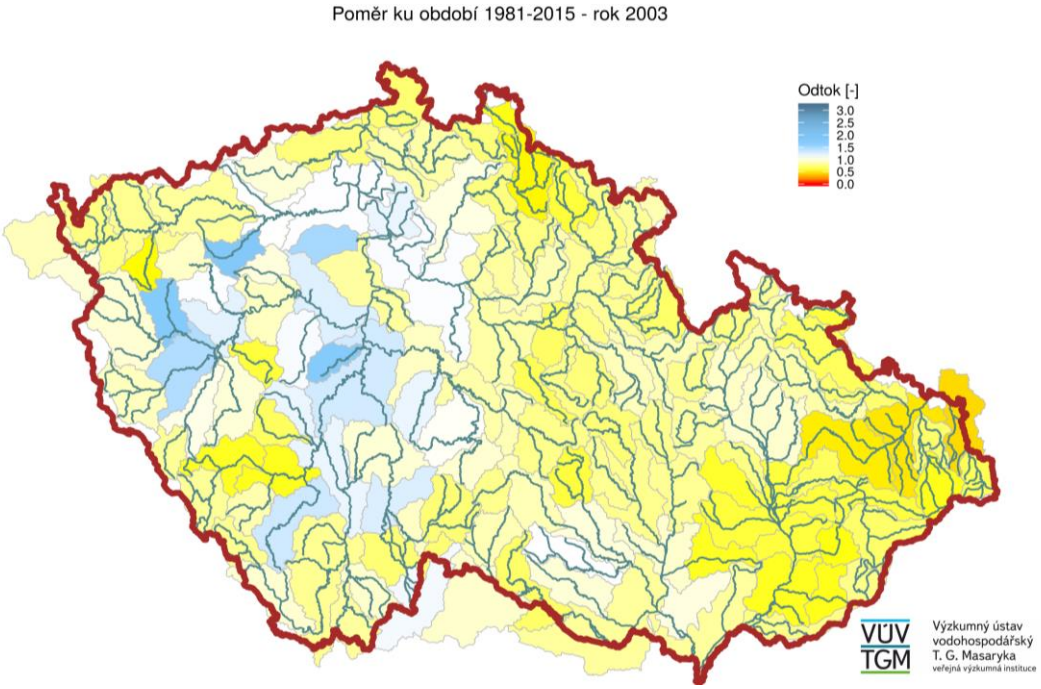
1.3 HYDROLOGICKÁ BILANCE V ROCE 2003 A 2015

Zásoba vody ve sněhu má většinou velký vliv na odtokové poměry v celém roce. Změny zásoby vody pro rok 2003 oproti období 1981-2015 jsou uvedeny na **Obrázek 16**. Můžeme pozorovat lehce nadprůměrné zásoby na západě ČR a na zbytku ČR spíše průměrné.



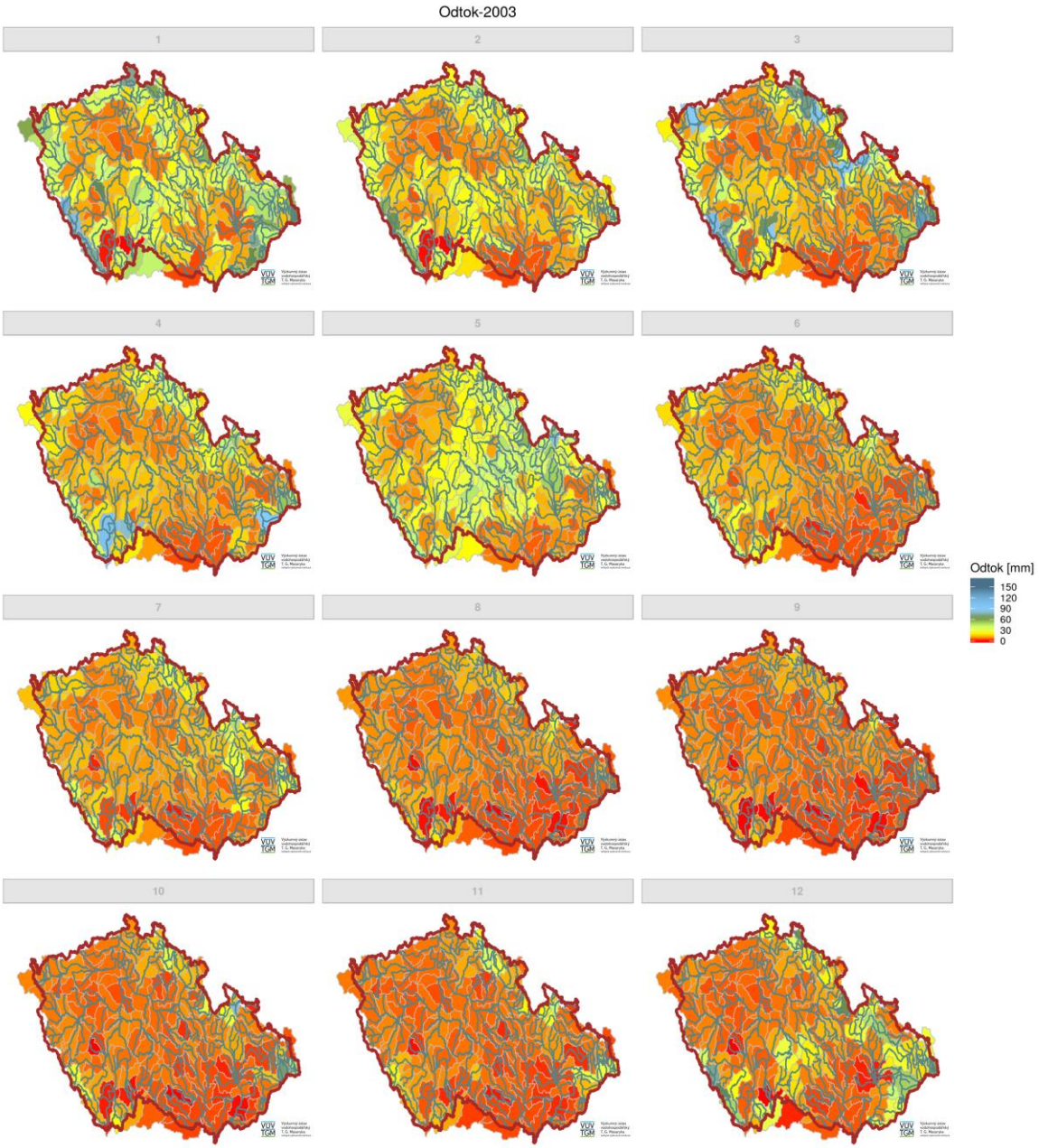
Obrázek 16 Změna zásoba vody ve sněhu v roce 2003

I tyto zásoby se projevily na celkovém odtoku, který je zobrazen na **Obrázek 17**. Jedná se o poměr roční sumy srážek a průměrného ročního odtoku za období 1981-2015. Pokles můžeme pozorovat především ve východní části republiky a v horských povodích.



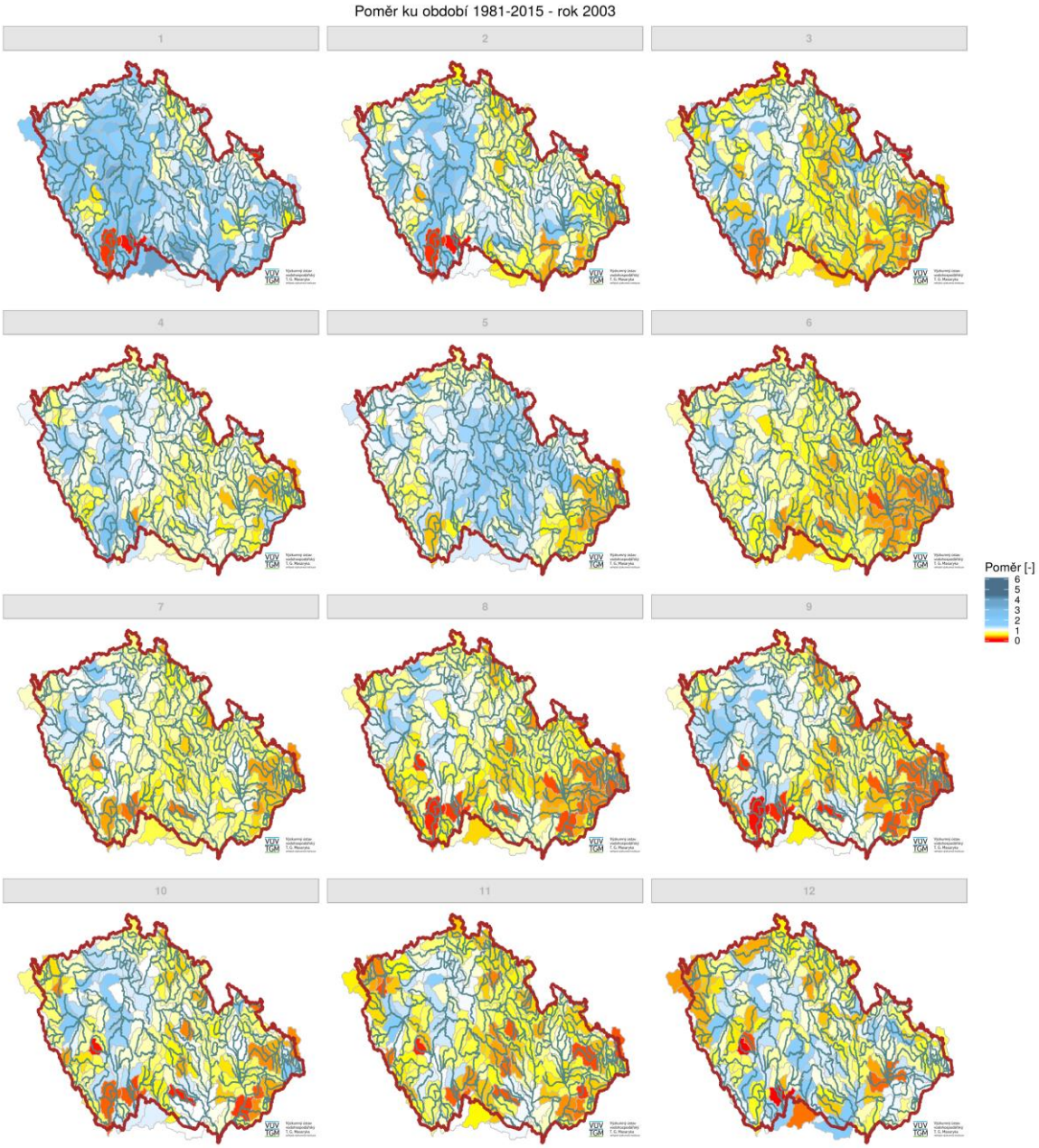
Obrázek 17 Relativní změna odtokových výšek v roce 2003

Na **Obrázek 18** jsou zobrazeny absolutní výšky odtoku pro mezipovodí v jednotlivých měsících pro rok 2003. Je zřejmé, že nízké hodnoty odtoku se vyskytují v letních měsících a na území jižní Moravy a Polabí.



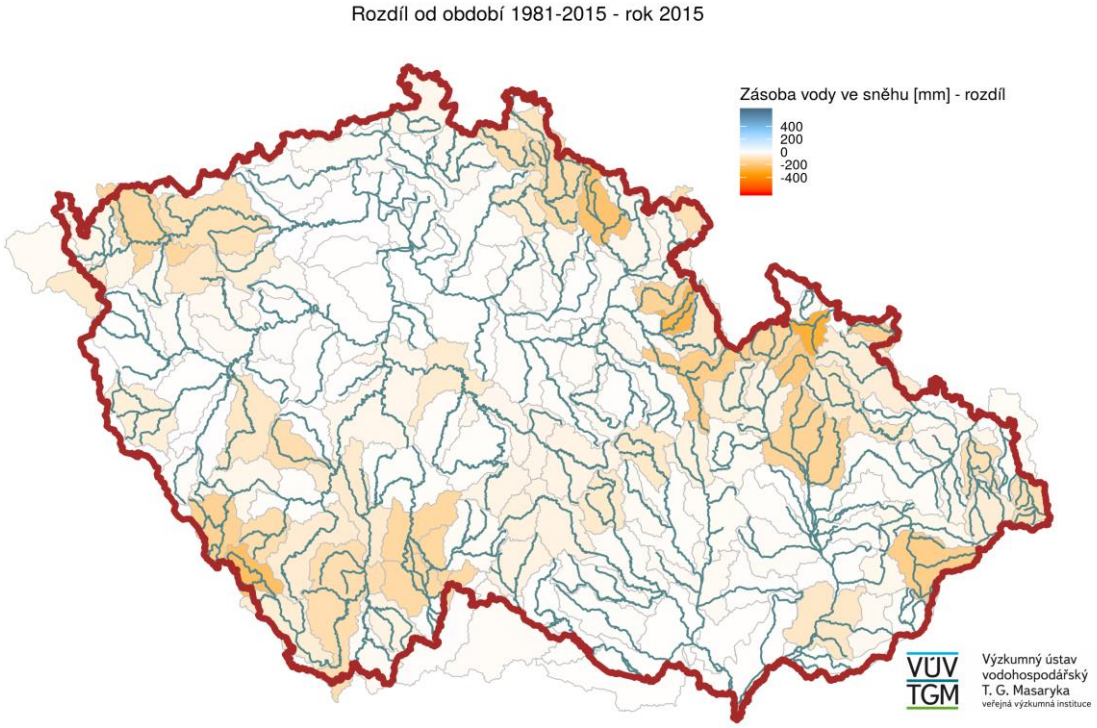
Obrázek 18 Odtokové výšky pro jednotlivé měsíce v roce 2003

Na **Obrázek 19** je možné tyto změny pozorovat výrazněji. Leden 2003 byl odtokově výrazně nadprůměrný a již v únoru a v březnu můžeme pozorovat pokles odtoků ve východní části území ČR. Tento stav přetrvával i v dubnu a byl trochu nadlepšen v květnu, vyjma úplného východu. V červnu se pokles rozšířil na jihovýchodní část republiky, kde suché období pokračovalo až do listopadu.

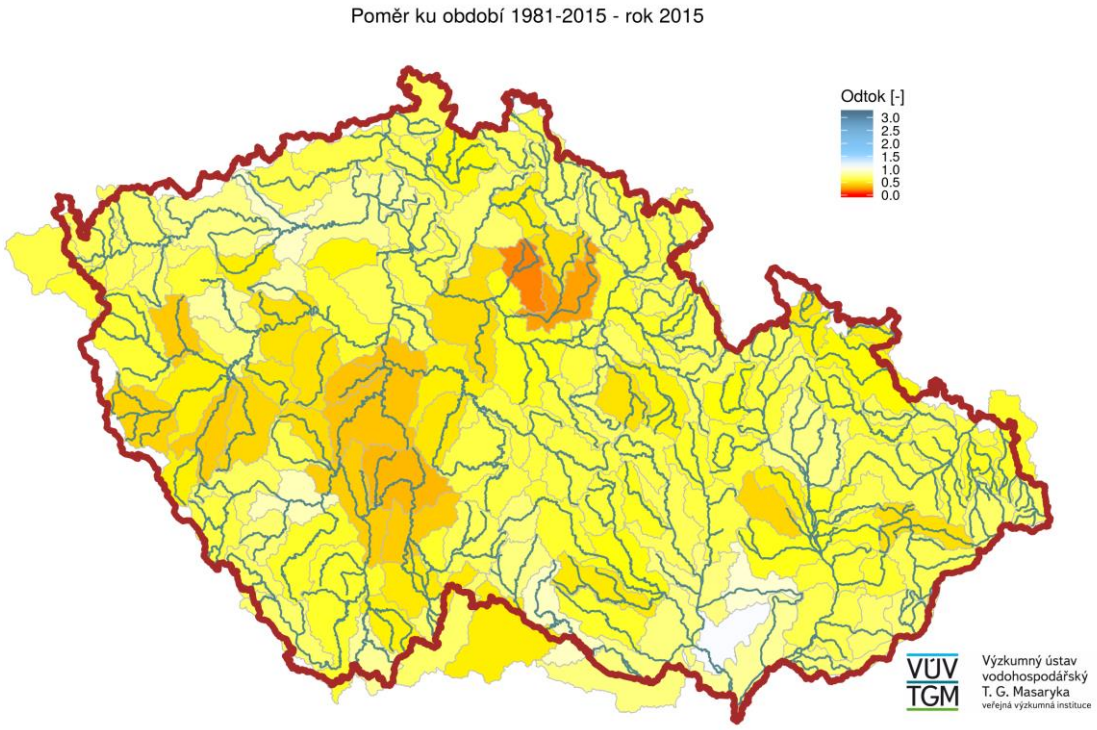


Obrázek 19 Relativní změna odtokových výšek v roce 2003 pro jednotlivé měsíce

Analogicky jako rok 2003 je zobrazen na následujících obrázcích i rok 2015. Na **Obrázek 20** je zobrazena změna zásoby vody ve sněhu v roce 2015. Můžeme pozorovat výrazný pokles těchto zásob prakticky na celém území ČR. Tento jev byl navíc podpořen faktem, že obdobná situace nastala i v roce 2014. Jak se tyto jevy projevily na změnu celkového odtoku lze pozorovat na **Obrázek 21**, kde můžeme vidět, že průměrný pokles je 30-70 procent.

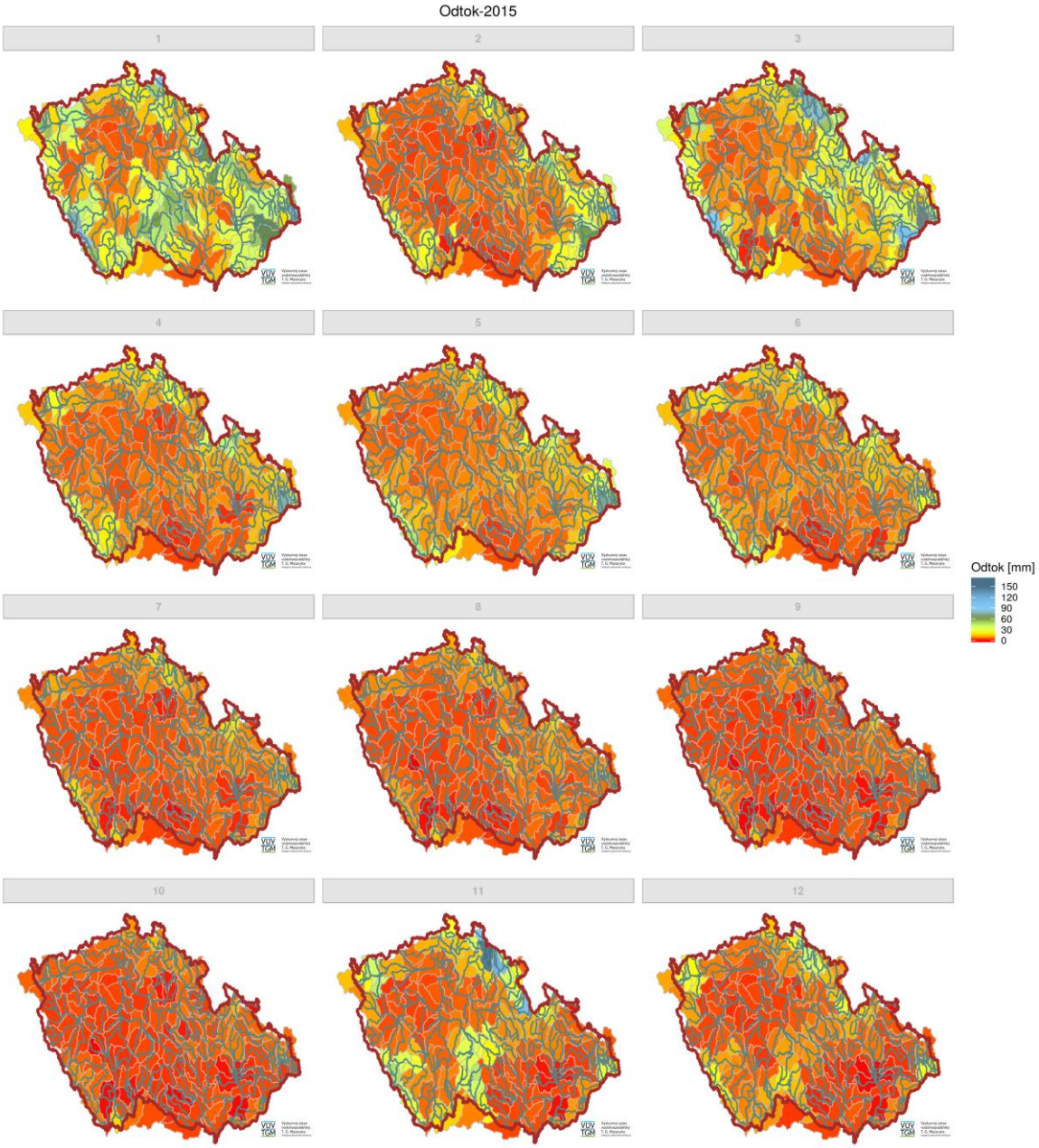


Obrázek 20 Změna zásoba vody ve sněhu v roce 2015



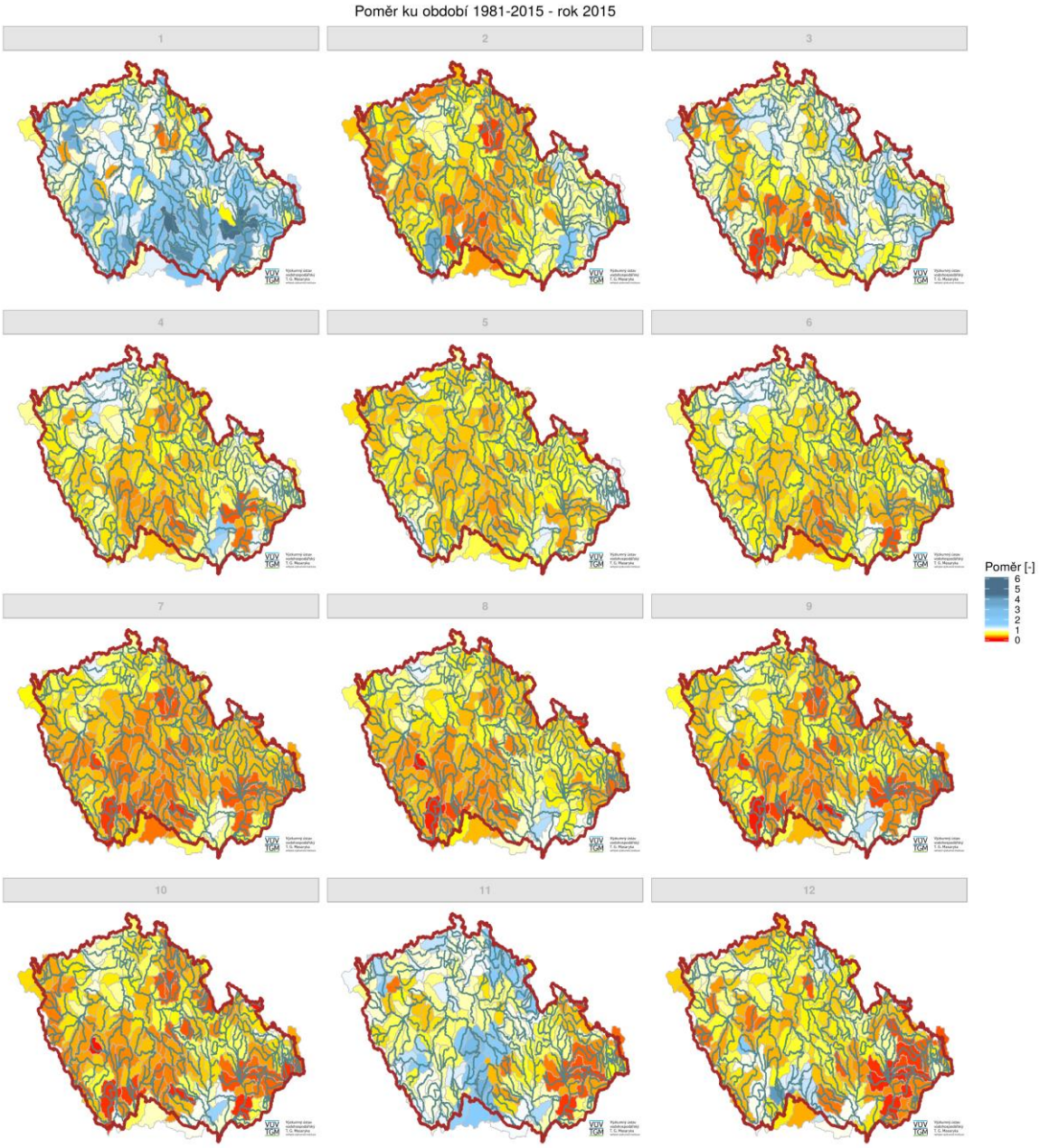
Obrázek 21 Relativní změna odtokových výšek v roce 2015

Na **Obrázek 22** jsou zobrazeny absolutní odtokové výšky v milimetrech pro jednotlivá mezipovodí. Lze pozorovat, že mapy mají tendenci mít červenou barvu, což značí výrazně nízké odtoky, které se nacházejí téměř na celém území České republiky, a to především v letních a prvních podzimních měsících.



Obrázek 22 Odtokové výšky pro jednotlivé měsíce v roce 2015

Na **Obrázek 23** jsou zobrazeny relativní změny odtoku, kdy je možné pozorovat nárůst odtoku v lednu, který je dán tím, že srážkové úhrny nebyly sněhové, ale především kapalné. V ostatních měsících můžeme pozorovat především výrazný pokles, který vrcholil v srpnu a v září. Mapy pro všechny roky jsou součástí **Příloh II** a **III**.

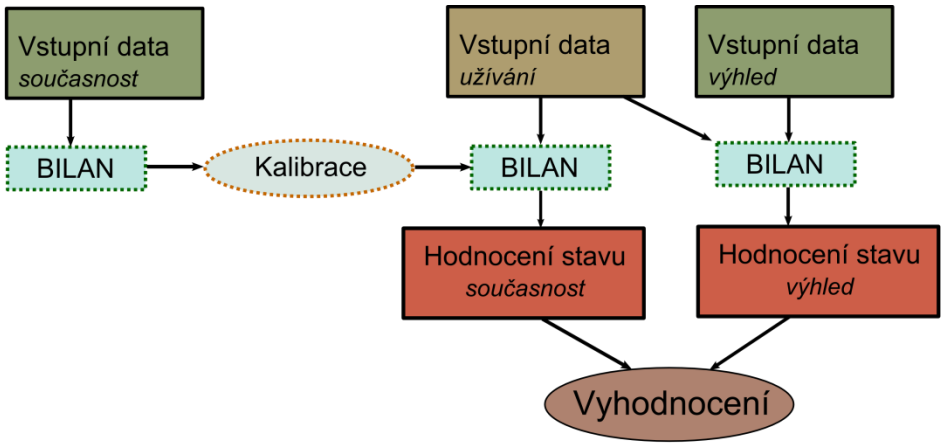


Obrázek 23 Relativní změna odtokových výšek v roce 2015 pro jednotlivé měsíce

1.4 MODELOVÁNÍ ZMĚNY KLIMATU NA VODNÍ REŽIM

Samotný postup modelování dopadů změny klimatu na hydrologický režim (viz **Obrázek 24**) lze stručně shrnout následovně:

- Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí (mezipovodí) nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.
- Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové řady pro jednotlivá povodí.
- Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.
- Výstupy jsou použity do modelu vodohospodářské soustavy, který je popsán níže.



Obrázek 24 Schéma hodnocení vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny

1.2.1 SCÉNÁŘE KONCENTRACÍ RCP

V současnosti opouští IPCC od záměru koordinace tvorby emisních scénářů a tuto iniciativu přenechává vědecké komunitě s tím, že sám se snaží proces pouze stimulovat. I v minulosti existovala mimo oficiálních emisních scénářů IPCC celá řada scénářů alternativních. IPCC AR4 (Solomon et al., 2007) např. zmiňuje více než 300 emisních scénářů publikovaných po zveřejnění scénářů SRES. Tyto scénáře se liší jednak metodikou vzniku, jednak projekcemi socio-ekonomického vývoje. Na druhou stranu, výsledné koncentrace skleníkových plynů se nutně často překrývají.

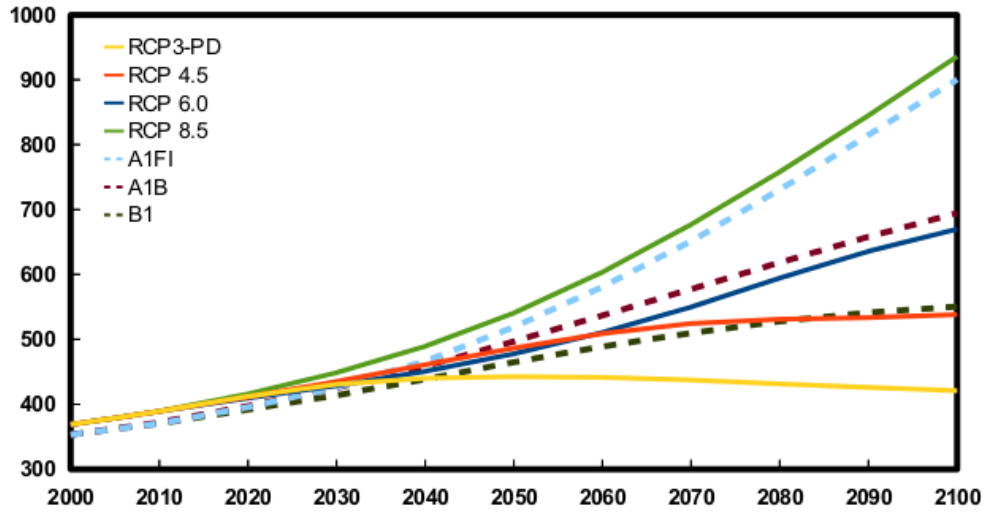
Koncept emisních scénářů byl aktuálně nahrazen konceptem scénářů koncentrací, které jsou opět založeny na analýze výstupů komplexních socio-ekonomicko-klimatických modelů. Scénáře nicméně nedefinují emise/koncentrace skleníkových plynů ve vztahu ke konkrétním socio-ekonomickým podmínkám, ale spíš vybírají typické příklady vývoje koncentrací skleníkových plynů, bez přihlédnutí k socio-ekonomickým příčinám. Tyto nové scénáře jsou označovány jako RCP (representative concentration pathways – reprezentativní směry vývoje koncentrací).

V rámci tvorby RCP scénářů byla provedena rešerše publikovaných scénářů. Shromážděné scénáře byly rozděleny do čtyř hlavních skupin a z každé skupiny byl vybrán reprezentativní zástupce. Základní požadavky na RCP scénáře byly:

- pokrytí rozpětí koncentrací publikovaných scénářů,

- malý sudý počet (za účelem zabránění preference středního scénáře jako nejlepší, průměrné alternativy),
- jasná odlišitelnost tvaru a úrovní koncentrace na konci 21. století.

Scénáře RCP (viz **Obrázek 25**) obsahují i scénář předpokládající mírný růst koncentrací s vrcholem před rokem 2100 s následným poklesem (RCP2.6), jenž umožňuje posouzení vlivu možného snižování emisí. Ostatní RCP scénáře víceméně pokrývají rozsah odhadovaných koncentrací pro scénáře SRES (viz **Obrázek 26**). Stejně jako v případě scénářů SRES není definována žádná pravděpodobnější varianta vývoje. V případě omezení výpočetních možností Mossn et. al. (2008) doporučuje primárně uvažovat scénáře s nejvyššími a nejnižšími koncentracemi (RCP8.5 a RCP2.6), následně scénář RCP4.5 a na závěr scénář RCP6.



Obrázek 25 Porovnání koncentrací CO2 [ppm] dle emisních a RCP

RCP	radiační vliv	koncentrace	tvar
RCP8.5	> 8,5 W/m^2 v roce 2100	>≈ 1370 CO_2-eq v roce 2100	rostoucí
RCP6	≈ 6 W/m^2 při stabilizaci po 2100	≈ 850 CO_2-eq při stabilizaci	postupná stabilizace
RCP4.5	≈ 4,5 W/m^2 při stabilizaci po 2100	≈ 850 CO_2-eq při stabilizaci	postupná stabilizace
RCP2.6*	≈ max 3 W/m^2 před 2100, poté pokles	≈ max 490 CO_2-eq	pokles po maximu

Obrázek 26 Reprezentativní vývoj koncentrací

2 Modelování dostupných vodních zdrojů

2.1 VODOHOSPODÁŘSKÉ MODELOVÁNÍ

Modelování dostupných vodních zdrojů bylo provedeno ve 2 variantách:

- Varianta 1: *Pro jednotlivá mezipovodí (dále MEZI)*
- Varianta 2: *Pro vodohospodářskou soustavu (dále SOUST)*

Dále byly uvažovány 2 varianty užívání vod, a to:

- Skutečné užívání: *reálné odběry uvedené v databázi (nad 500 m^3/měsíc, či 6000 m^3/rok)*
- Povolené užívání: *povolené odběry v databázi*

Pro vyhodnocení užívání vod byly vybrány suché roky 2003, 2009 a 2015 a dále bylo konstatováno, že je vhodné využívat reálné (hlášené) odběry vody z důvodu povolených vysokých hodnot vypouštění, které nemá prakticky omezení z vodohospodářského pohledu, a výsledky by mohly být tímto faktem výrazně pozitivně ovlivněny. Nicméně by bylo vhodné v budoucnu tento problém ošetřit.

Vodohospodářskou soustavu lze definovat jako množinu vodohospodářských prvků spojených vzájemnými vazbami v účelový celek. Princip aplikace simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářské soustavy lze s určitou mírou zjednodušení popsat takto:

Na reálné oblasti povodí je vymezena vodohospodářská soustava, tj. je proveden výběr prvků, které charakterizují chování soustavy z hlediska množství povrchových vod. Jedná se o prvky/profily plnící funkci regulace odtoku (vodní nádrže a převody vody), profily s vlivem a/nebo požadavkem na zdroje vody (odběry a vypouštění vody, zajištění minimálních průtoků, hladin apod.) a profily s hydrologickými údaji (vodoměrné stanice). V simulačním modelu je reálná soustava reprezentována pouze významnými profily. Vliv ostatních prvků (méně významných odběrů a vypouštění vod) je k profilům soustavy agregován. Model simuluje chování soustavy v diskrétních časových krocích na základě znalosti časových řad přirozených (lidskou činností neovlivněných) průtoků, požadavků užívání vod, technických parametrů prvků soustavy (např. kapacity zásobního prostoru nádrže). Struktura prvků soustavy a nároků na užívání vody jsou v simulačním modelu považovány za konstantní a chování takto fixované soustavy je v rámci hydrologického podkladu prošetřeno v různých hydrologických situacích. V terminologii modelování se jedná o aplikaci statického popisného simulačního modelu. Model simuluje zásobní funkci soustavy v průběhu celé délky hydrologického podkladu (výstupy z modelu Bilan pro variantu SOUST). Základem bilančního hodnocení v každém časovém kroku jsou rovnice nádrže.

$$\mathrm{WK} = \mathrm{WZ} + \mathrm{OP} - \mathrm{O} - \mathrm{E}$$

při omezení

$$0 < \mathrm{WK} < \mathrm{Vz},$$

kde WK je obsah vody v nádrži na konci časového kroku, WZ je obsah vody na začátku časového kroku, OP je ovlivněný přítok vody do nádrže, O je odtok vody z nádrže, E je výpar z vodní plochy v nádrži a Vz je objem zásobního prostoru nádrže; a rovnice pro stanovení hodnoty ovlivněného přítoku do profilu soustavy

$$\mathrm{OP} = \mathrm{PP} + \mathrm{ds} + \mathrm{Xs},$$

kde OP je přítok do profilu ovlivněný činností nádrží a realizovanými odběry a vypouštěními v povodí

nad profilem, PP je přirozený (neovlivněný) průtok v profilu, ds je změna průtoků vlivem nádrží

$$\mathrm{ds} = \sum(\mathrm{WZ} - \mathrm{WK}),$$

Xs je změna průtoků vlivem realizovaných odběrů ODB a vypouštění VYP

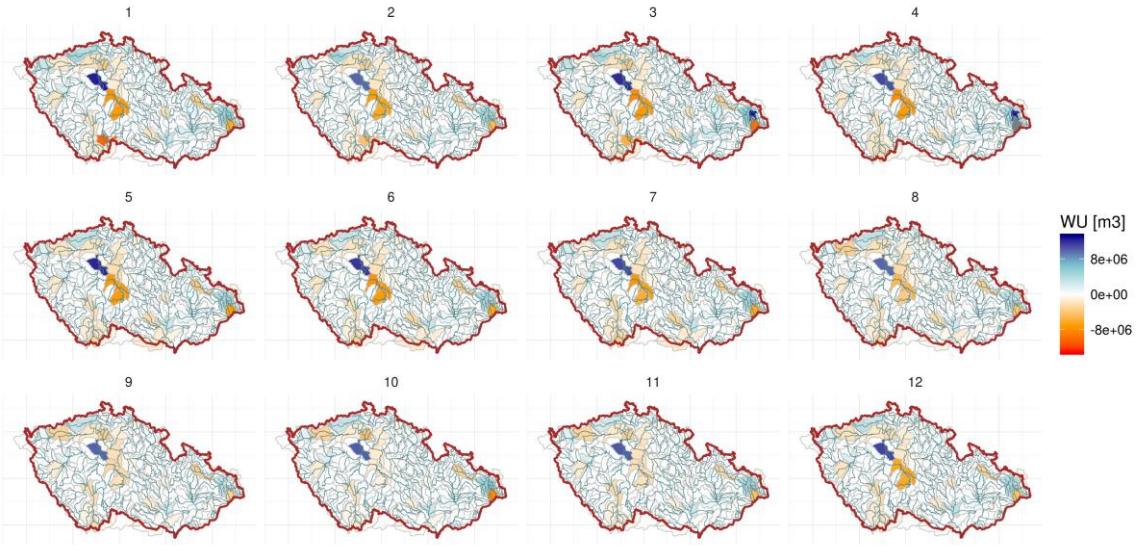
$$\mathrm{Xs} = \sum \mathrm{VYP} - \sum \mathrm{ODB}.$$

Pro modelování vodohospodářské soustavy byl použit model WATERES, který byl vyvinut ve VÚV TGM v Praze. Pro hodnocení bylo vybráno 180 nejvýznamnějších nádrží, jejichž objemy byly sumarizovány pro jednotlivá povodí a dále využity do vodohospodářského modelu, který byl rozdělen na tři hlavní oblasti:

- Oblast povodí Labe
- Oblast povodí Moravy
- Oblast povodí Odry

Dalším zjednodušujícím faktorem bylo, že se z nádrží vypouští pouze minimální zůstatkový průtok a byl využit prostor nádrže určený pro nadlepšování průtoků, zabezpečení odběrů atd., tím pádem dostaneme maximální disponibilní zdroje v dané soustavě.

Hodnoty užívání pro jednotlivé měsíce a variantu MEZI jsou uvedeny na mapách na **Obrázek 27**, tzn. pro každé mezipovodí bylo sumarizováno užívání vody (kladné hodnoty znázorňují případ, kdy je vypouštění větší než odběr a naopak). Příkladem může být mezipovodí, na kterém se nachází Praha a je názorná dotace toku z ČOV (cca 4 $m^3.s^{-1}$).



Obrázek 27 Průměrné užívání vody pro jednotlivá mezipovodí v jednotlivých měsících (průměrné hodnoty za roky 2003, 2009 a 2015)

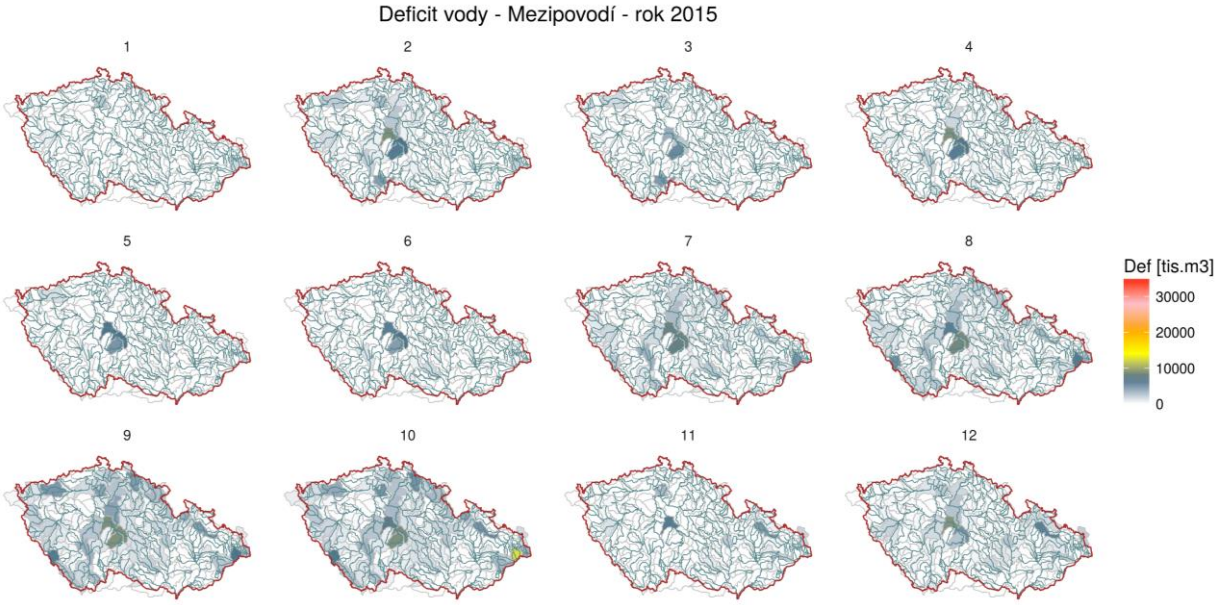
2.2 DEFICITNÍ OBJEMY V ROCE 2015

Deficitní objemy byly posouzeny pro obě uvažované varianty a byly stanoveny pod hodnotou minimálního zůstatkového průtoku, která byla pro měsíční data odvozena na VÚV TGM expertním odhadem a je dána vzorcem:

$$MZP = 0{,}903 * Q_{330}.$$

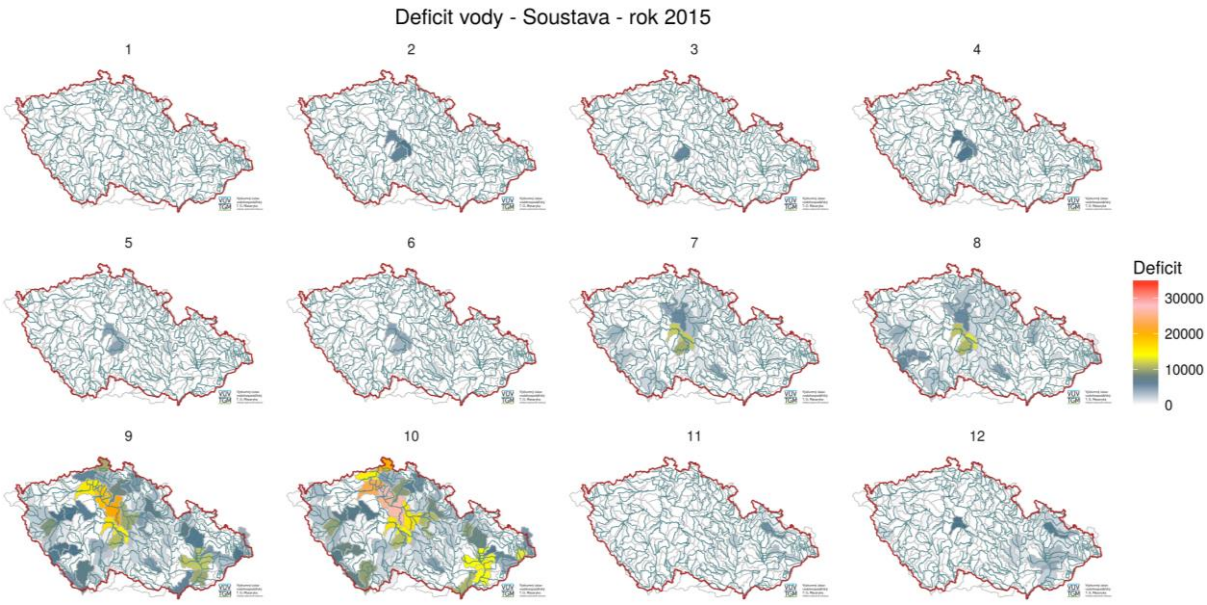
Výpočet vychází z přirozených odovlivněných průměrných měsíčních průtoků. Tato hodnota byla použita jako mezní pro variantu MEZI a na každém mezipovodí byly vypočteny deficitní objemy pod touto hodnotou. Pro variantu SOUST byly tyto hodnoty MZP sumarizovány po toku. Z tohoto předpokladu (zjednodušení) se hodnoty MZP mírně liší od skutečnosti, nejvýraznější rozdíl je na povodí Želivky, kdy z vodárenské nádrže je nízký MZP pro denní data. V řešení byl využit přístup zmíněný výše a považujeme ho za vhodnější v tomto případě. Z tohoto důvodu a velkého užívání (pitná voda pro Prahu) dochází k deficitům, které jsou zobrazeny a popsány níže. Naopak mezipovodí v Praze vychází velmi vodnatě, a to především z důvodu vypouštění z ČOV.

Na **Obrázek 28** jsou zobrazeny deficitní objemy pro variantu MEZI (každé mezipovodí je nezávislé) v roce 2015. Čísla označují jednotlivé měsíce od ledna po prosinec. Na mapách je možné pozorovat nárůst deficitních objemů prakticky až do října (hodnoty jsou vždy pro daný měsíc a nesčítají se). Od července jsou hodnoty nedostatkových objemů v řádech miliónů m^3/měsíc pro jednotlivá mezipovodí (značí světle šedá barva) a můžeme pozorovat, že v některých mezipovodí dosahují hodnoty nedostatkových objemů přes 10 mil. m^3/měsíc, a to i přes skutečnost, že pokud se v daném mezipovodí vyskytuje nádrž (bylo uvažováno se souborem 180 nejvýznamnějších nádrží na území ČR), tak tento objem nádrž nedokáže kompenzovat. Přehled použitých nádrží na mapovém podkladu je uveden v **Příloze VI**.

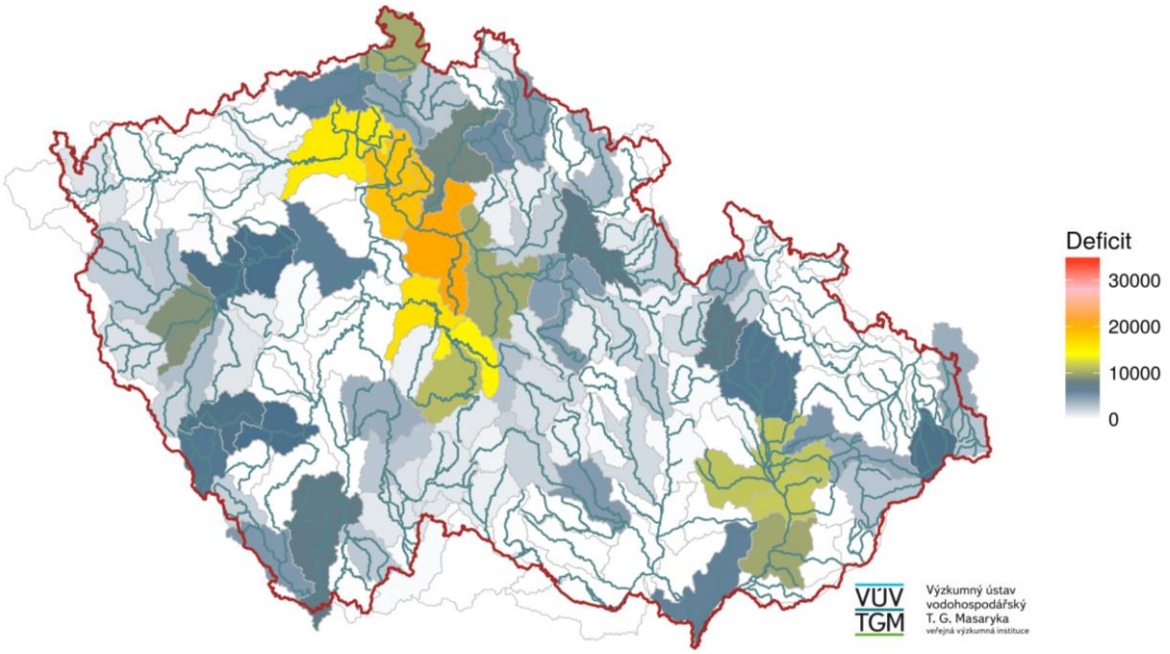


Obrázek 28 Deficitní objemy pro jednotlivé měsíce ve variantě mezipovodí pro rok 2015 (v tis. m^3/měsíc)

Na **Obrázek 29** jsou potom zobrazeny deficity pro variantu SOUST. Podobně jako v předchozí variantě se objemy v průběhu roku navyšují s maximem v měsících září a říjen, kdy hodnoty dosahují až 30 mil. m^3/měsíc. Měsíc září je poté zobrazen v podrobnějším měřítku na **Obrázek 30** a je lépe vidět, které toky byly v daném měsíci více deficitní a naopak, které toky po soutoku celkově nadlepšují. Je samozřejmé, že hodnoty deficitních objemů mohou narůstat s tím, jak roste velikost jejich zdrojových povodí. Na mapě je také možné vypozorovat, že nedostatkové objemy se vyskytovaly téměř na celém území České republiky, a také fakt, jak dokáže průtoky nadlepšovat Vltavská kaskáda a nádrže v povodí Ohře (vyskytuje se bílá barva, která indikuje malé nebo žádné deficitní objemy).



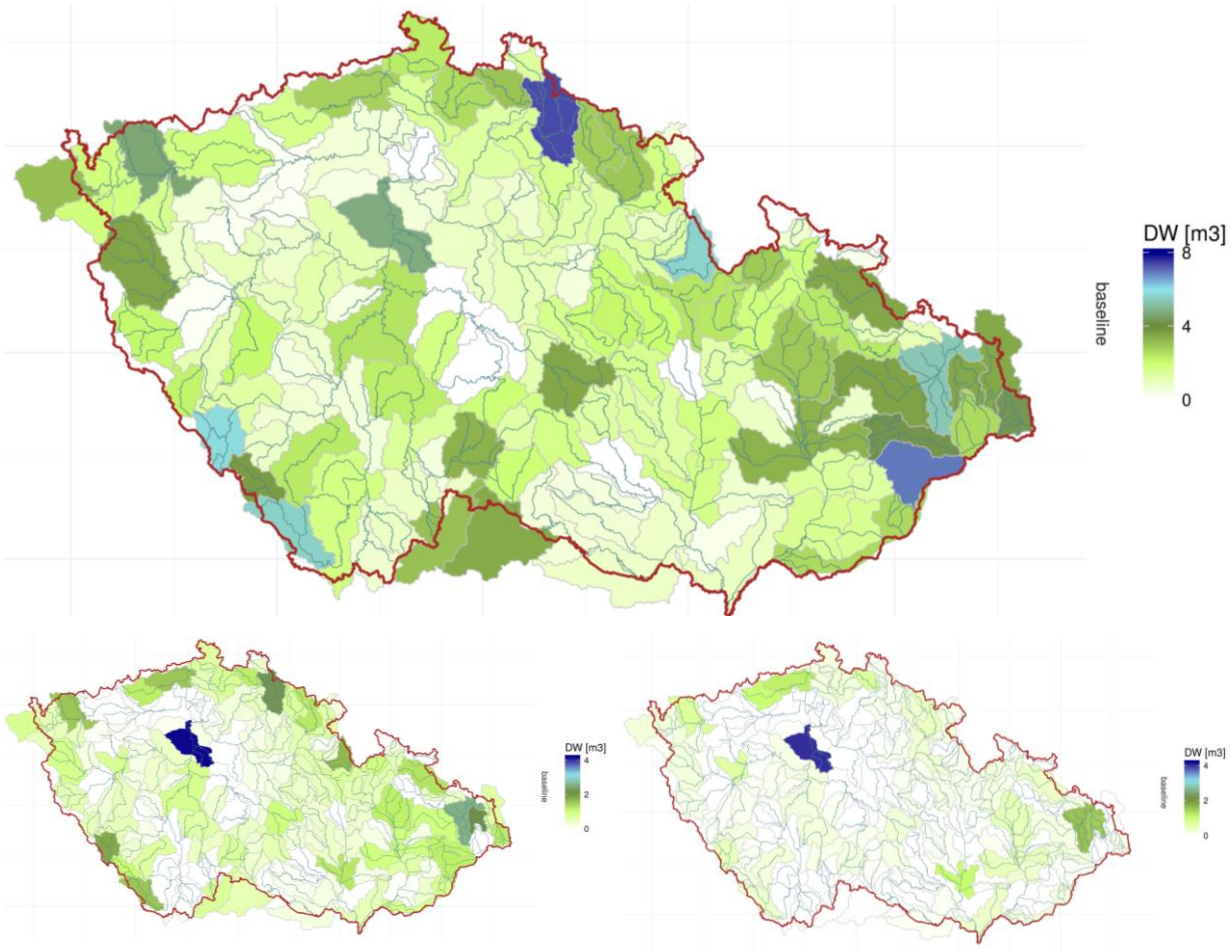
Obrázek 29 Deficitní objemy pro jednotlivé měsíce ve variantě soustava pro rok 2015 (v tis. m^3/měsíc)



Obrázek 30 Deficitní objemy pro měsíc září ve variantě soustava pro rok 2015 (v tis. m^3/měsíc)

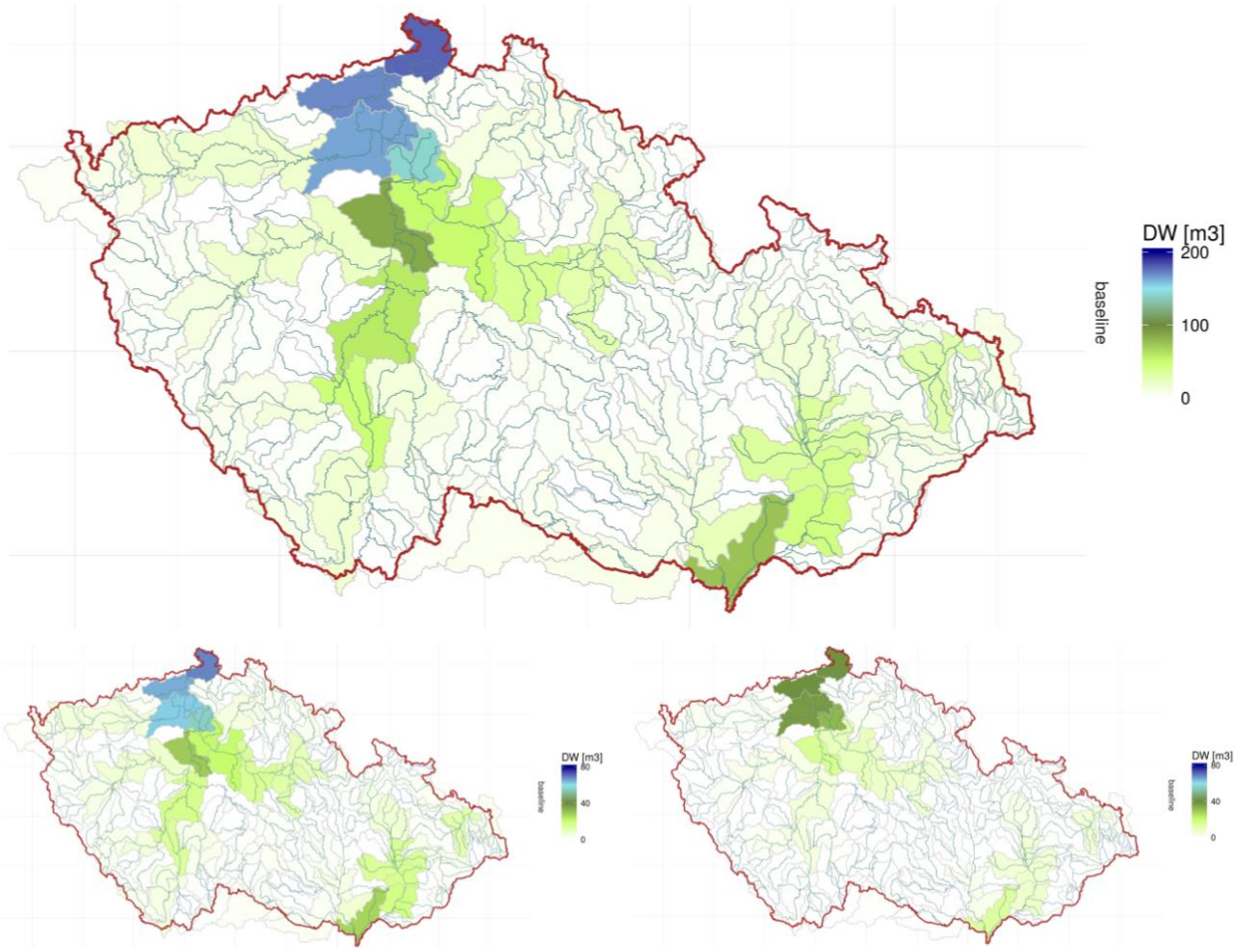
2.3 DISPONIBILNÍ ZDROJE VODY

Na **Obrázek 31** jsou zobrazeny průměrné disponibilní zdroje (mediány) pro variantu MEZI. V této variantě se disponibilní vodní zdroje pro průměrnou dostupnost v současných podmínkách se jednotlivá mezipovodí pohybují okolo 4 $m^3.s^{-1}$. Logicky vyšší hodnoty se vyskytují na horských a podhorských povodí a naopak nižší hodnoty se vyskytují v nížinách. Zajímavé však je, jak dostupnost vodních zdrojů klesá pro 5 ti leté sucho a zejména pro sucho 10 ti leté, kdy i pro současné podmínky jsou hodnoty téměř nulové. Výjimkou je mezipovodí v Praze, kde je velký vliv vypouštění z ČOV, jak již bylo řečeno. To s sebou však samozřejmě nese zhoršenou kvalitu vody (problematika je popsána v rámci jiného DÚ).



Obrázek 31 Disponibilní vodní zdroje pro variantu MEZI (nahoře - medián, vlevo – 5 ti leté sucho, vpravo 10 ti leté sucho)

Pro variantu SOUST a současné podmínky jsou dostupné vodní zdroje zobrazeny na **Obrázek 32**. Pro průměrné podmínky hodnoty dosahuje Labe na hranicích ČR hodnot téměř 200 $m^3.s^{-1}$. Pro 5 ti leté sucho tato hodnota klesá na třetinu a u 10 ti letého sucha na cca pětinu. Obdobné snížení je možné pozorovat pro období sucha i na ostatních tocích.

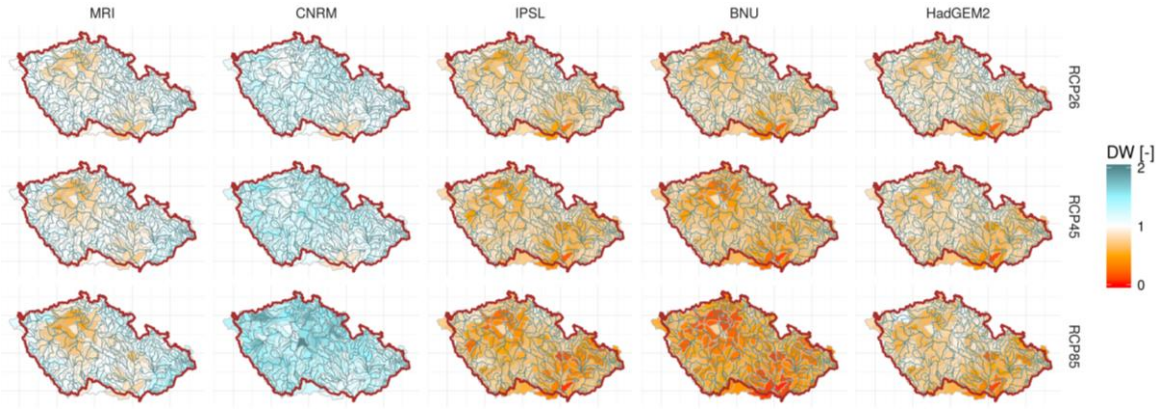


Obrázek 32 Disponibilní vodní zdroje pro variantu soustava (nahoře - medián, dole vlevo - 5 ti leté sucho, vpravo 10 ti leté sucho)

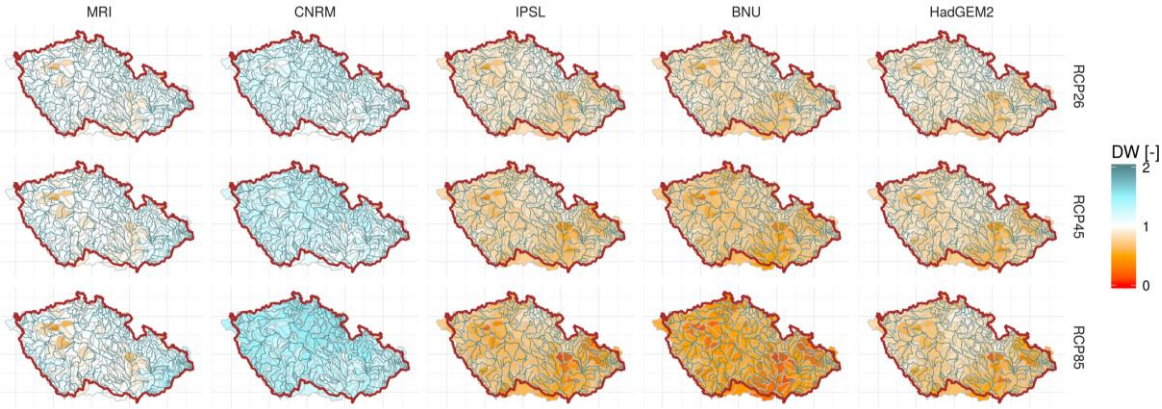
Hodnocení dopadů změny klimatu na vodní zdroje bylo provedeno dle 5 GCM a tří emisních scénářů RCP (popsané výše) pro tři časová období, a to:

- 2021-2040,
- 2041-2060,
- 2081-2100.

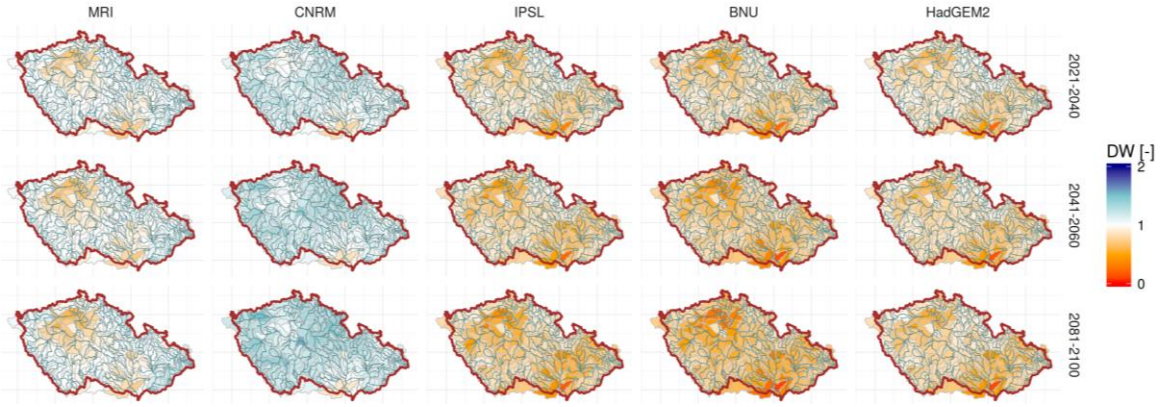
Relativní změny průměrných disponibilních vodních zdrojů pro období 2081-2100 ku současnosti jsou uvedeny na **Obrázek 33** pro variantu MEZI a na **Obrázek 34** pro variantu SOUST. Pro variantu SOUST lze pozorovat prostorovou vyrovnanost, která je dána zapojením do systému vodních nádrží, které jsou schopny nadlepšovat průtoky. Naopak **Obrázek 33** nám ukazuje lokální změnu disponibilních vodních zdrojů. Dále je také možné pozorovat i rozdíly v rámci jednotlivých emisních scénářů (řádky) a GCM (sloupce). Můžeme vidět velkou nejistotu v modelování dopadů změny klimatu na vodní zdroje, které jsou dány všemi modelovými nástroji a okrajovými podmínkami. Na druhou stranu můžeme konstatovat, že 3(4) z 5 GCM predikují snížení disponibilních zdrojů vody a pouze jeden predikuje nárůst (kromě Jižní Moravy). Poklesy jsou navíc velmi výrazné. Na dalších dvou obrázcích (**Obrázek 35** a **Obrázek 36)** jsou uvedeny změny pro obě varianty a všechny tři časové horizonty. Můžeme pozorovat, jak se poměr dostupnosti vody mění v čase, a můžeme říct, že s časem tato dostupnost klesá. Pro ukázku byl zvolen „*střední*“ emisní scénář RCP 4.5. Další mapové výstupy jsou dostupné na webovém portálu http://www.suchovkrajine.cz.



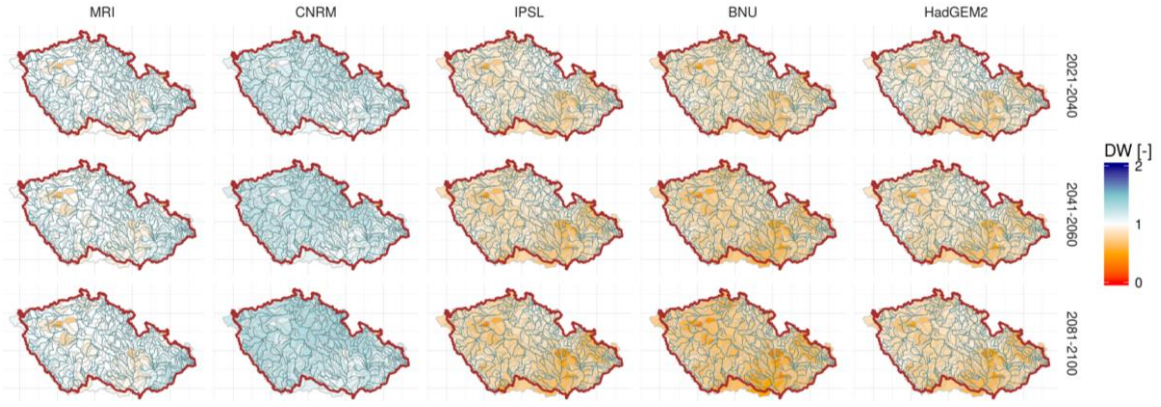
Obrázek 33 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu MEZI a časový horizont 2081-2100



Obrázek 34 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu SOUST a časový horizont 2081-2100



Obrázek 35 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu MEZI a RCP 4.5 (3 časové horizonty)



Obrázek 36 Relativní změny disponibilních vodních zdrojů pro variantu SOUST a RCP 4.5 (3 časové horizonty)

ZÁVĚR

Dílčím výstupem úkolu je formulování obecných závěrů a doporučení, které se zabývají hodnocením hydrologické bilance pro současné a podmínky ovlivněné změnou klimatu. Závěrečná zpráva též obsahuje doporučení pro hodnocení hydrologické bilance v období sucha.

V rámci řešení úkolu byla zpracována hydrologická bilance na celém území České republiky na souboru 133 mezipovodí pro současné a výhledové podmínky. Dále byly zpracovány disponibilní vodní zdroje v jednotlivých letech a výhledech ke konci 21. Století. Byla provedena trendová analýza jednotlivých veličin dle Mann-Kendall testu. Výsledky byly zpracovány do mapových podkladů, které jsou součástí této zprávy a jsou ve větším měřítku na webovém portále http://www.suchovkrajine.cz. Na základě zjištěných poznatků zde bodově uvádíme obecné závěry a doporučení:

1. Vyhodnotit **hydrologickou a vodohospodářskou bilanci v denním kroku** na území ČR, stanovit metodiku pro hodnocení bilance v denním kroku
2. Zpracovat **hydrologickou bilanci pro** jednotlivé **vodní útvary**
3. Vytvoření propojeného modelu hodnotícího hydrologickou, vodohospodářskou bilance v online módu
4. Zpracování dlouhodobých syntetických řad pro vyhodnocení hydrologické bilance, u které by se daly stanovit dlouhodobé doby opakování

Do návrhu Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky, bod 2.2.a.i je poskytnuta mapa hydrologické bilance za období 1981-2015 pro přirozené průtoky. Dále je přiložena mapa propagace sucha za celé období v měsíčním časovém kroku a mapy porovnání změn odtokových výšek v jednotlivých měsících za rok 2015 ku průměru odtoků za referenční období 1981-2015. Výsledky jsou také použity v návrhu, bod 2.2.b.i. a slouží jako analytický podklad ohledně definování hydrologického sucha pro celý návrh koncepce.

V rámci řešení dílčího úkolu byly identifikovány následující nejistoty:

- neexistence vybraných prostorově distribuovaných hydrologických podkladů v potřebné podrobnosti (minimální a maximální odtoky, charakteristiky variability odtoku, vybrané kvantily rozdělení odtoku, charakteristiky základního odtoku apod.) pro kalibraci hydrologického modelu BILAN na mezipovodí,
- malá podrobnost řešení, která hodnotí pouze velké územní celky, lokální problémy mohou zaniknout
- neexistence syntetických řad, dle kterých je možné simulovat delší doby opakování (tzn. kvantifikovat například 100 leté sucho)

LITERATURA

Horáček, S. a Kožín, R. (2016) Characteristics and Simulations for Water Reservoirs. R package version 2015.8.9000.

Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. London: Griffin.

Libiseller, C. and Grimvall, A. (2002) Performance of partial Mann Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. Environmetrics, 13, p. 71–84.

Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., et al. (2008) Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change,Geneva, technical summary.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., et al., eds. (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i.: Ladislav Kašpárek, Martin Hanel, Stanislav Horáček, Petr Máca and Adam Vizina (2016). Bilan water balance model. R package version 2016-06-16.

Vizina, A., Horáček, S., Hanel, M., Kašpárek, L. (2015) Nové možnosti modelu Bilan. VTEI – 2015/4-5.

Vlnas, R. (2015) Pozorované změny složek hydrologické bilance z hlediska využitelných vodních zdrojů. VTEI – 2015/4-5.

Wood, S.N. (2006) Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA I - POJMY

Povodí – je základní hydrologická oblast, ve které se Povodí zkoumá odtokový proces a bilance jednotlivých prvků. Území po hydrologické stránce uzavřené, nepřitéká do něj žádná voda po povrchu ani pod povrchem. Je ohraničeno rozvodnicí.

Rozvodnice – je myšlená hranice mezi povodími. Orografická rozvodnice probíhá po hřebenech, vrcholech a sedlech. Hydrogeologická rozvodnice ohraničuje povodí podpovrchových vod

Uzavírající profil – je místo kterým protéká všechen Uzavírající profil odtok z povodí. Zpravidla je v tomto místě odtok pozorován, proto je potřeba k tomuto místu stanovit charakteristiky povodí. Určí se v místě, kde je vhodné znát odtok: nad cestou s propustkem, před vtokem do většího toku, apod.

Srážkový úhrn – Srážky jsou pojem zahrnující velkou část hydrometeorů. Jedná se o soustavu částic vody, vzniklých kondenzací vodní páry nebo sublimací nebo podobně (například zdvižením větrem z povrchu země), které padají z atmosféry na zemský povrch či kondenzují přímo na zemském povrchu. Srážky jsou jednou z hlavních částí koloběhu vody v přírodě. Jejich množství označujeme za srážkový úhrn.

Teplota vzduchu – vyjadřuje teplotu vzduchu naměřenou ve 2 m nad zemí. V této studii se jedná o průměrnou měsíční hodnotu vypočtenou z denních hodnot (měřené v 7, 14 a 21 hod.).

Odtok – je hydrologický pojem vyjadřující objem vody, která odteče za určité časové období z povodí. Odtok je tvořen několika složkami, jejichž součet se označuje jako celkový odtok. Odtok se zahrnuje do hydrologické bilance.

Odtokový součinitel – udává, jaké množství ze spadlé srážky odteklo povrchovým odtokem. Většinou se stanovuje pro období 1 rok a delší.

Evapotranspirace – množství vody nebo výška vrstvy vody vypařené a transpirované za určitý časový interval z určité plochy, vyjadřuje se tudíž v mm.

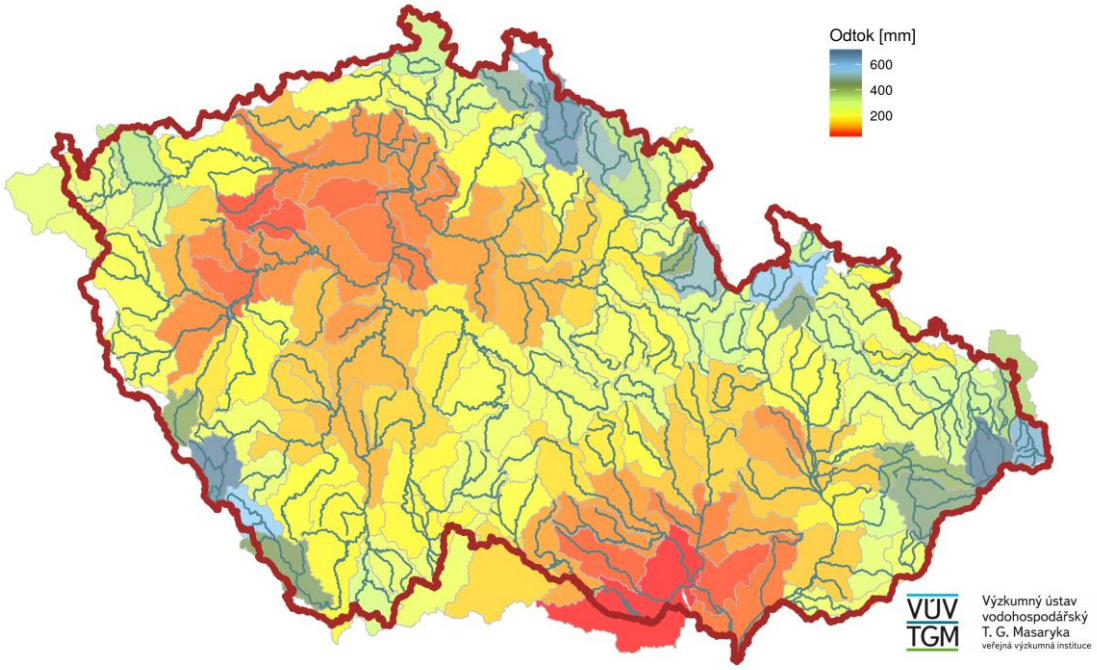
Hydrologická bilance – pro povodí či určité území se stanovuje hydrologická bilance, která rekapituluje vstupy (srážky, přítok, zásoby vody) a výstupy (výpar, odtok, úbytek zásob vody) do hydrologického systému povodí.

Vodohospodářská bilance – porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu.

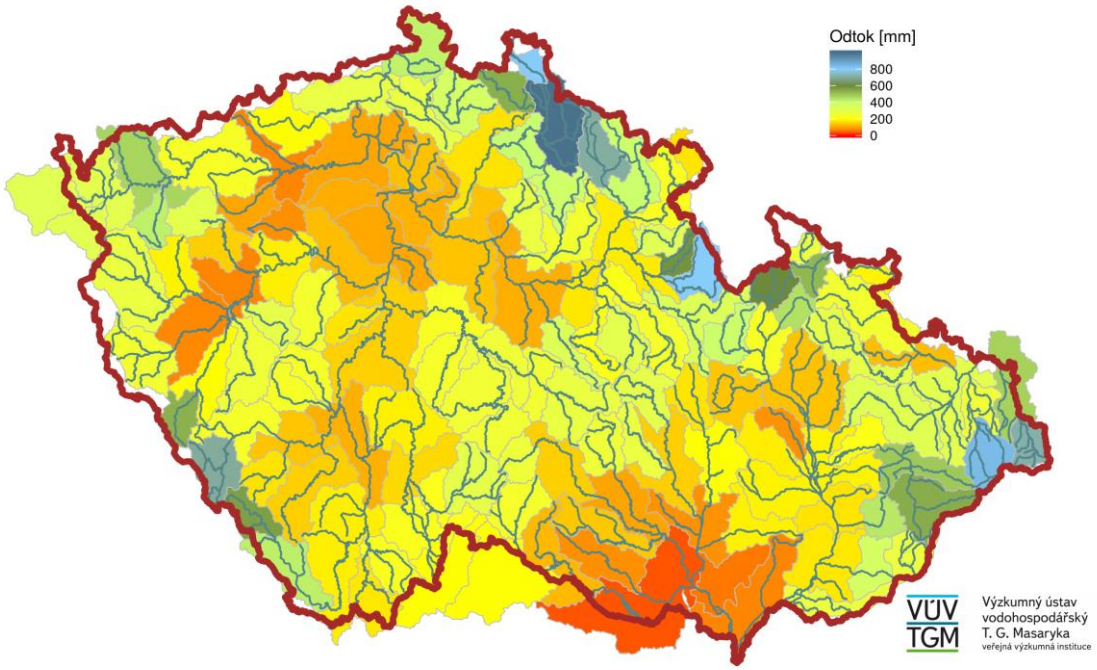
Vodní bilance – sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Obsah vodní bilance a způsob jejího sestavení stanoví Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí vyhláškou.

PŘÍLOHA II – MAPY ODTOKŮ – ROK

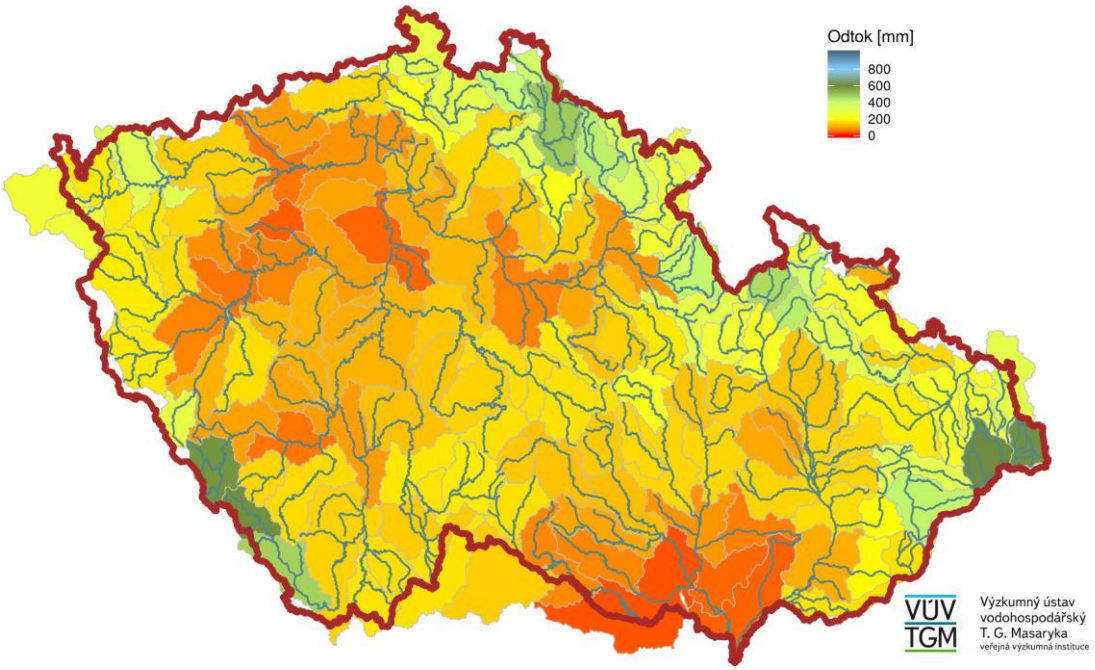
Průměrný roční odtok za období 1981-2015



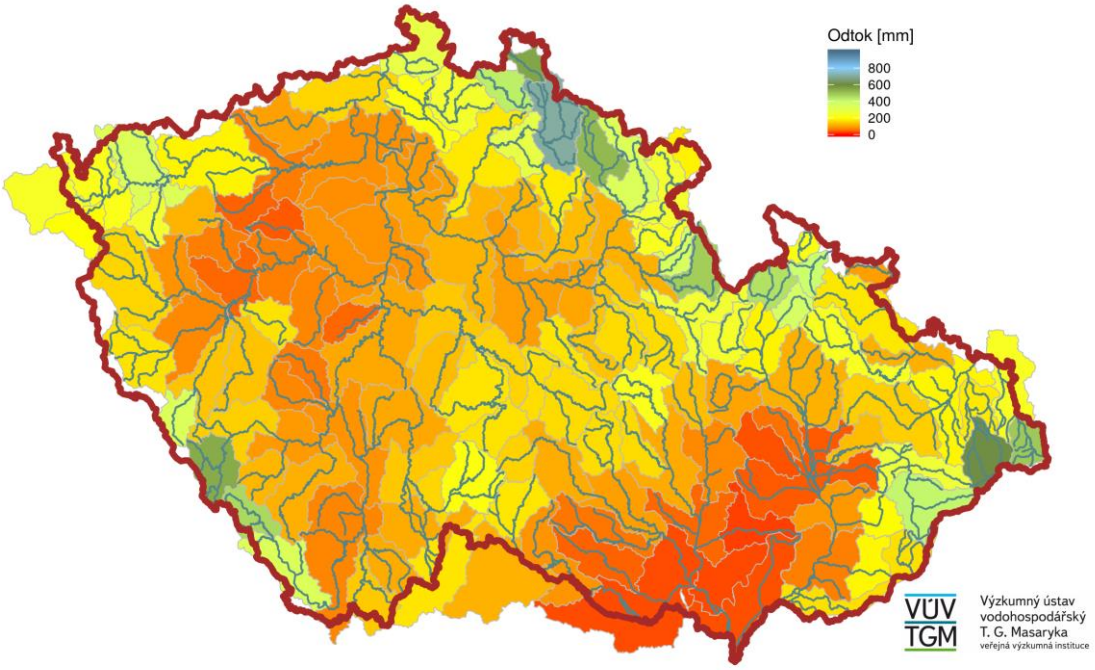
Odtok - rok 1981



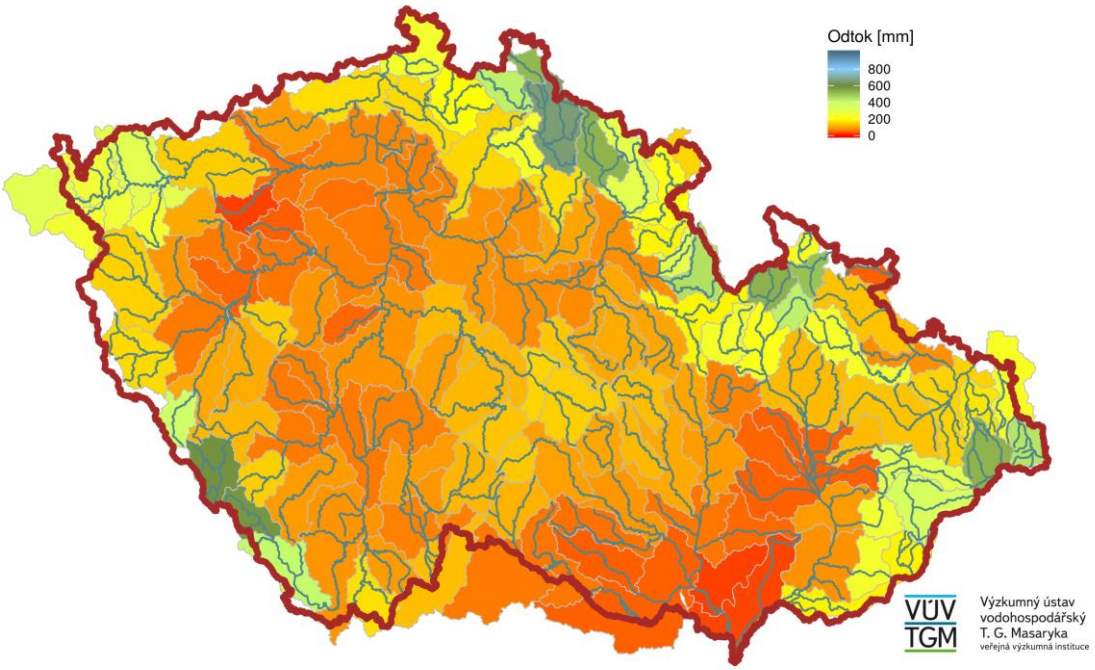
Odtok - rok 1982



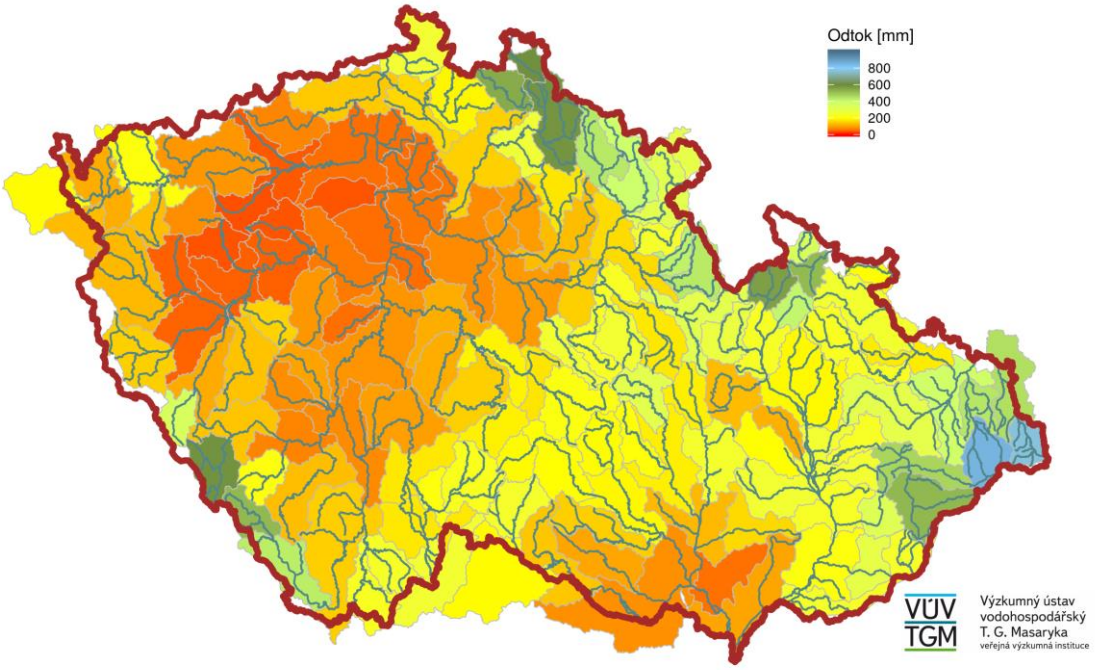
Odtok - rok 1983



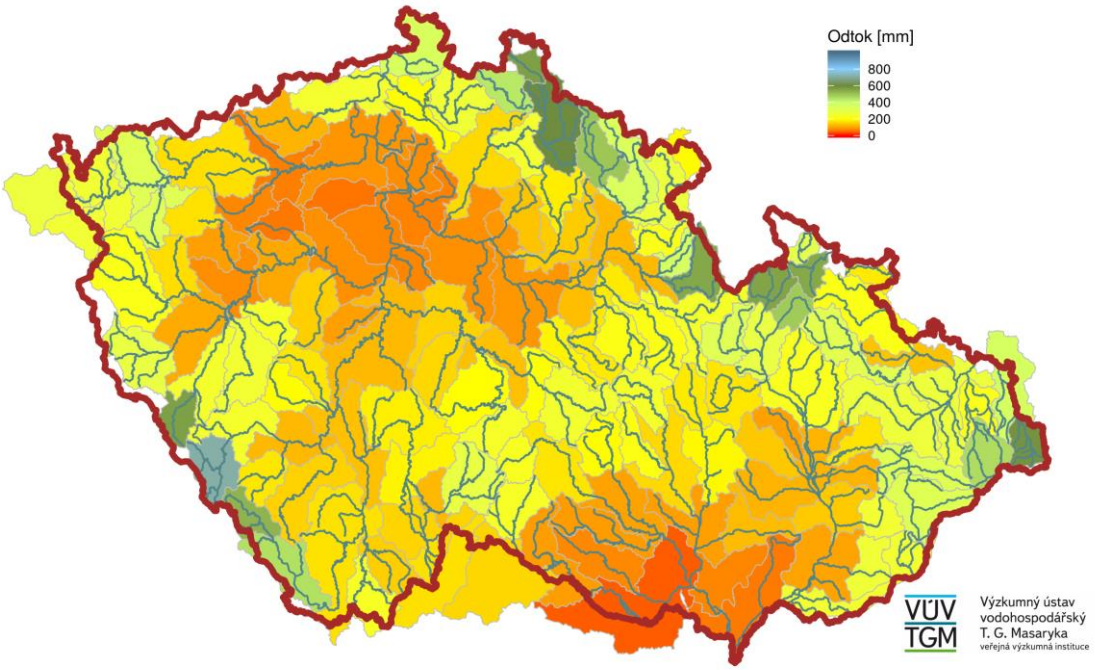
Odtok - rok 1984



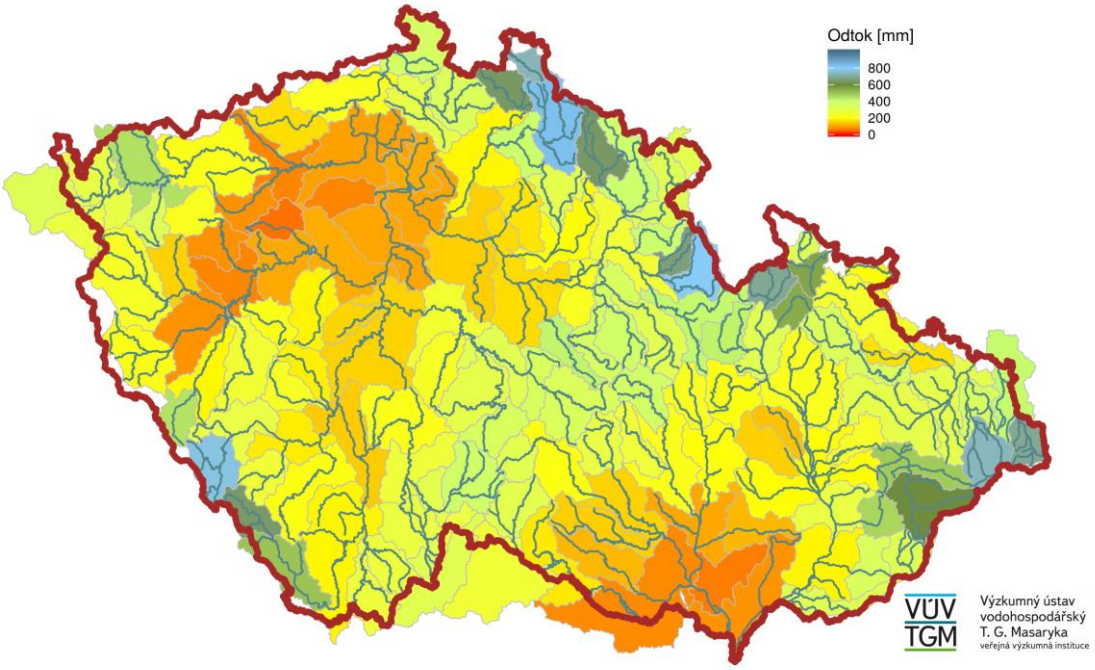
Odtok - rok 1985



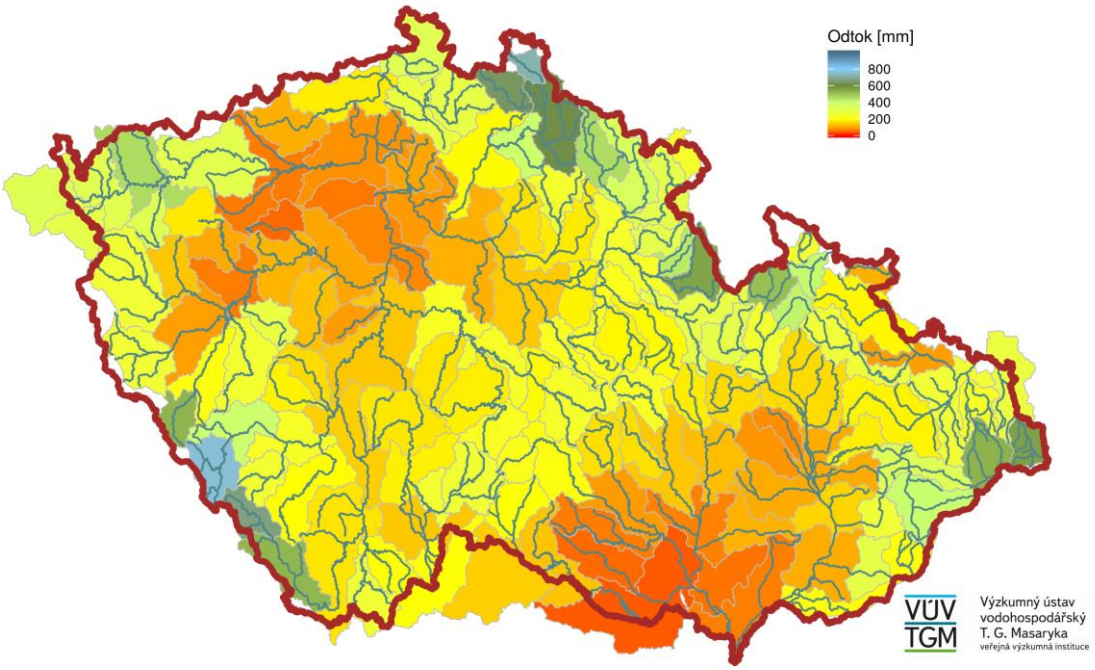
Odtok - rok 1986



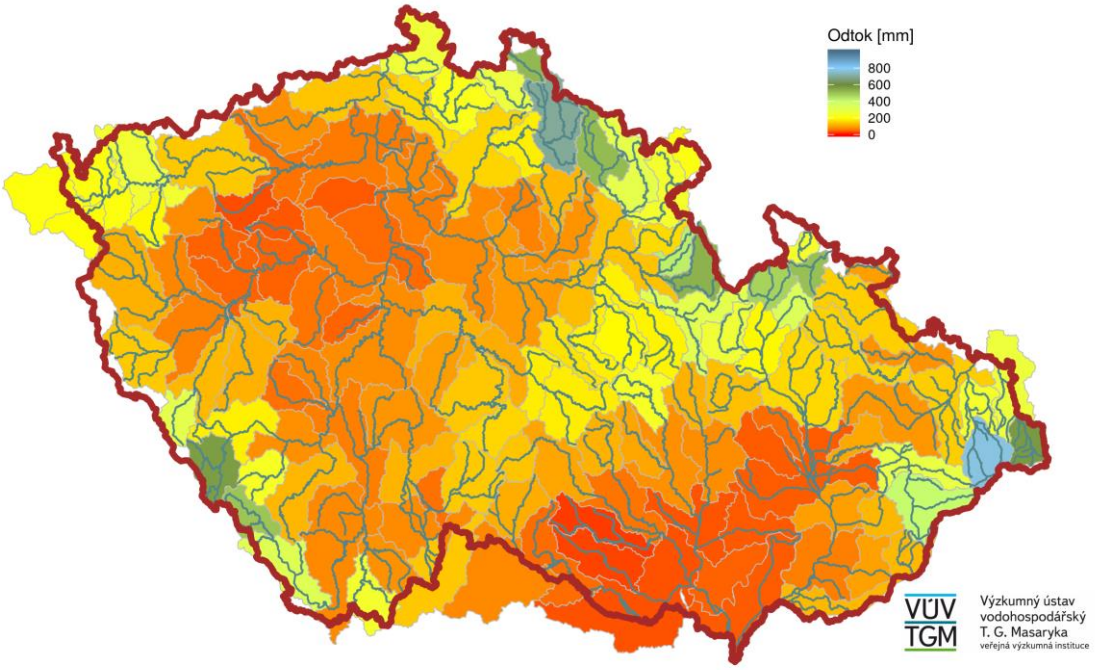
Odtok - rok 1987



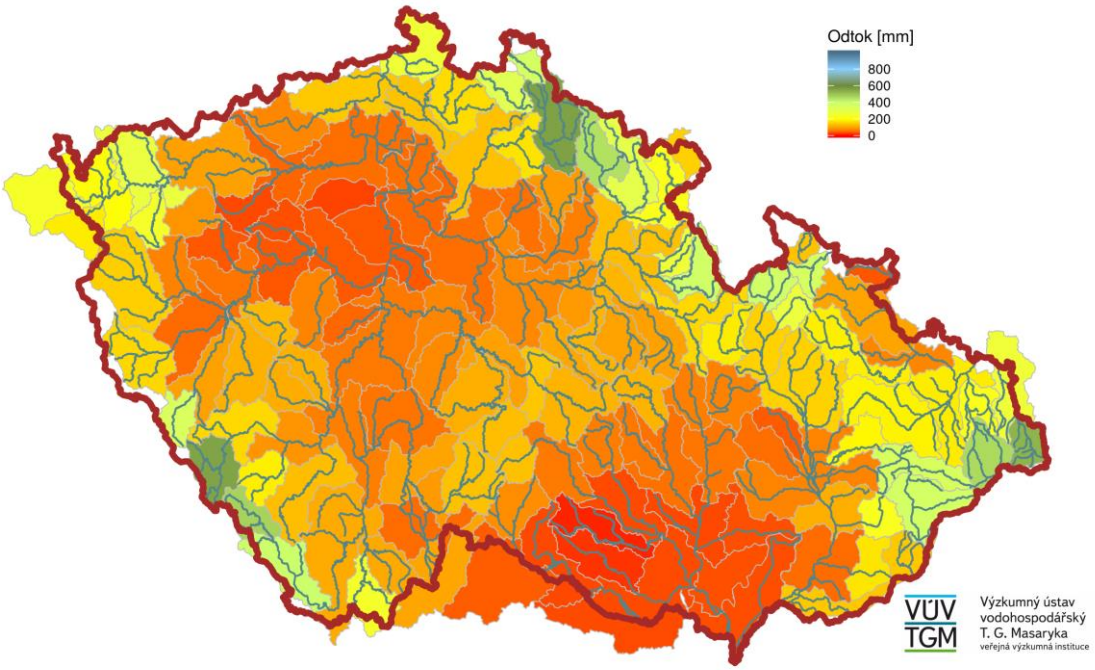
Odtok - rok 1988



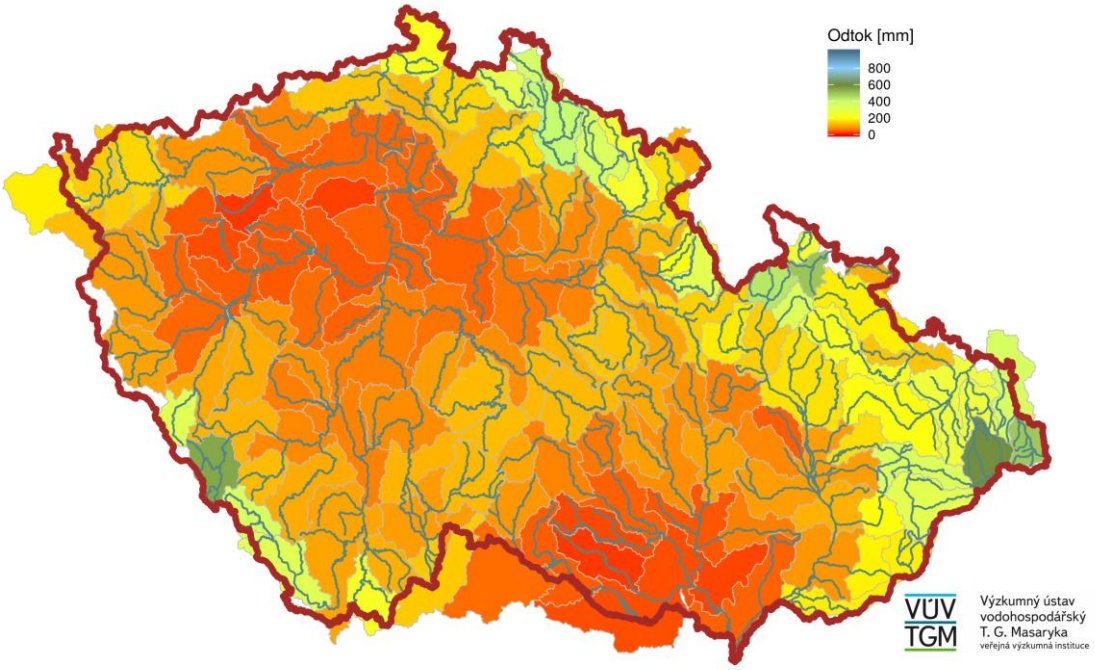
Odtok - rok 1989



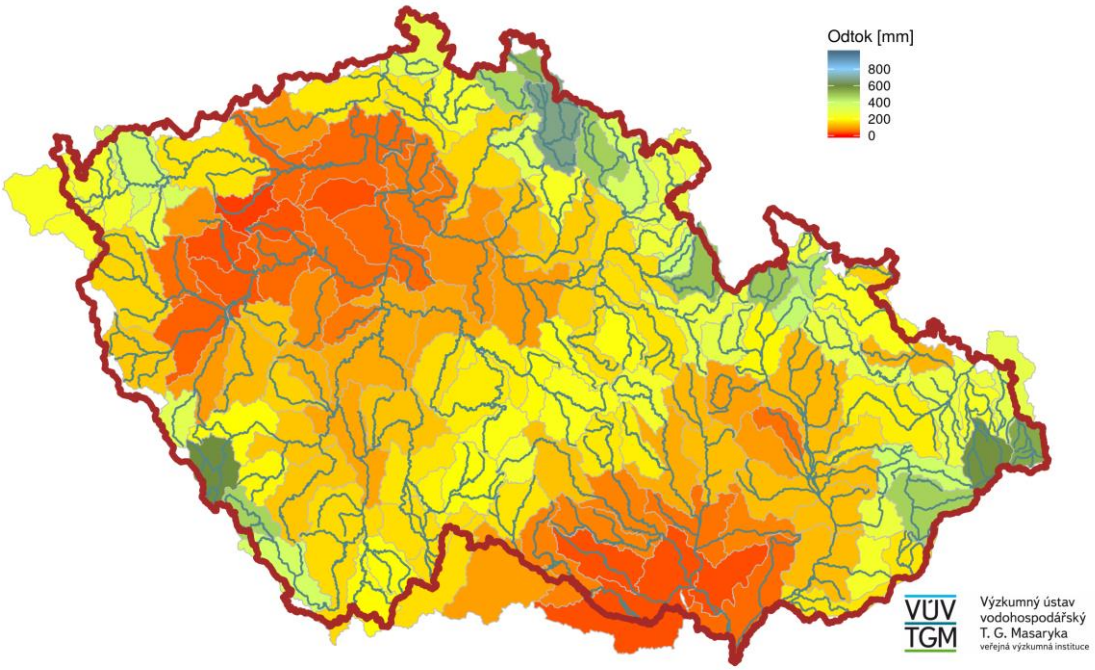
Odtok - rok 1990



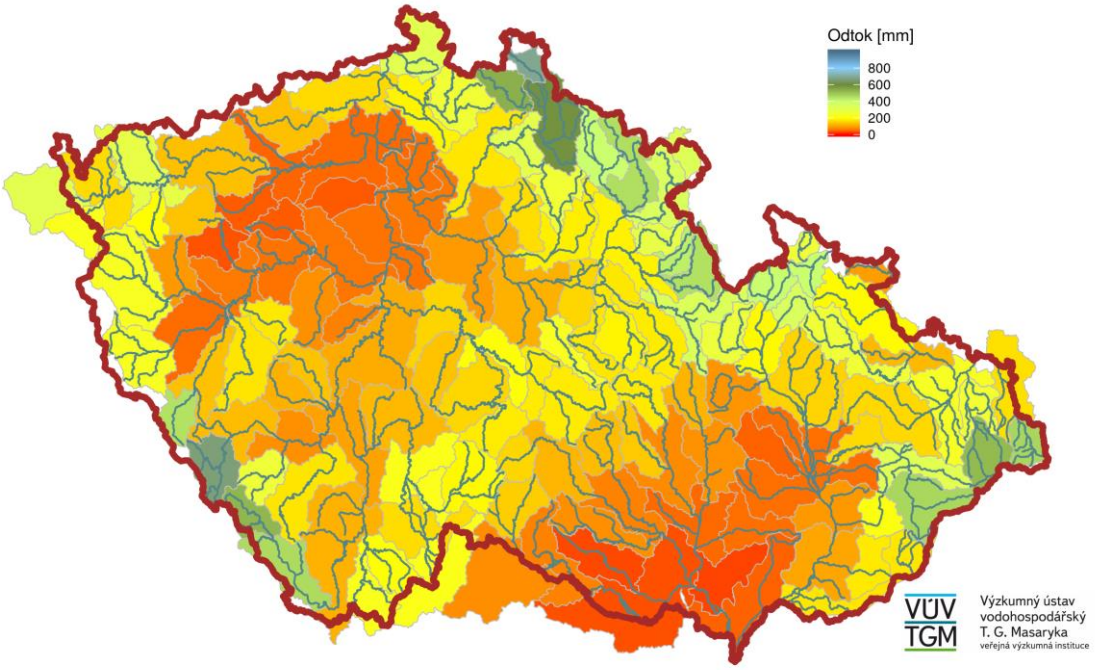
Odtok - rok 1991



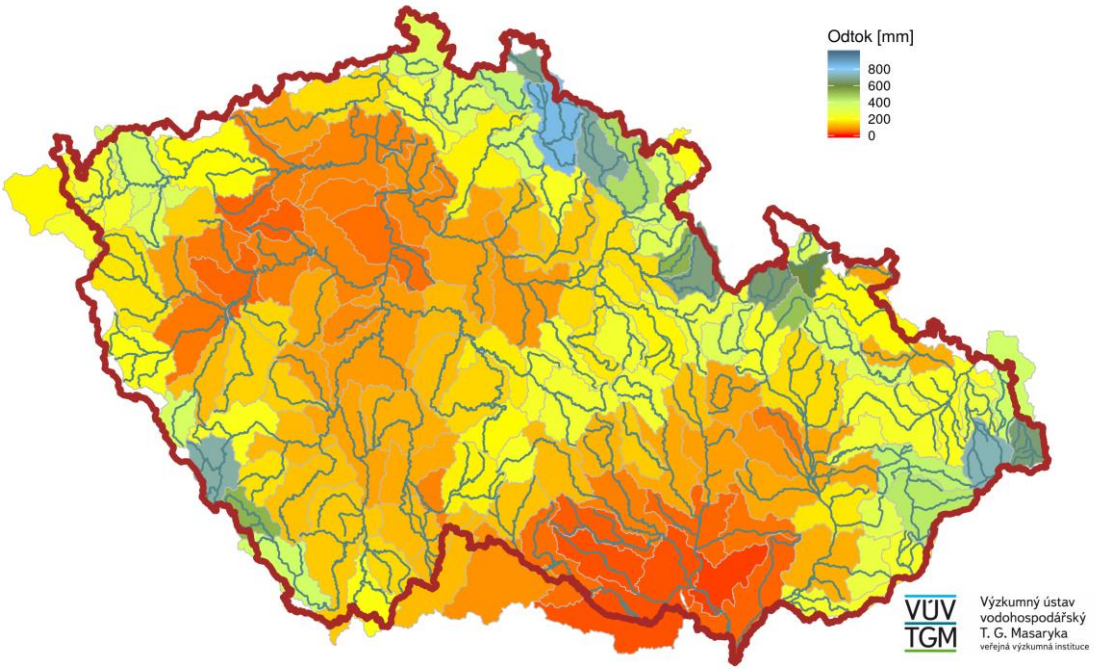
Odtok - rok 1992



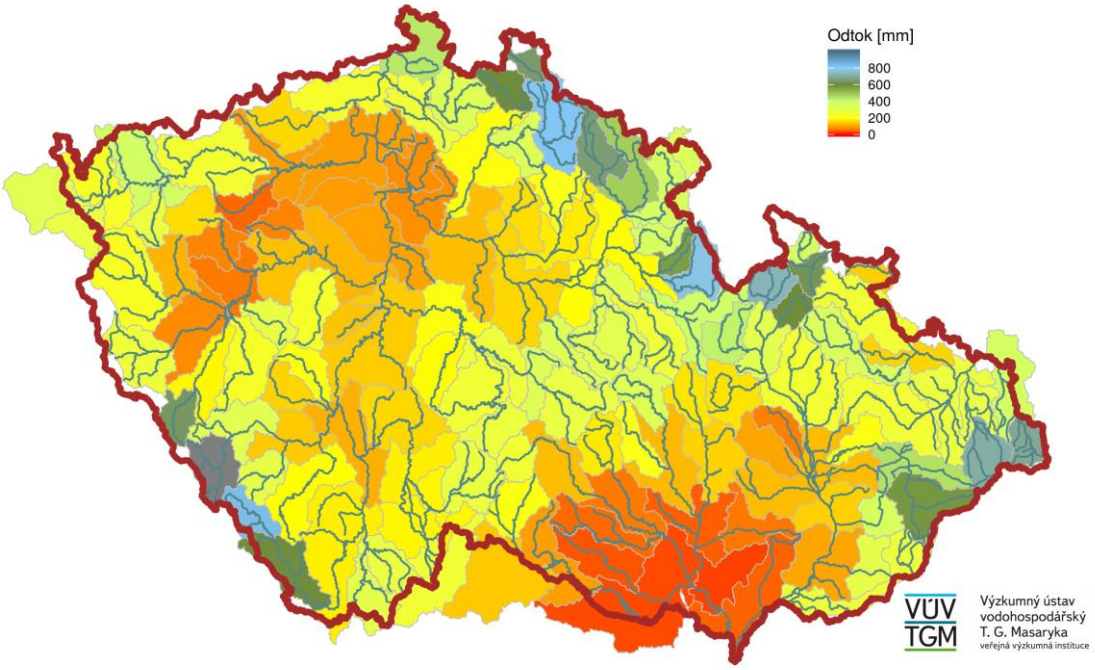
Odtok - rok 1993



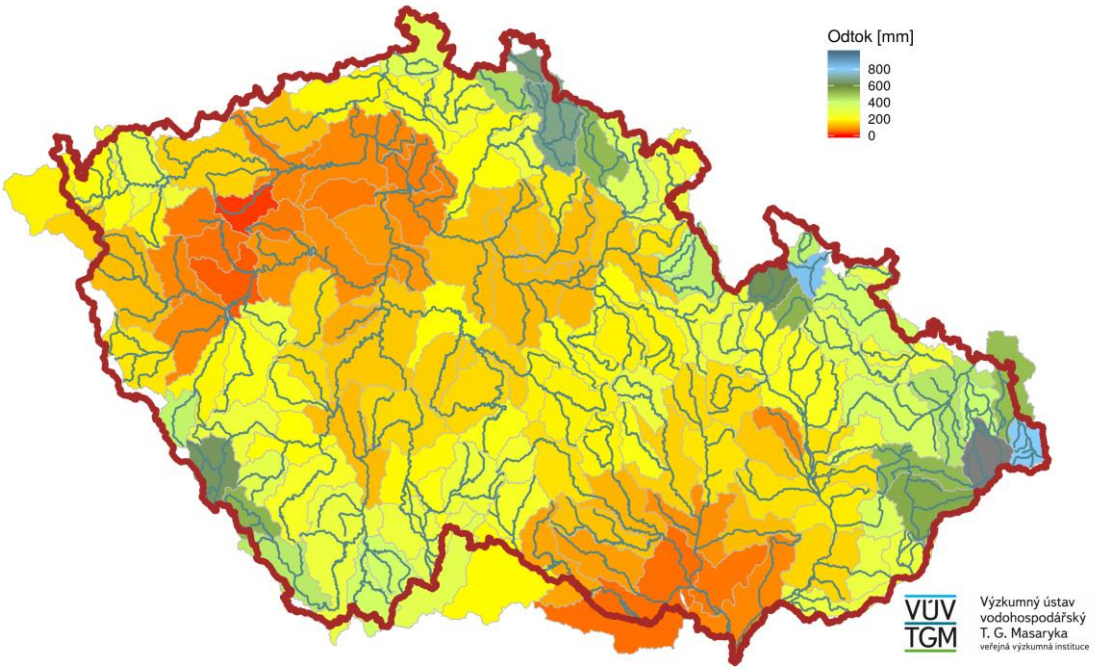
Odtok - rok 1994



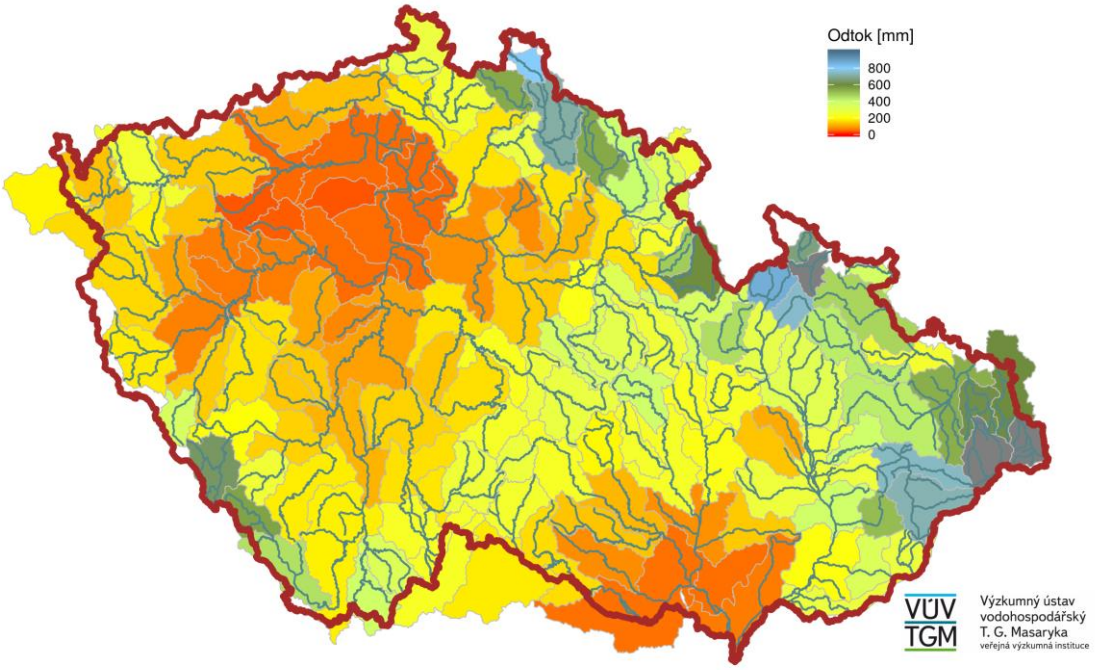
Odtok - rok 1995



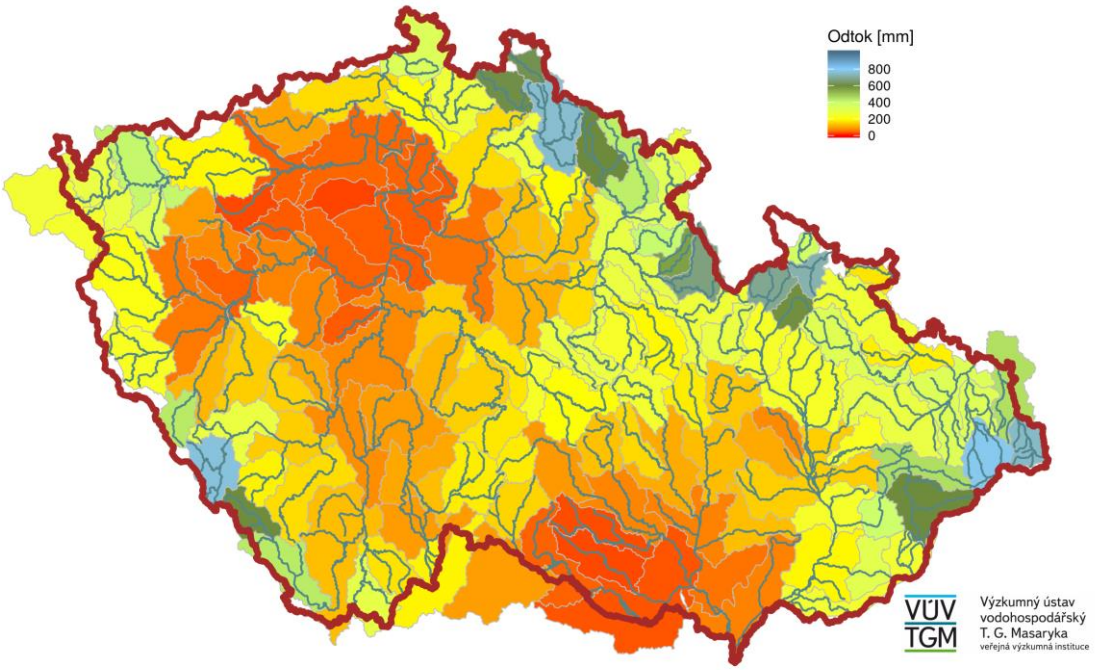
Odtok - rok 1996



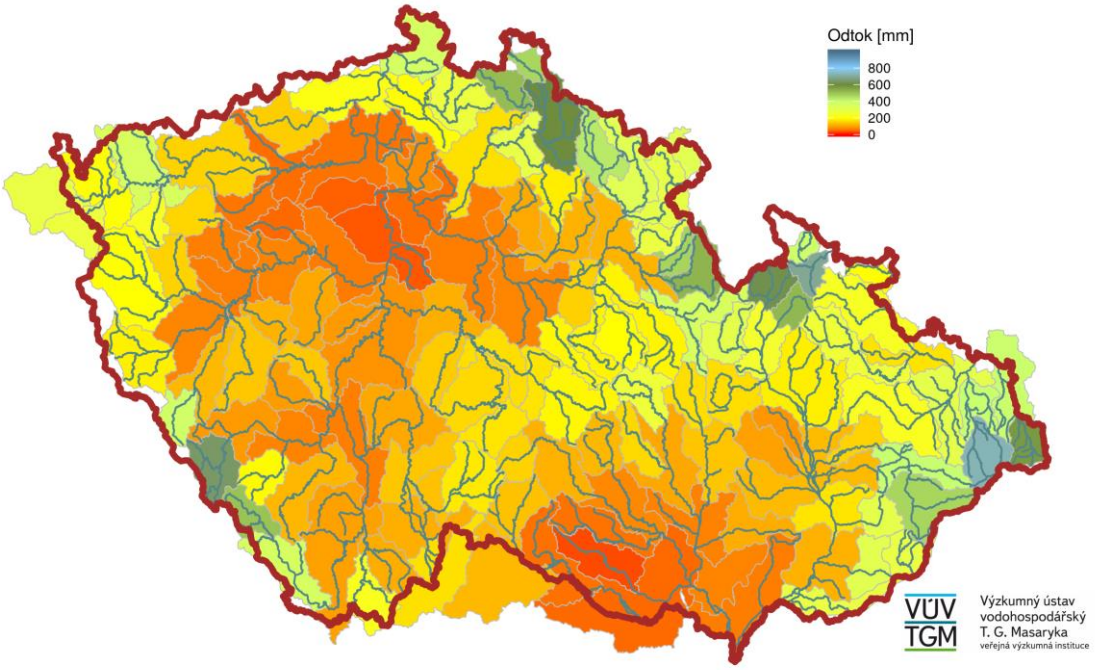
Odtok - rok 1997



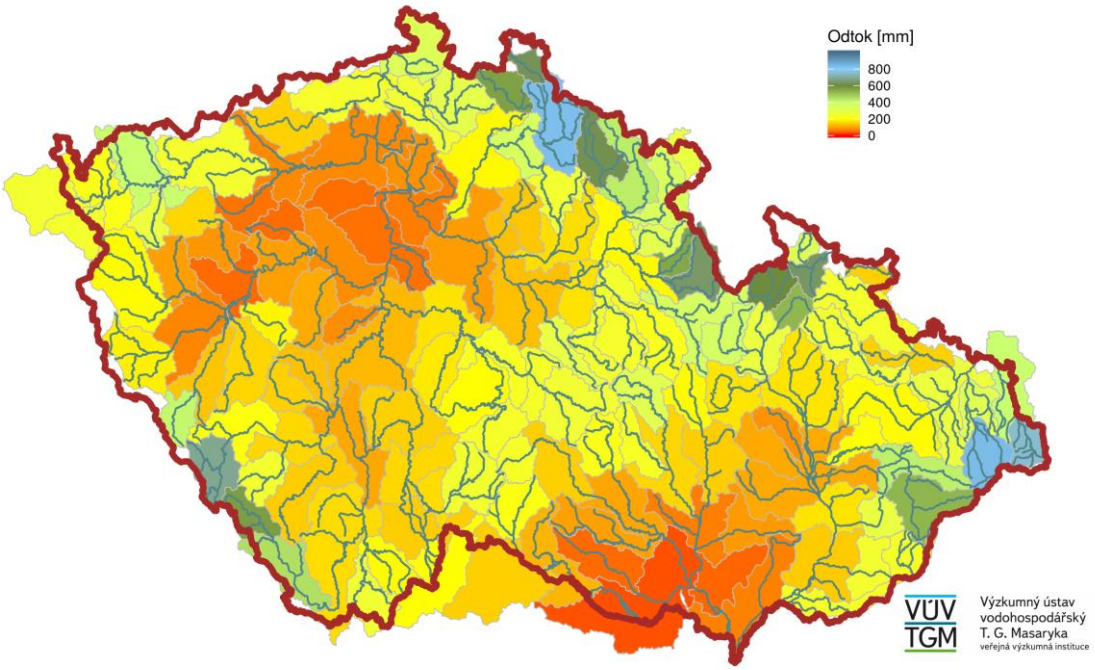
Odtok - rok 1998



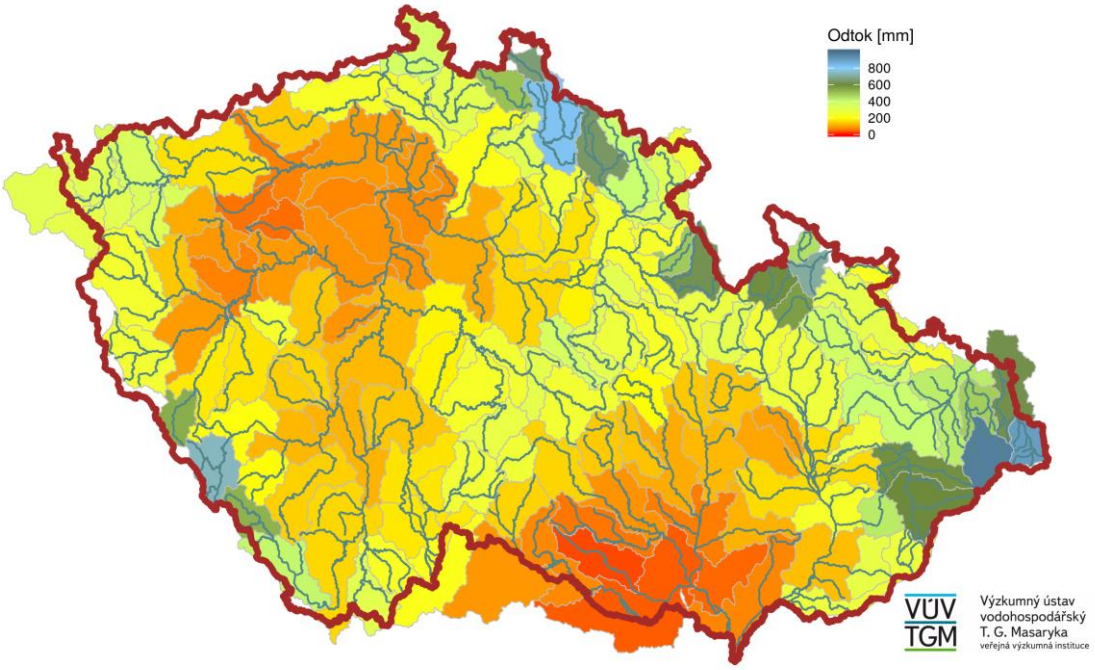
Odtok - rok 1999



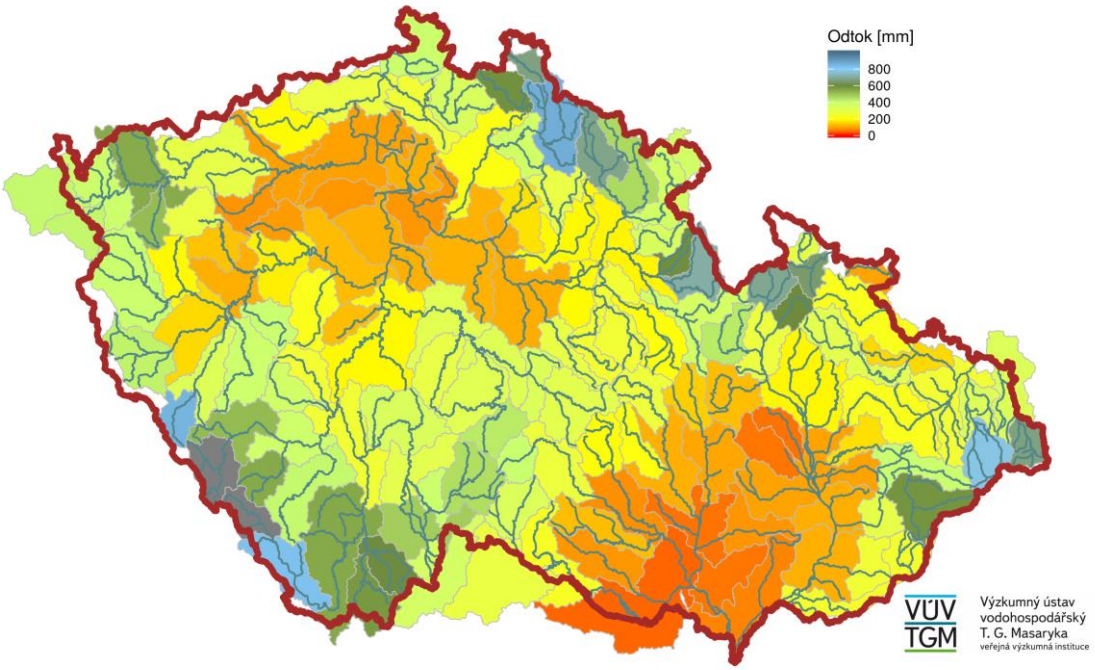
Odtok - rok 2000



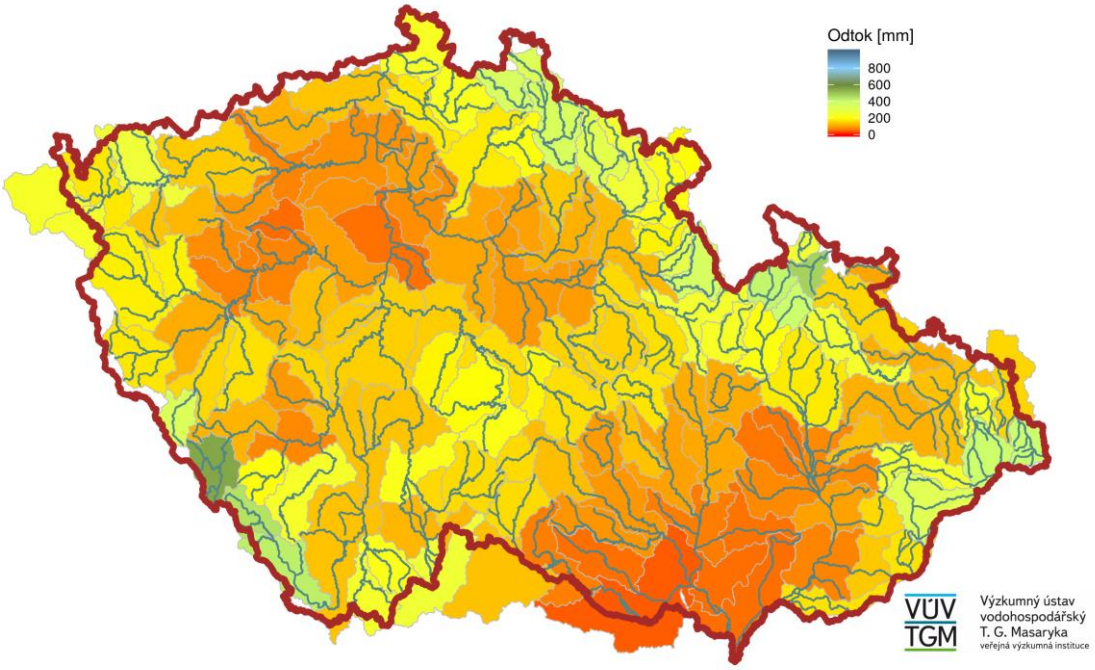
Odtok - rok 2001



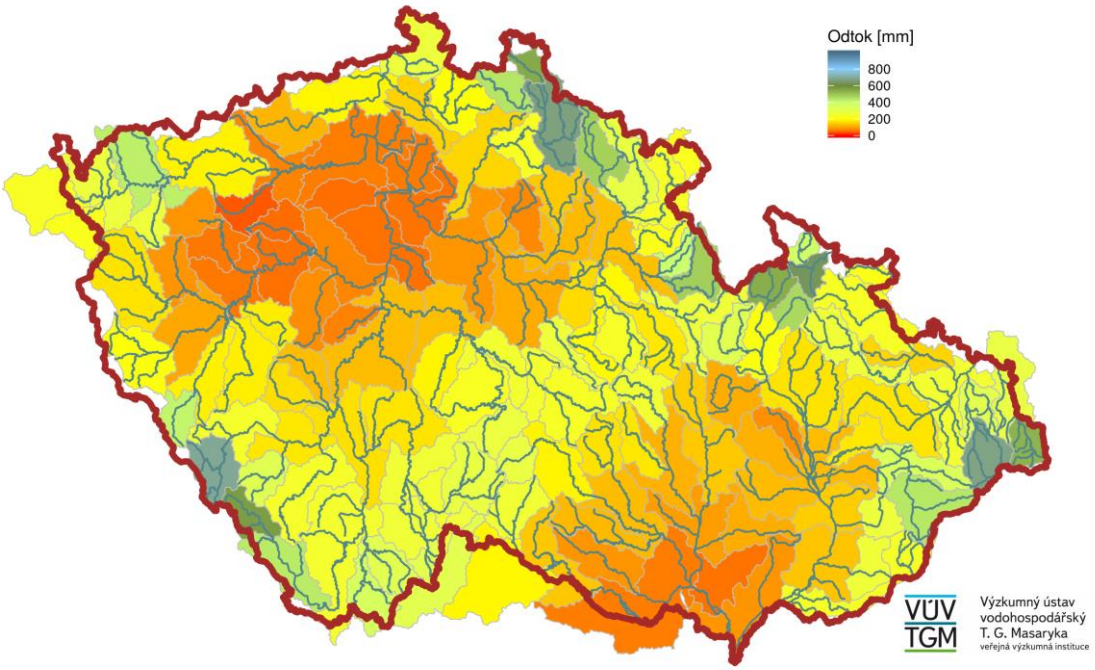
Odtok - rok 2002



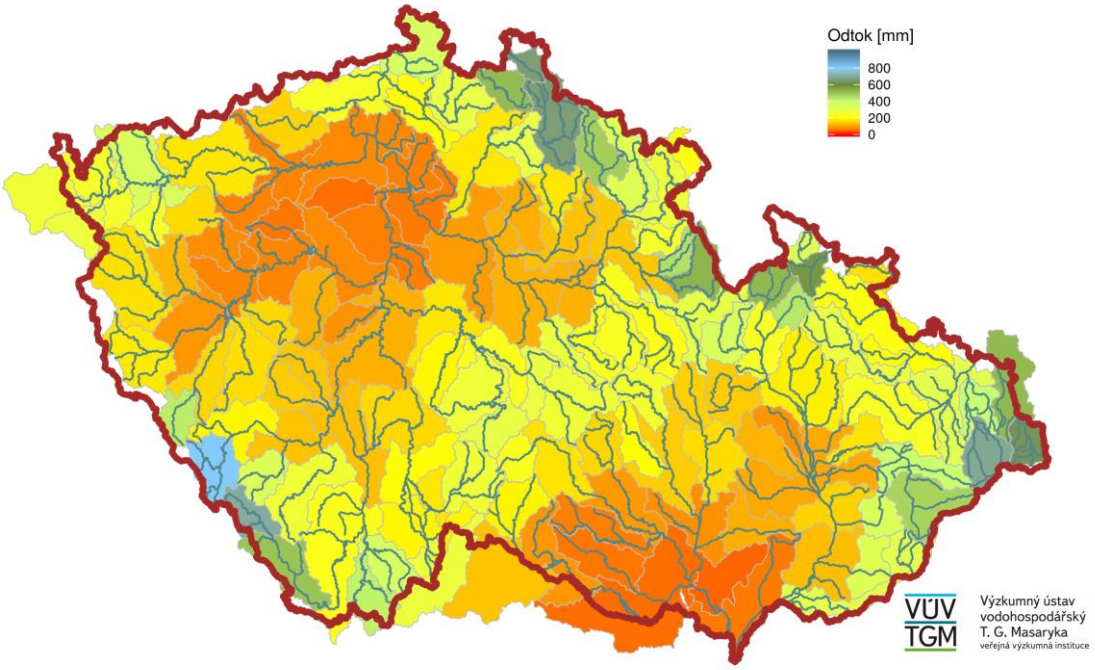
Odtok - rok 2003



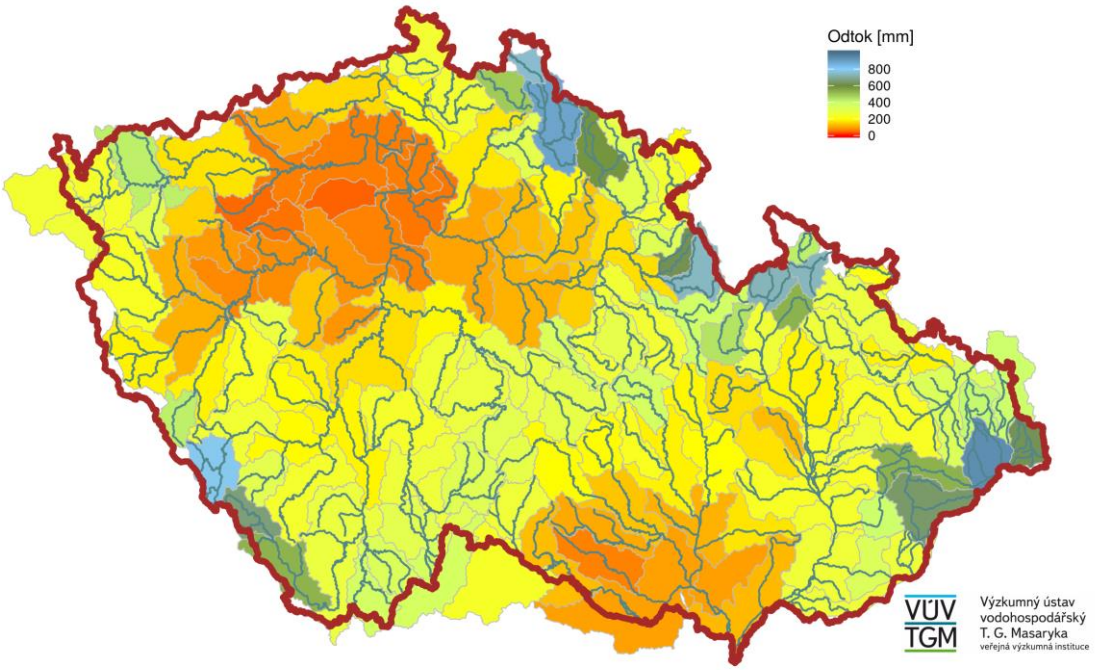
Odtok - rok 2004



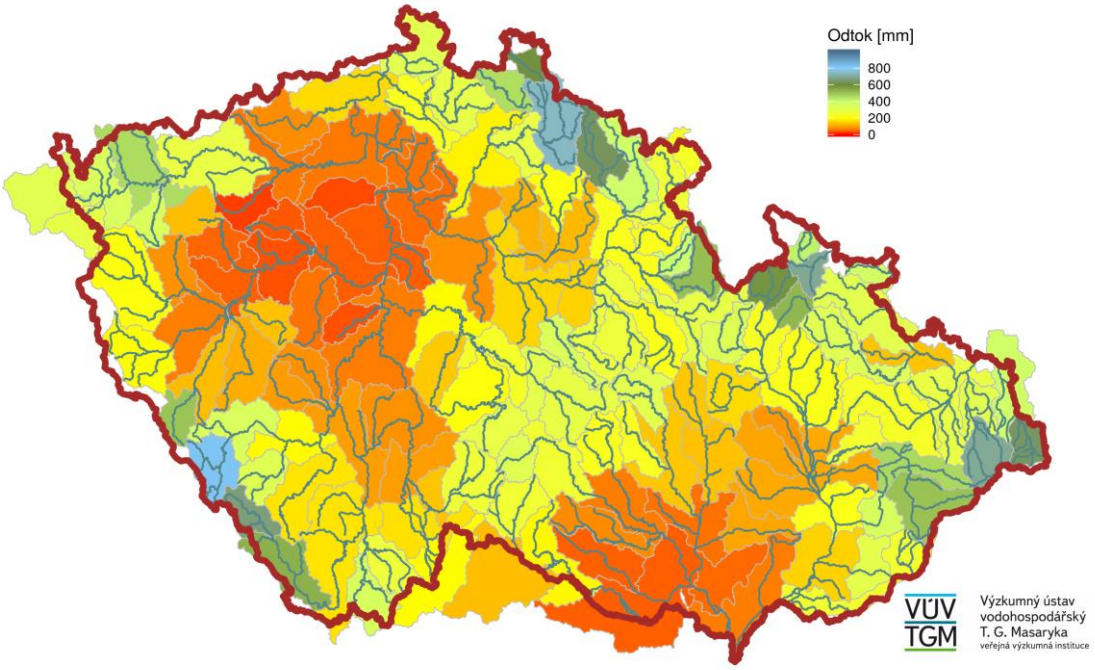
Odtok - rok 2005



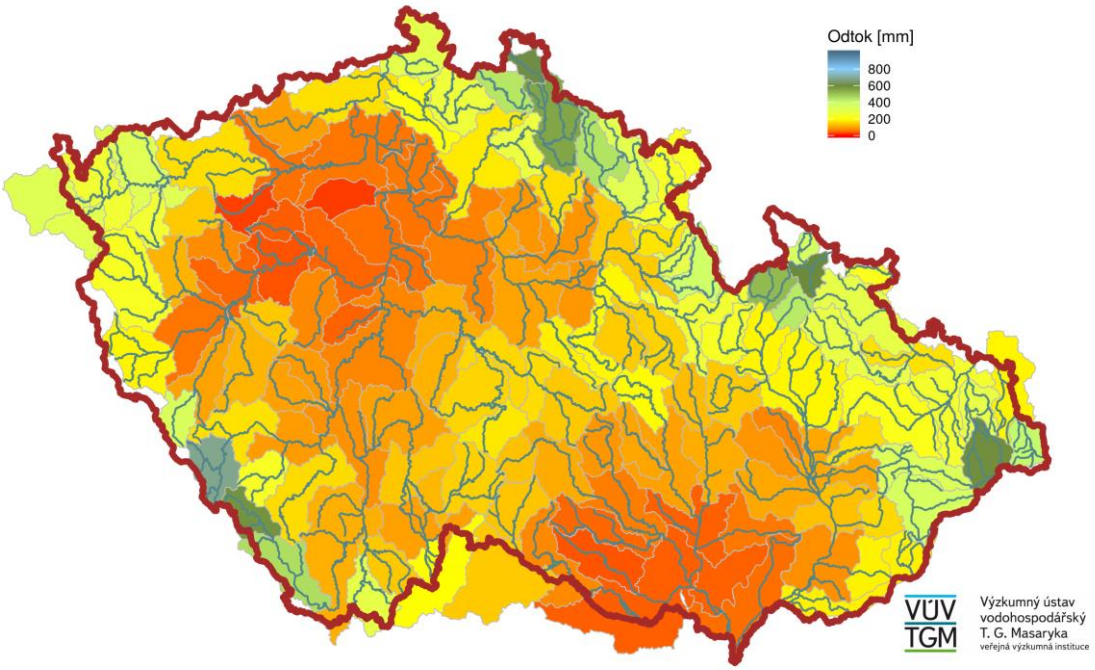
Odtok - rok 2006



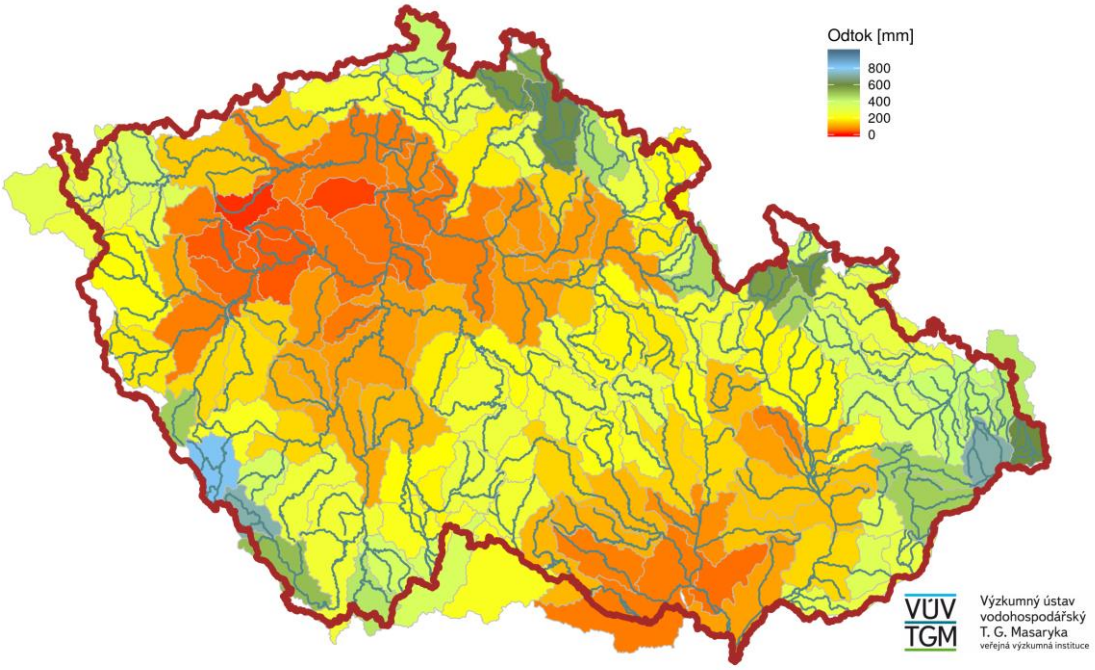
Odtok - rok 2007



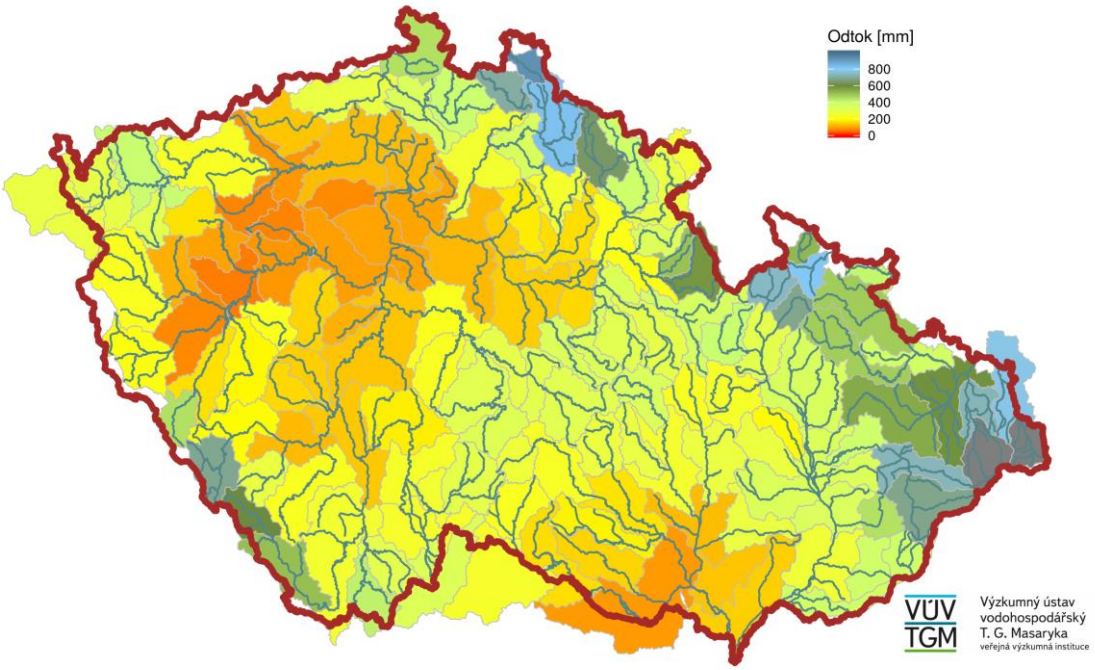
Odtok - rok 2008



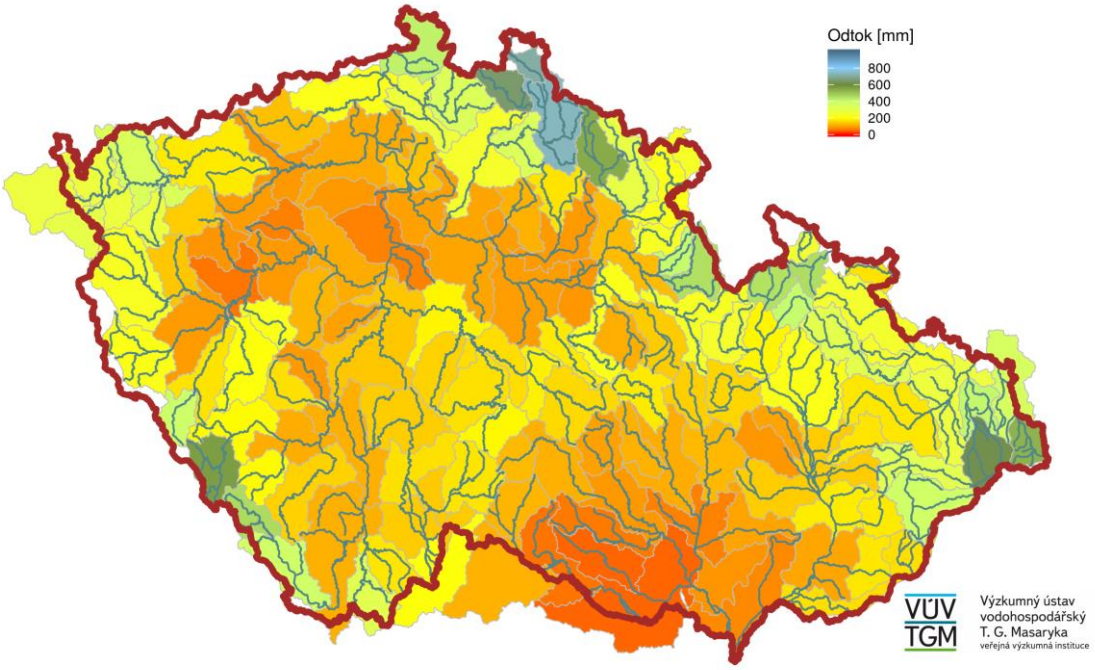
Odtok - rok 2009



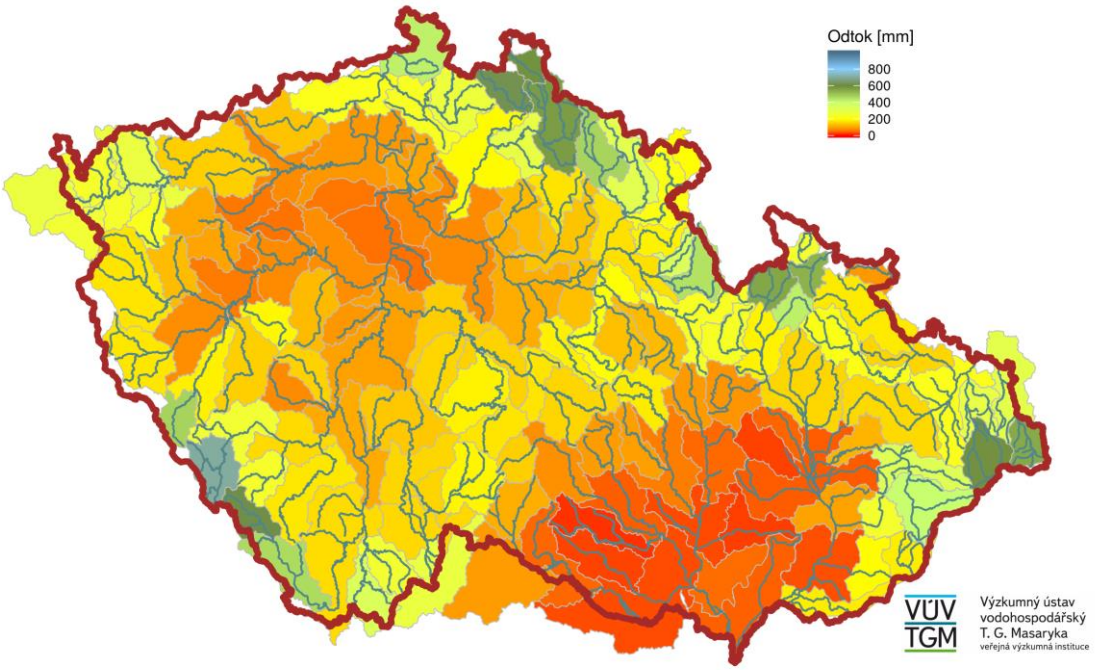
Odtok - rok 2010



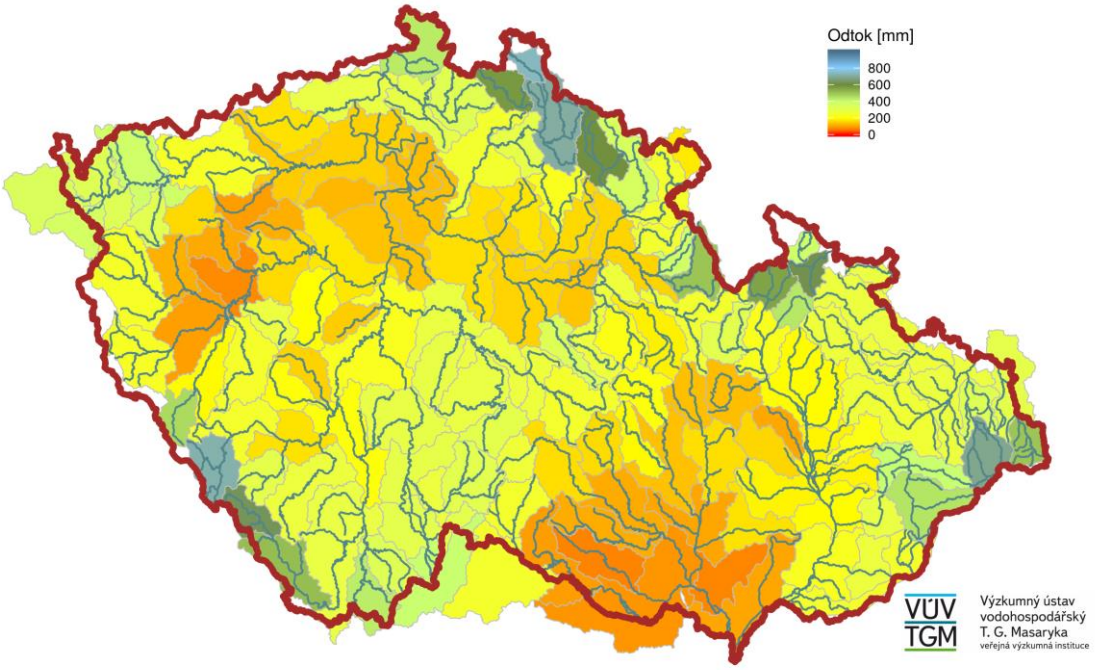
Odtok - rok 2011



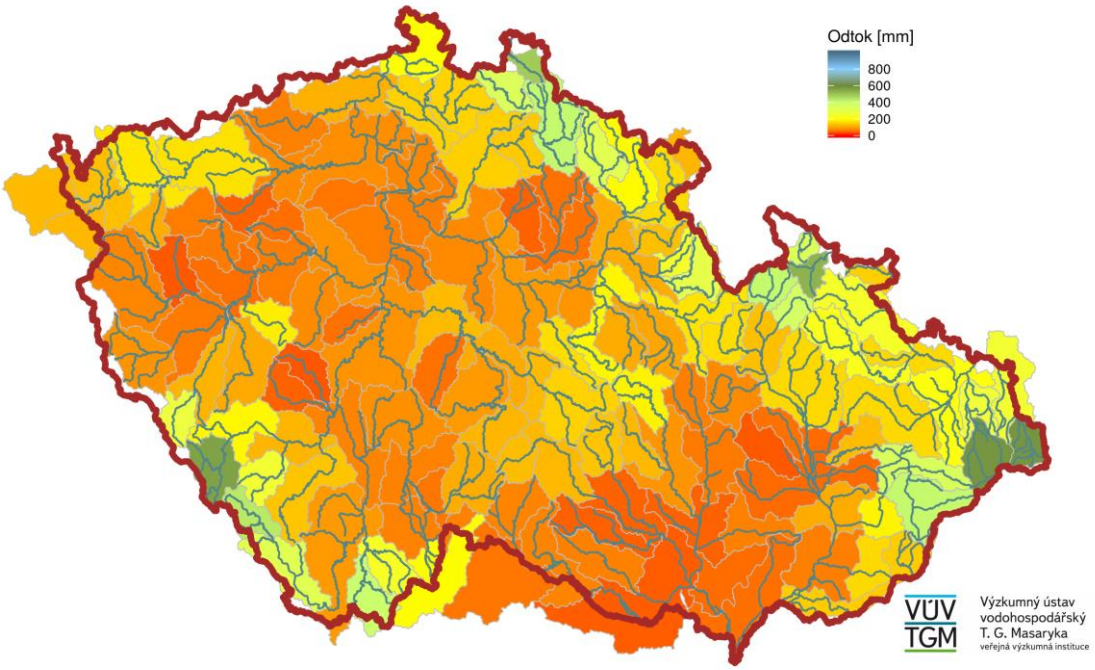
Odtok - rok 2012



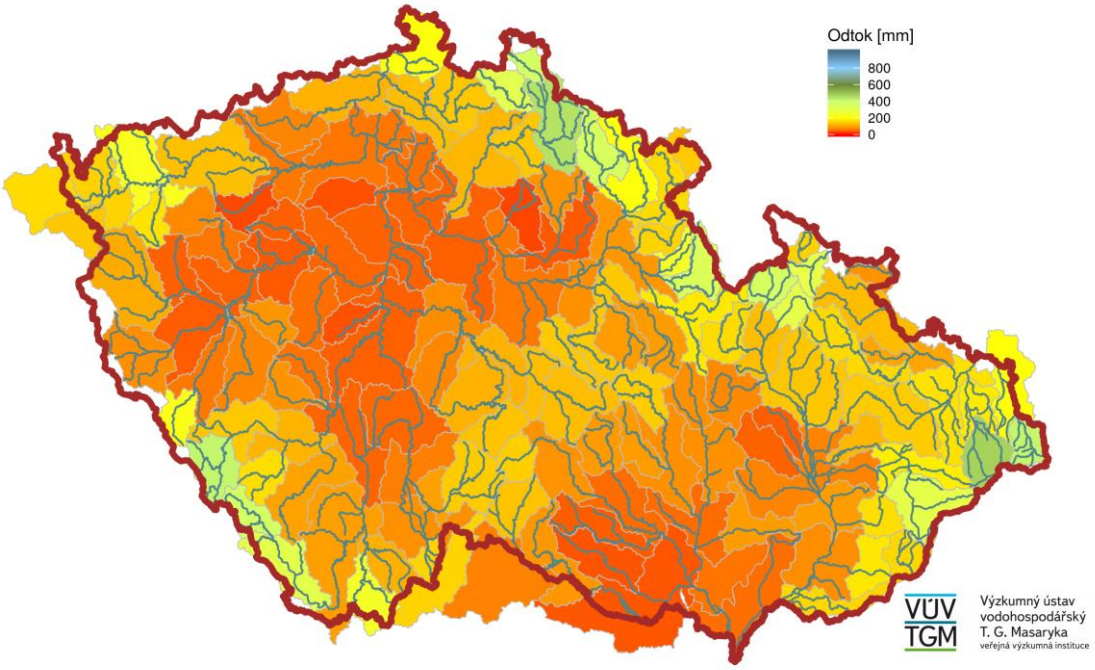
Odtok - rok 2013



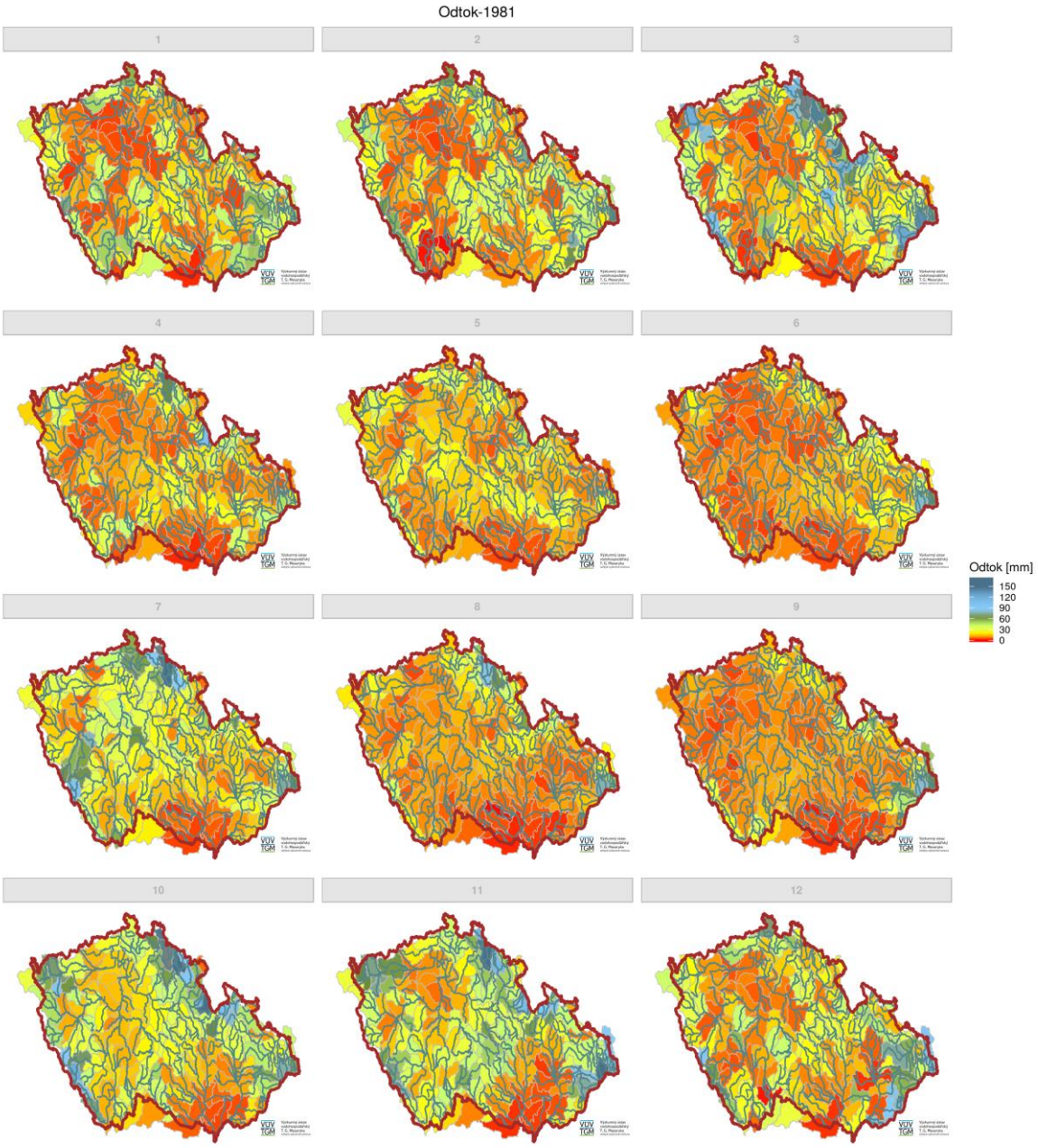
Odtok - rok 2014

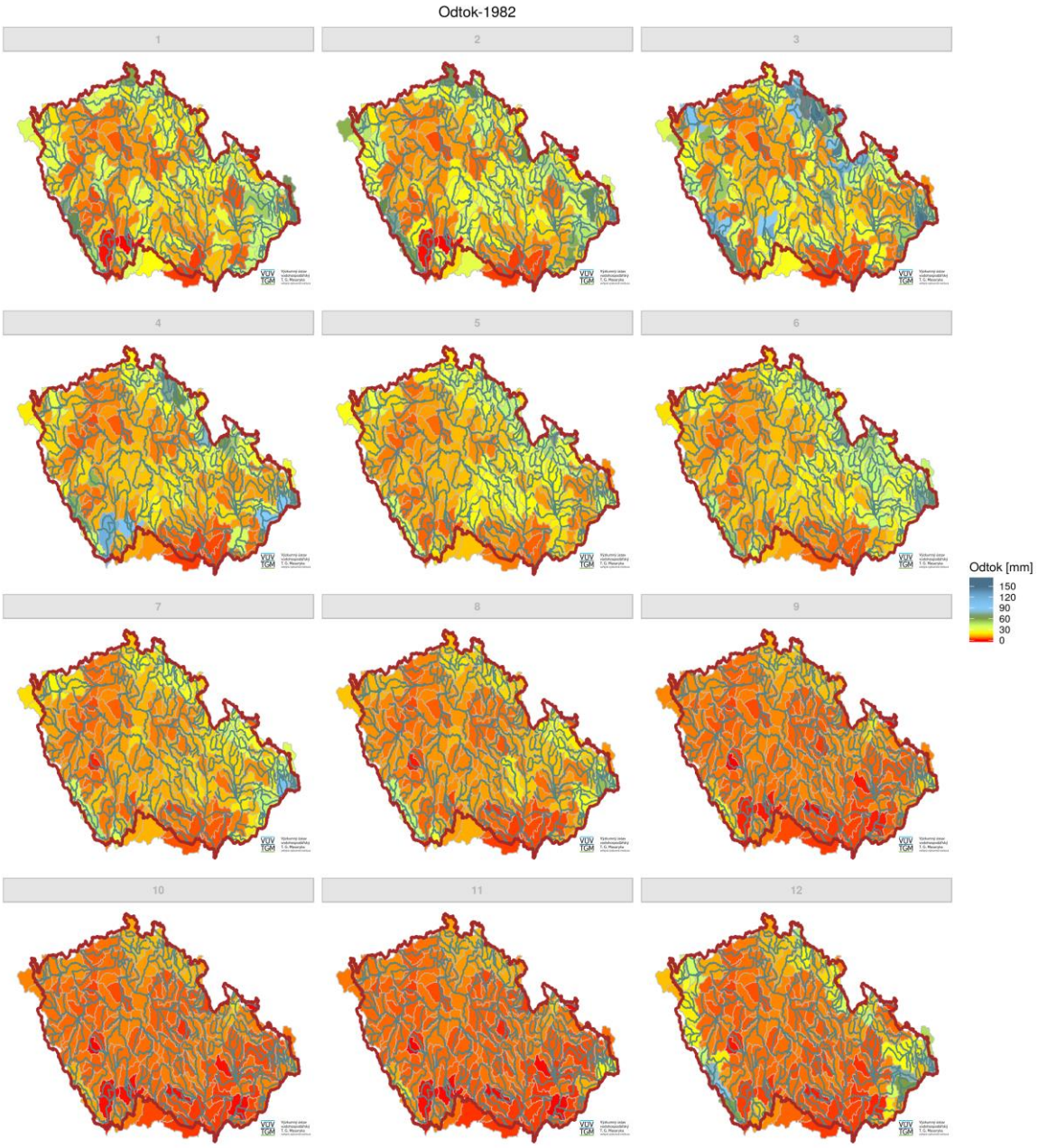


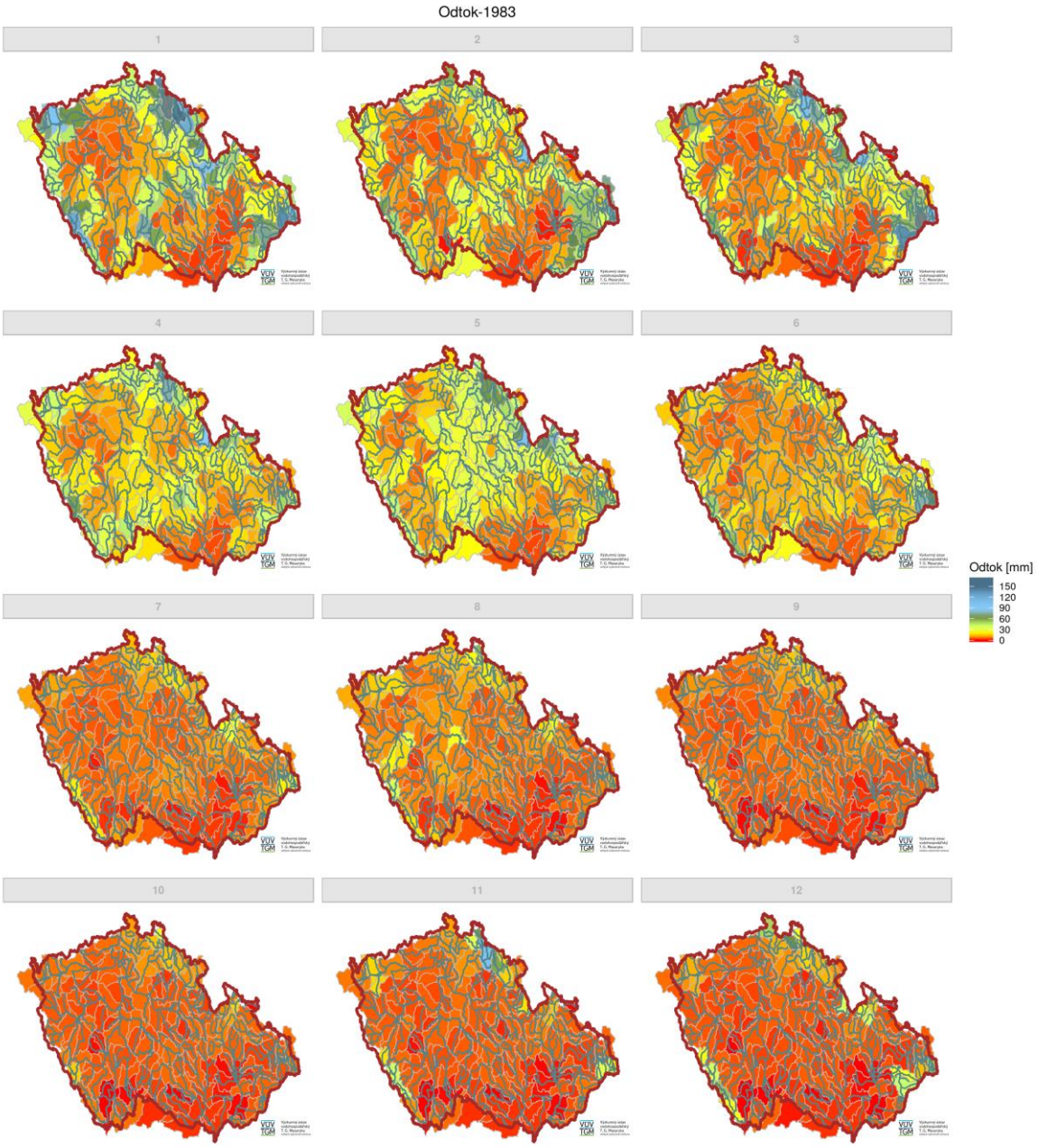
Odtok - rok 2015

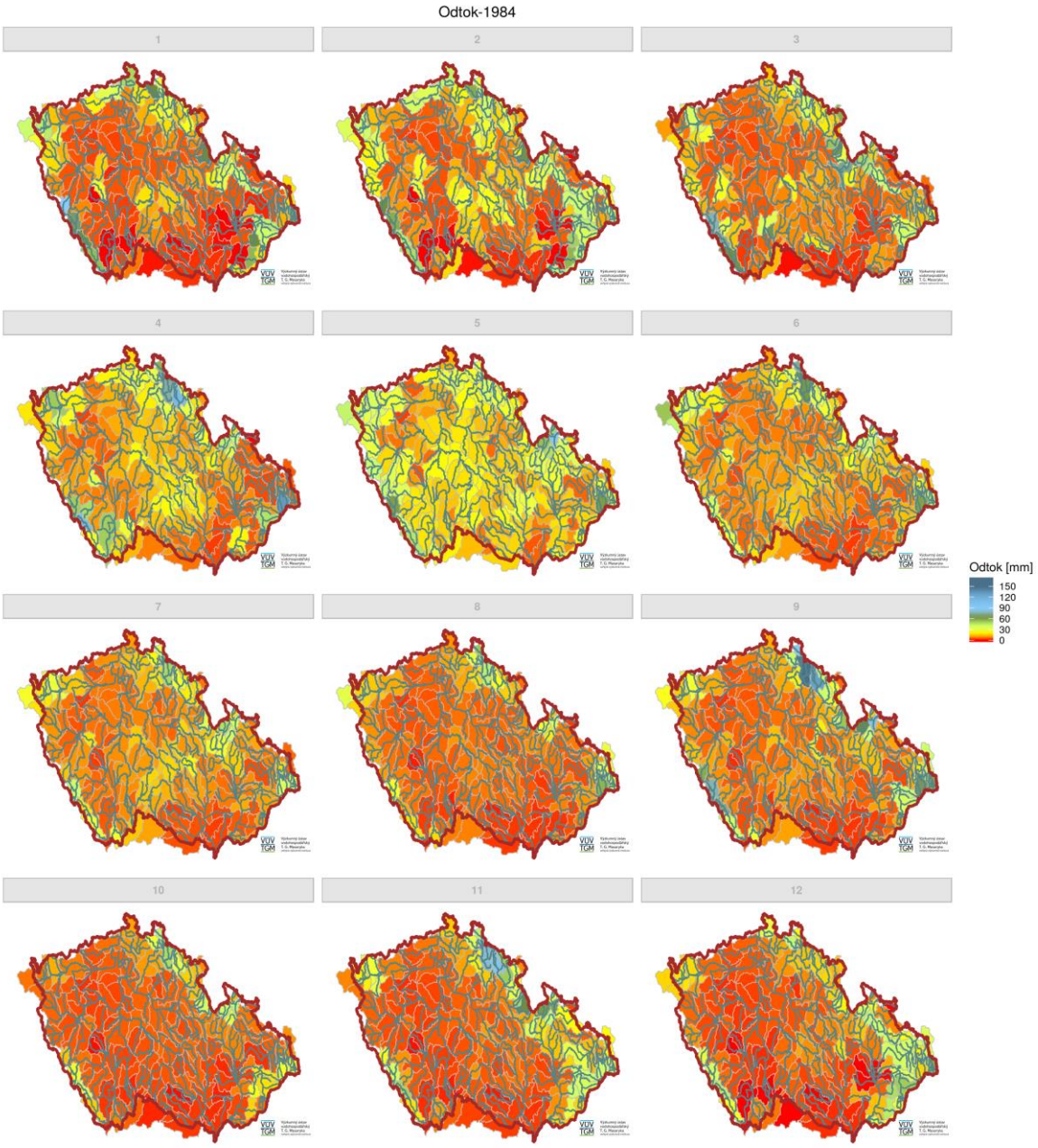


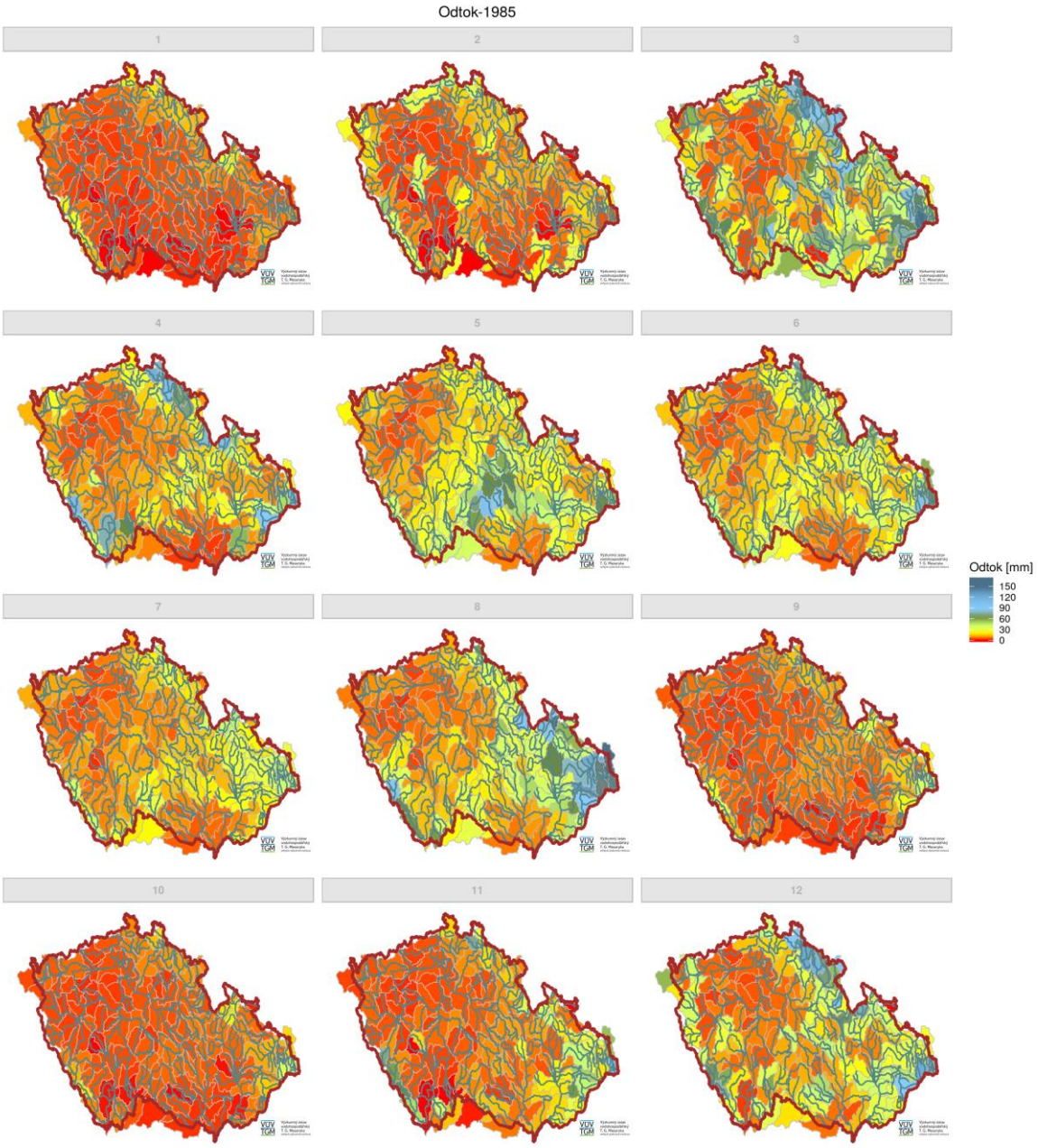
PŘÍLOHA III – MAPY ODTOKŮ – MĚSÍC

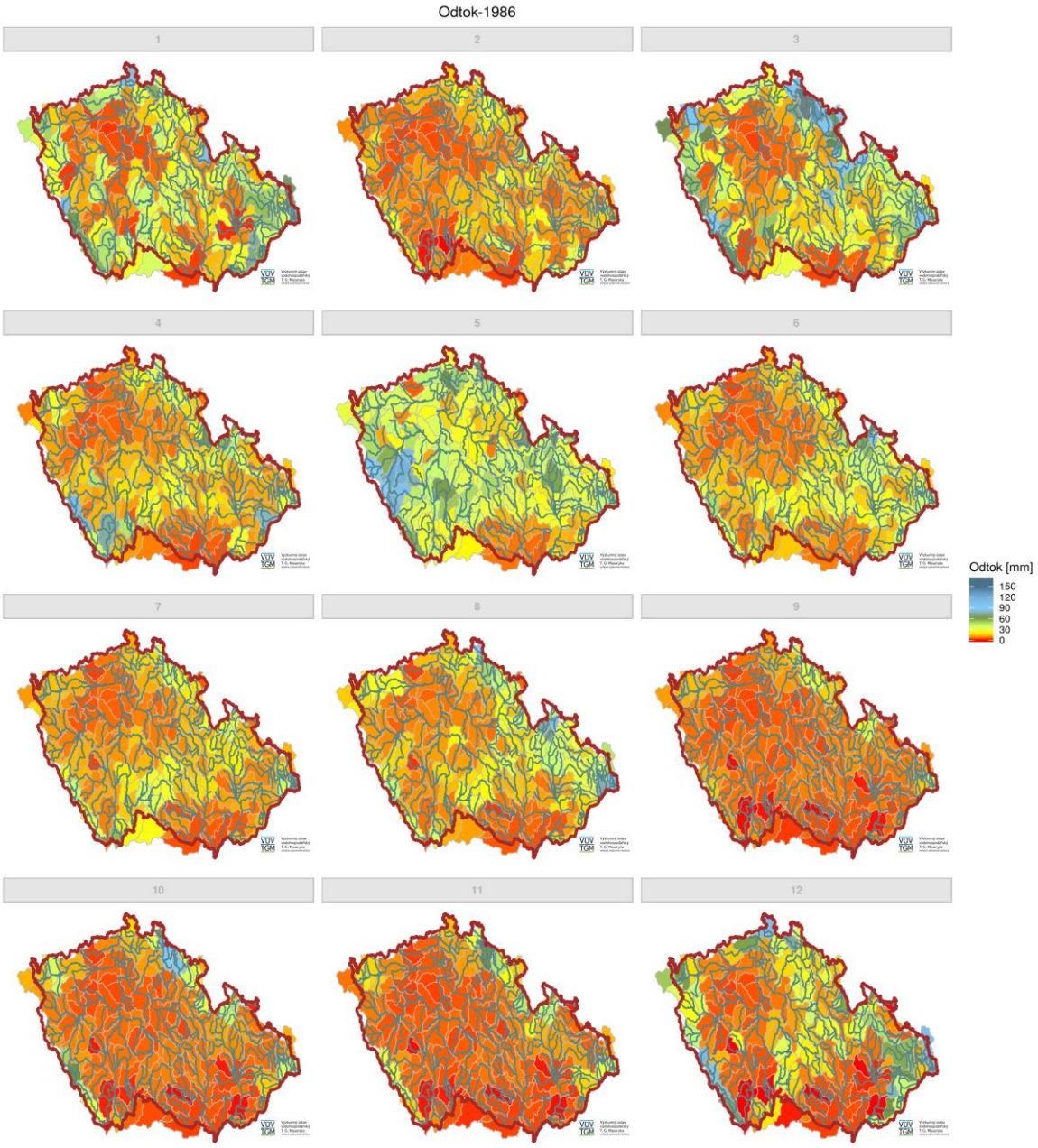

Odtok-1981
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

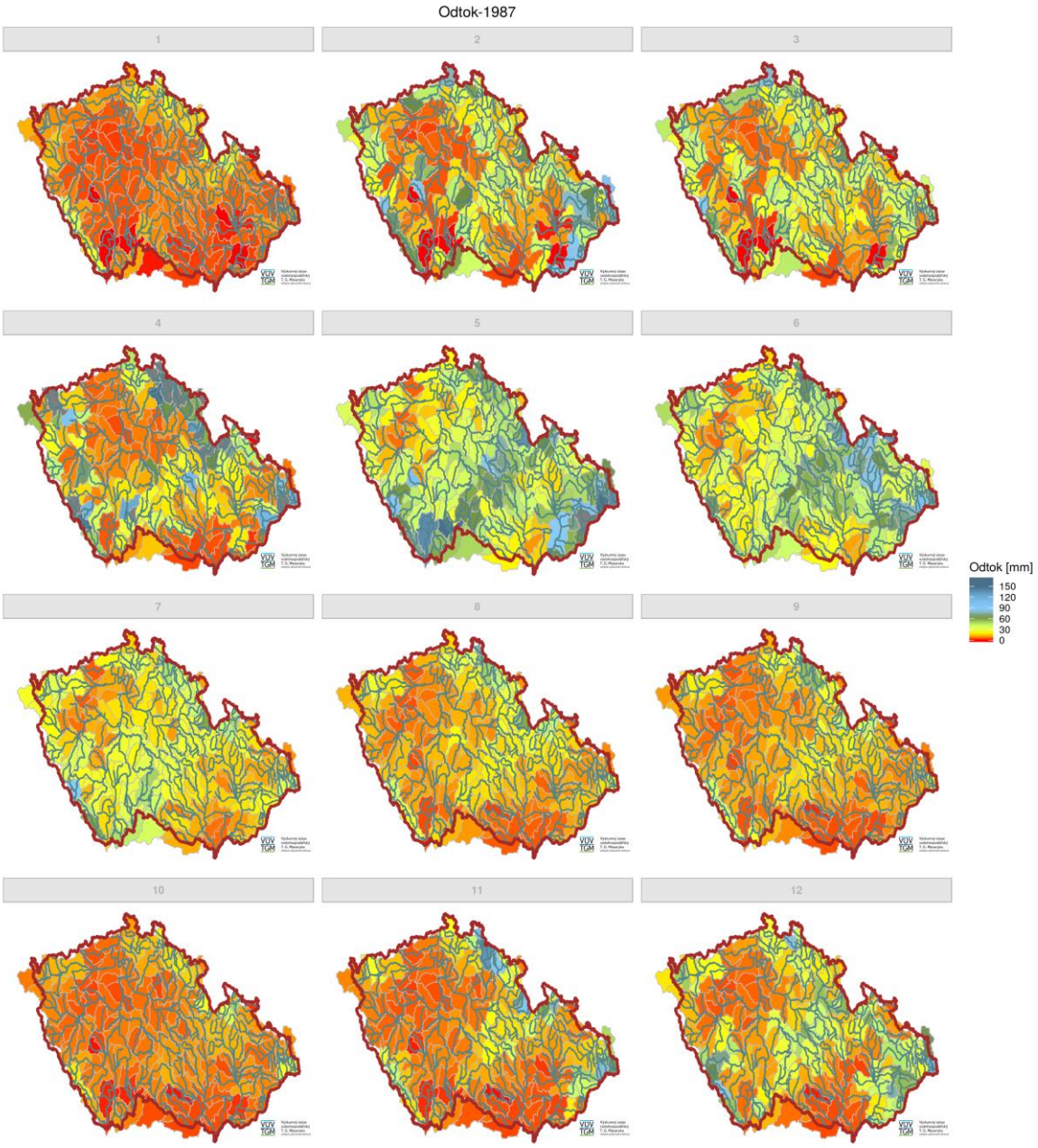

Odtok-1982
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

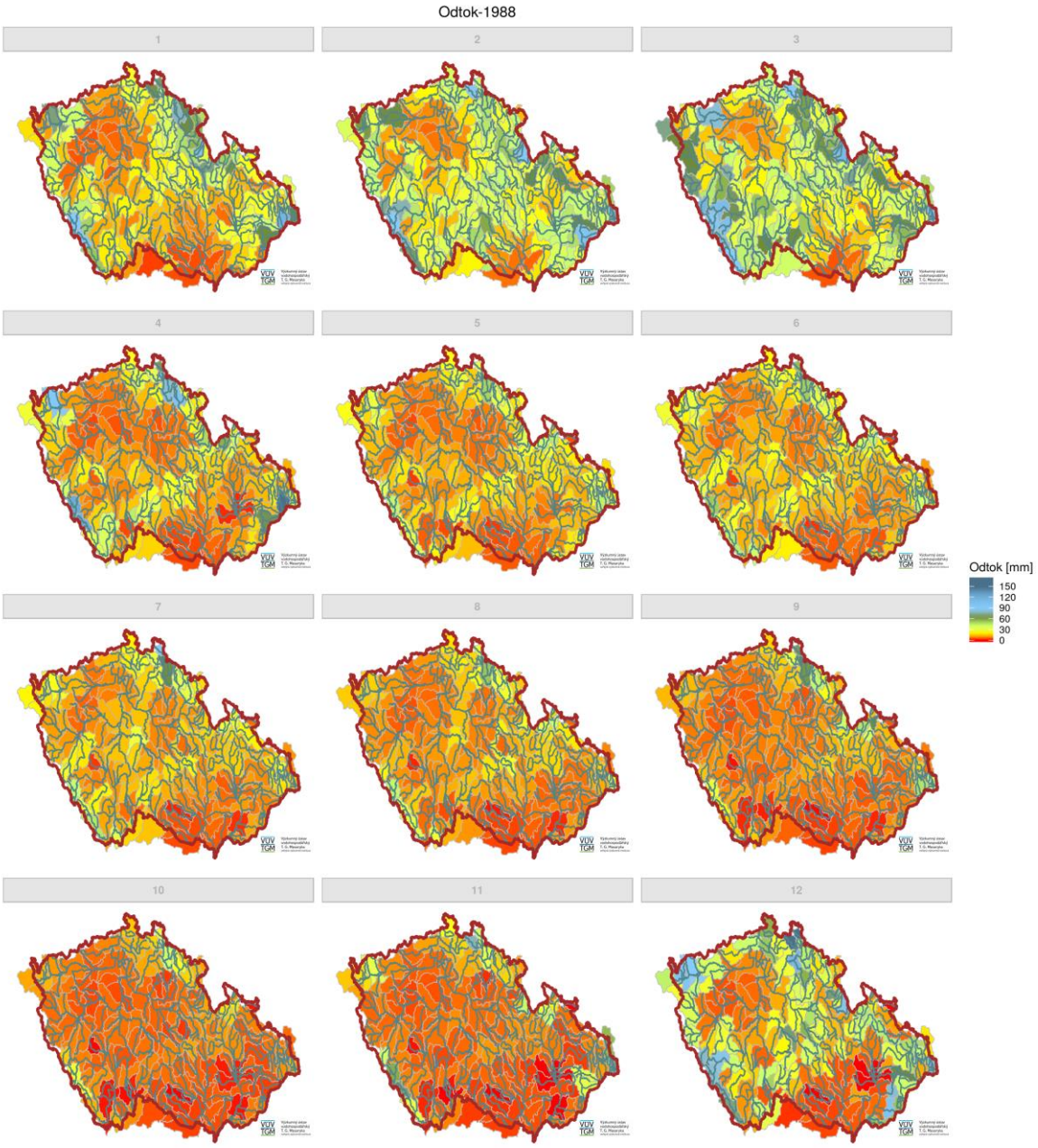

Odtok-1983
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

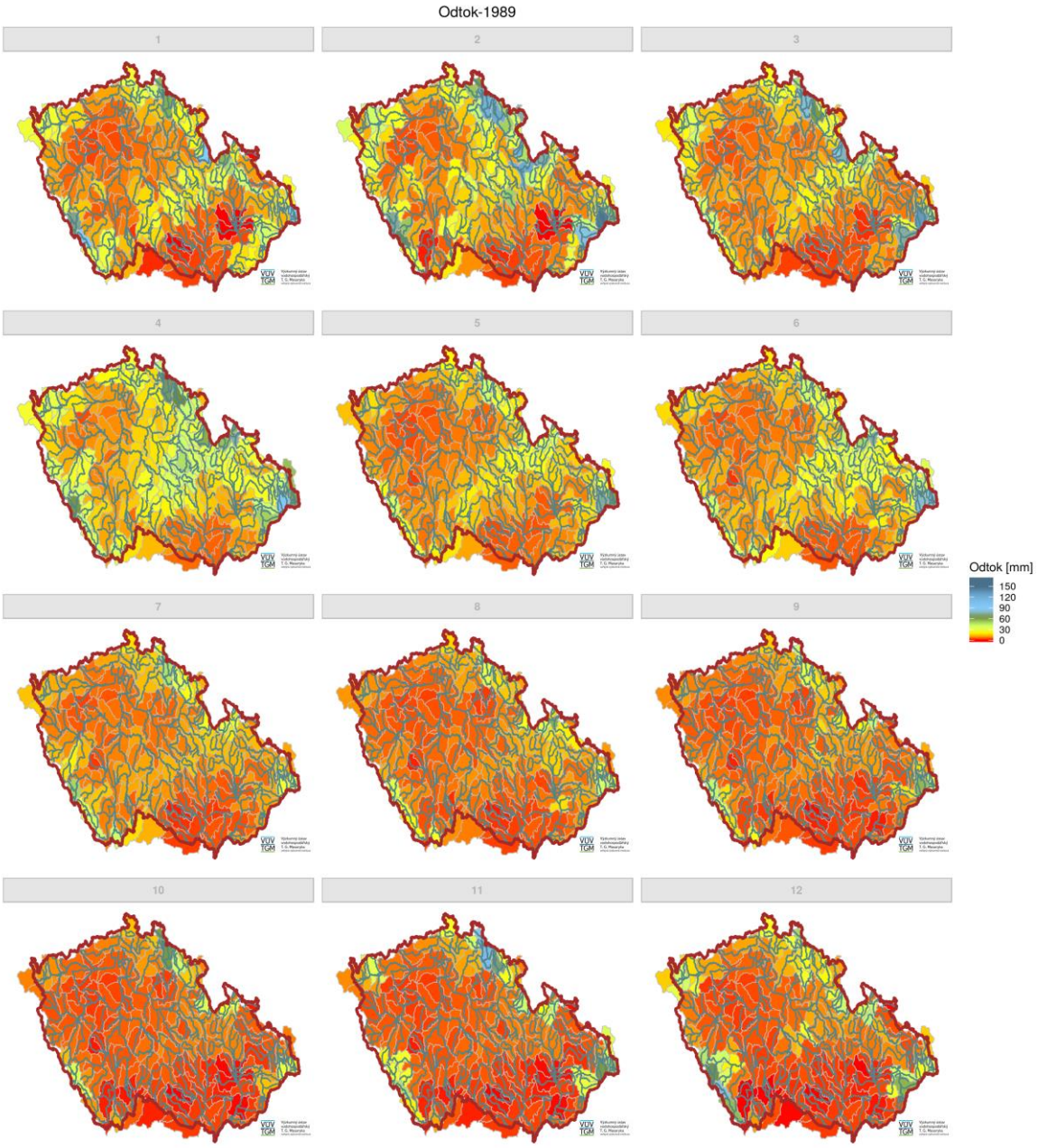

Odtok-1984
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

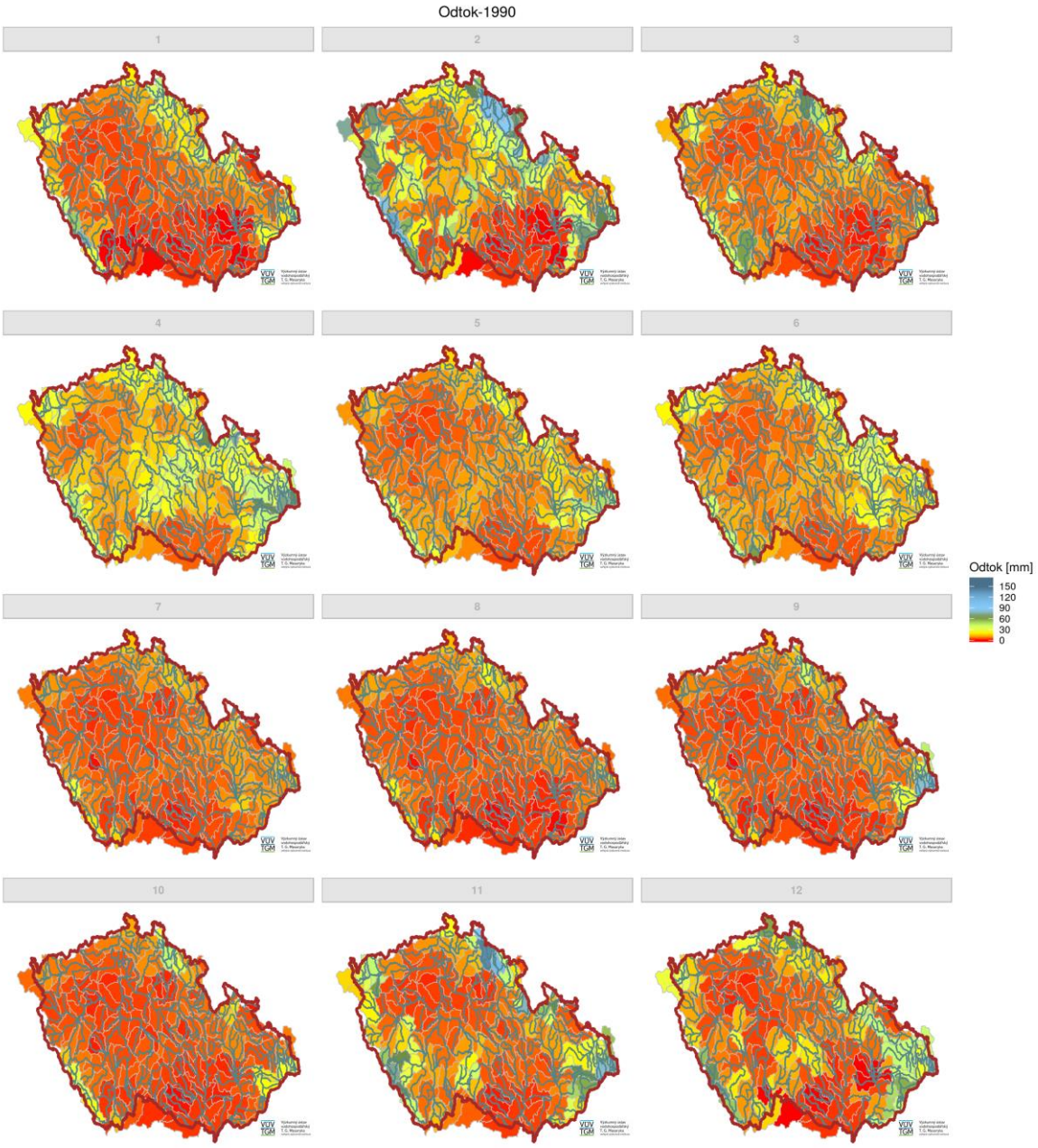

Odtok-1985
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

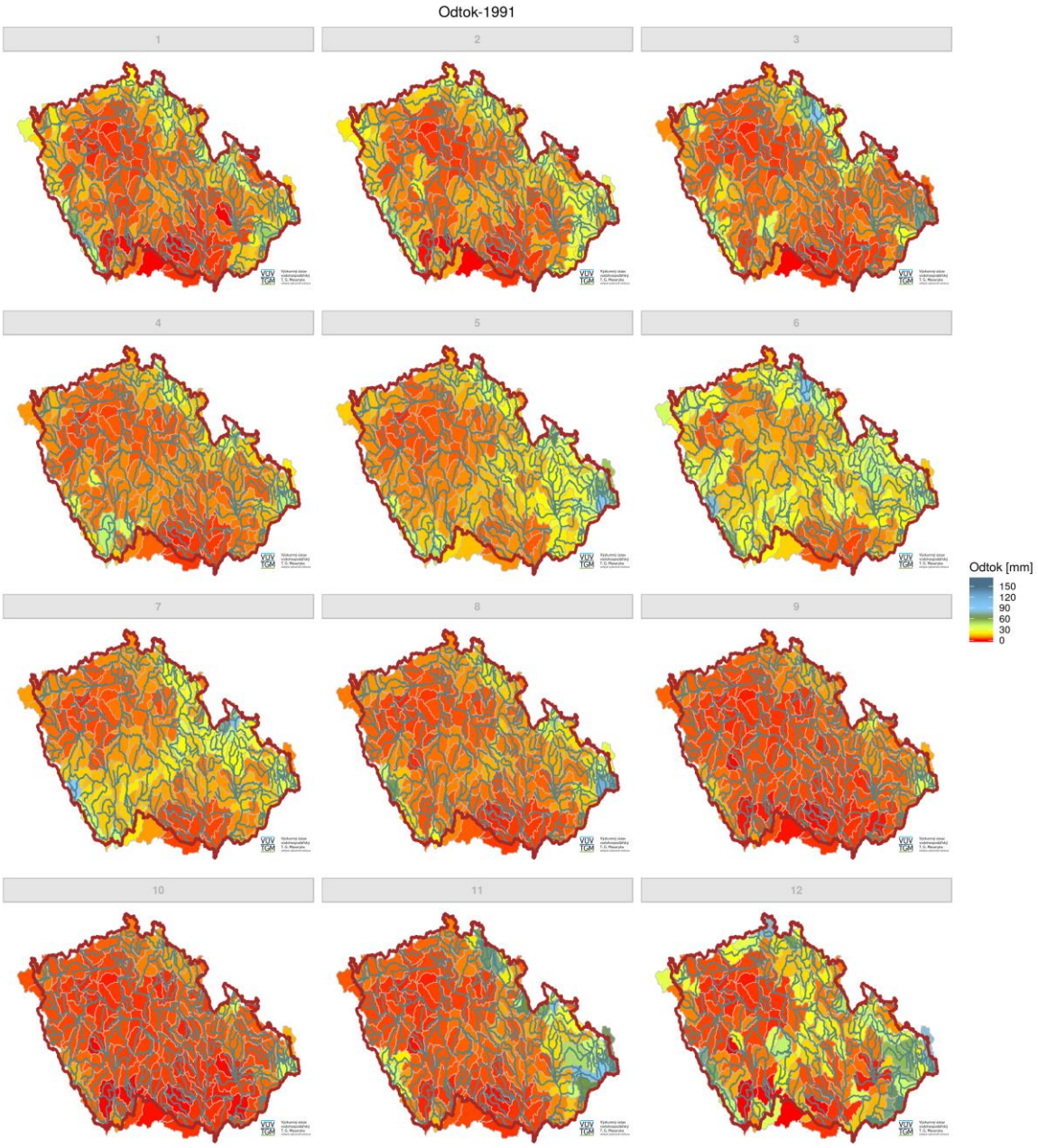

Odtok-1986
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

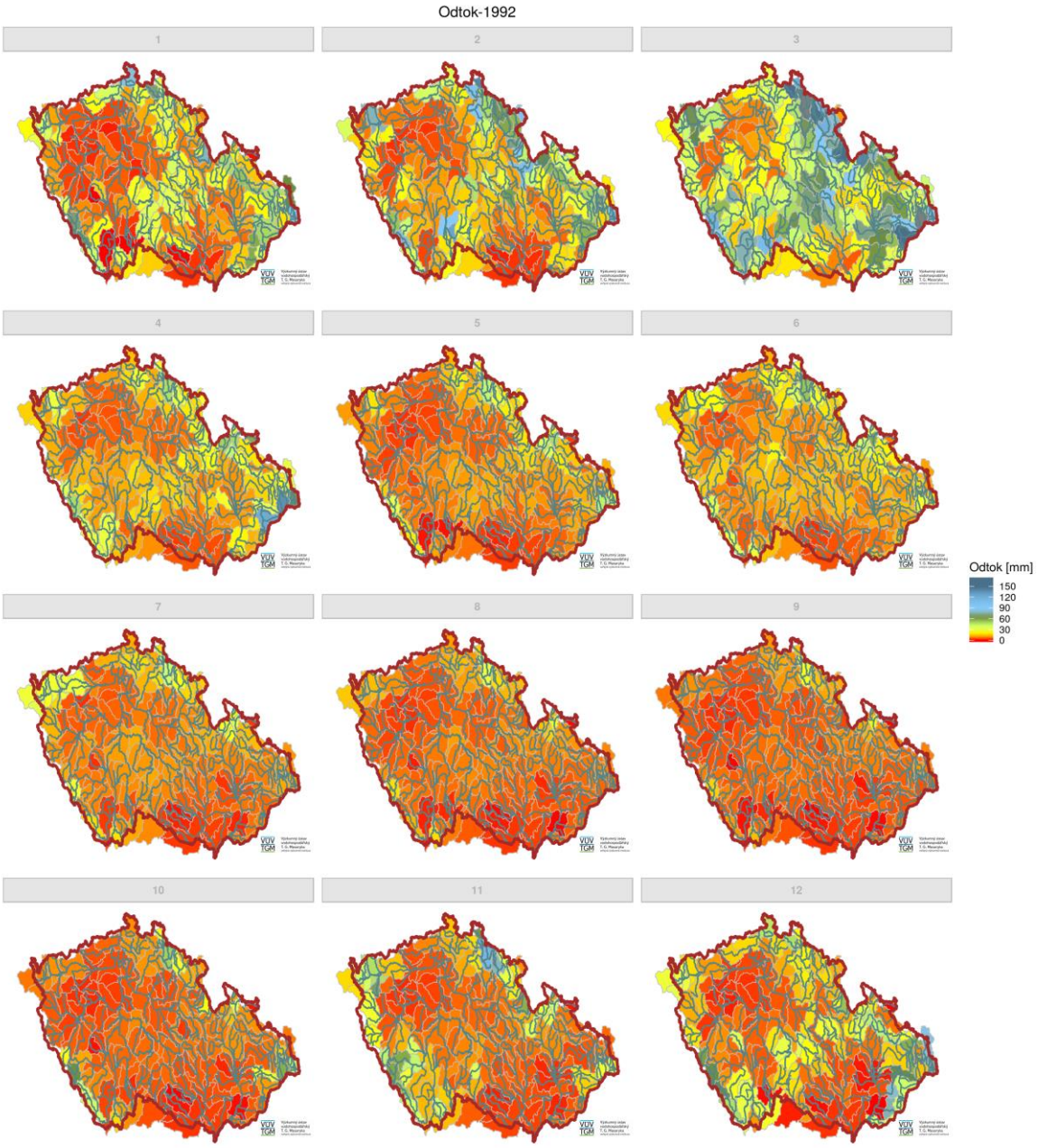

Odtok-1987
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

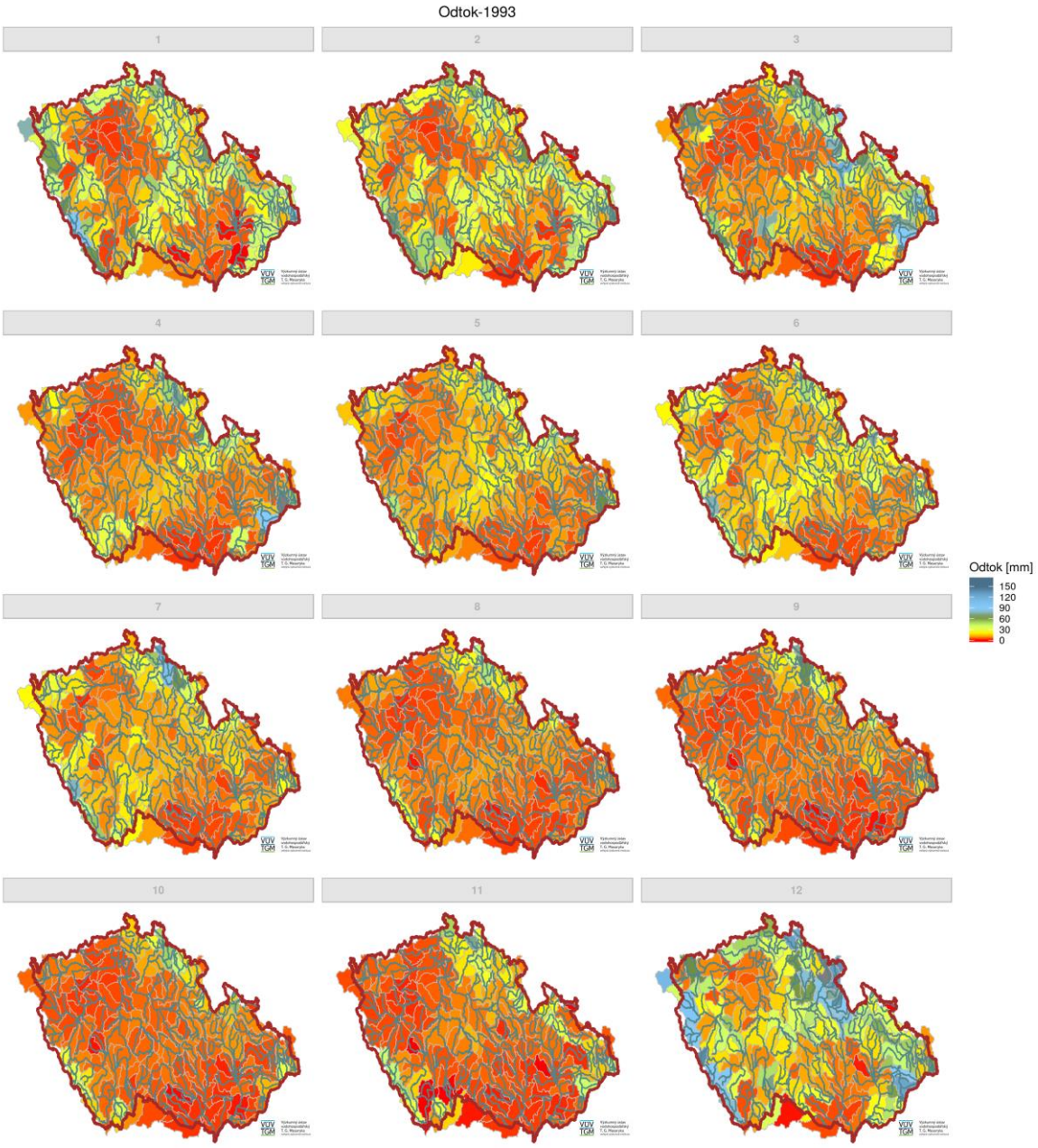

Odtok-1988
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

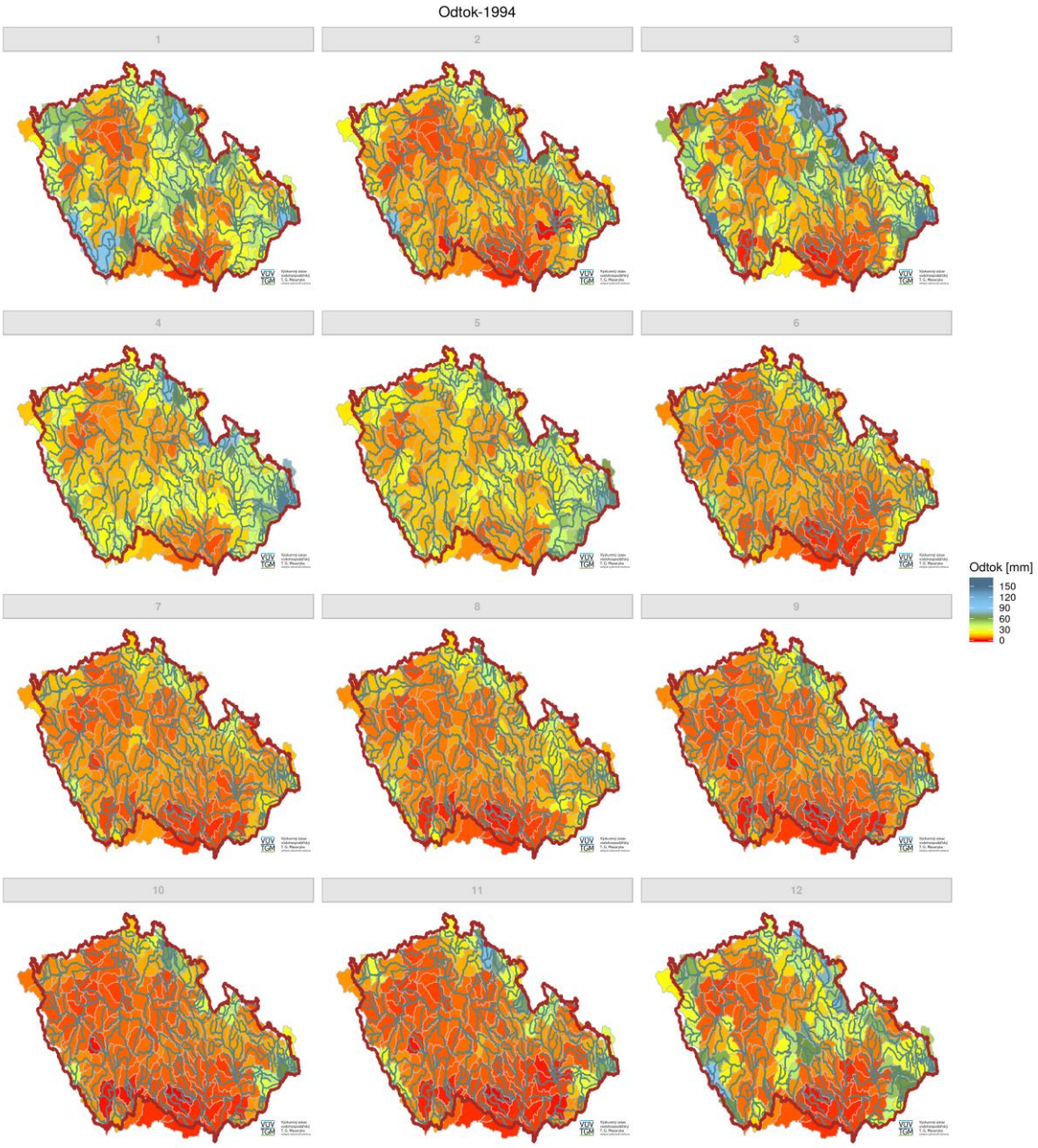

Odtok-1989
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

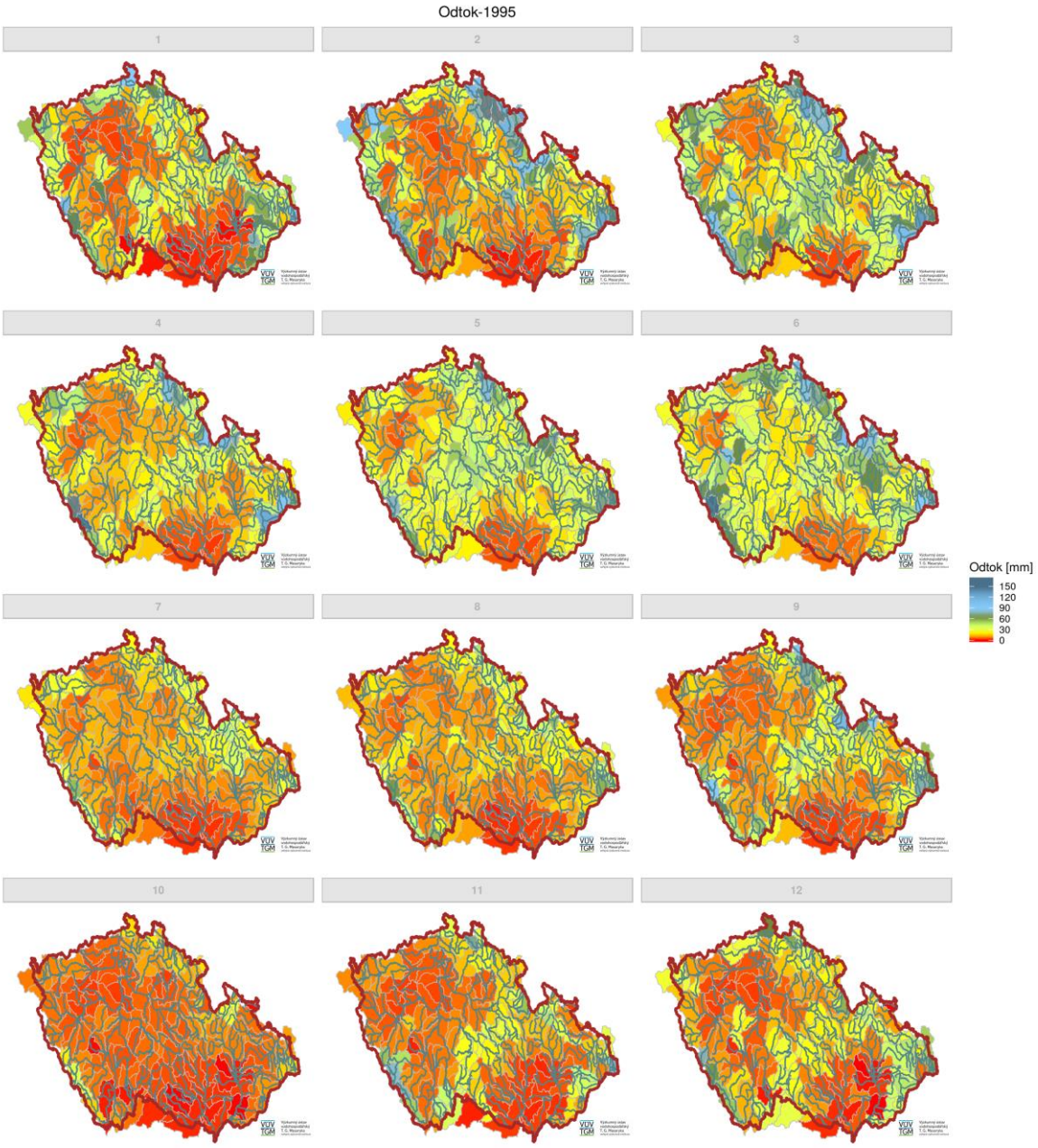

Odtok-1990
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

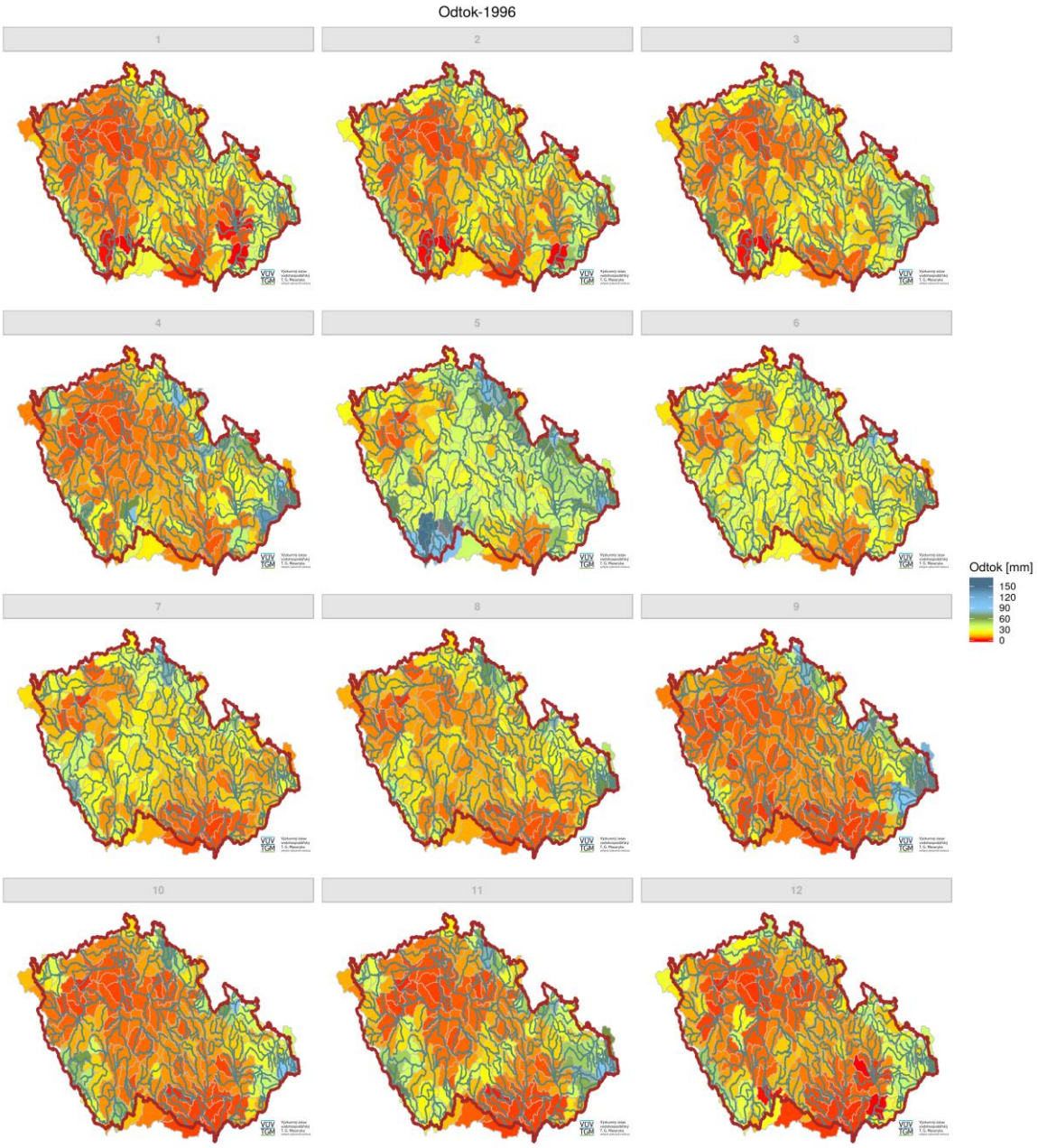

Odtok-1991
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

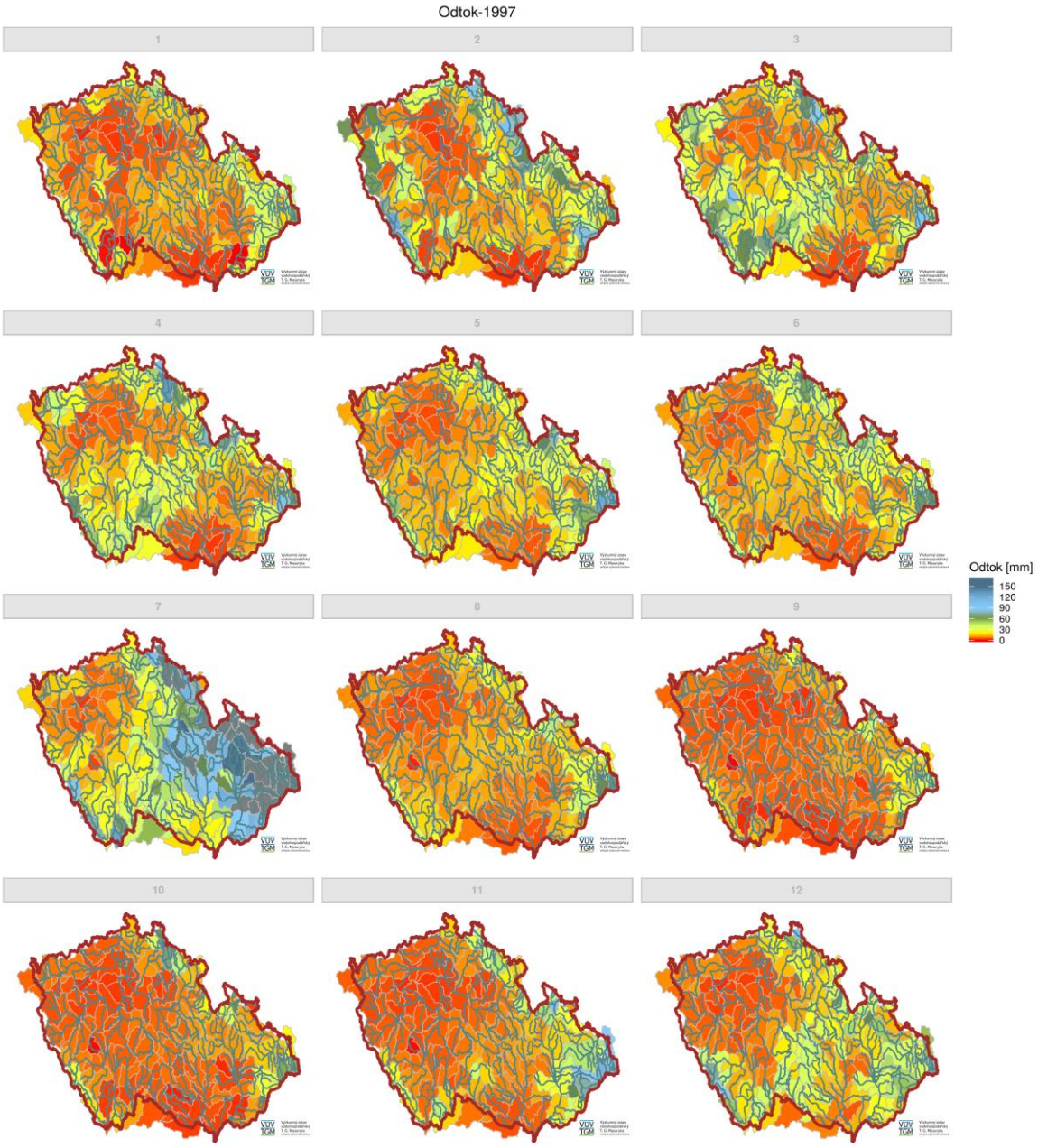

Odtok-1992
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

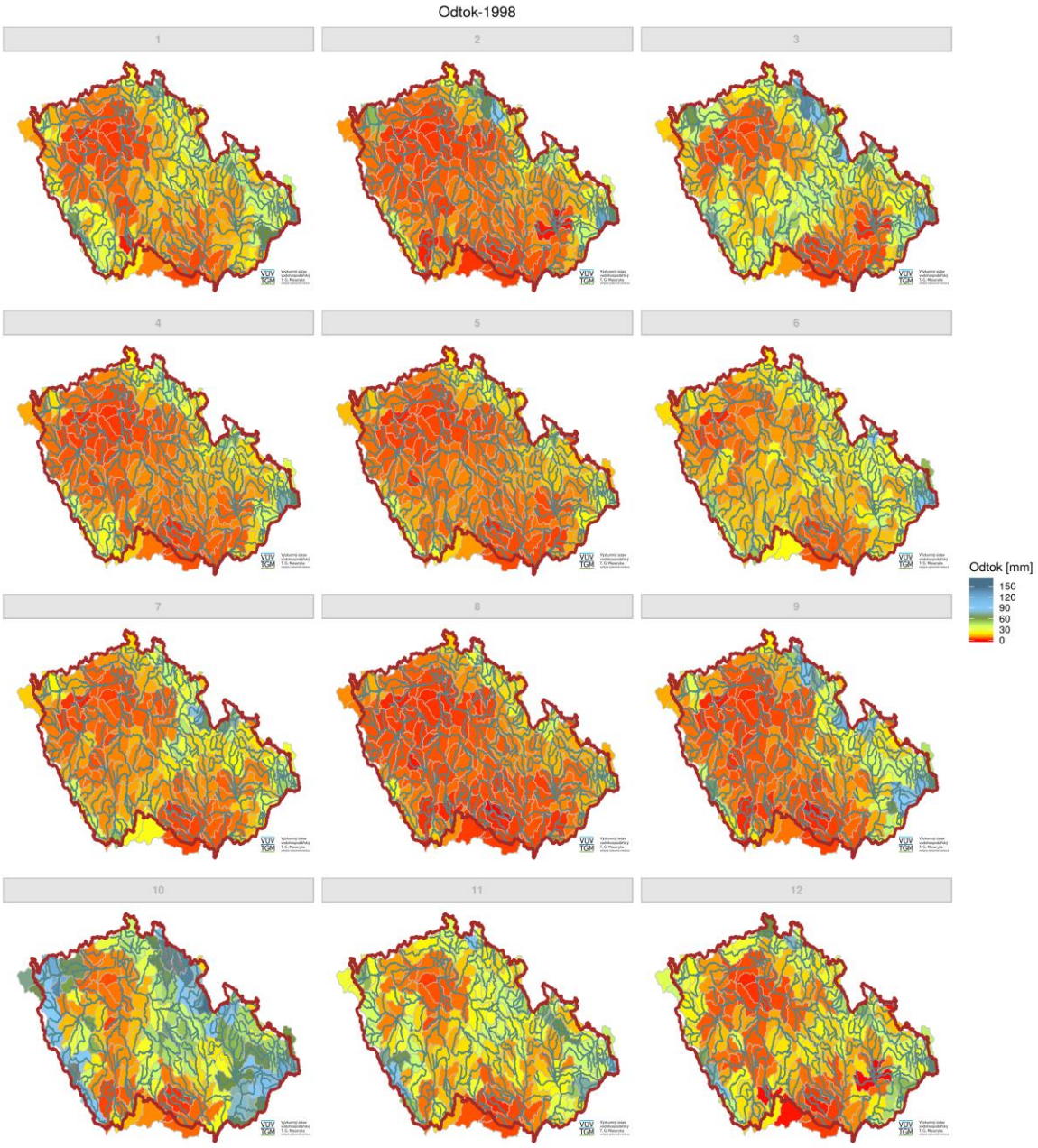

Odtok-1993
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

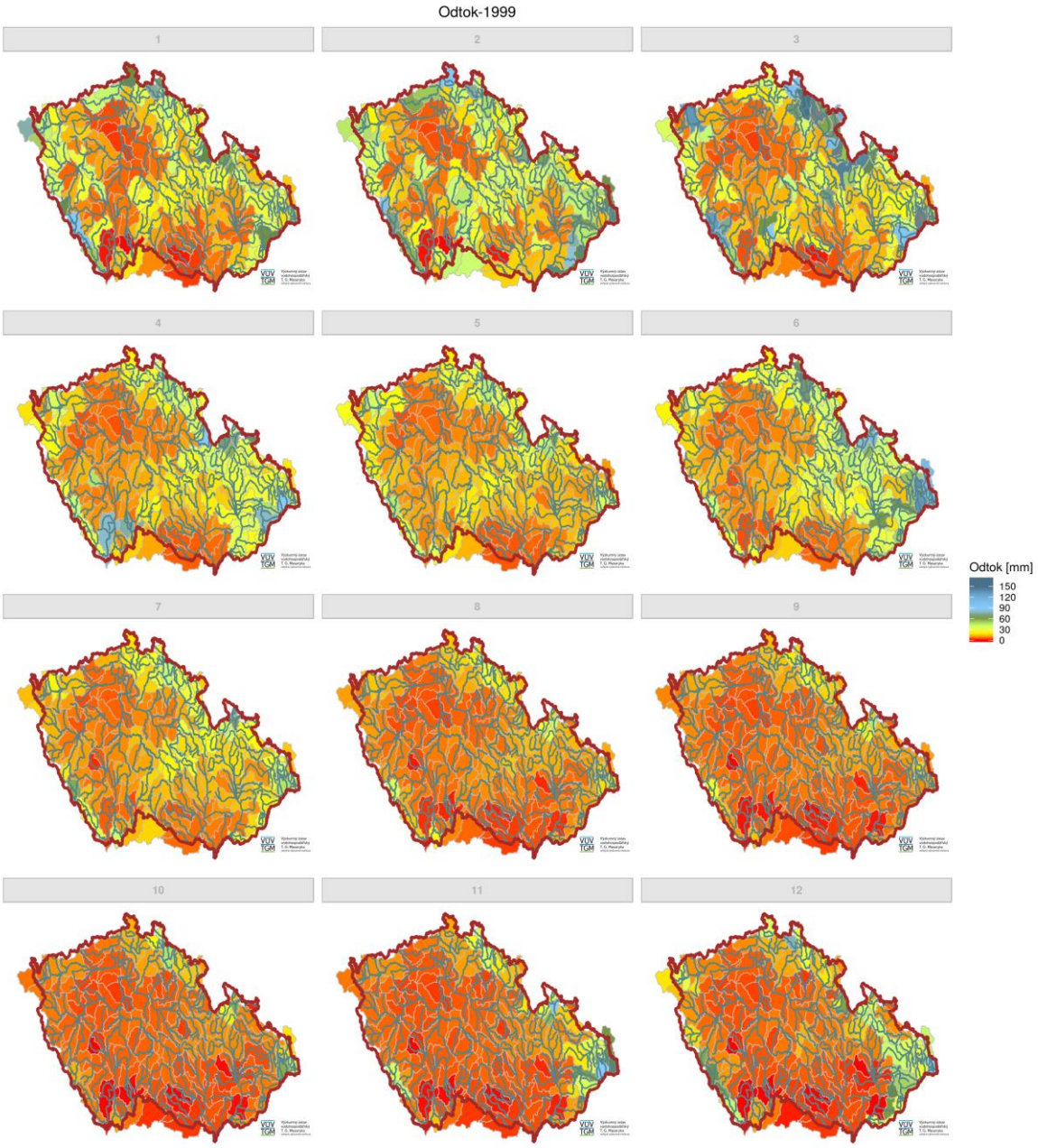

Odtok-1994
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

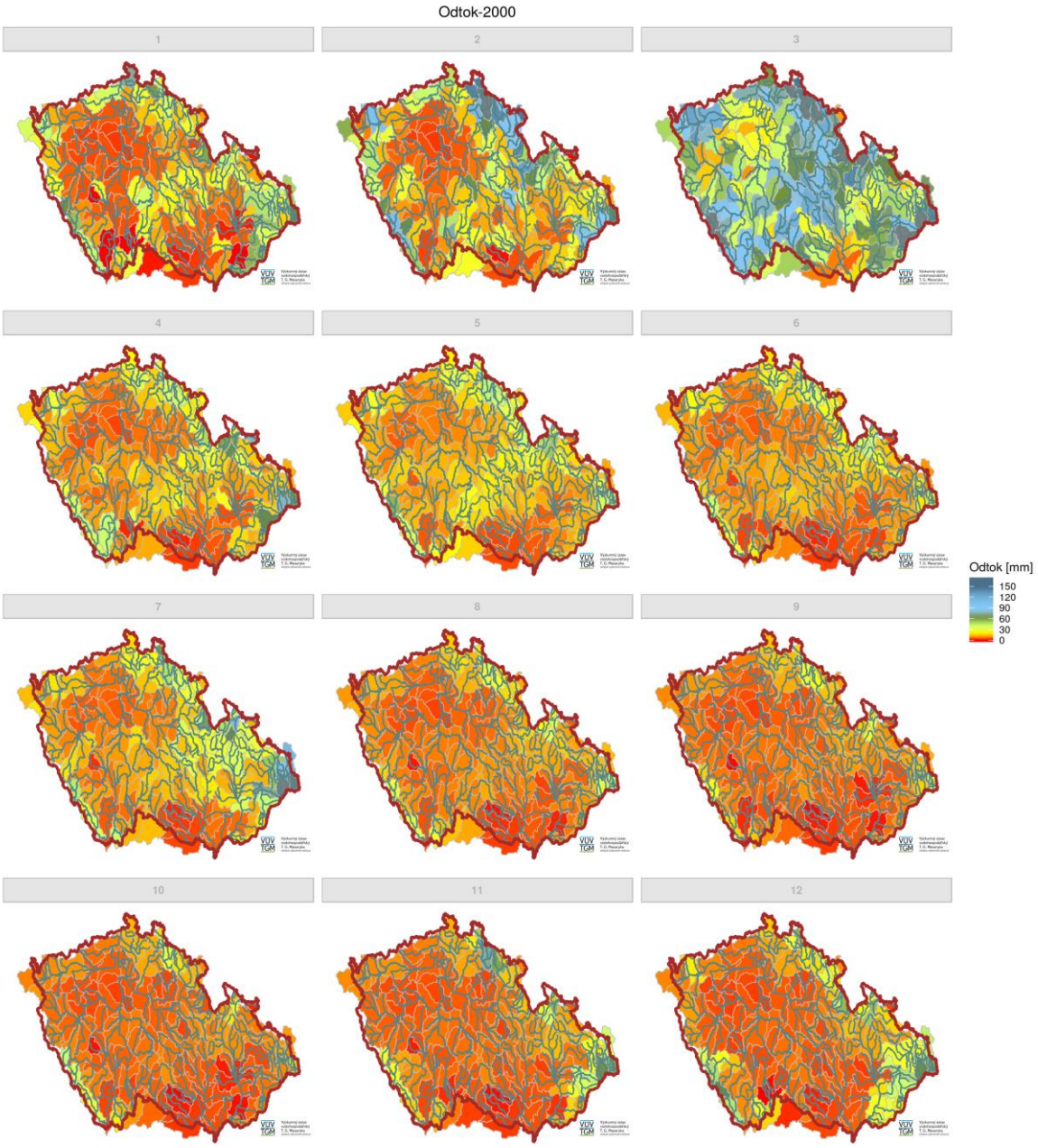

Odtok-1995
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

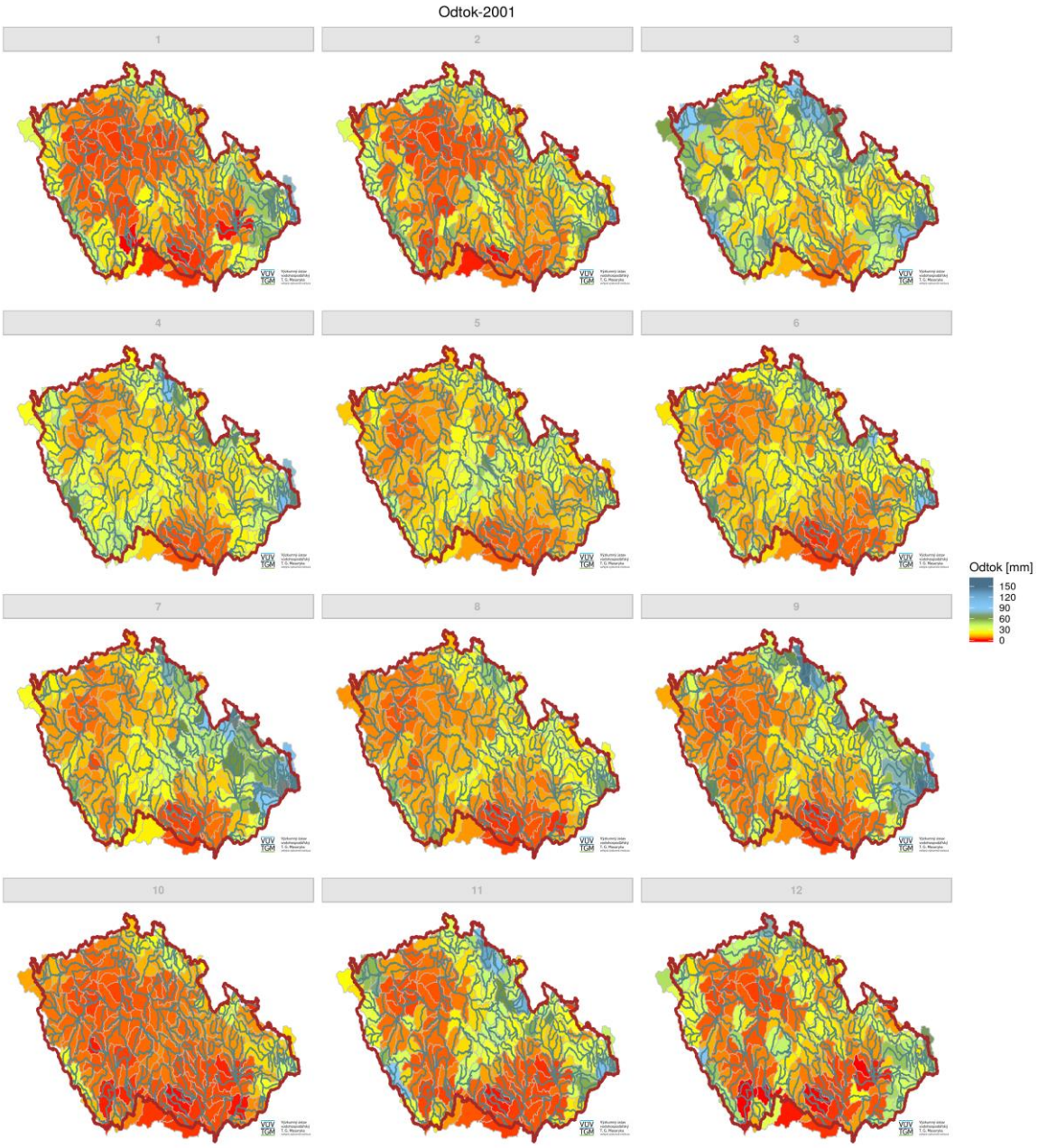

Odtok-1996
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

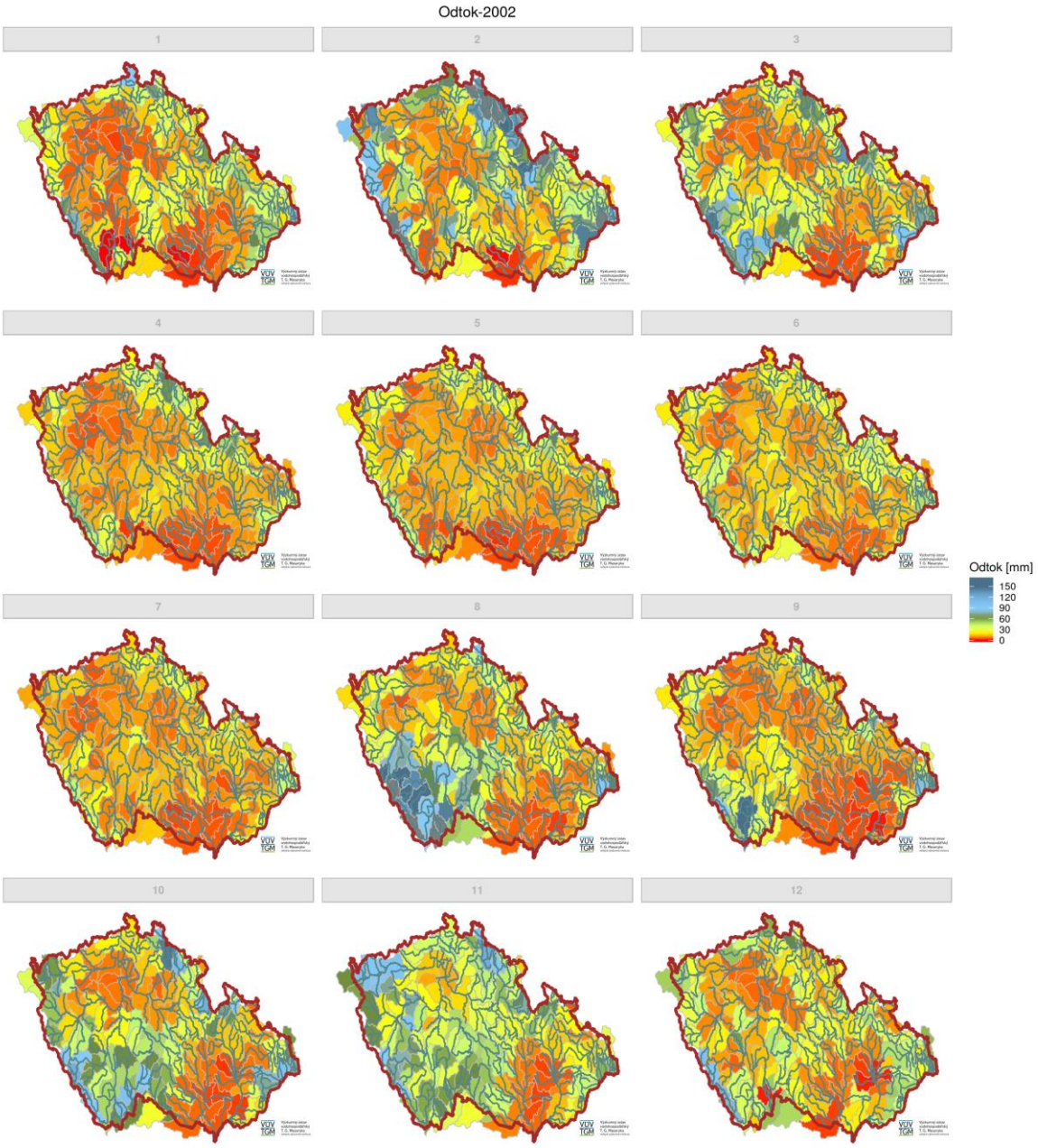

Odtok-1997
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

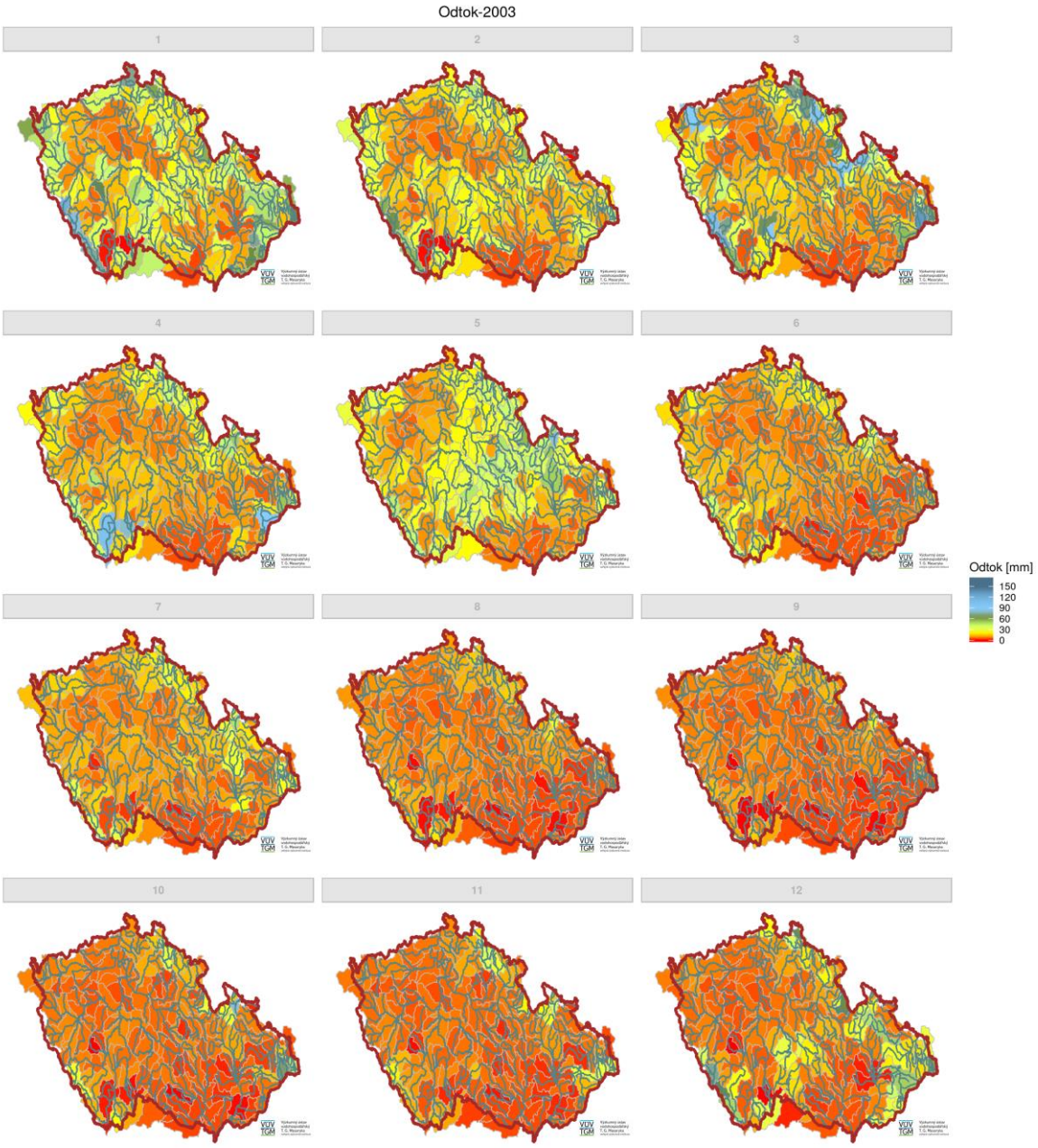

Odtok-1998
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

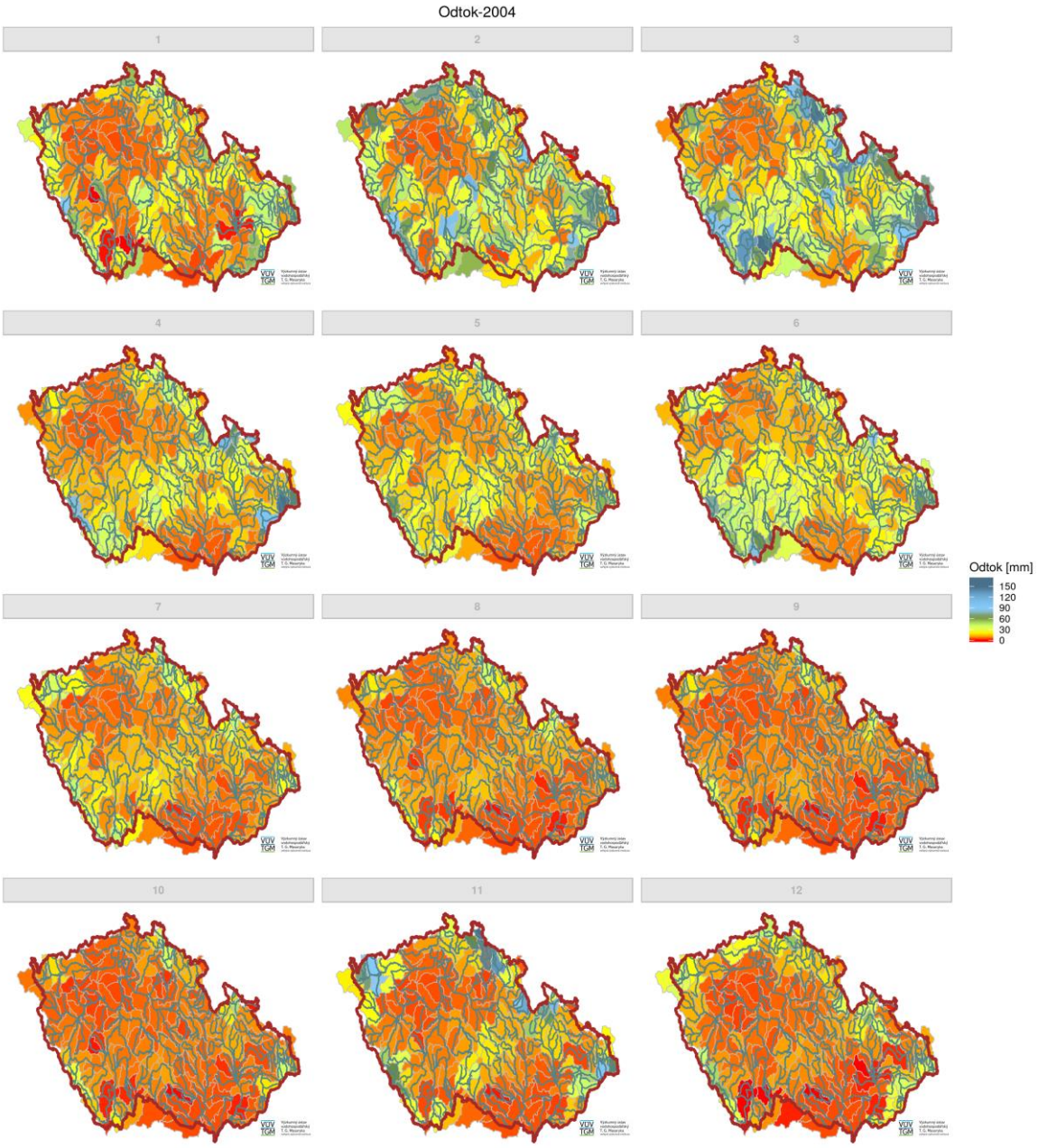

Odtok-1999
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

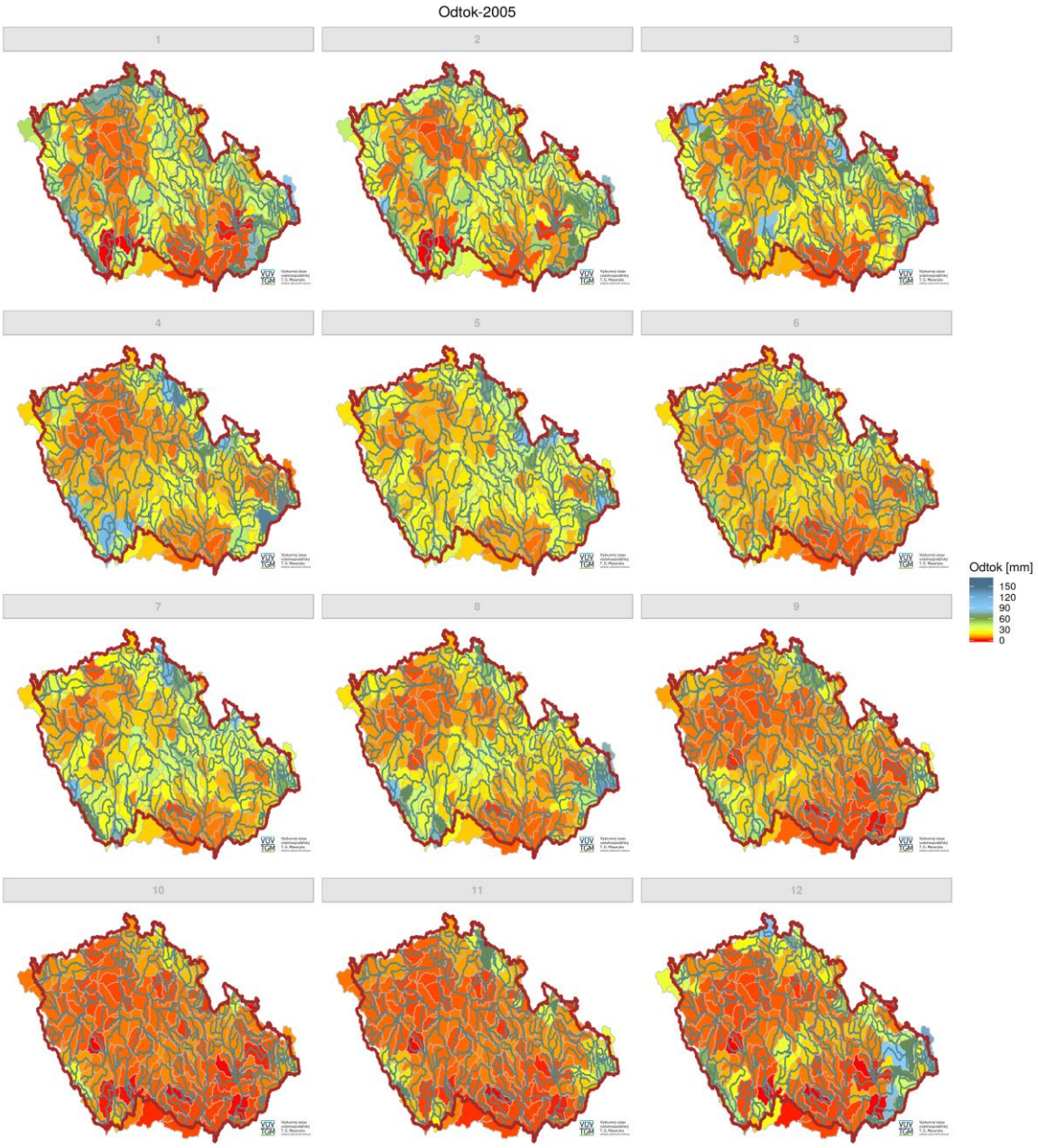

Odtok-2000
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

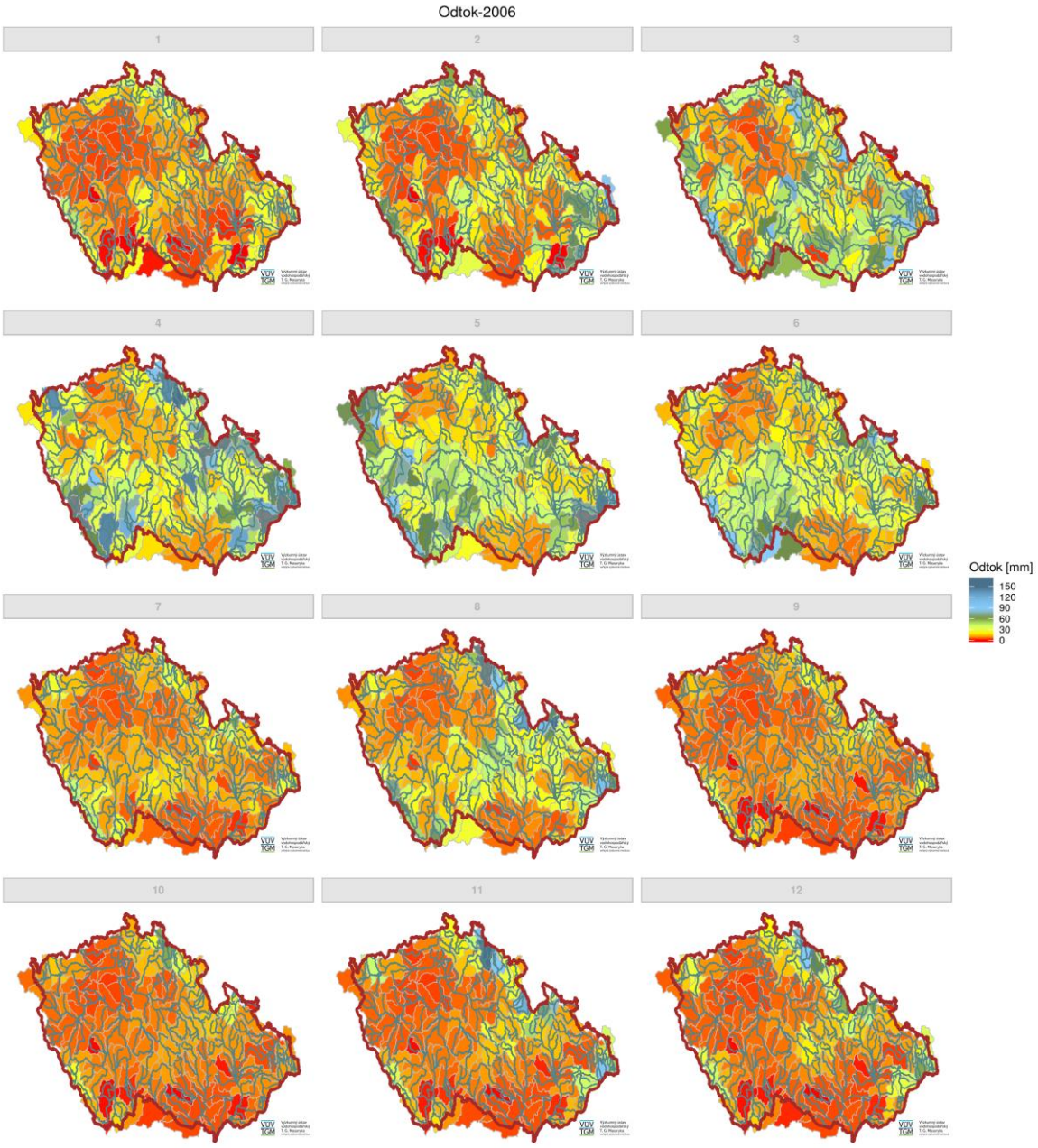

Odtok-2001
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

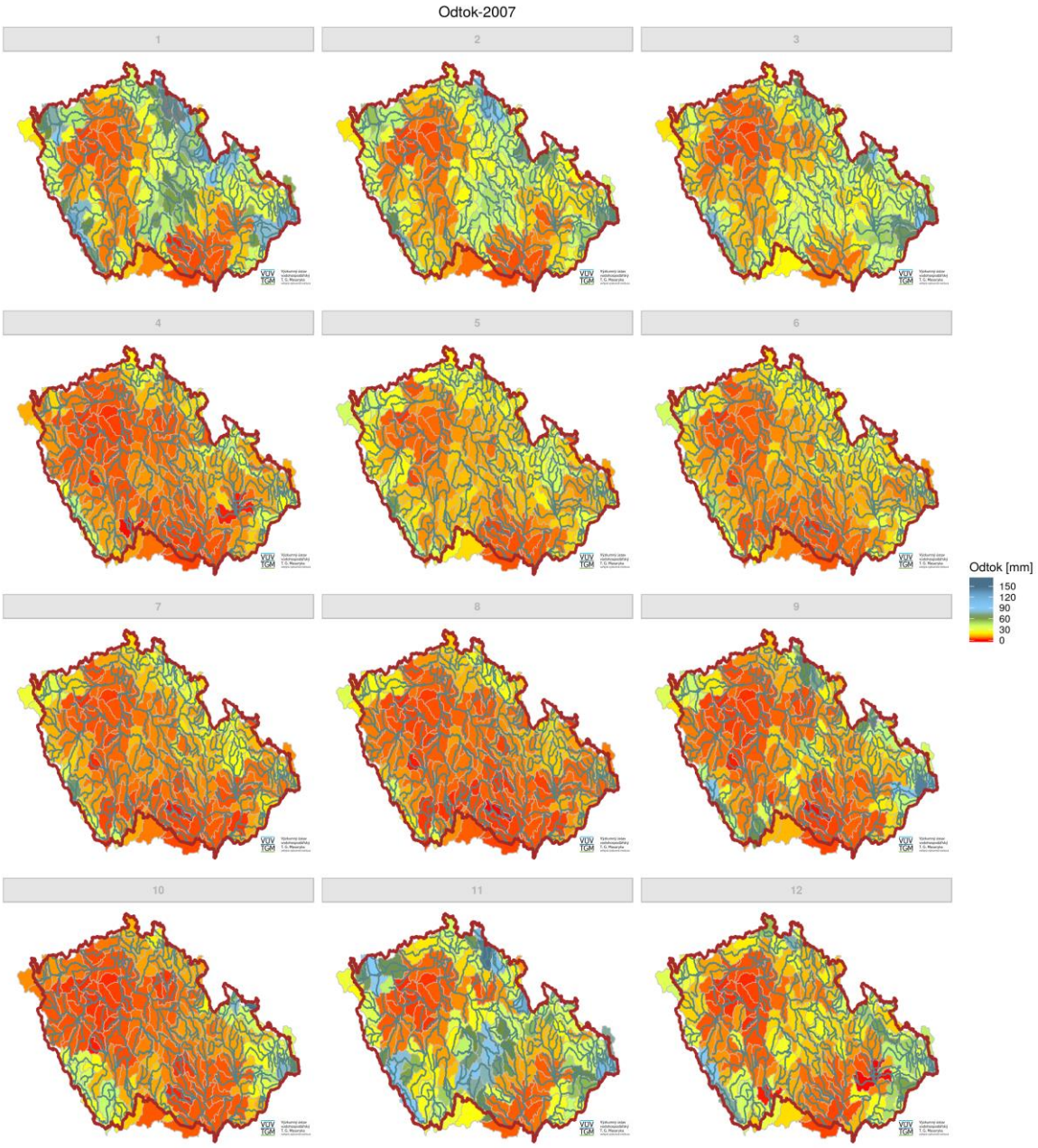

Odtok-2002
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

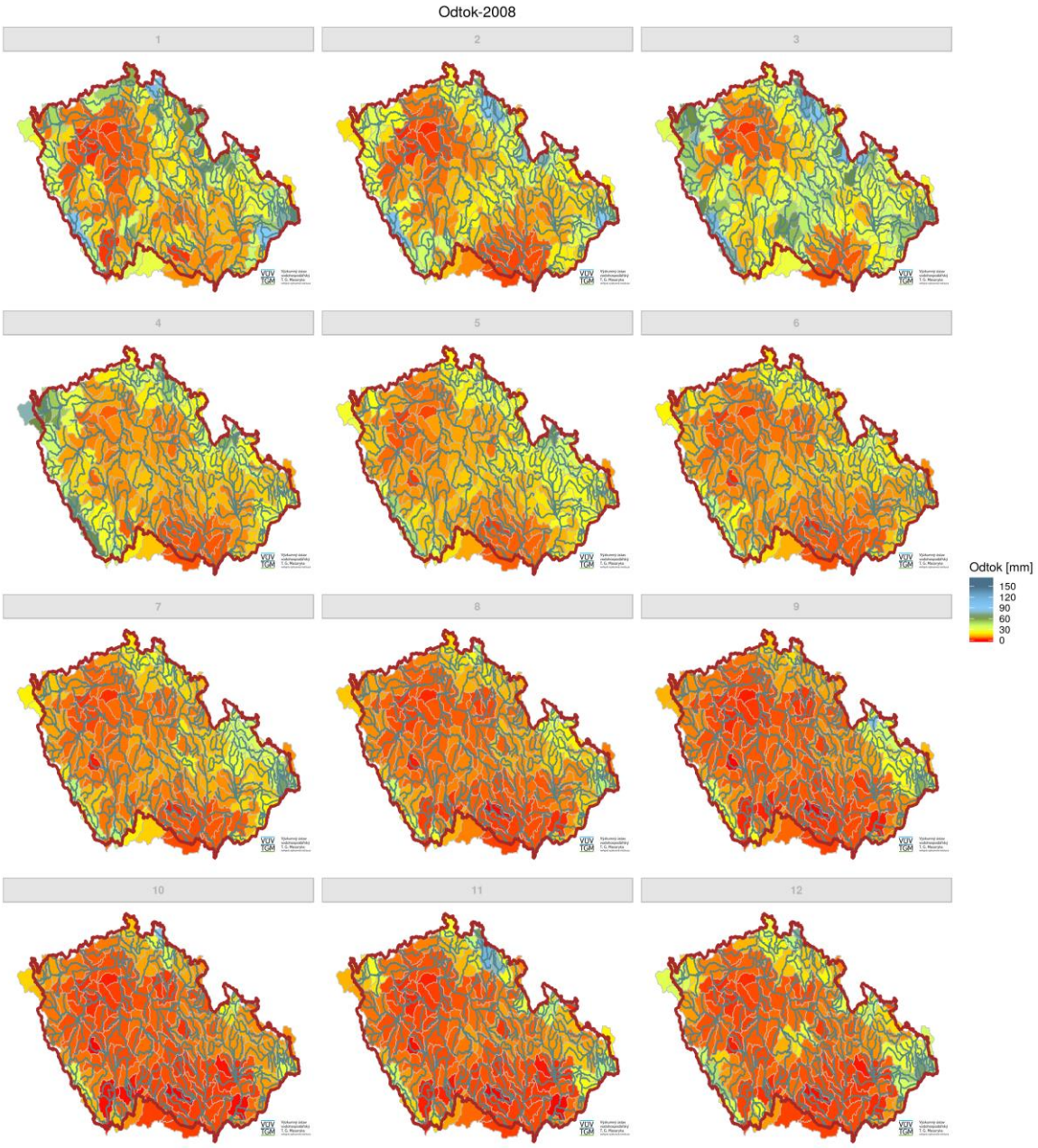

Odtok-2003
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

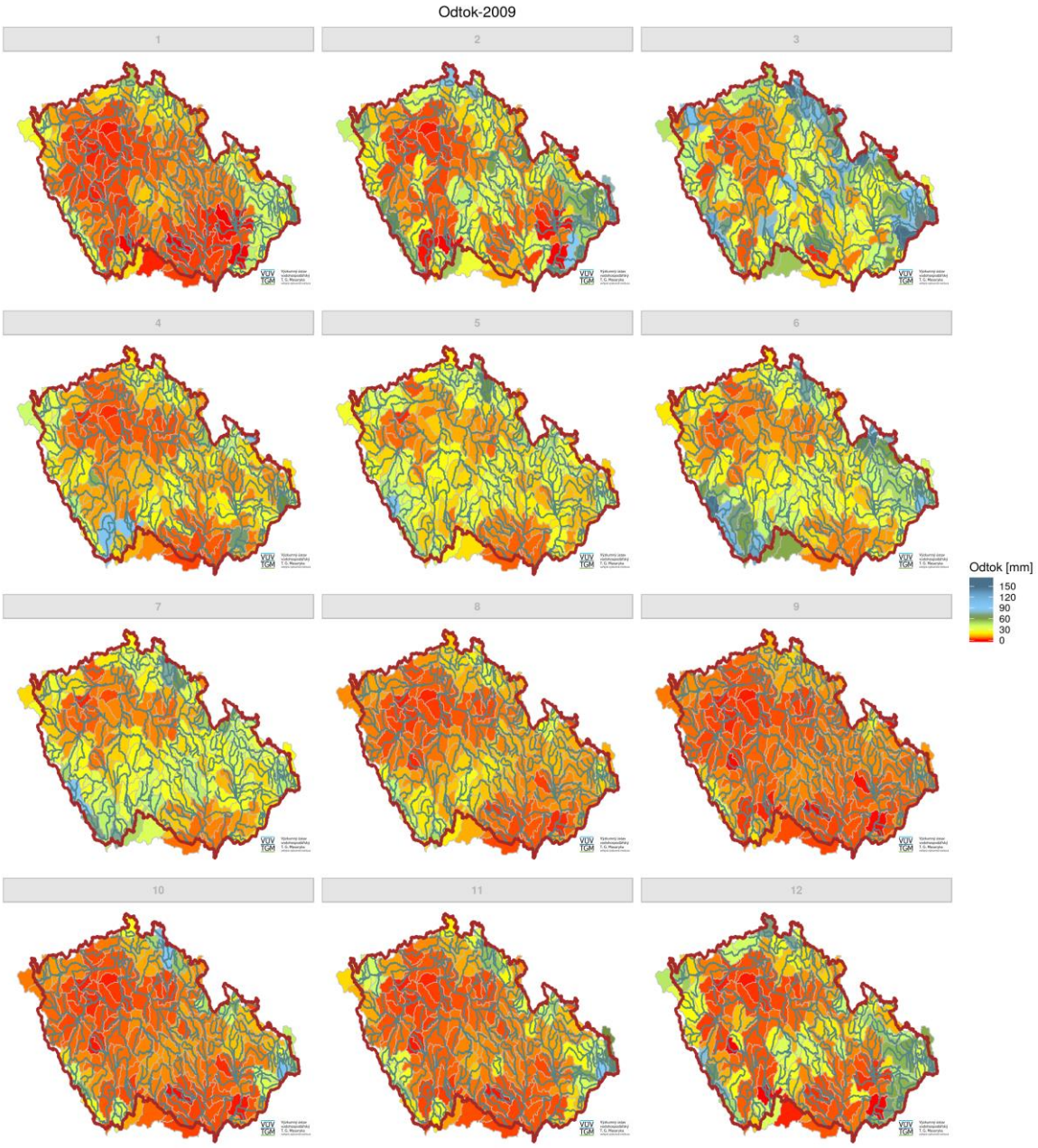

Odtok-2004
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

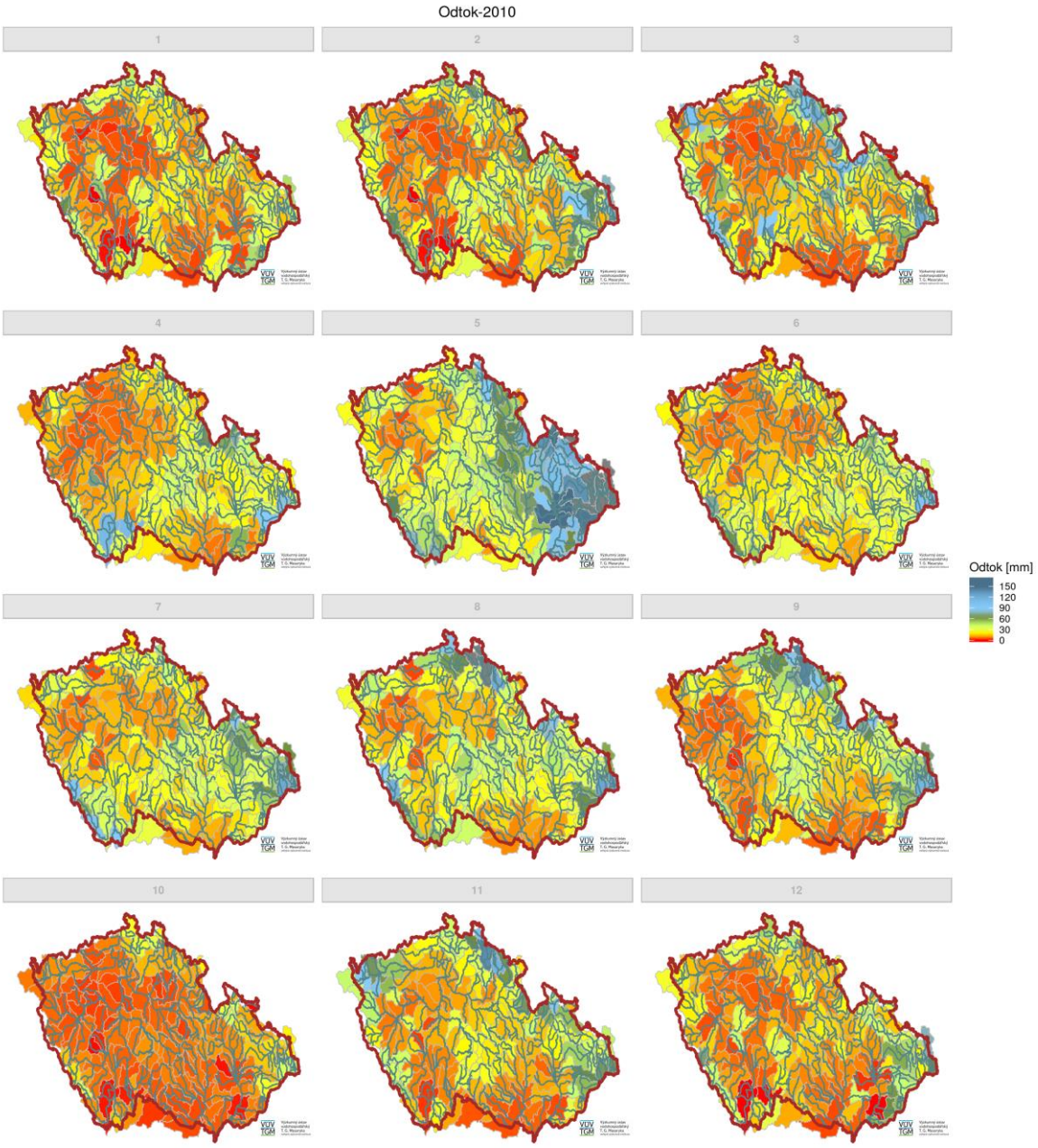

Odtok-2005
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

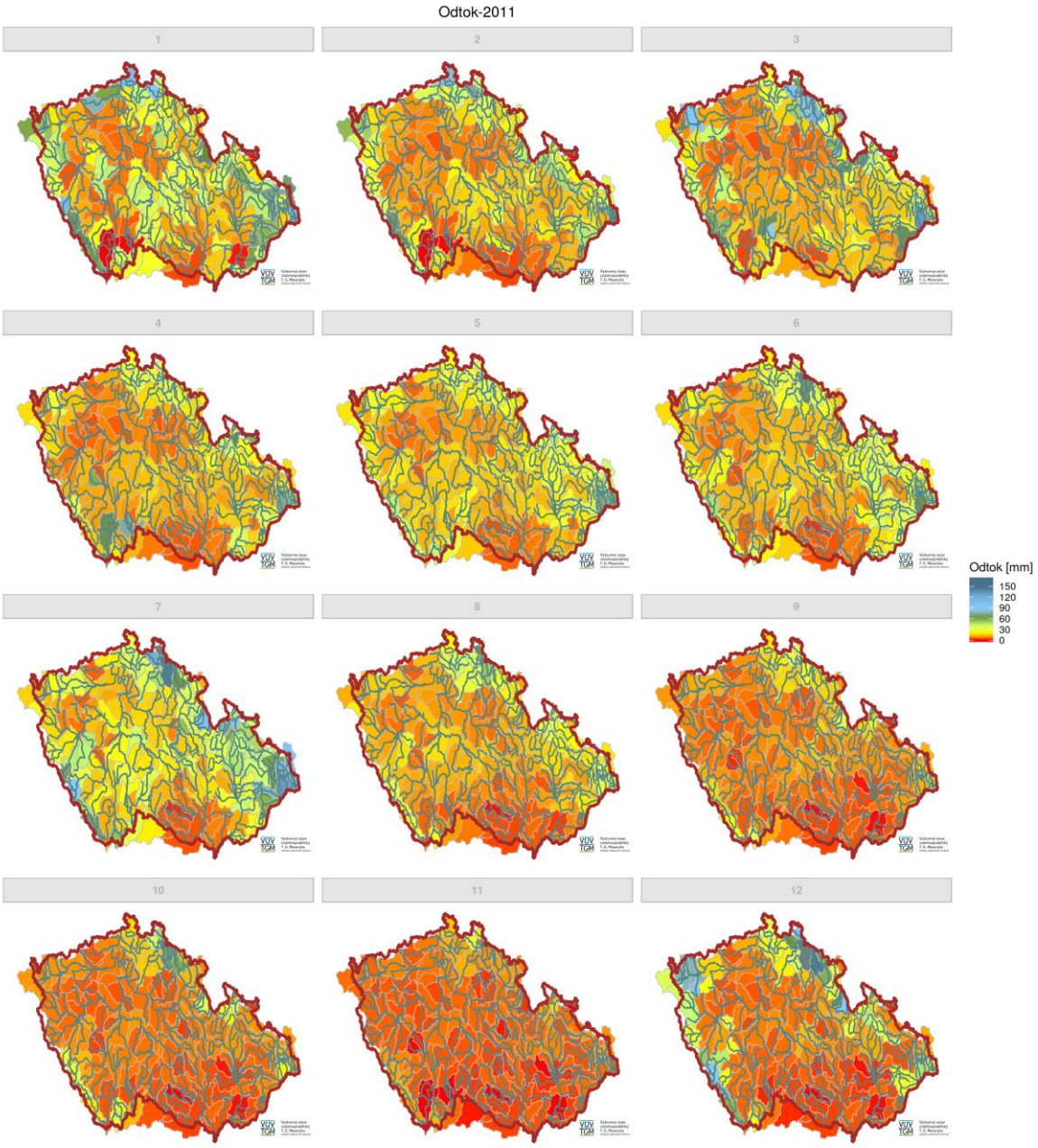

Odtok-2006
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

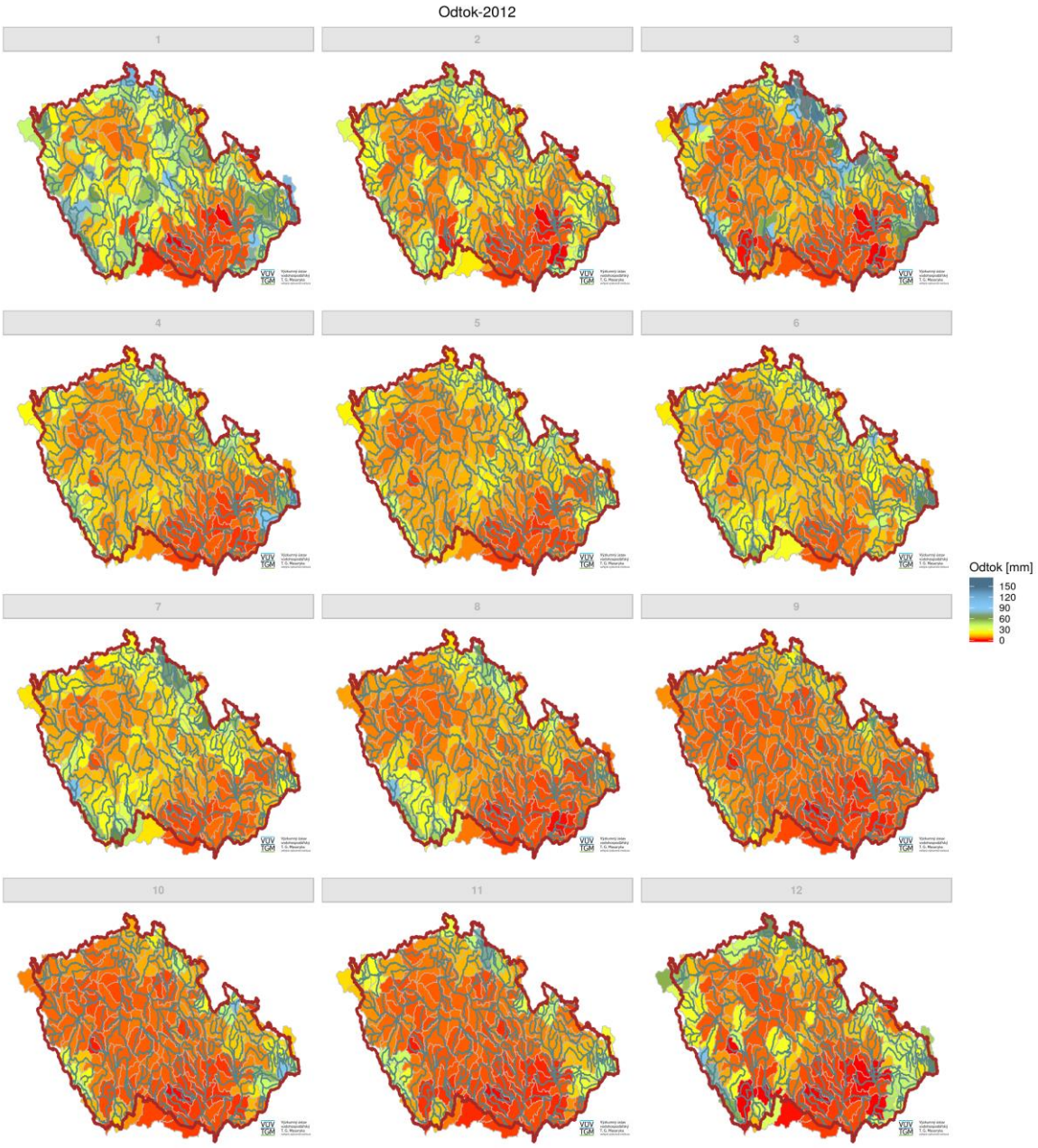

Odtok-2007
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

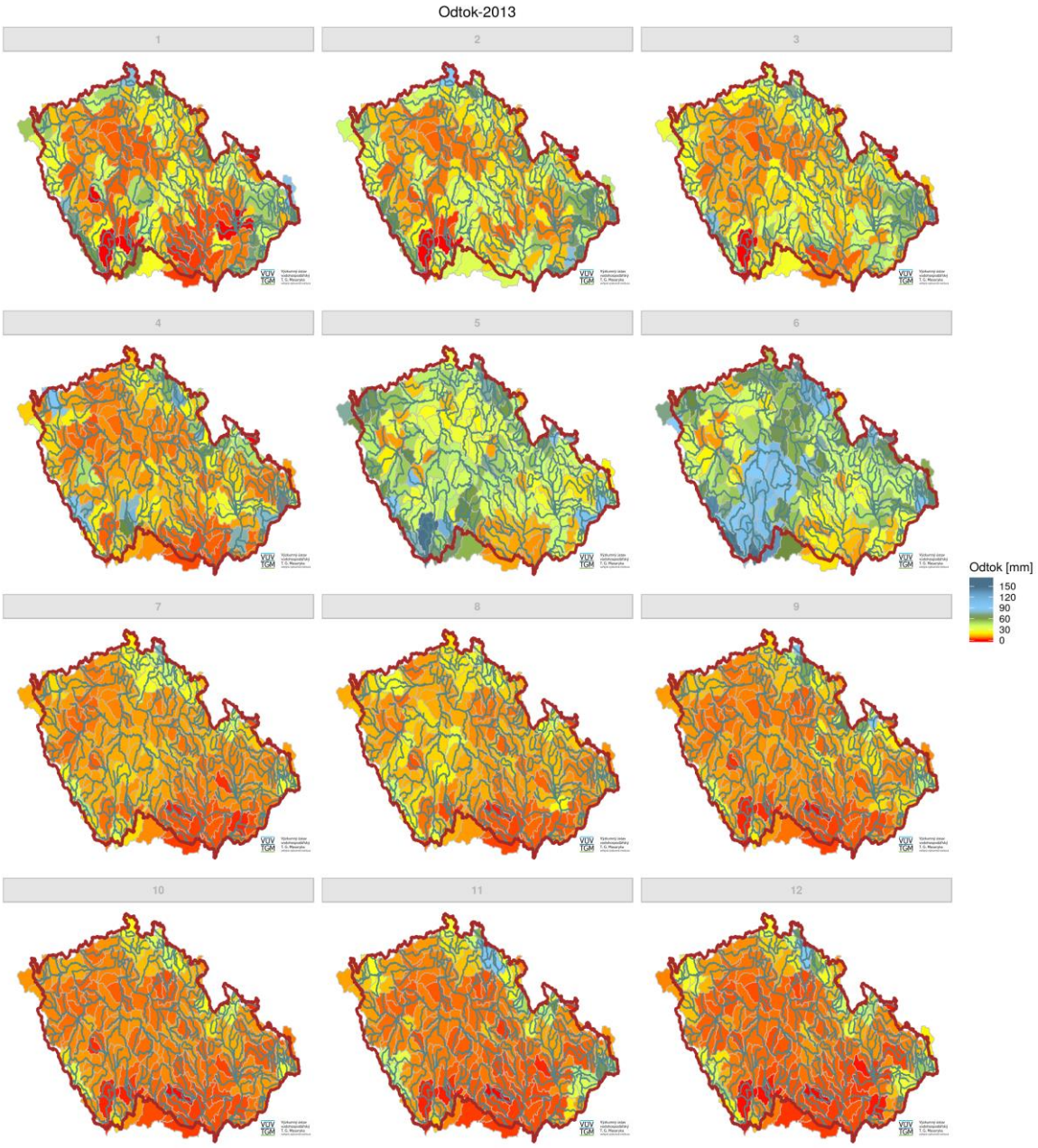

Odtok-2008
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

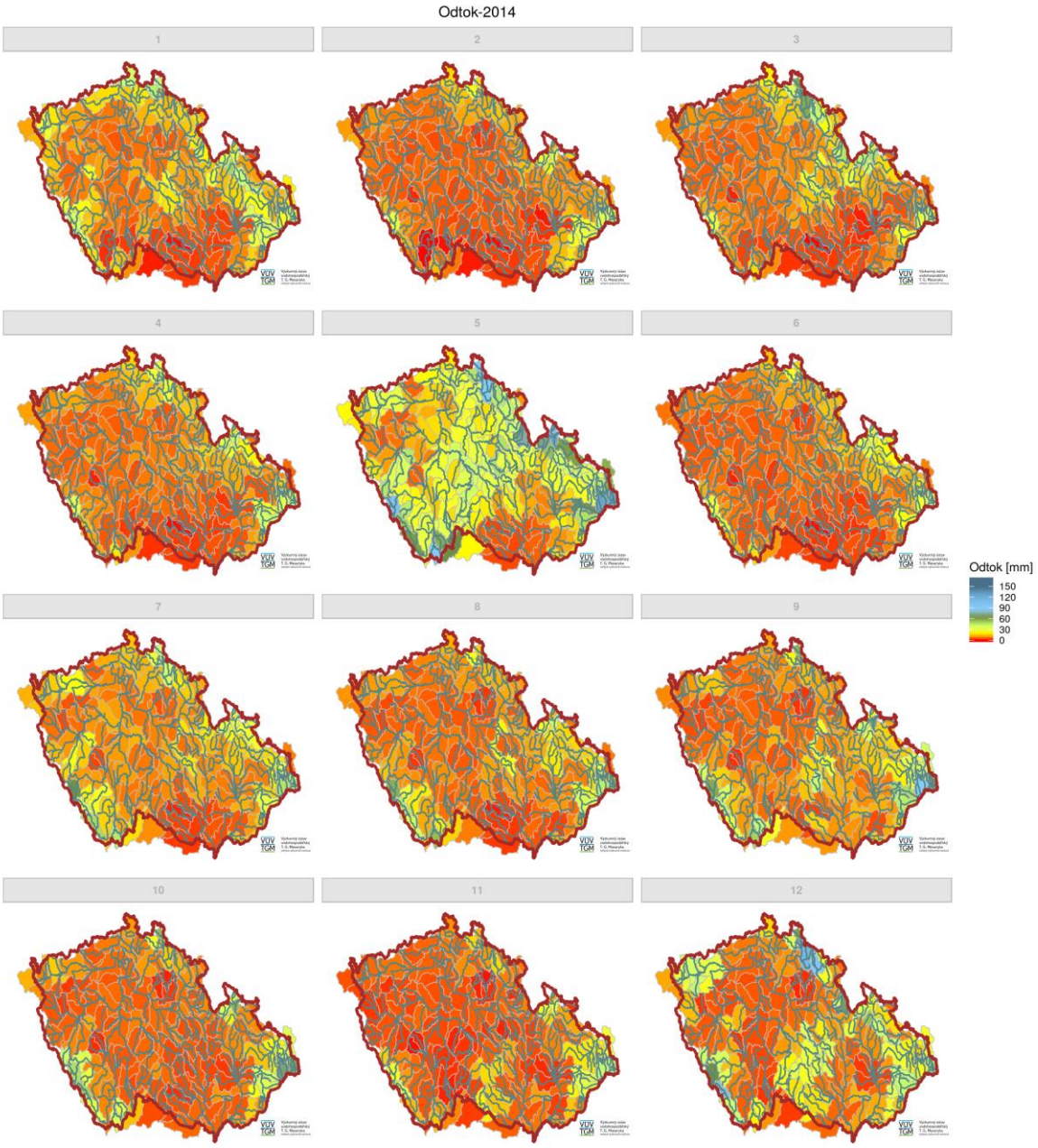

Odtok-2009
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

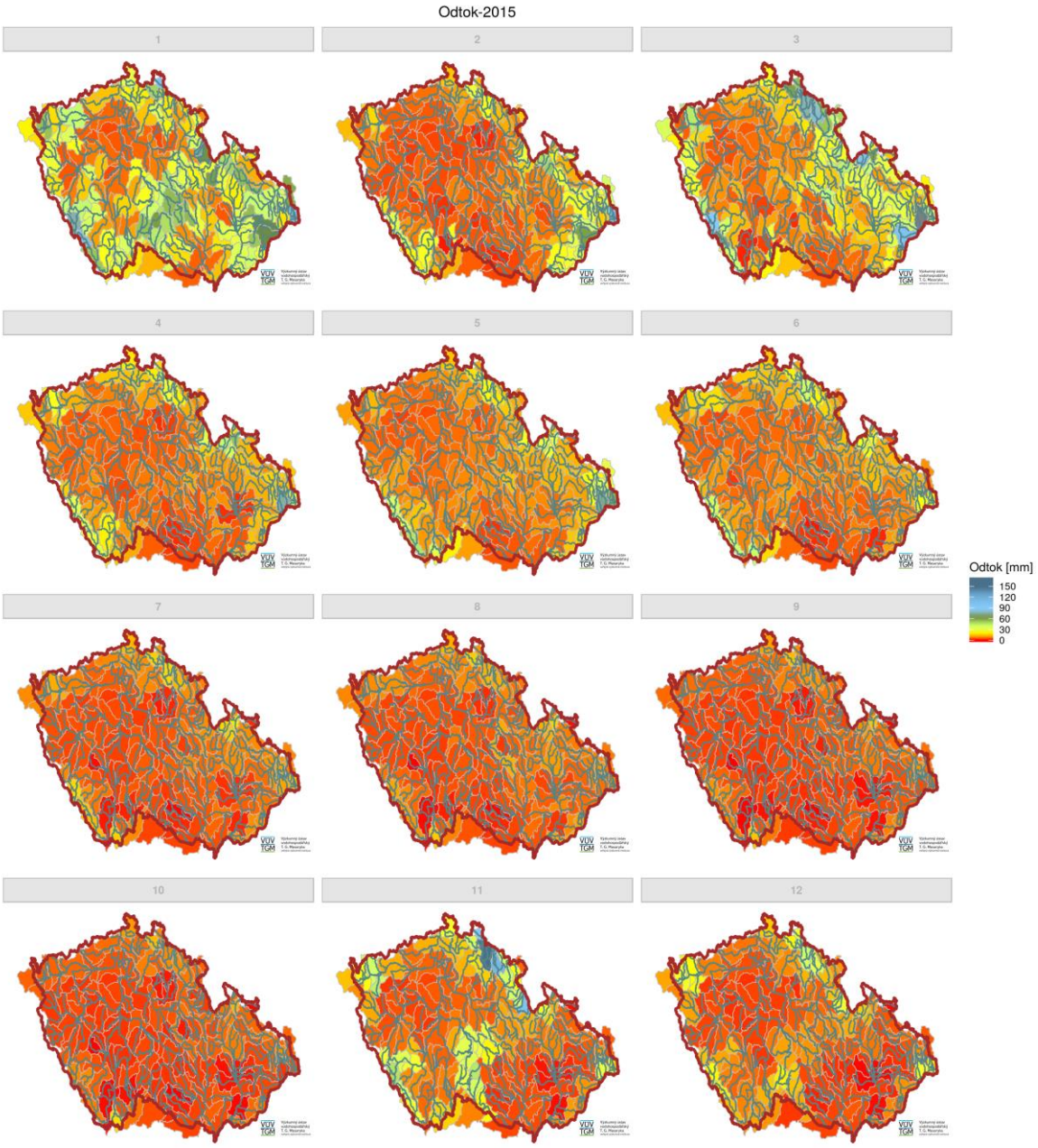

Odtok-2010
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0


Odtok-2011
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0


Odtok-2012
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

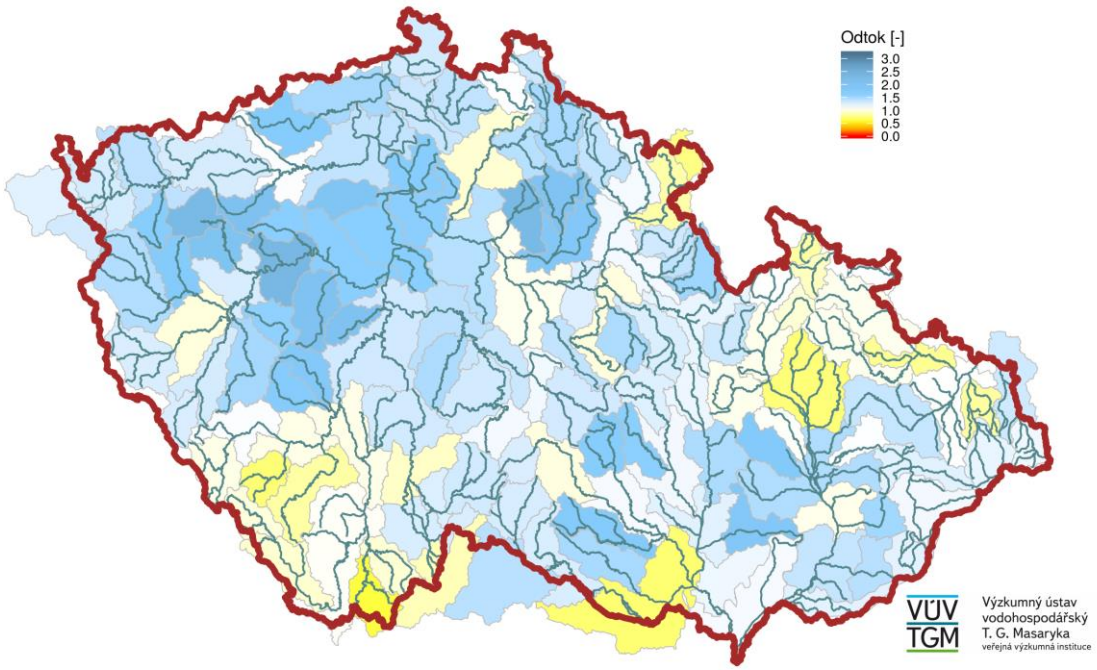

Odtok-2013
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0


Odtok-2014
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

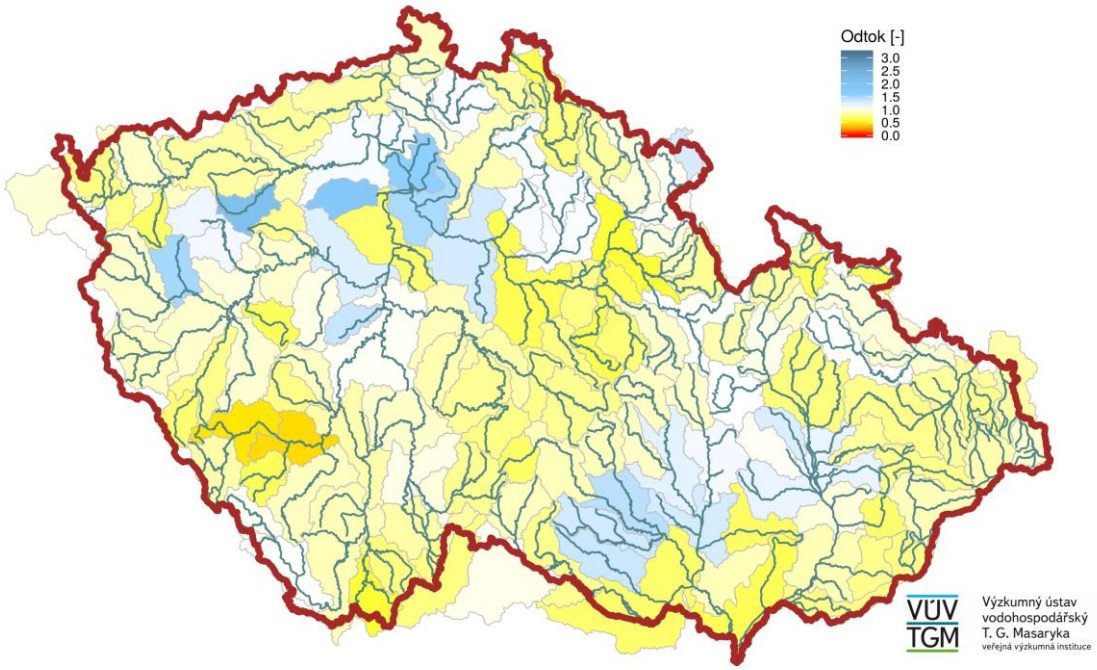

Odtok-2015
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Odtok [mm]
150
120
90
60
30
0

PŘÍLOHA IV – MAPY POMĚRU ODTOKŮ - ROK

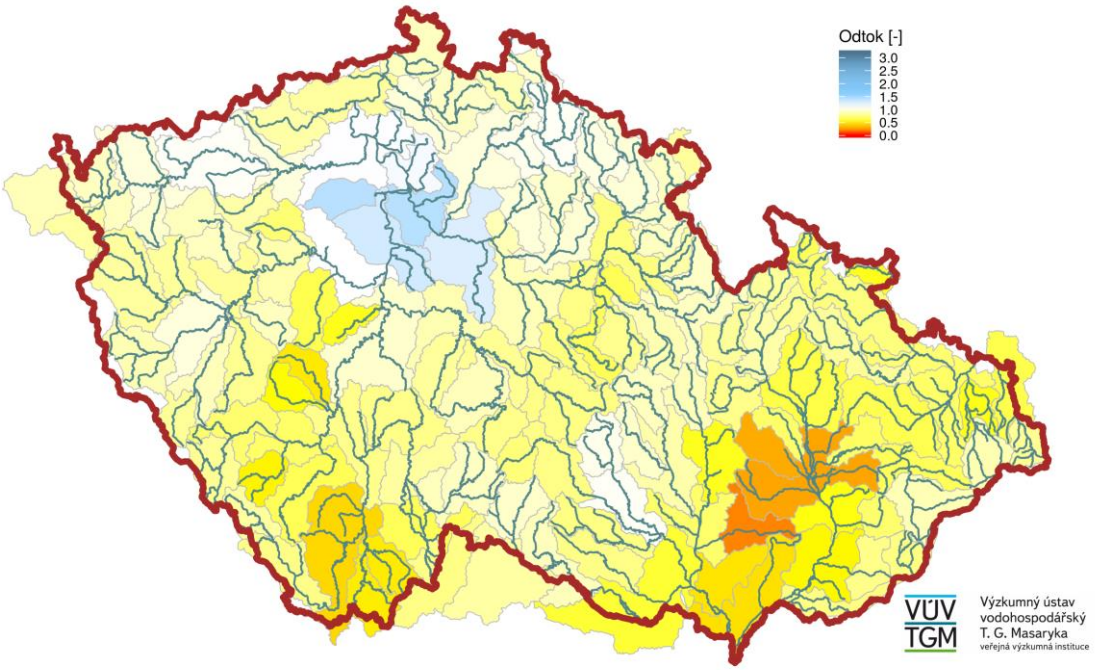
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1981



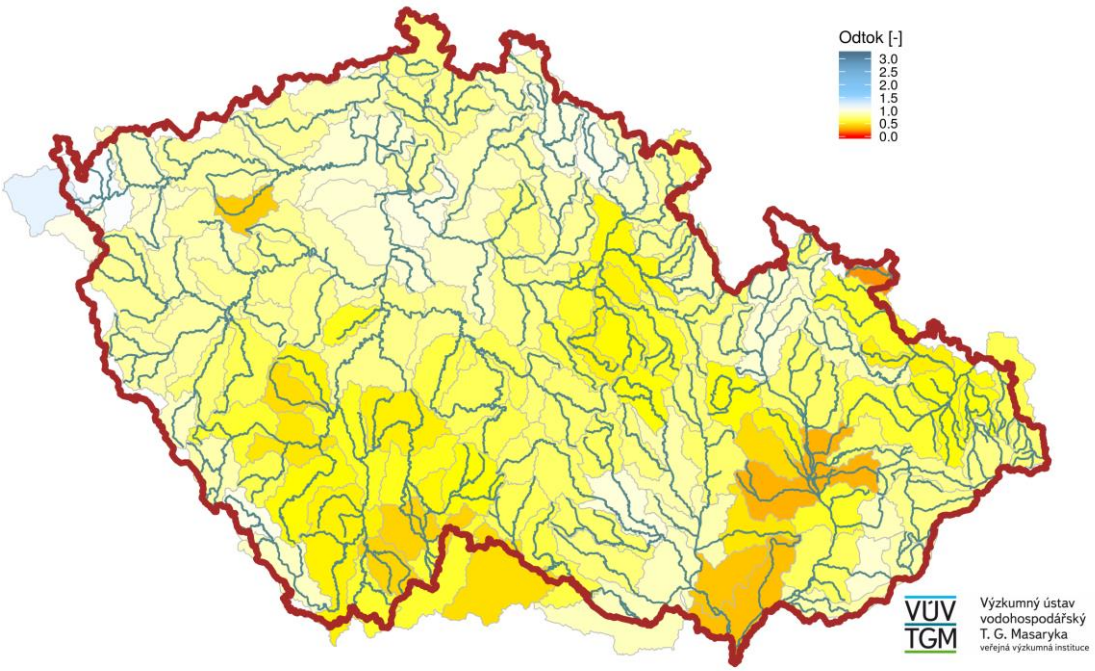
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1982



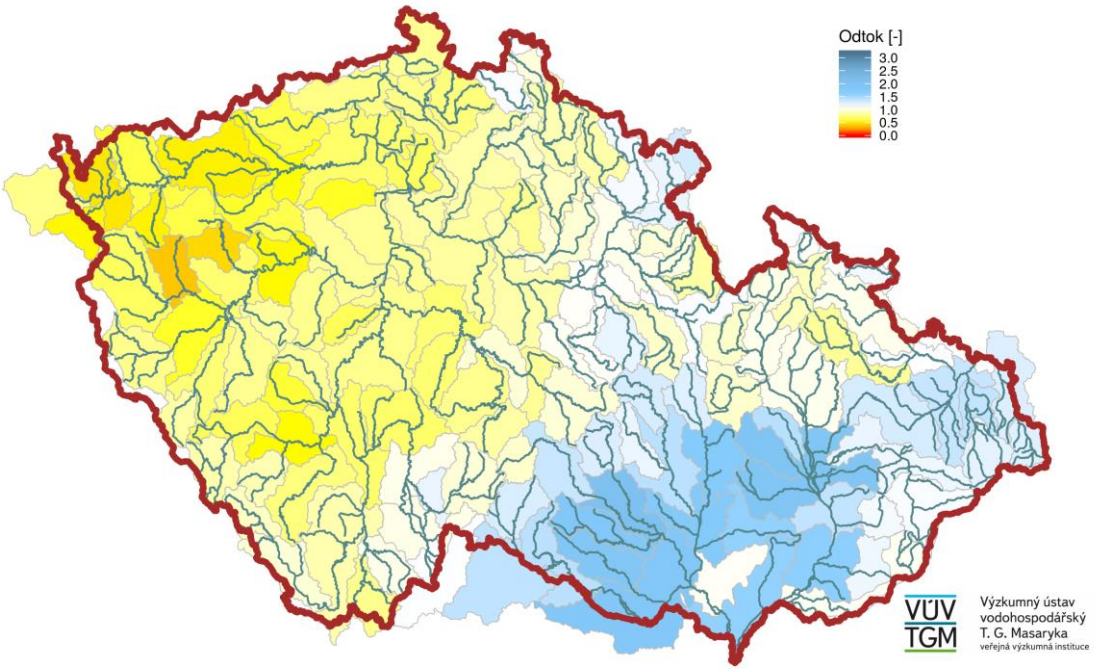
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1983



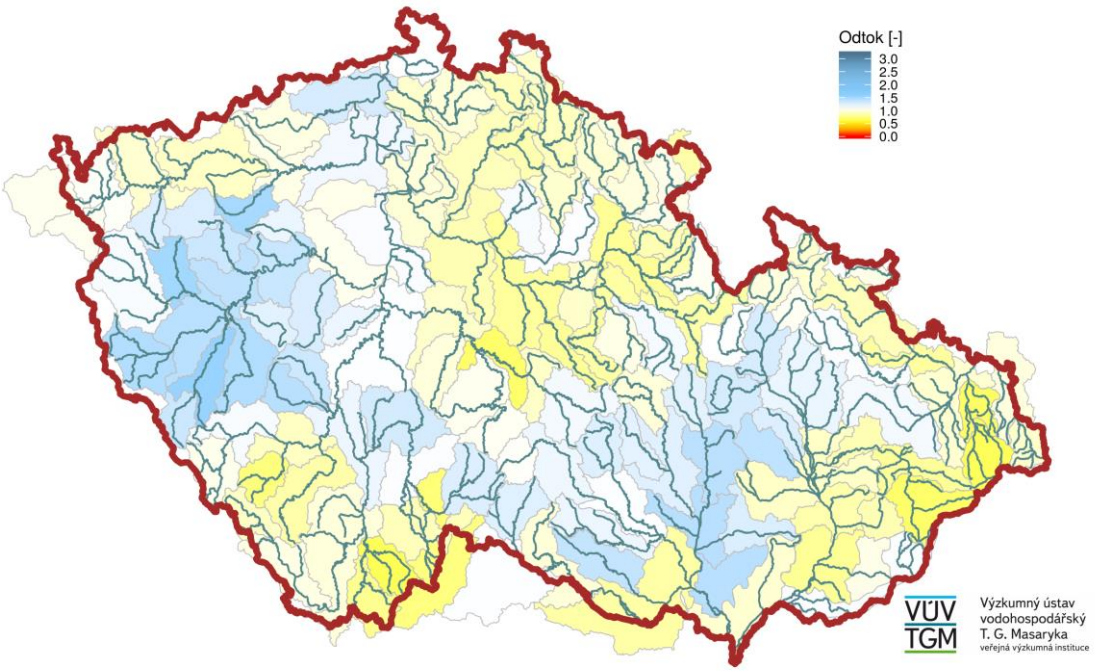
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1984



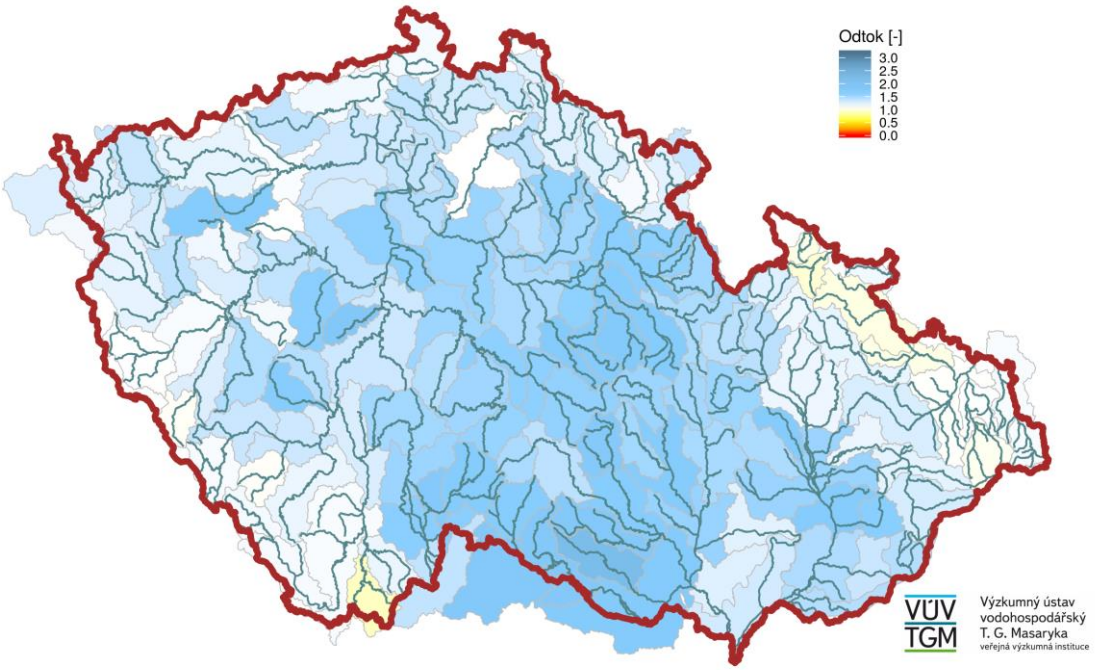
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1985



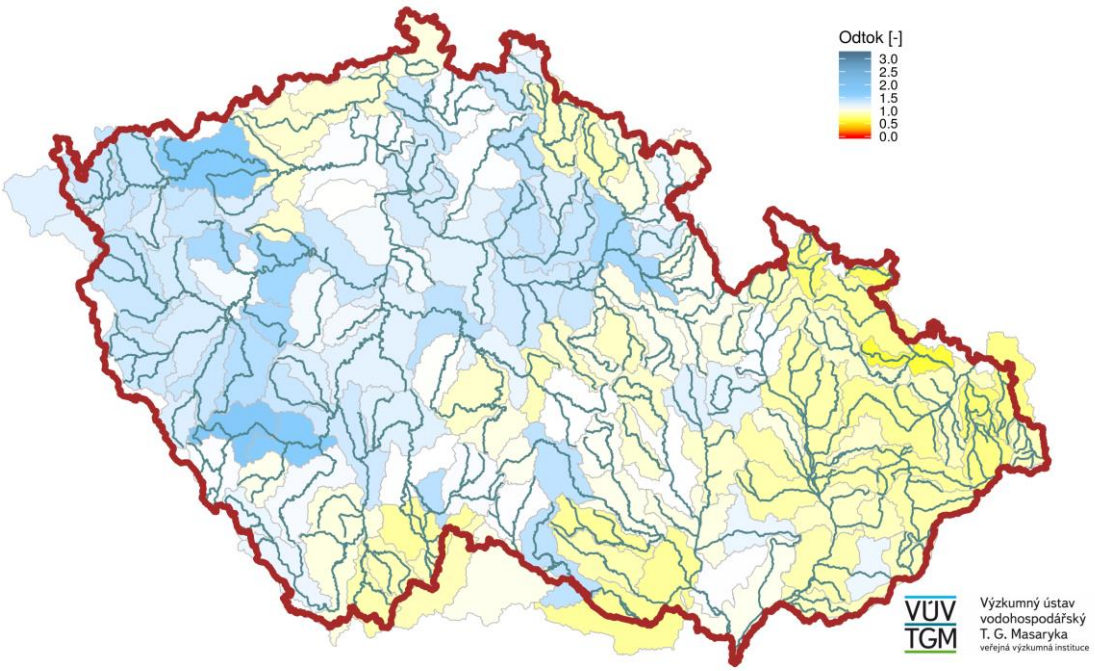
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1986



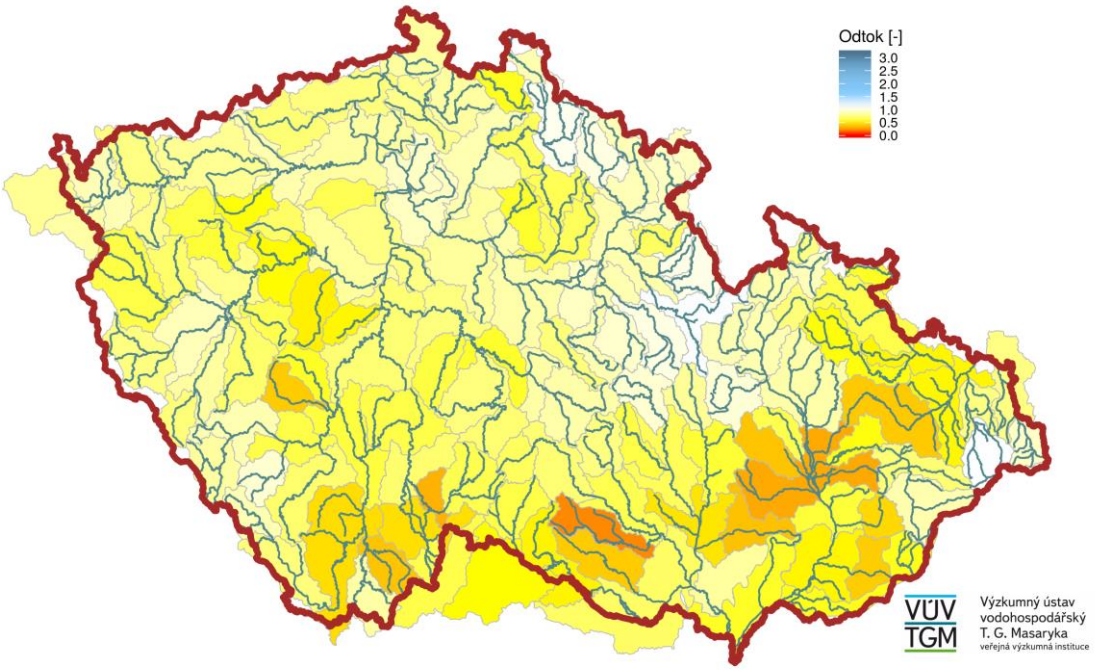
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1987



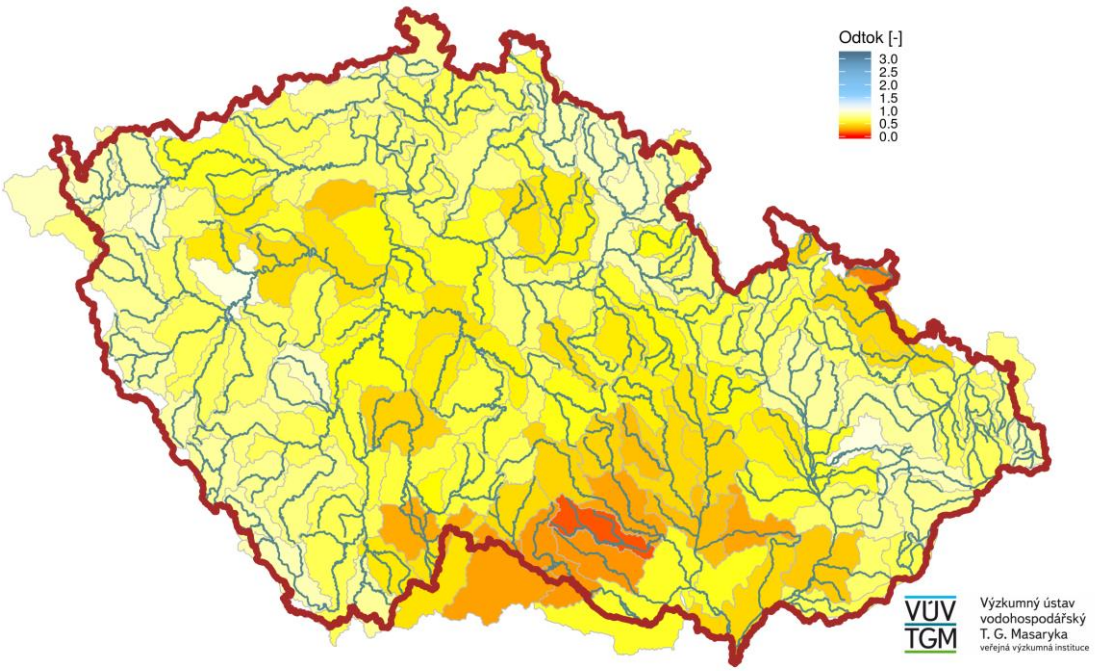
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1988



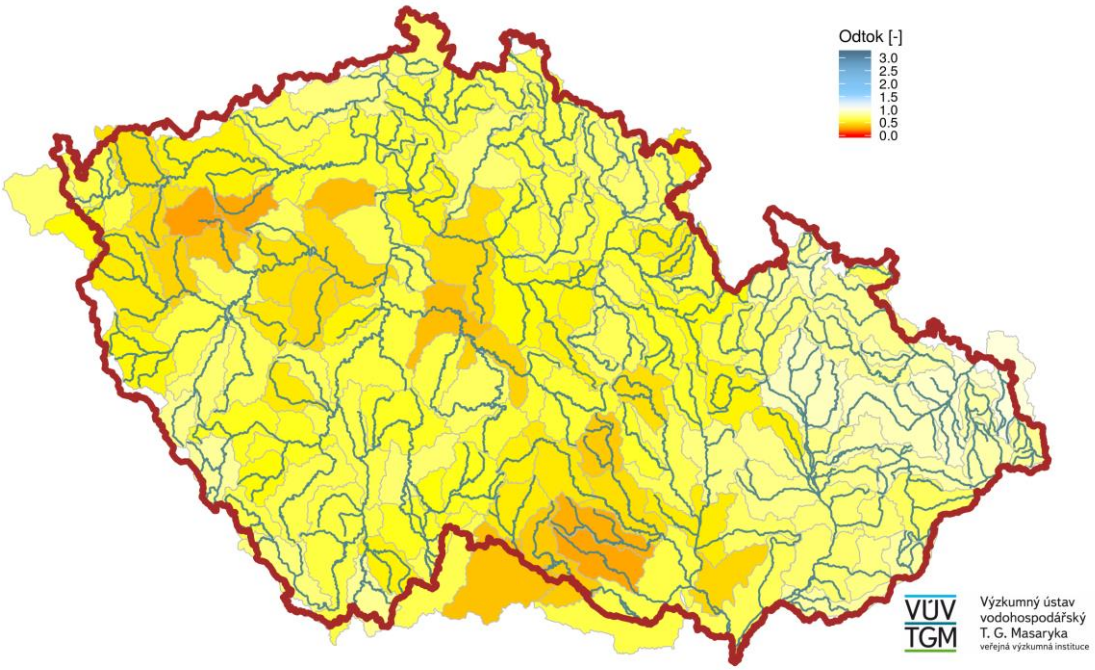
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1989



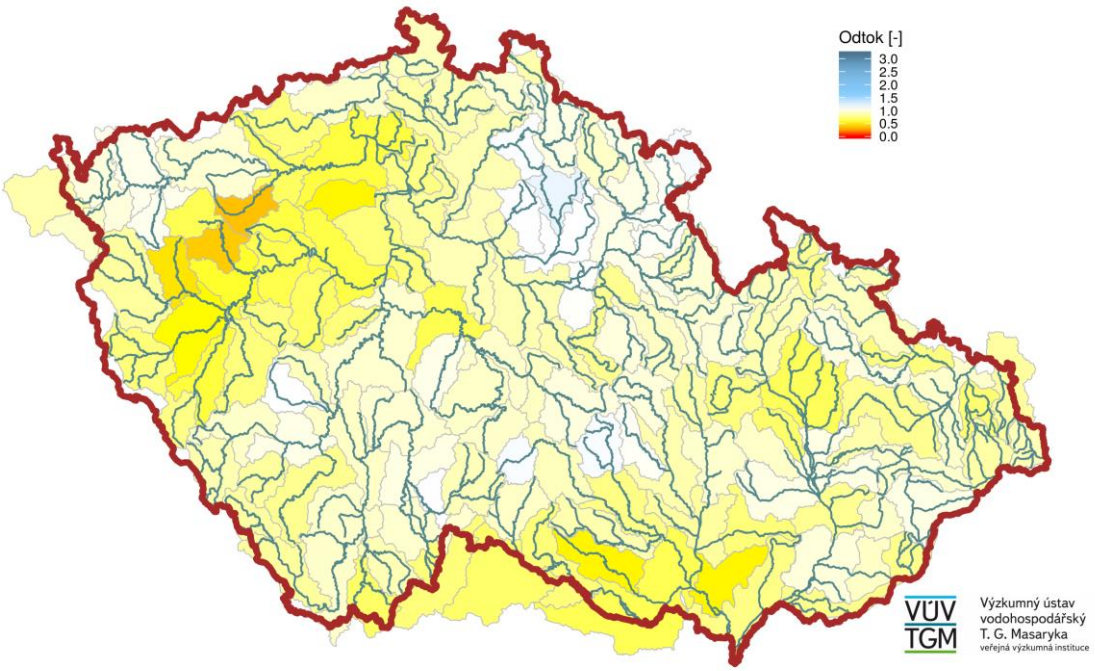
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1990



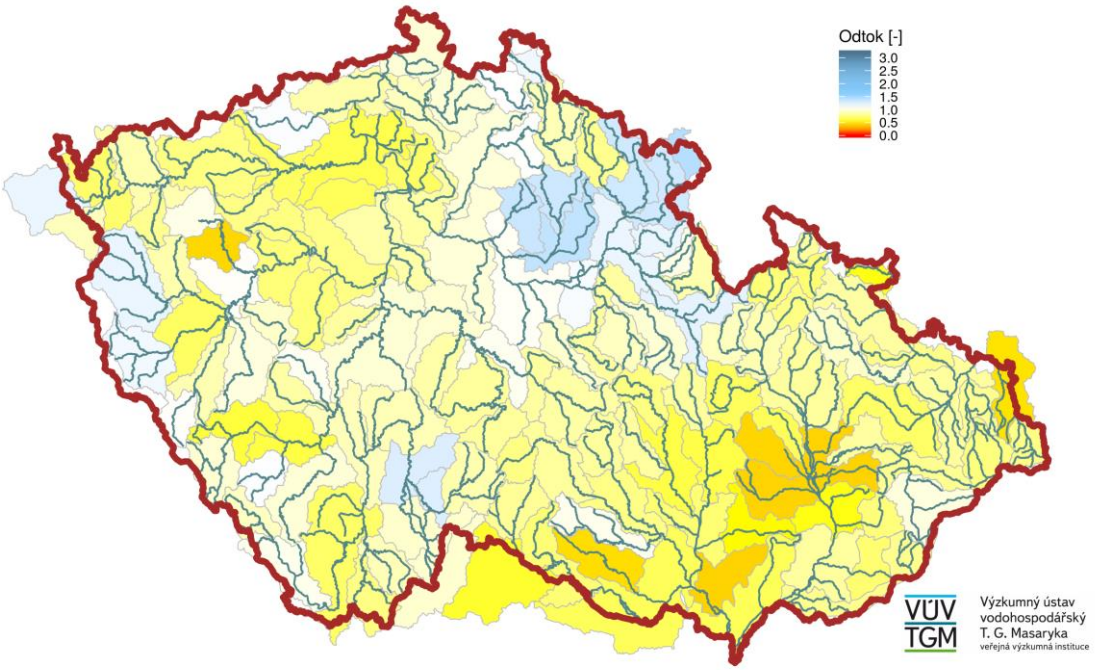
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1991



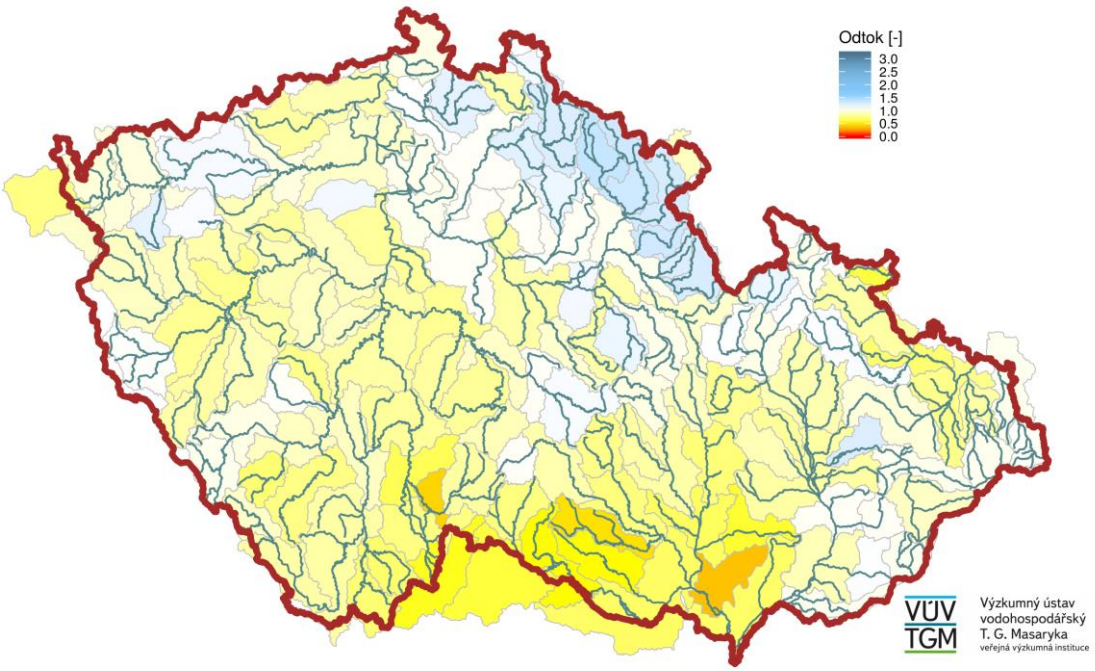
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1992



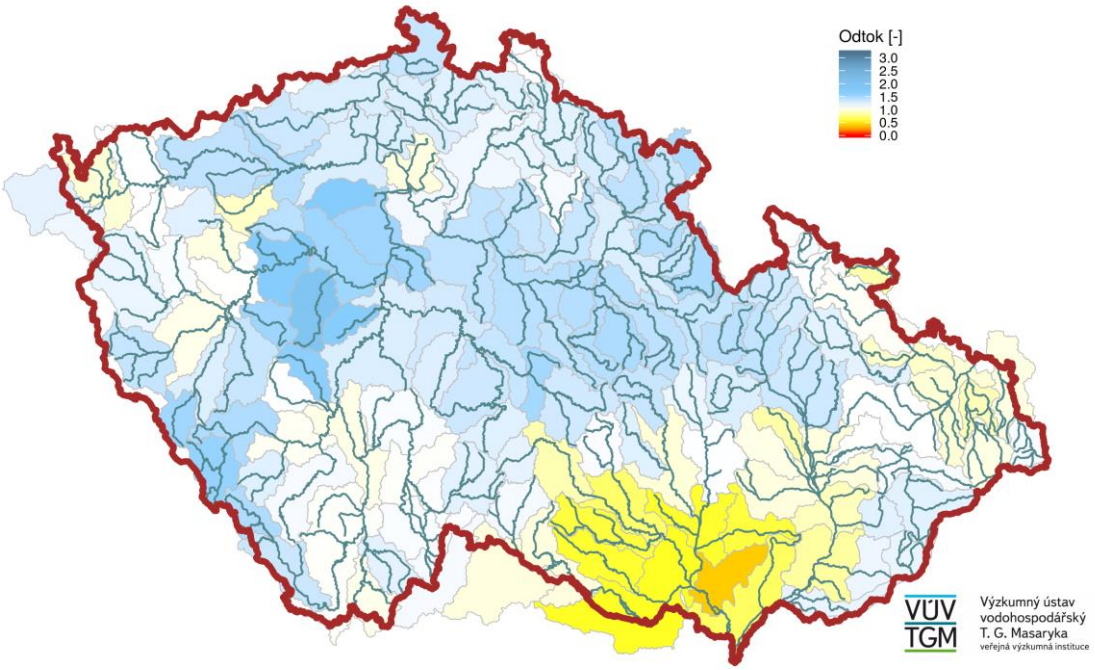
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1993



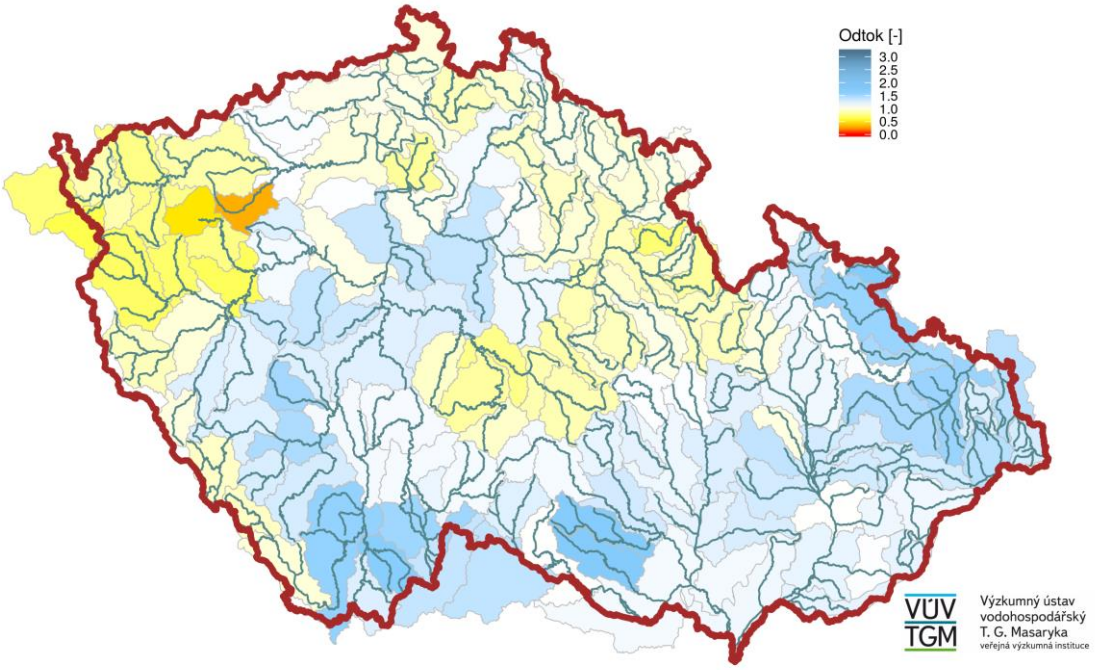
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1994



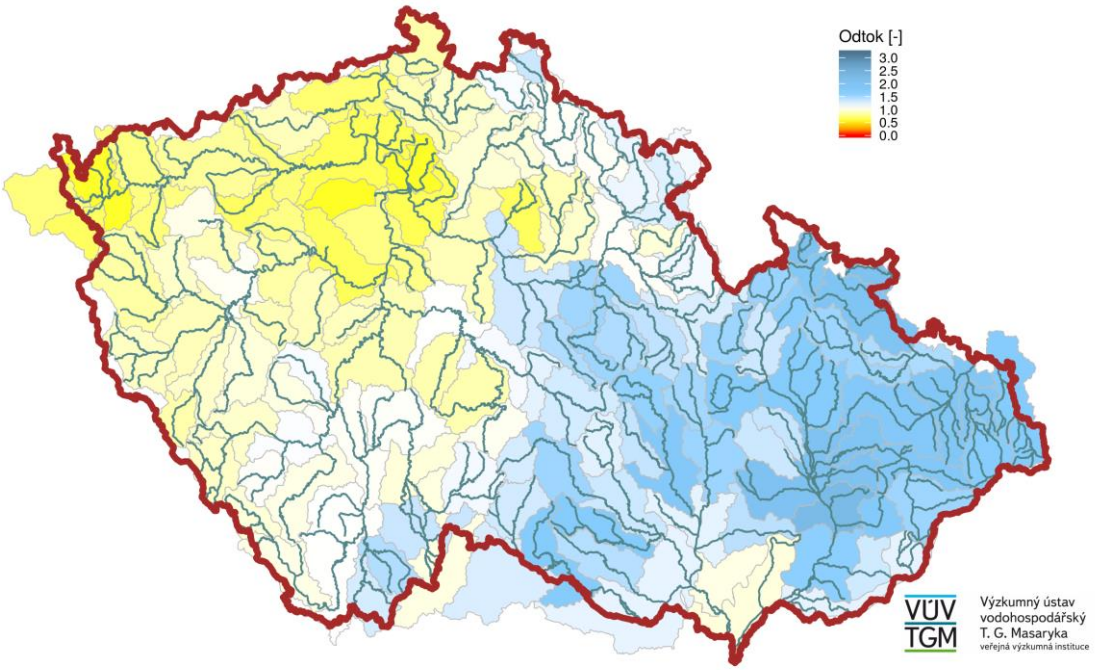
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1995



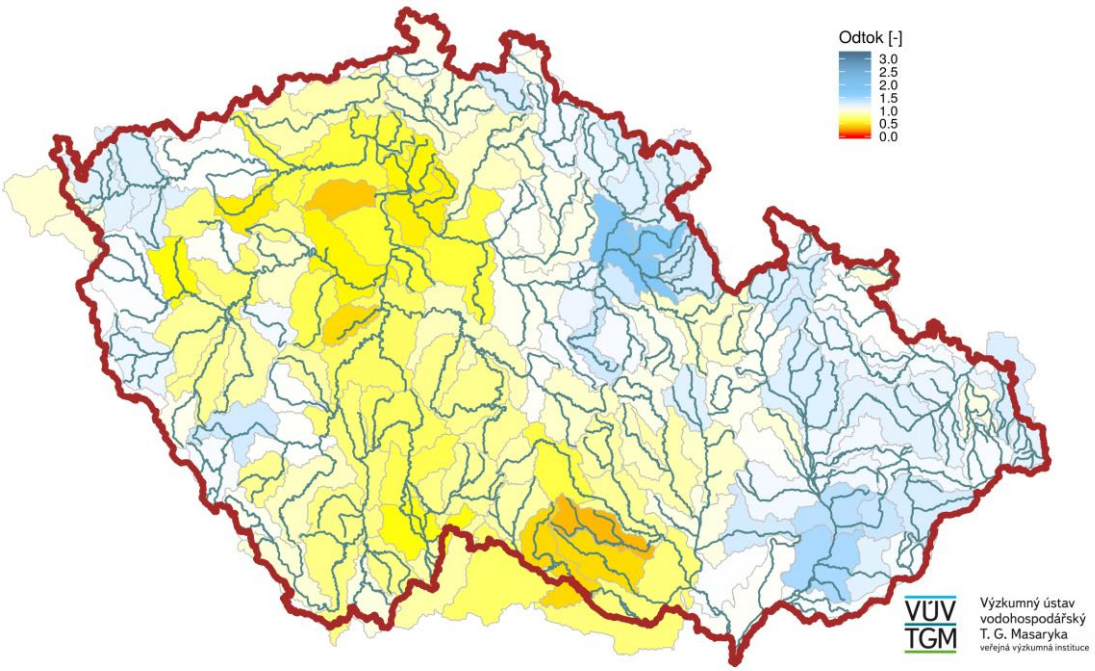
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1996



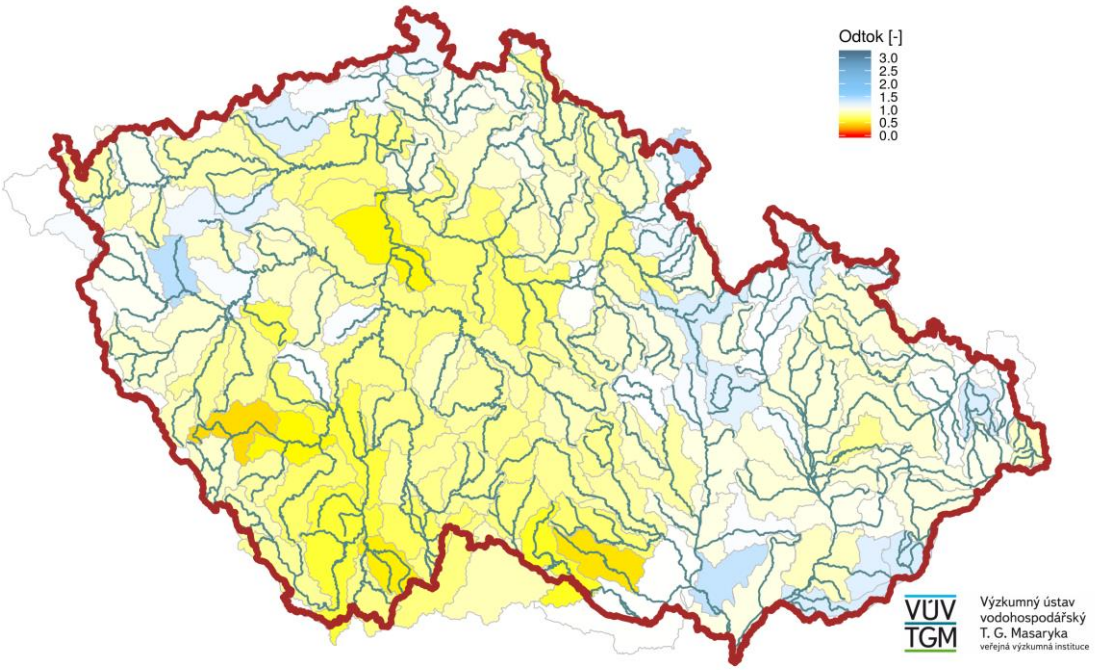
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1997



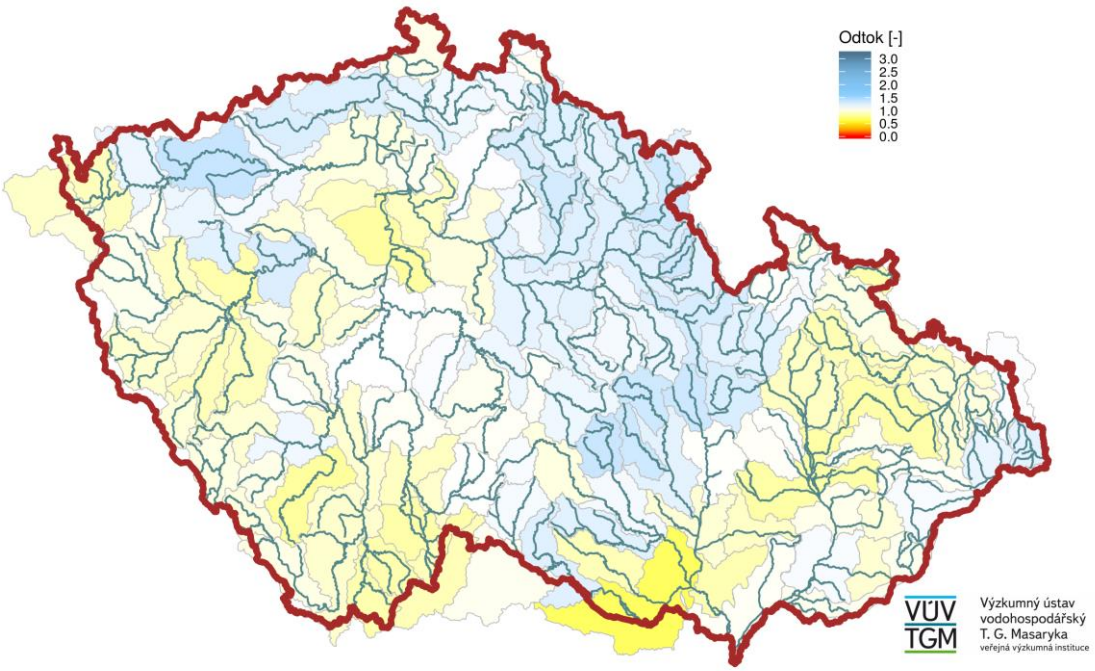
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1998



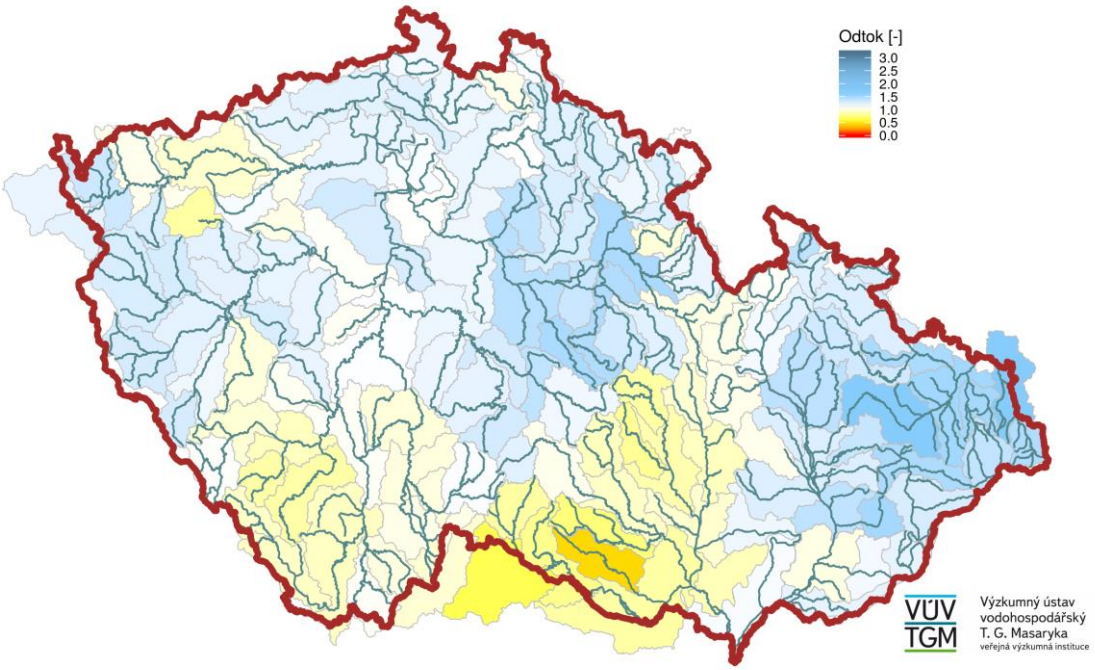
Poměr ku období 1981-2015 - rok 1999



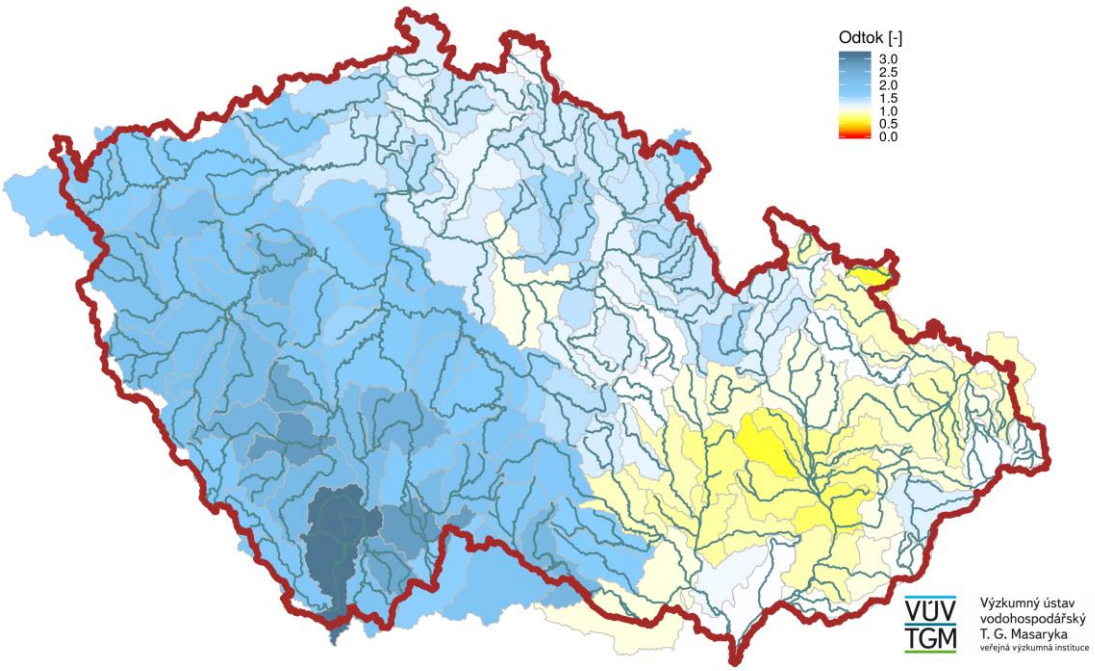
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2000



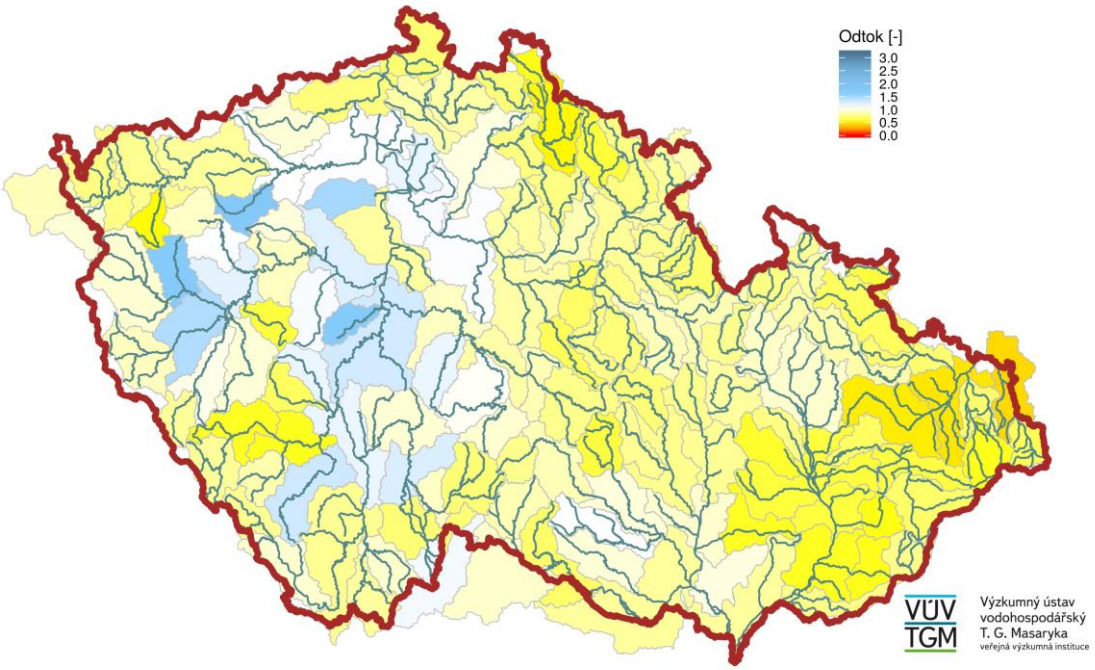
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2001



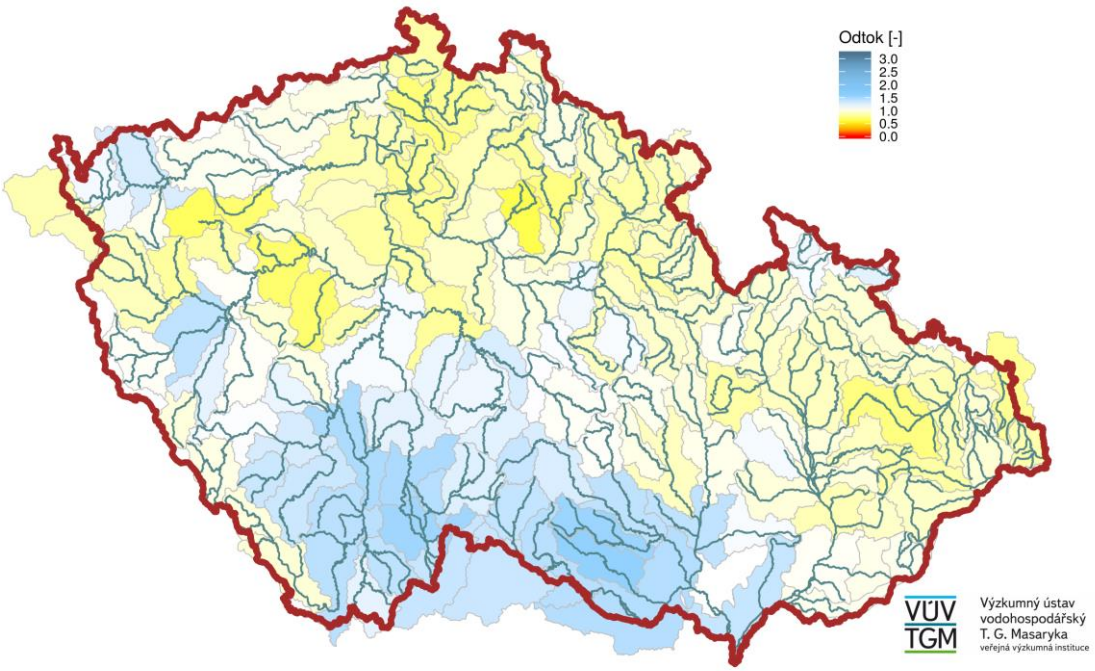
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2002



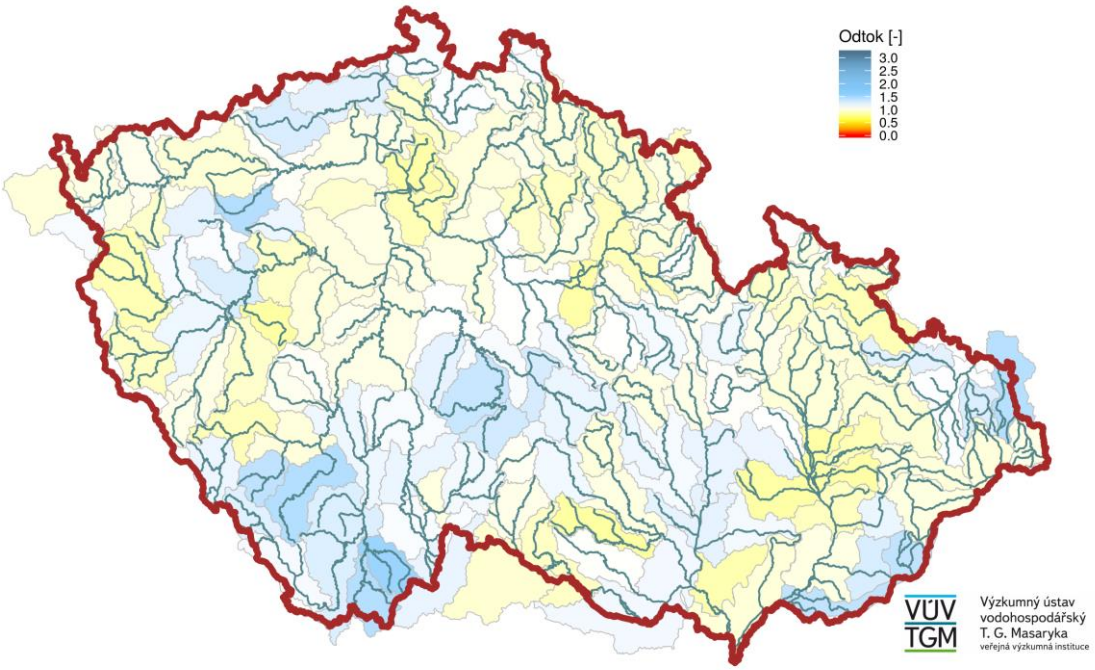
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2003



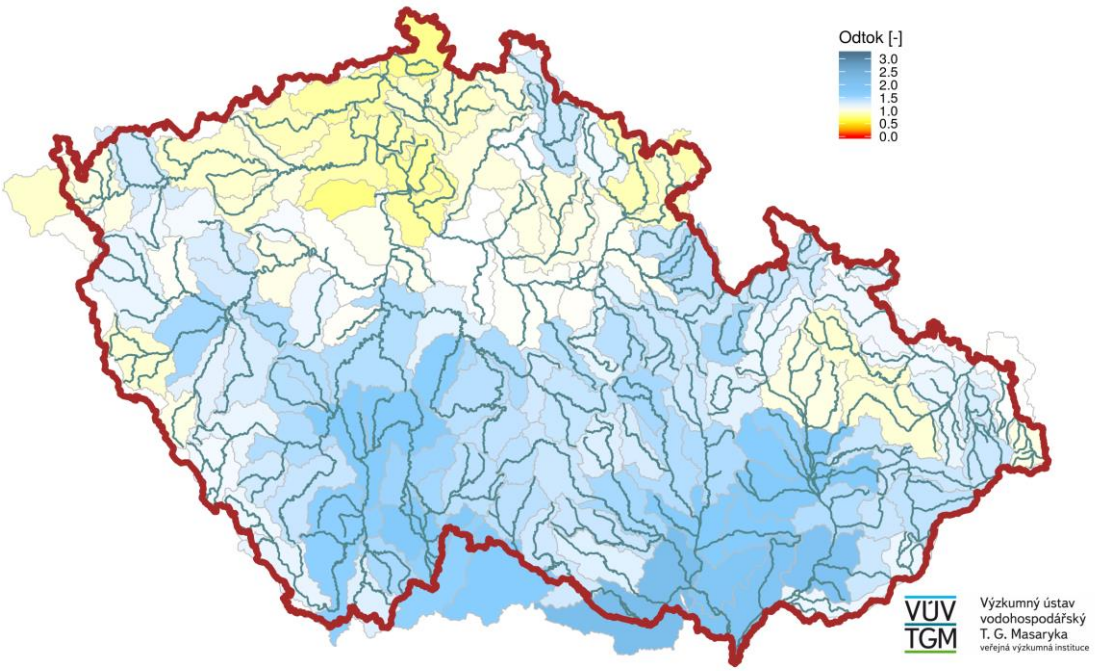
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2004



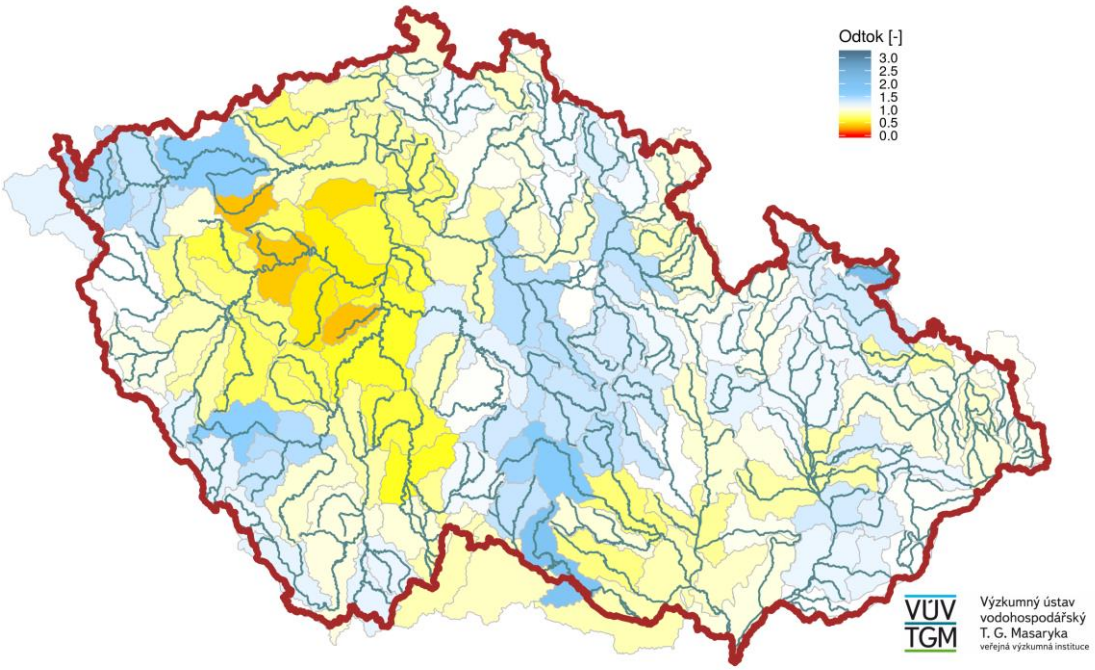
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2005



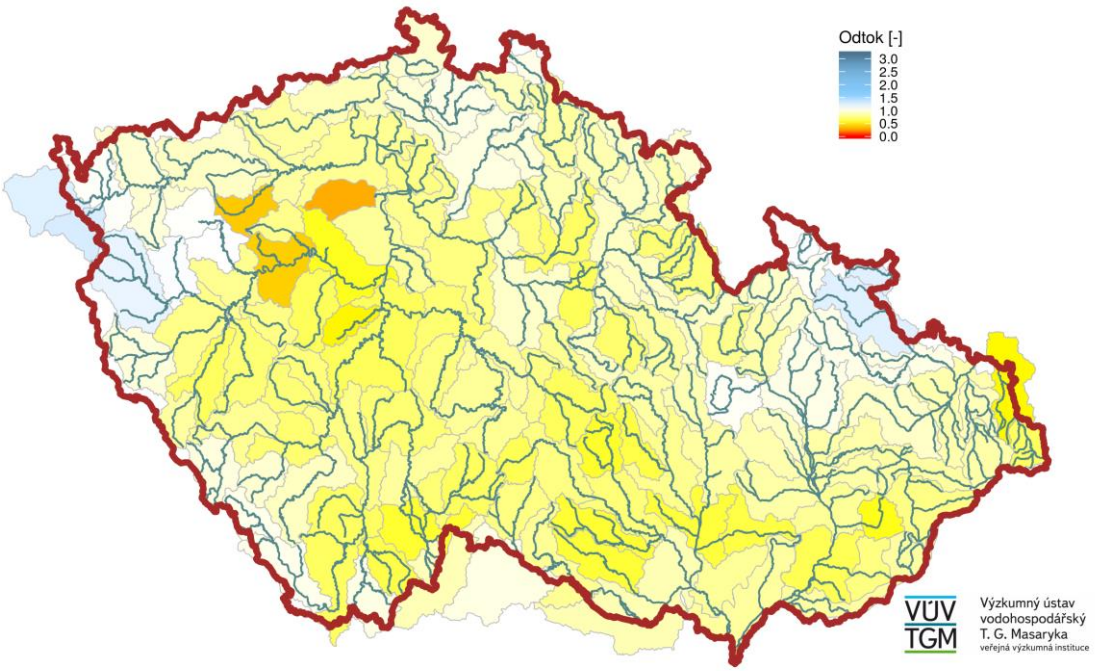
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2006



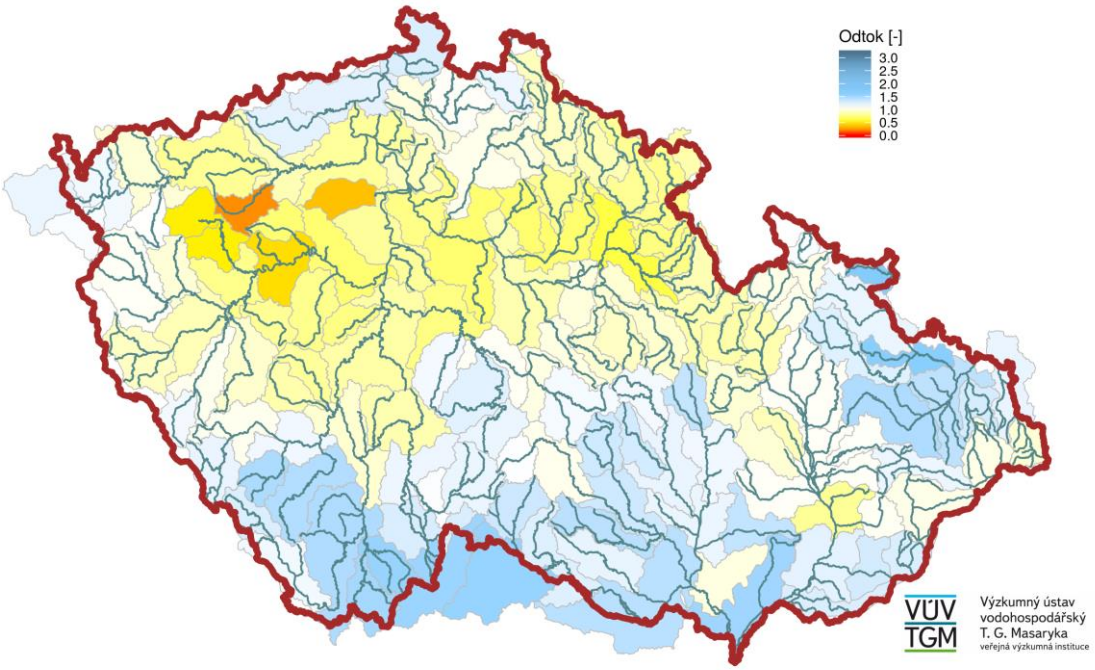
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2007



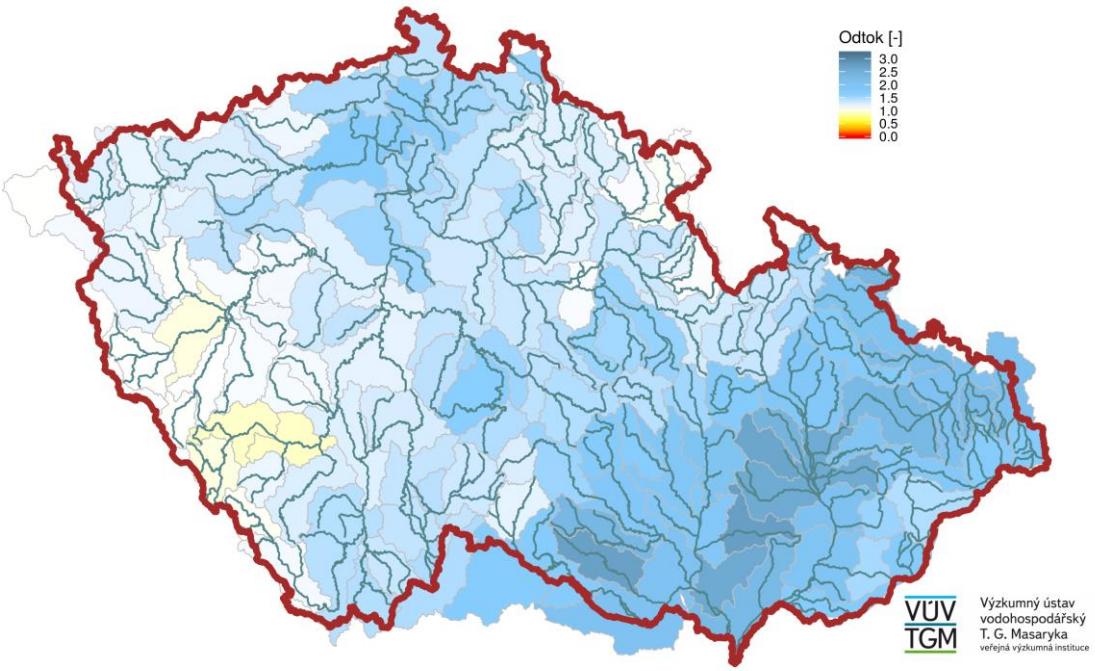
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2008



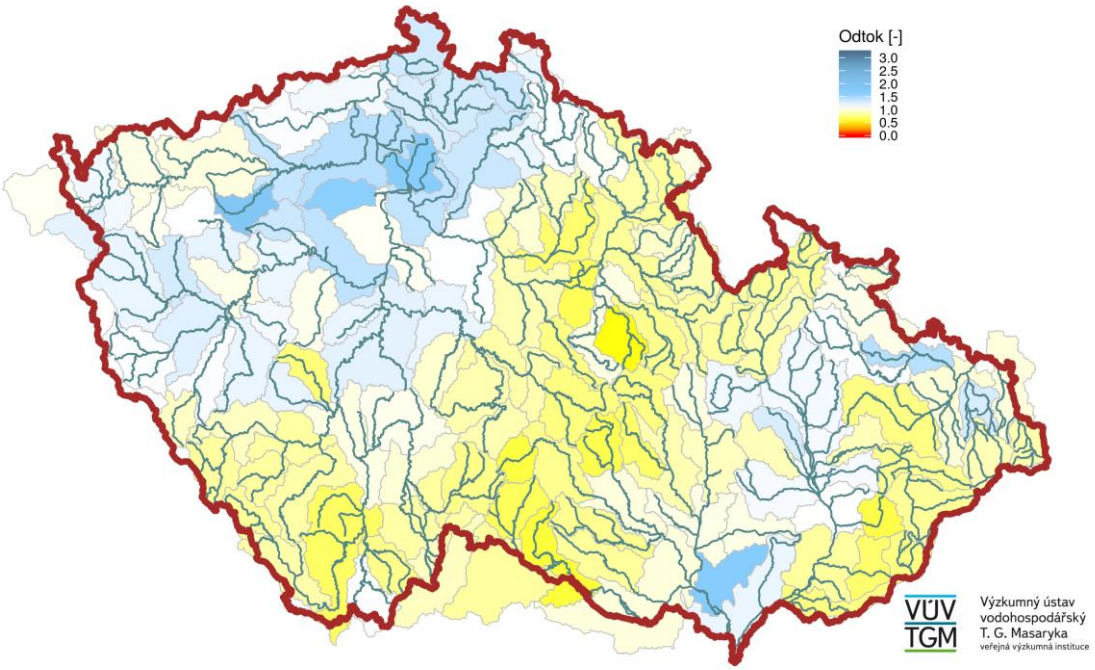
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2009



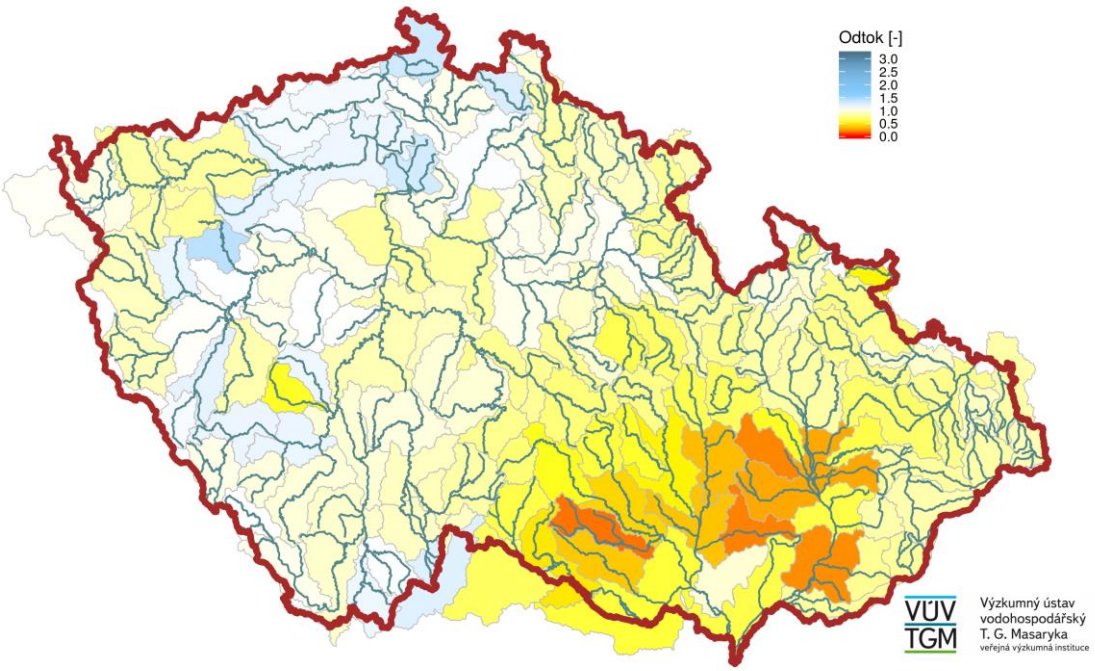
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2010



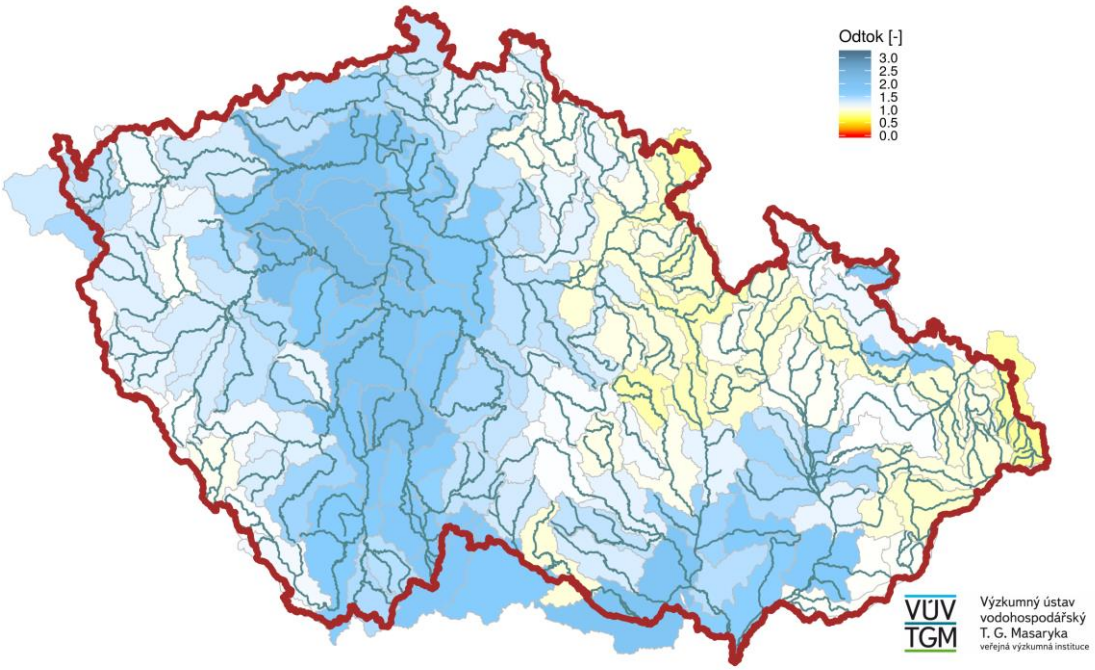
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2011



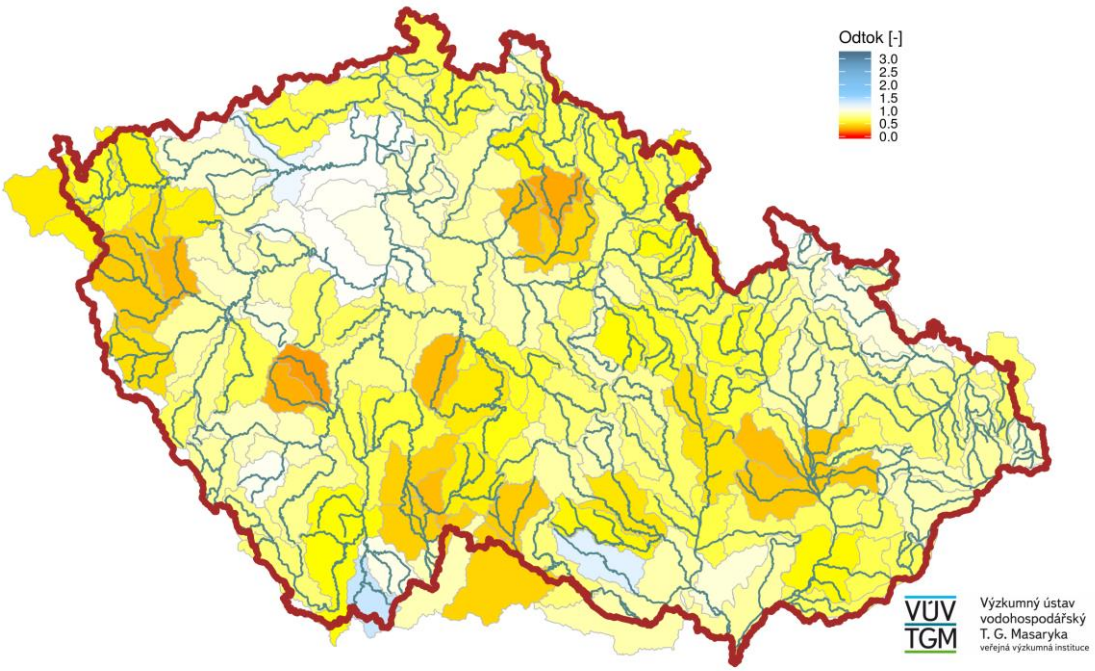
Poměr ku období 1981-2015 - rok 2012

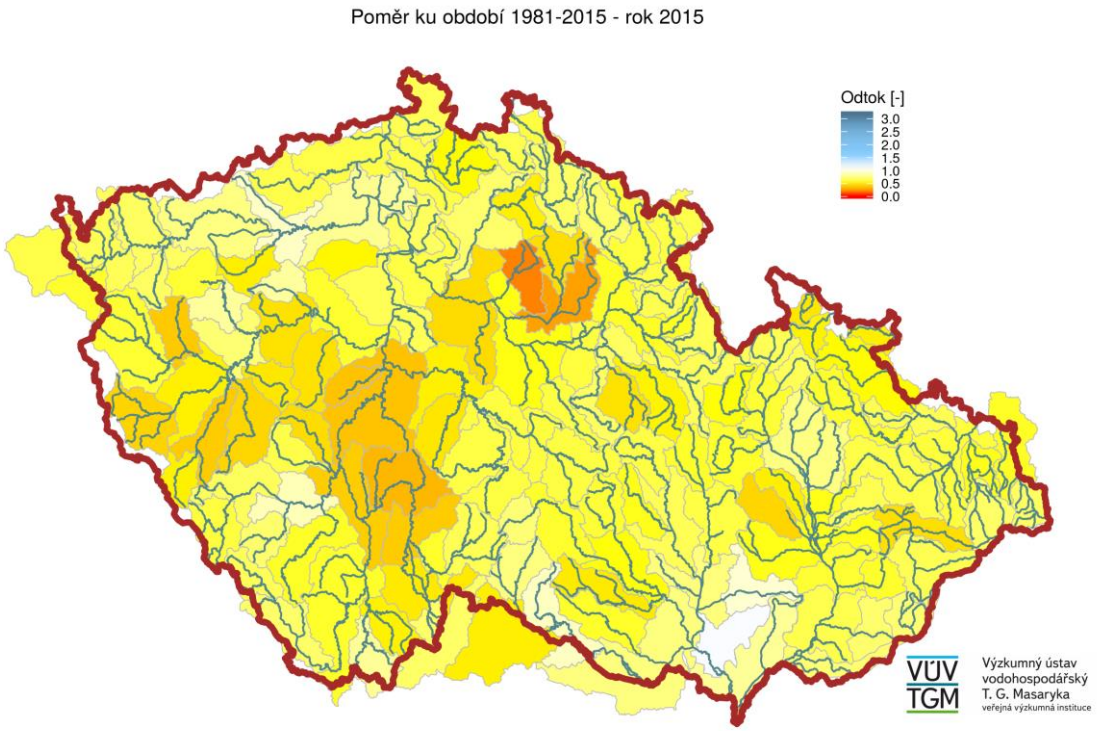


Poměr ku období 1981-2015 - rok 2013

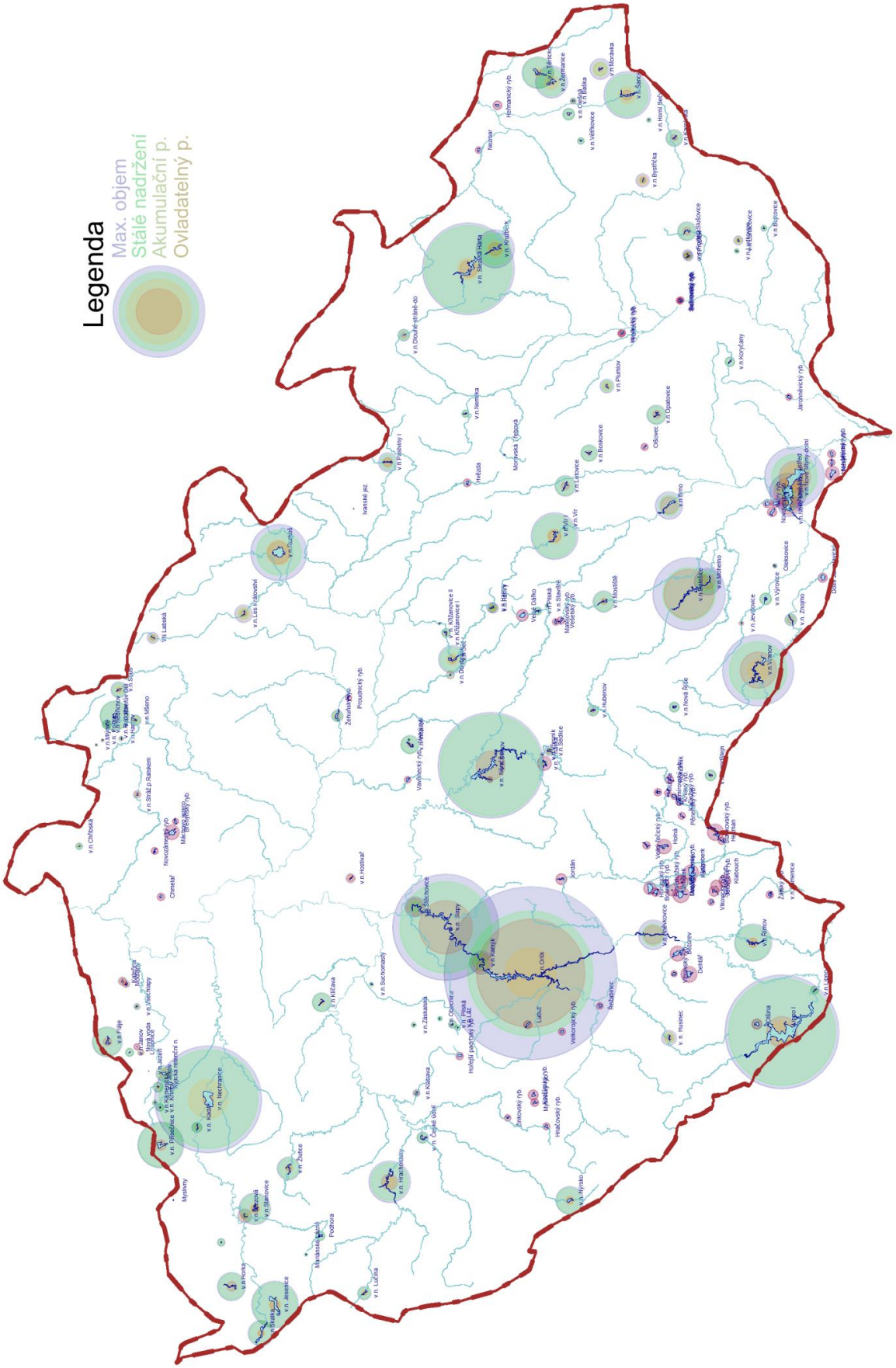


Poměr ku období 1981-2015 - rok 2014

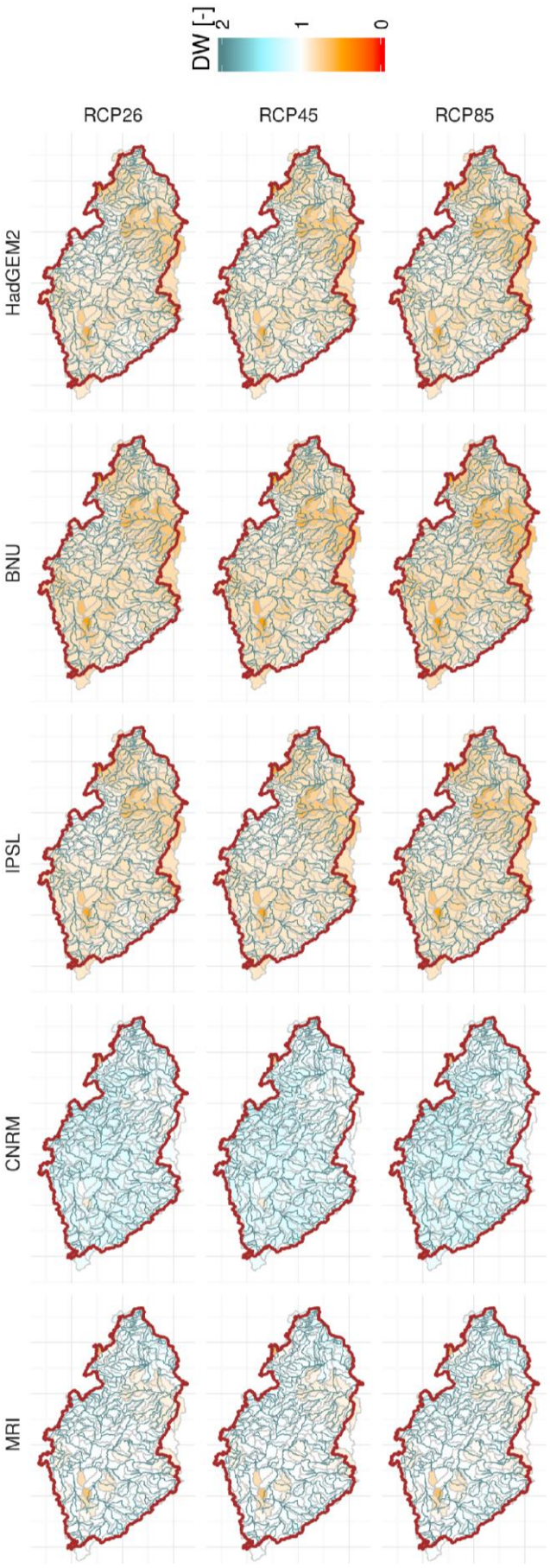


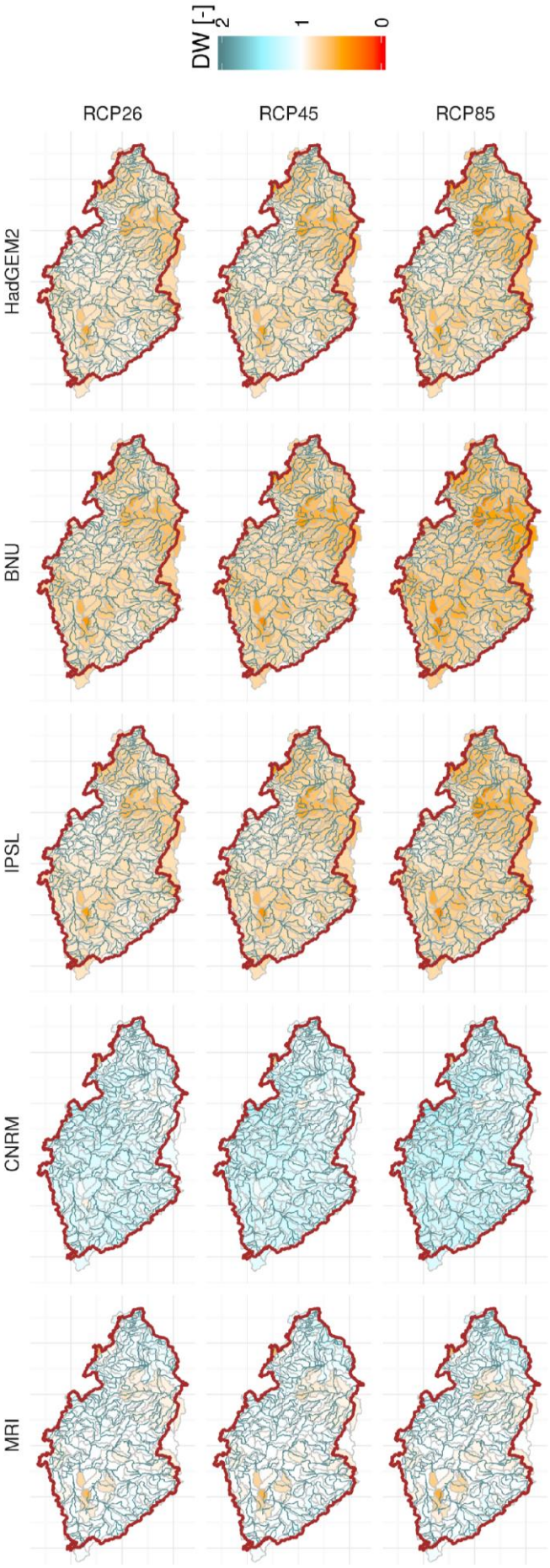

Poměr ku období 1981-2015 - rok 2015
Odtok [-]
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
VÚV TGM
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
veřejná výzkumná instituce

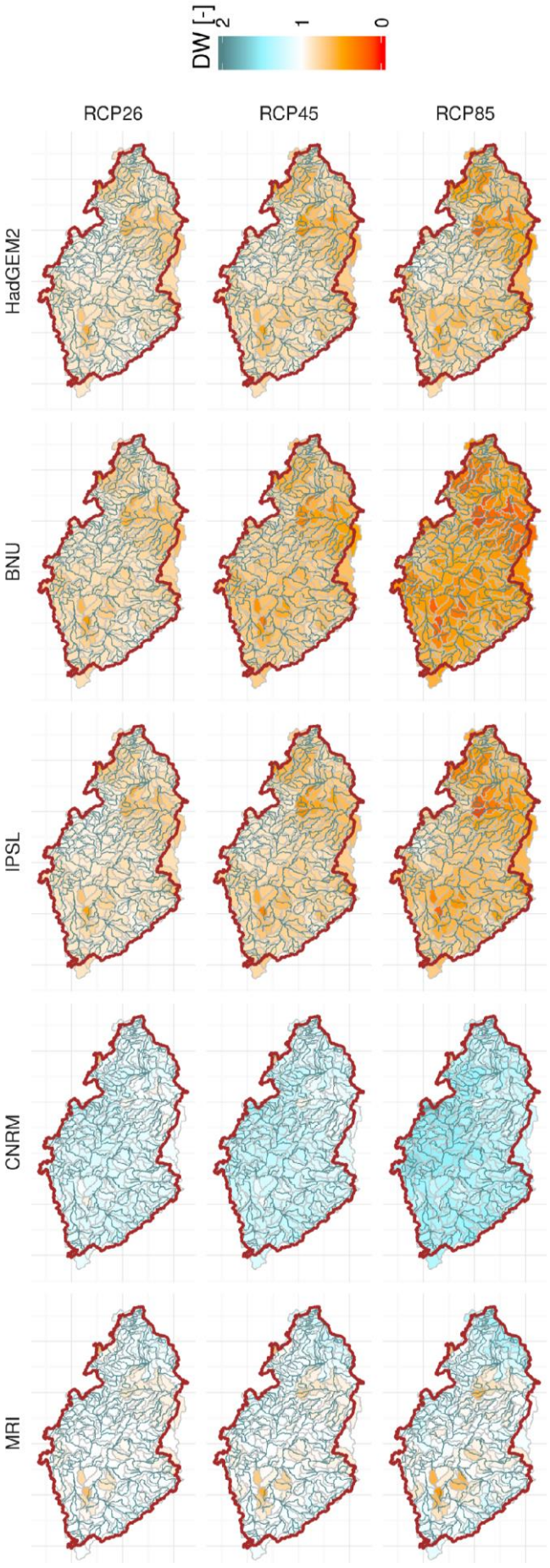
PŘÍLOHA VI – MAPA NÁDRŽÍ A JEJICH OBJEMY



PŘÍLOHA VI – KLIMATICKÁ ZMĚNA A DOSTUPNOST VODNÍCH ZDROJŮ (2021-2040, 2041-2060 A 2081-2100)


DW [-]
2
1
0
RCP26
RCP45
RCP85
HadGEM2
BNU
IPSL
CNRM
MRI


DW [-]
2
1
0
RCP26
RCP45
RCP85
HadGEM2
BNU
IPSL
CNRM
MRI


DW [-]
2
1
0
RCP26
RCP45
RCP85
HadGEM2
BNU
IPSL
CNRM
MRI