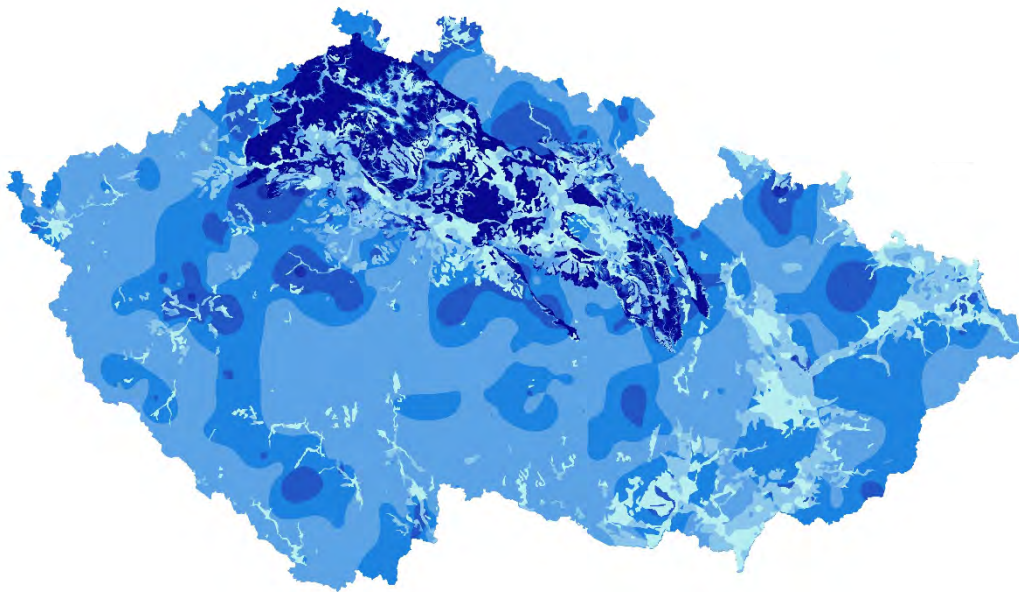




Mapy specifické zranitelnosti podzemních vod vybranými organickými mikropolutanty původem z odpadních vod a kalů

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., prof. Ing. Radka Kodešová, CSc.,
Mgr. Markéta Ackermanová, doc. Mgr. Roman Grabic, Ph.D.



Specializovaná mapa s odborným obsahem

2023



Mapy specifické zranitelnosti podzemních vod vybranými organickými mikropolutanty původem z odpadních vod a kalů

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., Mgr. Markéta Ackermanová,
doc. Mgr. Roman Grabic, Ph.D.

Specializovaná mapa s odborným obsahem

2023

Autoři:

Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Český hydrometeorologický ústav

prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze

Mgr. Markéta Ackermanová, Český hydrometeorologický ústav

doc. Mgr. Roman Grabic, Ph.D., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Oponenti:

RNDr. Zuzana Keprtová, Povodí Vltavy s.p.

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství

Specializovaná mapa s odborným obsahem byla schválena Odborem rostlinných komodit
Ministerstva zemědělství (osvědčení č. MZE-70955/2023-13123)

© Český hydrometeorologický ústav, 2023

ISBN 978-80-7653-065-2 (pdf)

Obsah

1. Úvod	4
2. Cíl	4
3. Metody.....	5
3.1 Obecná zranitelnost podzemních vod	5
3.2 Modifikace DRASTIC pro zohlednění sorpce v půdách	15
3.3 Modifikace DRASTIC pro zohlednění perzistence	18
3.4 Specifická zranitelnost podzemních vod	20
4. Novost mapy	20
5. Rozsah využití mapy	20
6. Přínos mapy	21
7. Seznam literatury.....	21
8. Seznam publikací, které předcházely zpracování map	23
9. Oponenti.....	23
10. Dedikace	23
Přílohy	24

1. Úvod

Ochrana vodních zdrojů je důležitá pro udržení zdravého životního prostředí i udržení životní úrovně obyvatel ČR. Nejen nedostatek vody ale i špatná kvalita vody ve vodních zdrojích se může stát limitujícím faktorem pro rozvoj společnosti. Organické mikropolutanty různého původu jsou dnes běžnými látkami nacházejícími se v podzemních vodách ČR (Kodeš a kol., 2018; Kodeš a kol., 2022; ČHMÚ, 2023). Pro zajištění ochrany jakosti podzemních vod je vhodné znát oblasti, kde je podzemní voda zranitelná vůči negativním vlivům antropogenního původu. V tomto smyslu může být zranitelnost definována jako podstatná vlastnost systému podzemních vod, která závisí na jeho citlivosti vůči antropogenním a/nebo přírodním vlivům (Vrba and Zaporozec, 1994). Rozvoj metod pro konstrukci map zranitelnosti započal v průběhu 80. let v souvislosti s rozvojem výpočetní techniky, která usnadňovala zpracování velkého množství vstupních i výstupních údajů.

Existují tři metodické přístupy k odhadu zranitelnosti podzemních vod: Index and Overlay metody, process-based computer modeling metody a statistické metody. Index and Overlay metody spočívají v klasifikaci nejdůležitějších faktorů ovlivňujících zranitelnost horninového prostředí, která je potom interpretována pomocí hodnotících stupnic a vah jednotlivých faktorů jako index či třída zranitelnosti. Výhodou těchto metod jsou relativně jednoduché algoritmy výpočtu pro zpracování velkého množství prostorových informací. Z tohoto důvodu jsou velmi dobře implementovatelné prostředky GIS, které je pro požadované operace s daty ideálním nástrojem. Process-Based Computer Modeling metody využívají simulací proudění a transportu látek v prostředí ve velmi detailním měřítku. Tyto metody neposkytují přímo odhad zranitelnosti, ale umožňují na základě výsledků výpočtu popsat chování polutantu v prostředí a tím umožnit odhad zranitelnosti daného prostředí. Statistické metody jsou používány ke stanovení rizika kontaminace za použití určení závislosti mezi zjištěnou kontaminací, přírodními podmínkami a využitím území, které je potenciálním zdrojem kontaminace. Nevýhodou statistických metod je skutečnost, že je obtížné je vyvinout. Metodu vyvinutou pro určité území lze použít pouze na území, které má velmi podobné podmínky s územím, pro které byl statistický model konstruován. Pro konstrukci map zranitelnosti pro větší územní celky s vysokou heterogenitou vstupních parametrů je obecně nejvýhodnější použít Index and Overlay metody.

Zranitelnost podzemních vod, která zohledňuje pouze přírodní podmínky a vlastnosti půdního a horninového prostředí je nazývána obecnou zranitelností. Pokud se při zpracování navíc zohlední chování a interakce dané látky s půdním a horninovým prostředím (např. sorpce a perzistence látky v půdách), hovoříme o specifické zranitelnosti podzemních vod danou látkou.

2. Cíl

Cílem bylo zkonstruovat mapy specifické zranitelnosti podzemních vod pro 21 organických mikropolutantů s původem ve vyčištěných odpadních vodách a čistírenských kalesích a tím identifikovat území, ve kterých může docházet k průniku těchto látek do podzemních vod po jejich aplikaci na zemědělskou půdu. V těchto oblastech, které jsou pro každou z 21 látek specifické v rámci území ČR, by neměly být materiály obsahující tyto látky aplikovány na zemědělskou půdu a tím bude dosaženo dostatečné ochrany podzemních vod před vnosem těchto látek. Jedním z podkladů pro tvorbu zmíněných map byly mapy popisující sorpci látek v půdním prostředí, které byly pro jednotlivé organické mikropolutanty vygenerovány. Zatímco v oblastech s nízkou sorpcí látek existuje zvýšené nebezpečí jejich perkolace do

podzemních vod, v oblastech s vysokou sorpcí může dojít k jejich akumulaci v půdách. Tyto mapy tak mohou být podobně použity pro ochranu půd.

3. Metody

3.1 Obecná zranitelnost podzemních vod

Všeobecně používaná metoda pro odhad obecné zranitelnosti DRASTIC byla vyvinuta v USA (Aller et al., 1987), která patří mezi Index and Overlay metody. Metoda DRASTIC byla vyvinuta ve dvou variantách. Jedna pro zranitelnost látkami, které neinteragují s půdním prostředím a dochází u nich ke konzervativnímu transportu, tj. např. dusičnany. Druhá varianta byla modifikována pro pesticidy, tj. obecně organické látky, které s půdním prostředím interagují. Tyto dvě varianty se liší přiřazením různých vah jednotlivým parametrům. Největší váhu mají v případě varianty pro pesticidy hloubka hladiny podzemní vody a nesaturované zóna. Naopak nejmenší důležitost mají hydraulické parametry kolektoru. Tato druhá varianta byla vybrána pro aplikaci konstrukce map obecné zranitelnosti podzemních vod organickými mikropolutanty na území ČR. Byly pořízeny a zpracovány údaje nutné pro vytvoření základních GIS vrstev jednotlivých parametrů dle metodiky DRASTIC. Byly modifikovány parametry charakterizující geologické a půdní poměry tak, aby lépe vyhovovaly podmínkám ČR. Data byla zpracována v software ArcGIS v. 10.8 (ESRI), kde byly ke konstrukci map využity nástroje mapové algebry. Zpracování bylo provedeno v gridech o rozlišení 100 x 100 metrů.

Metoda DRASTIC používá 7 vstupních parametrů:

D – depth to groundwater (hloubka hladiny podzemní vody) (m)

R – net recharge (dotace podzemních vod) (mm rok^{-1})

A – aquifer media (petrografie kolektoru)

S – soil media (materiál půdního pokryvu)

T – topography (sklonitost terénu) (%)

I – impact of the vadoze zone (vliv vadózní zóny)

C – hydraulic conductivity (hydraulická vodivost kolektoru) (m den^{-1})

Pro parametr D (hladina podzemní vody) byla využita data ze sítě s monitoringu množství podzemních vod ČHMÚ a dostupné mapy hydroizohyps. Během prací byl proveden výběr objektů s měřením hladiny podzemní vody z režimních objektů státní sítě sledování podzemních vod ČHMÚ doplněné o objekty s jednorázovým údajem o úrovni hladiny podzemní vody z databáze České geologické služby – Geofondu ČR. Zpracování hloubky hladiny podzemní vody na území ČR bylo provedeno ve třech úrovních daných dostupností údajů a schematizací geologické mapy 1: 500 000 České geologické služby. Samostatně byl určen průběh hladin podzemní vody v sedimentech České křídové pánve, v horninách krystalinika a v kvartérních uloženinách. Horninami krystalinika se rozumí pro potřeby tohoto řešení kromě vlastního krystalinika i útvarů, které nelze zařadit ani do křídové pánve ani mezi kvartérní sedimenty. V české křídové pánci byly použity mapy izolinií hladin podzemních vod, bází, hranic a vymezení kolektorů (Herčík et al., 1987), které byly zdigitalizovány. Vrstvy hranic a vymezení útvarů byly editovány a sjednoceny s cílem vymezení stratigrafických celků v rozsahu zvodnění daném izoliniemi hladin podzemní vody. Pomocí procedury

TopoGrid v ArcGIS byly spočteny gridy jednotlivých stratigrafických celků. Gridy byly poté kladeny na sebe ve stratigrafickém sledu. Pro stanovení hladiny podzemní vody v horninách krystalinika a v kvartérních uloženinách bylo využito dostupných údajů o hladinách v monitorovací síti ČHMÚ a z vrtných prací uložených v ČGS-Geofondu ČR. Gridy byly z bodových hodnot interpolovány procedurou TopoGrid a opět maskovány vymezením příslušného útvaru. Vymezení kvartéru bylo převzato z geologické mapy 1:500 000, rozsah krystalinika a ostatních kolektorů byl vymezen všude tam, kde není vymezen ani kvartér ani křídové sedimenty. Gridy hloubky hladiny podzemní vody v sedimentech České křídové tabule, v horninách krystalinika a v kvartérních uloženinách byly nakonec kladeny na sebe opět podle stratigrafického členění.

Pro výpočet parametru R (množství vody dostupné pro infiltraci do podzemních vod) bylo použito schéma transportu vody srážkoodtokového modelu SimBa (Kašpárek a kol., 2006) oproti původně předpokládanému použití základních odtoků. Model SimBa počítá hydrologickou bilanci povodí v konstantním časovém kroku jeden měsíc. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v nesaturované zóně a v saturované zóně. Uvažuje tudíž s procesy potenciální a aktuální evapotranspirace, ukládáním a táním sněhové pokrývky, bilancí půdní a podzemní vody. Pro účely výpočtu dotace byla tedy využita část algoritmu modelu SimBa vedoucí k odhadu množství infiltrace. Jedná se bilanci srážek, evapotranspirace v závislosti na teplotě, sytostním doplňku a klimatické zóně, tvorbu povrchového odtoku, proces tvorby a tání sněhové pokrývky a zjednodušený proces transportu půdní vody. Část srážek prostupující půdním profilem, zmenšená o podpovrchový odtok, je považována za infiltraci. Do výpočtu vstupovala interpolovaná data ČHMÚ úhrnů srážek, teplot a relativní vlhkosti vzduchu. Byly použity generalizované parametry modelů odtoku z území ČR kalibrovaných v rámci hydrologické bilance množství vody ČR zpracovávané každoročně ČHMÚ.

Vstupními informacemi pro parametr A (petrografie kolektoru) byly údaje z digitální geologické mapy v měřítku 1:500 000 České geologické služby (ČGS). Byla provedena úprava přiřazení hornin z mapy a provedena agregace hornin do horninových typů definovaných metodikou DRASTIC.

Grid parametru S (materiál půdního pokryvu) zohledňující podle metody DRASTIC pouze zrnitostní složení půd byl vygenerován na základě digitální půdní mapy ČR 1: 250 000 (Kozák et Němeček, 2009).

Pro parametr T (sklonitost terénu) byl využit digitální model terénu ČÚZK a následně vygenerován funkcí slope grid sklonitosti terénu.

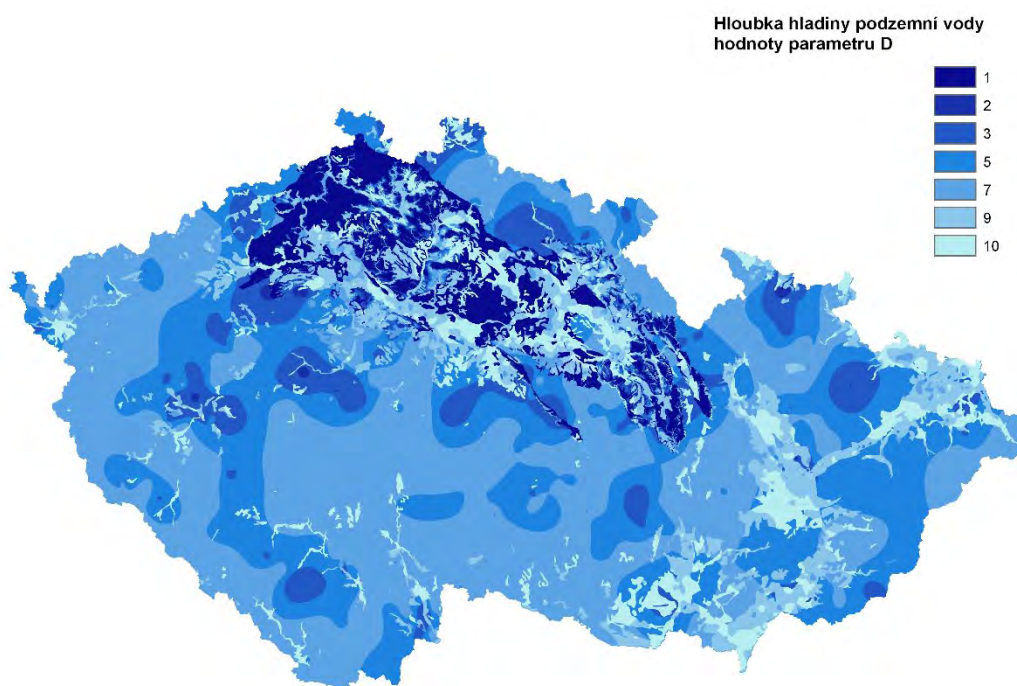
Vstupními údaji pro parametr I (vliv vadózní zóny) byly digitální geologické mapy v měřítku 1: 500 000 (ČGS) a digitální mapy hydrogeologické rajonizace ČR v měřítku 1:200 000 (VÚV T.G.M.). Kombinací obou datových zdrojů byly sloučeny jak petrografické tak hydraulické charakteristiky, zejména pro vymezení izolátorů,

Pro parametr C (hydraulická vodivost kolektoru) byly použity hodnoty transmisivity horninového prostředí uvedené pro každý polygon v rámci hydrogeologické rajonizace ČR. Pro výpočet hydraulických vodivostí z údajů o transmisivitách byly použity průměrné mocnosti jednotlivých kolektorů.

Hodnoty parametrů DRASTIC jsou uvedeny v tabulkách 3.1.1–3.1.7 a na obrázcích 3.1.1–3.1.7.

Tab. 3.1.1 Klasifikace parametru D

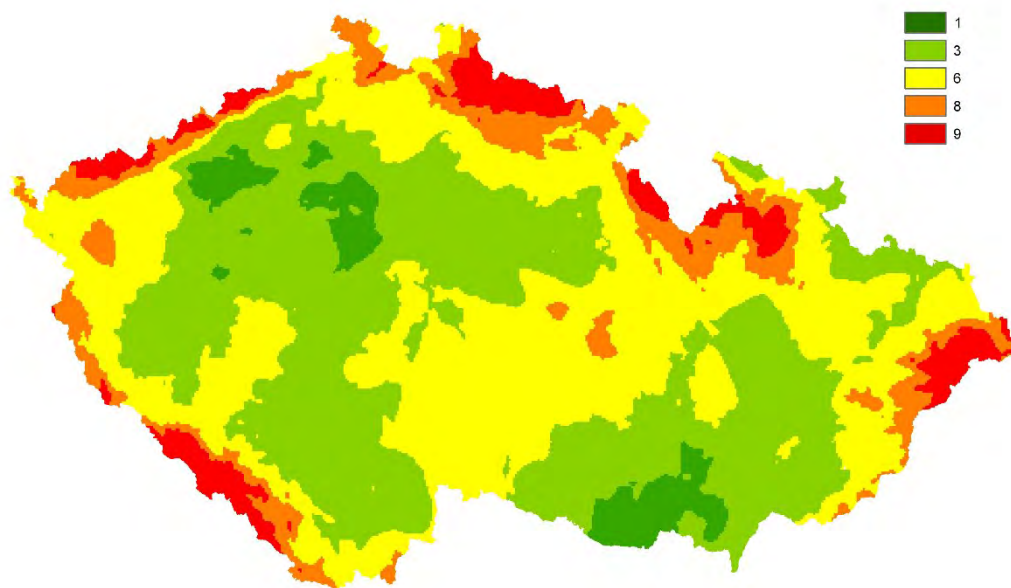
Hloubka (m)	Hodnota DRASTIC
<2	10
2–5	9
5–10	7
10–15	5
15–25	3
25–35	2
>35	1



Obr. 3.1.1 Mapa hodnot parametru D

Tab. 3.1.2 Klasifikace parametru R

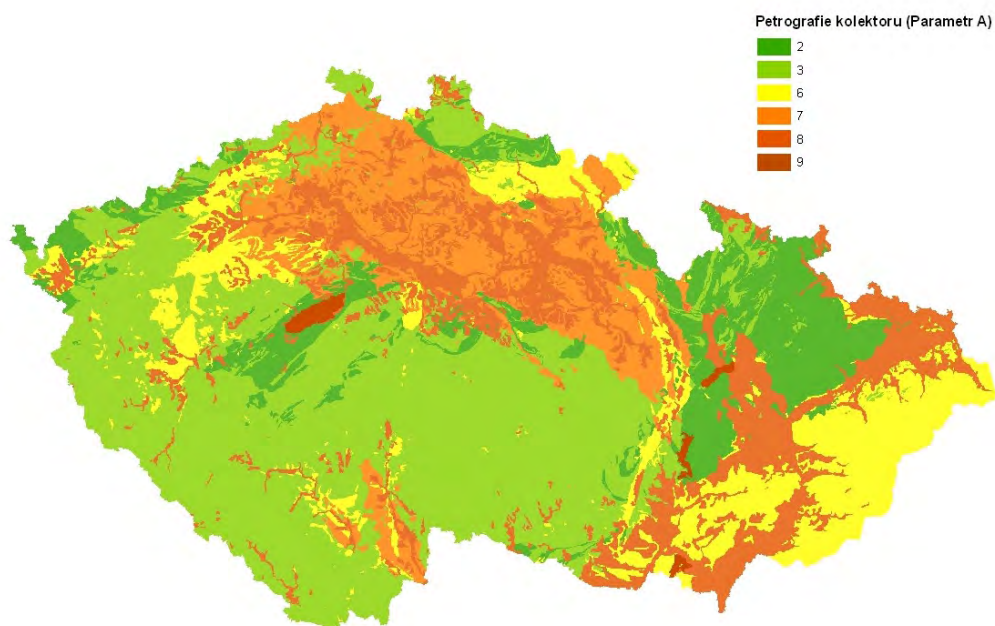
Infiltrace (mm rok ⁻¹)	Hodnota DRASTIC
<50	1
50-100	3
100-180	6
180-260	8
>260	9



Obr. 3.1.2 Mapa hodnot parametru R

Tab. 3.1.3 Klasifikace parametru A

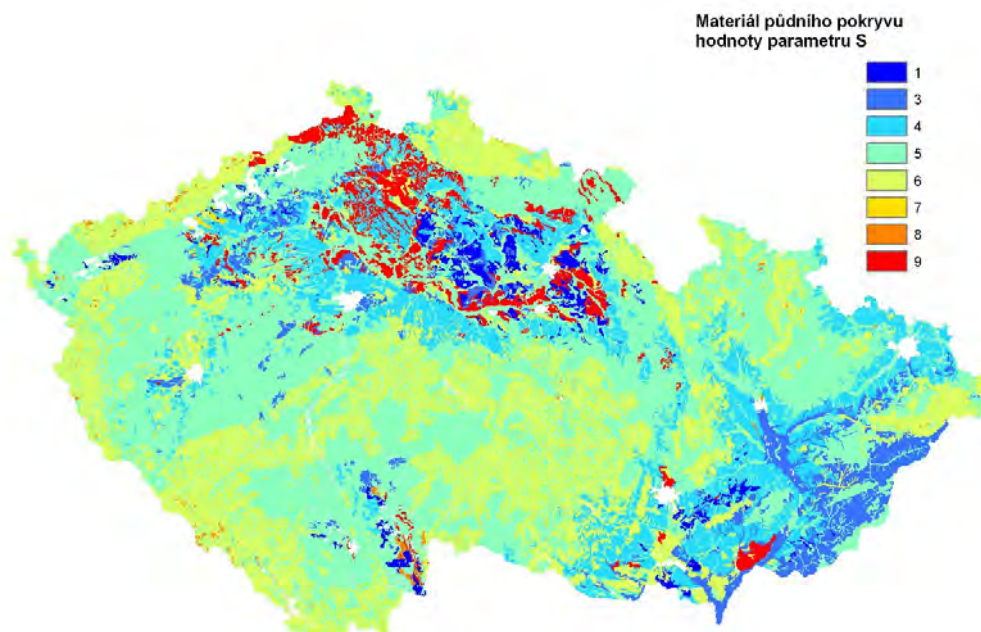
Typ horniny	Hodnota DRASTIC
břidlice	2
krystalinikum	3
střídání pískovců a břidlic	6
pískovec, vápenec	7
písky, štěrky	8
vápencový kras	9



Obr. 3.1.3 Mapa hodnot parametru A

Tab. 3.1.4 Klasifikace parametru S

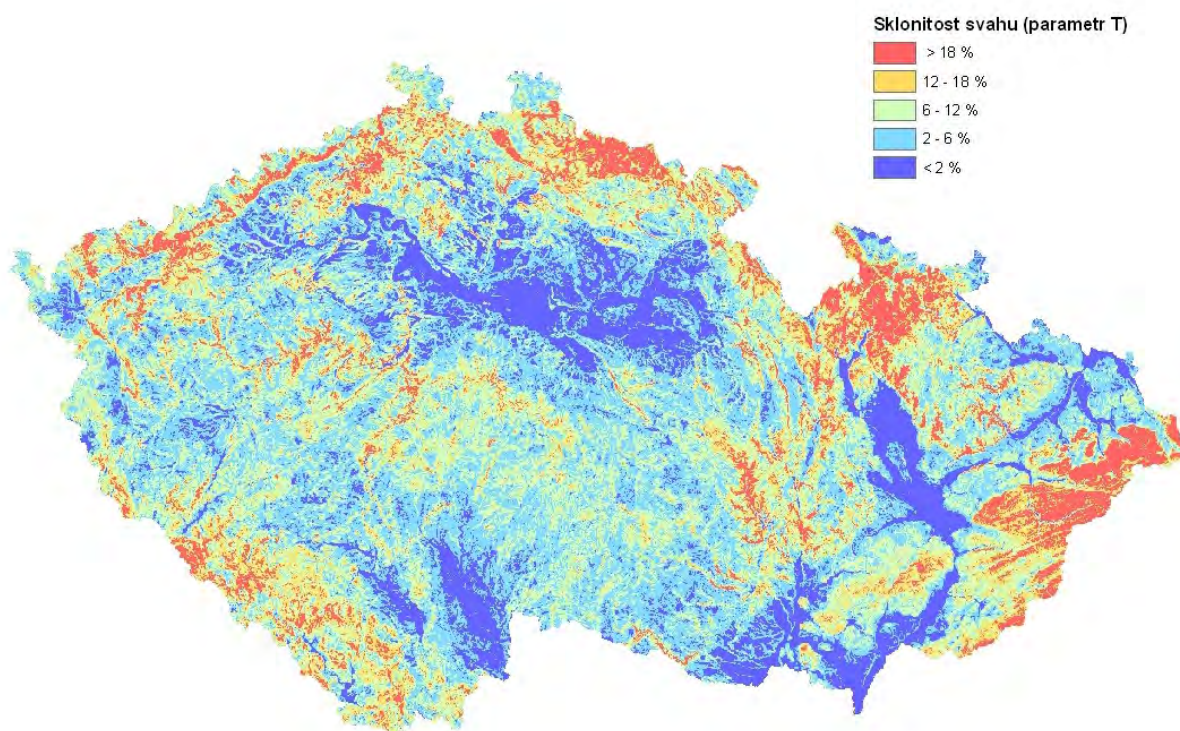
Půdní druh	Seskupení do tříd	Půdní typ	Substrát	Materiál pokryvu DRASTIC	Hodnota DRASTIC
			štěrk	žádný nebo štěrk	10
písek, hlinitý písek	lehká půda			písek	9
		rašelina		rašelina	8
píscitá jílovitá a prachovitá jílovitá hlína	těžká půda	smonice (obsah smektických jílů)		jíl podléhající objemovým změnám	7
jílovitá hlína					
píscitá hlína	lehčí střední půda			píscitá hlína	6
hlína	střední půda			hlína	5
prachovitá hlína	střední půda		spraše	prachovitá hlína	4
prach			prachovice		
píscitá jílovitá hlína	těžká půda			jílovitá hlína	3
jílovitá hlína					
prachovitá jílovitá hlína					
píscitý jíl	velmi těžká půda			jíl nepodléhající objemovým změnám	1
prachovitý jíl					
jíl					



Obr. 3.1.4 Mapa hodnot parametru S

Tab. 3.1.5 Klasifikace parametru T

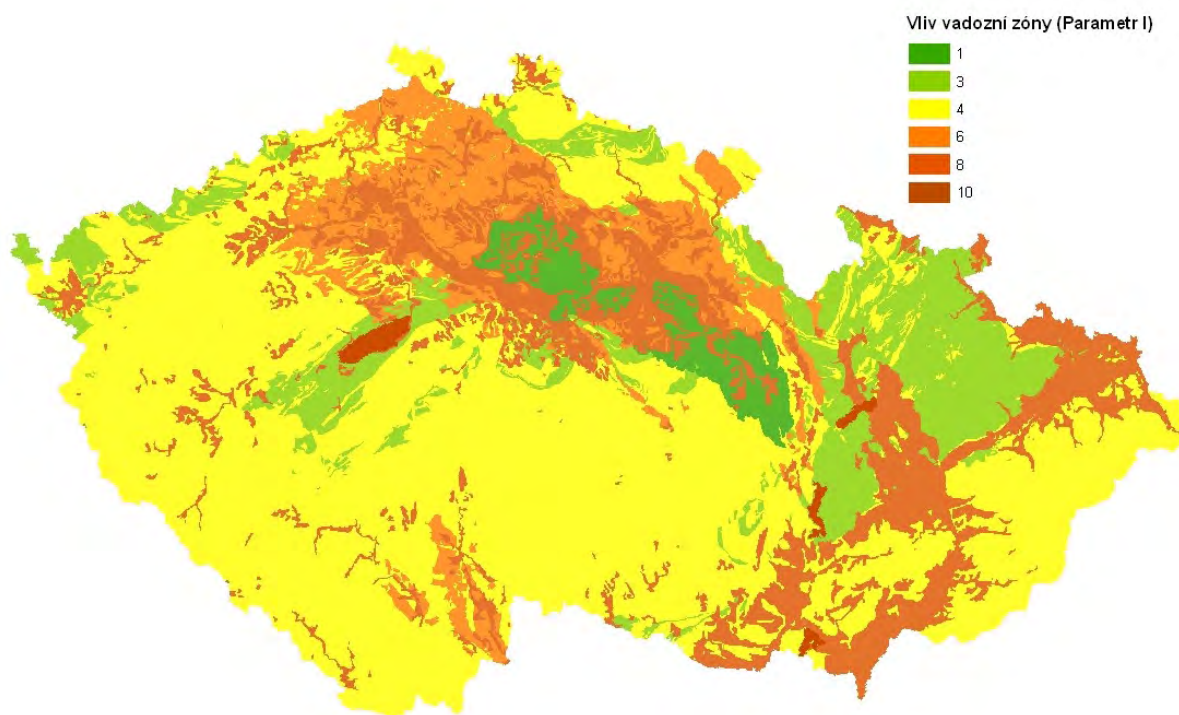
Sklon (%)	Hodnota DRASTIC
<2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1



Obr. 3.1.5 Mapa hodnot parametru T

Tab. 3.1.6 Klasifikace parametru I

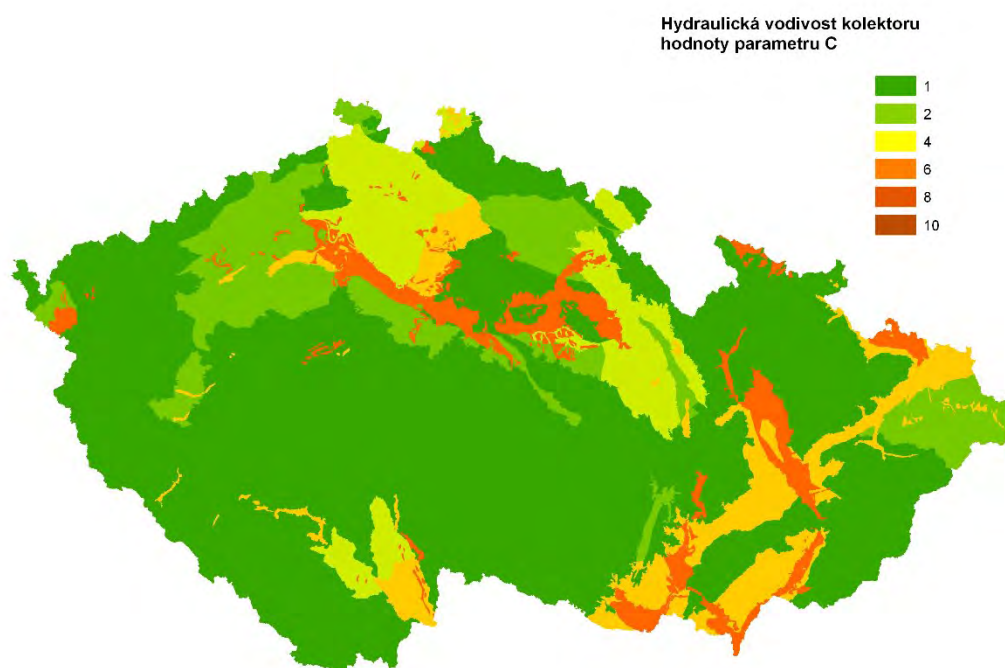
Typ horniny	Hodnota DRASTIC
izolátor	1
jíl, břidlice	3
krystalinikum	4
vápenec, pískovec	6
písek, štěrk	8
vápencový kras	10



Obr. 3.1.6 Mapa hodnot parametru I

Tab. 3.1.7 Klasifikace parametru C

Vodivost (m den ⁻¹)	Hodnota DRASTIC
<4	1
4–10	2
10–30	4
30–40	6
40–80	8
>80	10



Obr. 3.1.7 Mapa hodnot parametru C

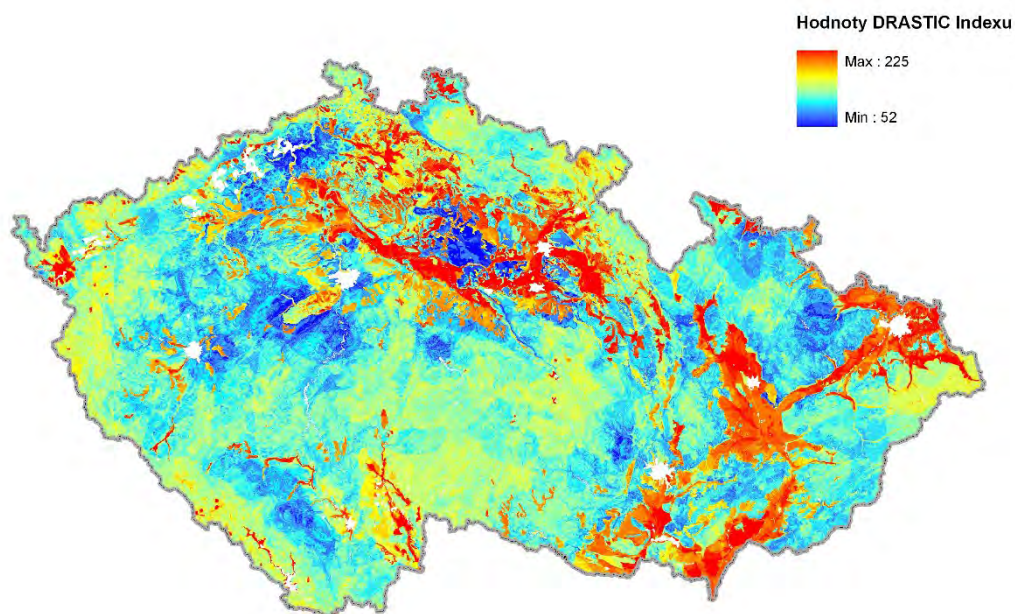
Tab. 3.1.8 Váhy jednotlivých parametrů DRASTIC (varianta pro organické mikropolutanty)

Parametr (r)	Váha (w)
D	5
R	4
A	3
S	5
T	3
I	4
C	2

Index obecné zranitelnosti $I_{DRASTIC}$ byl vypočten dle vztahu:

$$I_{DRASTIC} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (3.1.1)$$

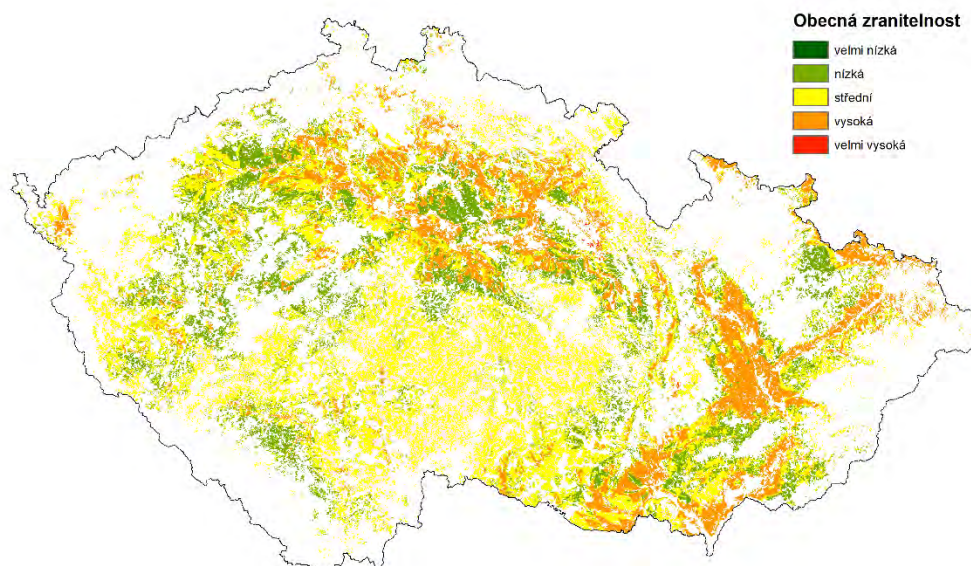
kde r je hodnota daného parametru v gridu a w je váha daného parametru uvedená v tabulce 3.1.8.



Obr. 3.1.8 Hodnoty indexu zranitelnosti $I_{DRASTIC}$

Tab. 3.1.9 Klasifikace indexu zranitelnosti $I_{DRASTIC}$

$I_{DRASTIC}$	Klasifikace
<73	velmi nízká zranitelnost
73–118	nízká zranitelnost
119–164	střední zranitelnost
165–210	vysoká zranitelnost
>210	velmi vysoká zranitelnost



Obr. 3.1.9 Obecná zranitelnost podzemních vod pro organické mikropolutanty dle metody DRASTIC na orné půdě

3.2 Modifikace DRASTIC pro zohlednění sorpce v půdách

Pro zohlednění sorpce jednotlivých látek (tabulka 3.2.1) v půdách ČR byly doplněny vrstvy vlastností půd pro modifikaci metody DRASTIC, které ovlivňují mobilitu organických mikropolutantů v půdách. Pro tuto úlohu byly využity mapy půdních vlastností ve vysokém rozlišení (Žížala et al., 2020; 2022). Dále byla na základě Freudlichových sorpčních koeficientů (K_F) změřených pro dané látky a reprezentativní půdy ČR (Klement et al., 2018; Kodešová et al., 2015, 2023; Schmidtová et al., 2020) vyhodnocena pedotrasferová pravidla (tabulka 3.2.2) pro předpověď K_F koeficientů pomocí vlastností dostupných v půdních mapách (C_{ox} – oxidovatelný organický uhlík, jí, pH_{Kcl}). Následně pak byla tato

pedotransferová pravidla a mapy půdních vlastností použity pro výpočet vrstvy sorpční charakteristik (Kodešová et al., 2023).

Tab. 3.2.1 Vybrané látky, jejich charakteristiky a použití

Látka	CAS číslo	Molekulová hmotnost (g mol ⁻¹)	log K _{ow}	Rozpustnost ve vodě (mg L ⁻¹)	Použití
1-methyl-1H-benzotriazol	13351-73-0	133.15	1.13	rozpustný	antikorozivum
Atenolol	29122-68-7	266.3388	0.16	429	léčivo, vysoký tlak
Atorvastatin	134523-00-5	558.64	4.24	0.63	léčivo, statin
Bisfenol S	80-09-1	250.27	1.65	1100	aditivum do plastů
Citalopram	59729-33-8	324.3969	3.5	5.88	léčivo, antidepresivum
Clarithromycin	81103-11-9	747.957	3.16	0.33	léčivo, antibiotikum
Clindamycin	18323-44-9	424.9867	2.16	30.6	léčivo, antibiotikum
Fexofenadin	83799-24-0	501.6631	5.6	2.66	léčivo, antihistaminikum
Irbesartan	138402-11-6	428.537	6	8.84	léčivo, vysoký tlak
Karbamazepin	298-46-4	236.27	2.25	17.7	léčivo, antiepileptikum
Lamotrigine	84057-84-1	256.09	2.57	488	léčivo, antiepileptikum
Memantine	19982-08-2	179.3	3.28	45.5	léčivo, alzheimerova choroba
Metoprolol	51384-51-1	267.3665	9.63	402	léčivo, angina pectoris
PBSA	27503-81-7	274.3	2	rozpustný	UV filtr
Sertraline	79617-96-2	306.23	5.1	0.15	léčivo, antidepresivum
Sulfamethoxazol	723-46-6	253.28	0.89	640	léčivo, antibiotikum
Telmisartan	144701-48-4	514.62	7.7	3.5	léčivo, vysoký tlak
Triclosan	3380-34-5	289.5	4.76	6.01	biocid
Trimethoprim	738-70-5	290.32	0.91	400	léčivo, antibiotikum
Valsartan	137862-53-4	435.52	1.45	23.4	léčivo, vysoký tlak
Venlafaxin	93413-69-5	277.4	2.74	230	léčivo, antidepresivum

Tab. 3.2.2 Použitá pedotransferová pravidla

Látka	Rovnice
1-methyl-1H-benzotriazol	$K_F = -0.424 + 0.960 C_{ox} + 0.0858 \text{ jíl} - 0.0383 \text{ pH}_{KCl}$
Atenolol	$K_F = -9.09 + 0.707 C_{ox} + 0.101 \text{ jíl} + 2.63 \text{ pH}_{KCl}$
Atorvastatin	$K_F = 22.8 + 5.15 C_{ox} + 0.110 \text{ jíl} - 4.17 \text{ pH}_{KCl}$
Bisphenol S	$K_F = 5.52 + 4.21 C_{ox} + 0.496 \text{ jíl} - 1.91 \text{ pH}_{KCl}$
Citalopram	$K_F = -2584.4 - 78.07 C_{ox} - 16.39 \text{ jíl} + 820.8 \text{ pH}_{KCl}$
Clarithromycin	$K_F = -852 - 115 C_{ox} + 4.61 \text{ jíl} + 238 \text{ pH}_{KCl}$
Clindamycin	$K_F = -9.09 - 1.17 C_{ox} + 0.105 \text{ jíl} + 2.98 \text{ pH}_{KCl}$
Fexofenadin	$K_F = 67.3 + 9.55 C_{ox} - 0.911 \text{ jíl} - 4.31 \text{ pH}_{KCl}$
Irbesartan	$K_F = 14.9 + 1.07 C_{ox} - 0.187 \text{ jíl} - 1.39 \text{ pH}_{KCl}$
Karbamazepin	$K_F = -0.545 + 1.37 C_{ox} - 0.0903 \text{ jíl} + 0.323 \text{ pH}_{KCl}$
Lamotrigine	$K_F = 16.6 + 1.98 C_{ox} + 0.283 \text{ jíl} - 2.92 \text{ pH}_{KCl}$
Memantine	$K_F = -2.62 + 1.39 C_{ox} + 0.125 \text{ jíl} + 0.375 \text{ pH}_{KCl}$
Metoprolol	$K_F = -10.2 + 0.0710 C_{ox} + 0.0414 \text{ jíl} + 3.68 \text{ pH}_{KCl}$
PBSA	$K_F = -1.51 + 2.54 C_{ox} + 0.269 \text{ jíl} - 0.422 \text{ pH}_{KCl}$
Sertraline	$K_F = -146.4 + 71.6 C_{ox} + 4.68 \text{ jíl} + 15.6 \text{ pH}_{KCl}$
Sulfamethoxazol	$K_F = 7.94 + 1.46 C_{ox} - 0.0194 \text{ jíl} - 1.53 \text{ pH}_{KCl}$
Telmisartan	$K_F = 96.2 + 4.74 C_{ox} + 0.0239 \text{ jíl} - 12.4 \text{ pH}_{KCl}$
Triclosan	$K_F = 171.9 + 208.2 C_{ox} + 7.79 \text{ jíl} - 49.6 \text{ pH}_{KCl}$
Trimethoprim	$K_F = -12.2 + 0.570 C_{ox} - 0.740 \text{ jíl} + 7.77 \text{ pH}_{KCl}$
Valsartan	$K_F = 4.10 + 0.0761 C_{ox} + 0.0929 \text{ jíl} - 0.809 \text{ pH}_{KCl}$
Venlafaxin	$K_F = -105.8 + 8.67 C_{ox} + 2.61 \text{ jíl} + 22.9 \text{ pH}_{KCl}$

Pro konstrukci map byl navržen Index mobility K odvozený od hodnot Freundlichova sorpčního koeficientu K_F (tabulka 3.2.3).

Tab. 3.2.3 Klasifikace indexu mobility I_K

$K_F (\text{cm}^{3/n} \mu\text{g}^{1-1/n} \text{g}^{-1})$	Hodnota I_K	Klasifikace
< 2.5	1	velmi vysoká mobilita
2.5 - 5	0.95	vysoká mobilita
5 - 10	0.9	střední mobilita
10 - 20	0.85	nízká mobilita
20 - 40	0.8	velmi nízká mobilita
> 40	0.75	žádná mobilita

Index specifické zranitelnosti I_{spec_K} zohledňující sorpci látek byl vypočten dle vztahu:

$$I_{\text{spec}_K} = I_{\text{DRASTIC}} I_K \quad (3.2.1)$$

Pro konstrukci map specifické zranitelnosti zohledňující sorpci látek byly hodnoty I_{spec_K} reklasifikovány dle tabulky 3.1.9.

3.3 Modifikace DRASTIC pro zohlednění perzistence

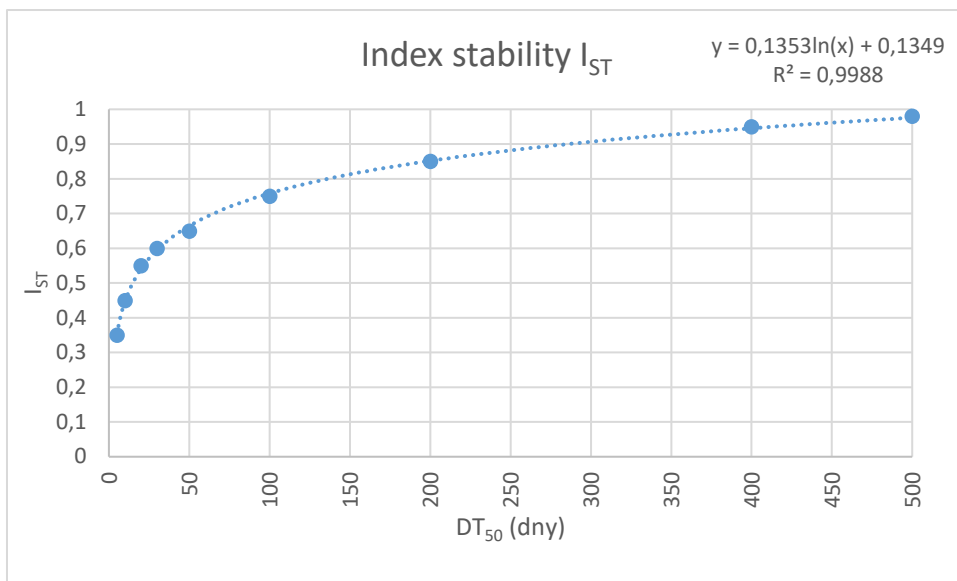
Při modifikaci pro zohlednění perzistence látek v půdách byly využity výsledky degračních experimentů v typických v půdách ČR a stanoveny poločasy rozpadu (DT_{50}) těchto látek (Kodešová et al. 2016, 2020; Menacherry et al., 2022, 2023). Pro konstrukci map zohledňujících perzistenci byly použity nejnepříznivější, tj. nejvyšší hodnoty poločasů rozpadu viz tabulka 3.3.1.

Tab. 3.3.1 Poločasy rozpadu látek

Látka	CAS číslo	DT_{50} (dny)
1-methyl-1H-benzotriazole	13351-73-0	83.5
Atenolol	29122-68-7	10.3
Atorvastatin	134523-00-5	83.5
Bisfenol S	80-09-1	4.8
Citalopram	59729-33-8	223.1
Clarithromycin	81103-11-9	676
Clindamycin	18323-44-9	21.3
Fexofenadin	83799-24-0	69
Irbesartan	138402-11-6	29.2
Karbamazepin	298-46-4	819
Lamotrigine	84057-84-1	79.5
Memantine	19982-08-2	264
Metoprolol	51384-51-1	239
PBSA	27503-81-7	62.9
Sertraline	79617-96-2	166
Sulfamethoxazol	723-46-6	15.1
Telmisartan	144701-48-4	466
Triclosan	3380-34-5	24.9
Trimethoprim	738-70-5	178.6
Valsartan	137862-53-4	29.8
Venlafaxin	93413-69-5	500

Byl navržena funkce pro výpočet indexu stability I_{ST} (obr. 3.3.1):

$$I_{\text{ST}} = 0.1353 \ln(DT_{50}) + 0.1349 \quad (3.3.1)$$



Obr. 3.3.1 Závislost indexu stability na poločasu rozpadu

Tab. 3.3.2 Klasifikace indexu stability I_{ST}

DT_{50} (dny)	Hodnota I_{ST}	Klasifikace
< 5	0.35	Nestabilní
10	0.45	
20	0.55	
30	0.6	
50	0.65	Mírně stabilní
100	0.75	Stabilní
200	0.85	
400	0.95	
500	0.98	Velmi stabilní
> 500	1	

3.4 Specifická zranitelnost podzemních vod

Modifikací metodiky DRASTIC zohledňující sorpci a perzistenci látek byly zkonstruovány mapy specifické zranitelnosti podzemních vod se zohledněním jak sorpce, tak perzistence látek.

Riziko kontaminace roste s nižší sorpcí a vyšší perzistencí látky v půdním prostředí viz tabulka 3.4.1.

Tab. 3.4.1 Riziko kontaminace v závislosti na mobilitě a perzistenci látky

		Mobilita					
		velmi vysoká	vysoká	střední	nízká	velmi nízká	žádná
Perzistence	nestabilní	nízké	velmi nízké	velmi nízké	velmi nízké	zanedbatelné	zanedbatelné
	mírně stabilní	střední	střední	střední	střední	nízké	velmi nízké
	stabilní	velmi vysoké	velmi vysoké	vysoké	vysoké	střední	střední
	velmi stabilní	velmi vysoké	velmi vysoké	vysoké	vysoké	střední	střední

Byl navržen index potenciálu kontaminace P_K dle vztahu:

$$P_K = I_K I_{ST} \quad (3.4.1)$$

Pro výpočet indexu specifické zranitelnosti I_{spec} zohledňující sorpci a perzistenci látek byl použit vztah:

$$I_{spec} = I_{DRASTIC} P_K \quad (3.4.2)$$

Pro konstrukci map specifické zranitelnosti zohledňující sorpci a perzistenci látek byly hodnoty I_{spec} reklasifikovány dle tabulky 3.1.9.

4. Novost mapy

Do současné doby neexistovaly mapy specifické zranitelnosti podzemních vod zohledňující chování (sorpci a perzistenci) organických mikropolutantů původem z odpadních vod a kalů v půdách ČR.

5. Rozsah využití mapy

Mapy specifické zranitelnosti podzemních vod zahrnující kromě běžně používaných charakteristik zranitelnosti podzemních vod, mobilitu a perzistenci látek v půdním prostředí ČR mohou být využity v rámci činností týkajících se správy povodí, v rámci analýzy rizik vodárenských systémů, k obecné ochraně podzemních vod a efektivního nastavení jejich monitoringu.

6. Přínos mapy

Předpokládané přínosy map specifické zranitelnosti podzemních vod jsou zabránění znehodnocení jakosti podzemních vod zamezením vstupu specifických organických mikropolutantů do podzemních vod vymezením zranitelných oblastí specifických pro jednotlivé látky možnost zacílit monitoring těchto látek v těchto oblastech.

Předpokládané přínosy map specifické zranitelnosti podzemních vod spočívají ve vymezení zranitelných oblastí specifických pro jednotlivé látky s cílem: a) zabránit znehodnocení jakosti podzemních vod zamezením vstupu specifických organických mikropolutantů do podzemních vod; b) zacílit monitoring těchto látek ve zranitelných oblastech. Vzhledem k obrovskému objemu podzemních vod, které by mohly být zasaženy těmito látkami a velmi pomalé dynamice změn v chemismu podzemních vod, je vhodné předcházet takovému znečištění, jelikož jejich následné odstranění by bylo pouze teoreticky možné za nepřiměřeně vysokých nákladů. Navíc by náprava stavu trvala dlouhé roky až desítky let. Z tohoto důvodu je zabránění vstupu cizorodých látek s negativními efekty vyskytujících se v odpadních vodách a kalech do podzemních vod ve zranitelných oblastech tou nejméně nákladnou a z pohledu efektivity neekonomičtější metodou. Zároveň umožní efektivní využití nákladů na monitoring podzemních vod tím, že monitoring těchto látek bude moci být cílen do zranitelných oblastí. Další vedlejší (neméně důležitý) přínos vyplývá z možné aplikace map popisujících sorpci zkoumaných látek v půdách ČR pro hodnocení kontaminace zemědělských půd. V tomto případě v oblastech, ve kterých jsou predikovány vysoké sorpce stabilních mikropolutantů, může dojít k akumulaci látek v půdním prostředí, a tak k jeho znehodnocení. I v tomto případě tyto mapy mohou být použity pro regulaci zdrojů jejich kontaminace i pro zacílení monitoringu těchto látek v půdách ČR v případě, že by tyto zdroje byly v dané oblasti využity.

7. Seznam literatury

- ALLER, L., BENNET, T., LEHER, J.H., PETTY, R.J., HACKETT, G. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA 600/2-87-035, 622 pp.
- ČHMÚ [online], (2023). Hydrologická ročenka České republiky 2022. [cit. 2023-10-11]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/hydrologicke_rocenky/HR_2022.pdf
- HERČÍK, F., HERMANN, Z., NAKLÁDAL, V. (1984). Hydrogeologická syntéza české křídové pánve. Závěrečná zpráva, Stavební geologie s.p., Praha
- KAŠPÁREK, L. et al. (2006). Dopad klimatické změny na Českou republiku podle regionálních klimatických scénářů, Výzkum a ochrana hydrosféry, Část A Hydrologie, Výzkumná zpráva, VÚV T.G.M., Praha, p. 90–105
- KLEMENT, A., KODEŠOVÁ, R., BAUEROVÁ, M., GOLOVKO, O., KOČÁREK, M., FÉR, M., KOBÁ, O., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2018). Sorption of citalopram, irbesartan and fexofenadine in soils: estimation of sorption coefficients from soil properties. *Chemosphere*, **195**, 615–623.
- KODEŠ, V., SVÁTKOVÁ, M., FREISLEBEN, J. (2018). Podzemní voda: Směs pesticidů a ostatních cizorodých látek nebo osvěžující tekutina?. In: Pitná voda 2018, sborník konference, 28. 5.–31. 5. 2018, Tábor. W&ET Team, s.11–18, ISBN: 978-80-905238-3-8

- KODEŠ V., SVÁTKOVÁ M. A FREISLEBEN J. (2022). Kvalita podzemních vod v ČR z pohledu organických mikropolutantů a emergentních látek. In: Datel, J. V., Kycl, P. (eds.). Význam podzemní vody v měnícím se světě, sborník příspěvků XVI. hydrogeologického kongresu. Uplatnění inženýrské geologie v praxi, sborník příspěvků IV. inženýrskogeologického kongresu, Ústí nad Labem, 6. – 9. 9. 2022. Česká asociace hydrogeologů a Česká asociace inženýrských geologů, Praha.
- KODEŠOVÁ, R., GRABIC, R., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., GOLOVKO, O., FÉR, M., NIKODEM, A., JAKŠÍK, O. (2015). Pharmaceuticals' sorptions relative to properties of thirteen different soils. *Science of The Total Environment*, **511**, 435–443.
- KODEŠOVÁ, R., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., GOLOVKO, O., KOBÁ, O., FÉR, M., NIKODEM, A., VONDRÁČKOVÁ, L., JAKŠÍK, O., GRABIC, R. (2016). An analysis of the dissipation of pharmaceuticals under thirteen different soil conditions, *Science of The Total Environment*, **544**, 369–381.
- KODEŠOVÁ, R., CHROŇÁKOVÁ, A., GRABICOVÁ, K., KOČÁREK, M., SCHMIDTOVÁ, Z., FRKOVÁ, Z., VOJS STAŇOVÁ, A., NIKODEM, A., KLEMENT, A., FÉR, M., GRABIC, R. (2020). How microbial community composition, sorption and simultaneous application of six pharmaceuticals affect their dissipation in soils, *Science of The Total Environment*, **746**, 141134.
- KODEŠOVÁ, R., FEDOROVA, G., KODEŠ, V., KOČÁREK, M., RIEZNYK, O., FÉR, M., ŠVECOVÁ, H., KLEMENT, A., BOŘÍK, A., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2023). Assessment of potential mobility of selected micropollutants in agricultural soils of the Czech Republic using their sorption predicted from soil properties. *Science of The Total Environment*, **865**, 161174.
- KOZÁK, J., NĚMEČEK, J. (2009). Atlas půd České republiky. Praha: MZe ČR ve spolupráci s ČZU, ISBN 978-80-213-1882-3.
- MENACHERRY, S.P.M., KOČÁREK, M., KACEROVA, T., KOTÍKOVÁ, Z., KAČER, P., KODEŠOVÁ, R. (2022). The impact of initial concentration of selected pharmaceuticals on their early stage of dissipation in soils. *Journal of Soils and Sediments*, **22** (2), 522–535.
- MENACHERRY, S.P.M., KODEŠOVÁ, R., FEDOROVA, G., SADCHENKO, A., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., FÉR, M., NIKODEM, A., CHROŇÁKOVÁ, A., GRABIC, R. (2023). Dissipation of twelve organic micropollutants in three different soils: Effect of soil characteristics and microbial composition. *Journal of Hazardous Materials*, **459**, 132143.
- SCHMIDTOVÁ, Z., KODEŠOVÁ, R., GRABICOVÁ, K., KOČÁREK, M., FÉR, M., ŠVECOVÁ, H., KLEMENT, A., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2020). Competitive and synergic sorption of carbamazepine, citalopram, clindamycin, fexofenadine, irbesartan and sulfamethoxazole in seven soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, **234**, 103680.
- VRBA, J. AND ZAPOROZEC, A. [Eds.] (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *IAH International Contributions to Hydrogeology*, Vol. **16**. Heise Verlag, Hannover, 131 pp.
- ŽÍŽALA, D., MINAŘÍK, R., VAŠÁT, R., SKÁLA, J., JUŘICOVÁ, A., ZÁDOROVÁ, T., PENÍŽEK, V. BEITLEROVÁ, H. (2020). Metodika tvorby půdních map pedometrickými metodami. Praha: VÚMOP v.v.i. ISBN 978-80-88323-34-1.
- ŽÍŽALA, D., MINAŘÍK, R., SKÁLA, J., BEITLEROVÁ, H., JUŘICOVÁ, A REYES ROJAS, J., PENÍŽEK, V., ZÁDOROVÁ, T. (2022). High-resolution agriculture soil property maps from digital soil mapping methods, Czech Republic, *CATENA*, **212**, 106024.

8. Seznam publikací, které předcházely zpracování map

- KLEMENT, A., KODEŠOVÁ, R., BAUEROVÁ, M., GOLOVKO, O., KOČÁREK, M., FÉR, M., KOBA, O., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2018). Sorption of citalopram, irbesartan and fexofenadine in soils: estimation of sorption coefficients from soil properties. *Chemosphere* **195**, 615–623.
- KODEŠOVÁ, R., GRABIC, R., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., GOLOVKO, O., FÉR, M., NIKODEM, A., JAKŠÍK, O. (2015). Pharmaceuticals' sorptions relative to properties of thirteen different soils. *Science of The Total Environment*, **511**, 435–443.
- KODEŠOVÁ, R., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., GOLOVKO, O., KOBA, O., FÉR, M., NIKODEM, A., VONDRÁČKOVÁ, L., JAKŠÍK, O., GRABIC, R. (2016). An analysis of the dissipation of pharmaceuticals under thirteen different soil conditions, *Science of The Total Environment*, **544**, 369–381.
- KODEŠOVÁ, R., CHROŇÁKOVÁ, A., GRABICOVÁ, K., KOČÁREK, M., SCHMIDTOVÁ, Z., FRKOVÁ, Z., VOJS STAŇOVÁ, A., NIKODEM, A., KLEMENT, A., FÉR, M., GRABIC, R. (2020). How microbial community composition, sorption and simultaneous application of six pharmaceuticals affect their dissipation in soils. *Science of The Total Environment*, **746**, 141134.
- KODEŠOVÁ, R., FEDOROVA, G., KODEŠ, V., KOČÁREK, M., RIEZNYK, O., FÉR, M., ŠVECOVÁ, H., KLEMENT, A., BOŘÍK, A., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2023): Assessment of potential mobility of selected micropollutants in agricultural soils of the Czech Republic using their sorption predicted from soil properties. *Science of The Total Environment*, **865**, 161174.
- MENACHERRY, S.P.M., KOČÁREK, M., KACEROVA, T., KOTÍKOVÁ, Z., KAČER, P., KODEŠOVÁ, R. (2022): The impact of initial concentration of selected pharmaceuticals on their early stage of dissipation in soils. *Journal of Soils and Sediments*, **22** (2), 522–535.
- MENACHERRY, S.P.M., KODEŠOVÁ, R., FEDOROVA, G., SADCHENKO, A., KOČÁREK, M., KLEMENT, A., FÉR, M., NIKODEM, A., CHROŇÁKOVÁ, A., GRABIC, R. (2023): Dissipation of twelve organic micropollutants in three different soils: Effect of soil characteristics and microbial composition. *Journal of Hazardous Materials*, **459**, 132143.
- SCHMIDTOVÁ, Z., KODEŠOVÁ, R., GRABICOVÁ, K., KOČÁREK, M., FÉR, M., ŠVECOVÁ, H., KLEMENT, A., NIKODEM, A., GRABIC, R. (2020): Competitive and synergic sorption of carbamazepine, citalopram, clindamycin, fexofenadine, irbesartan and sulfamethoxazole in seven soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, **234**, 103680.

9. Oponenti

Posudek odborný: RNDr. Zuzana Keprtová, Povodí Vltavy, s.p.

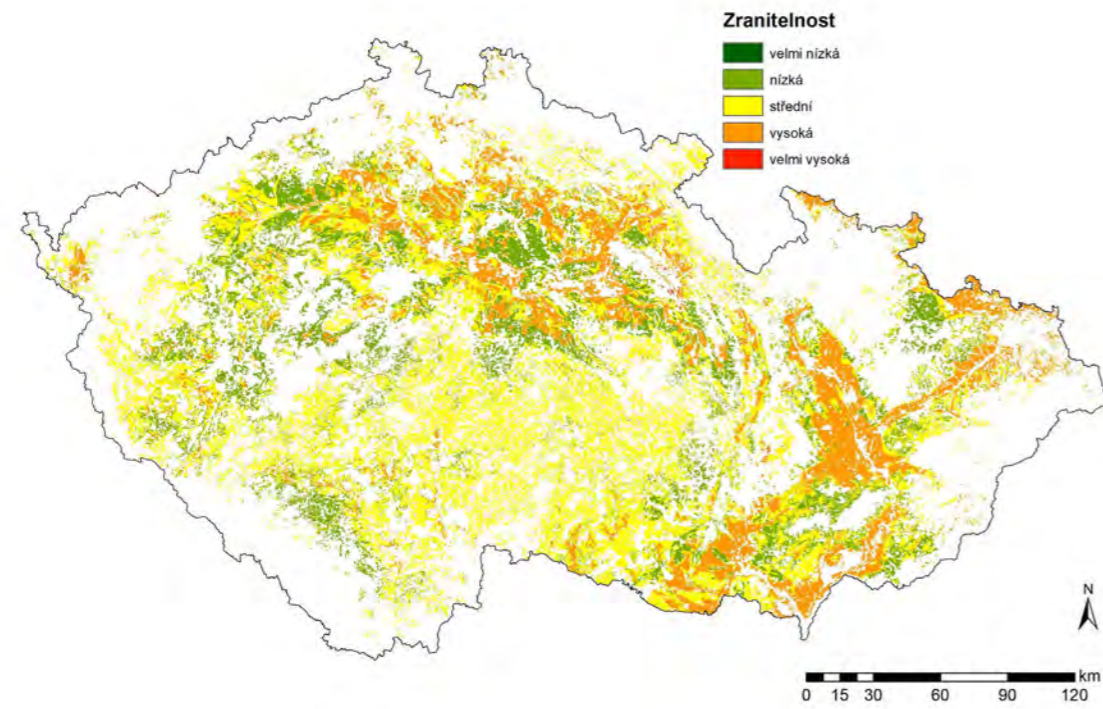
Posudek ze státní správy: Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství

10. Dedikace

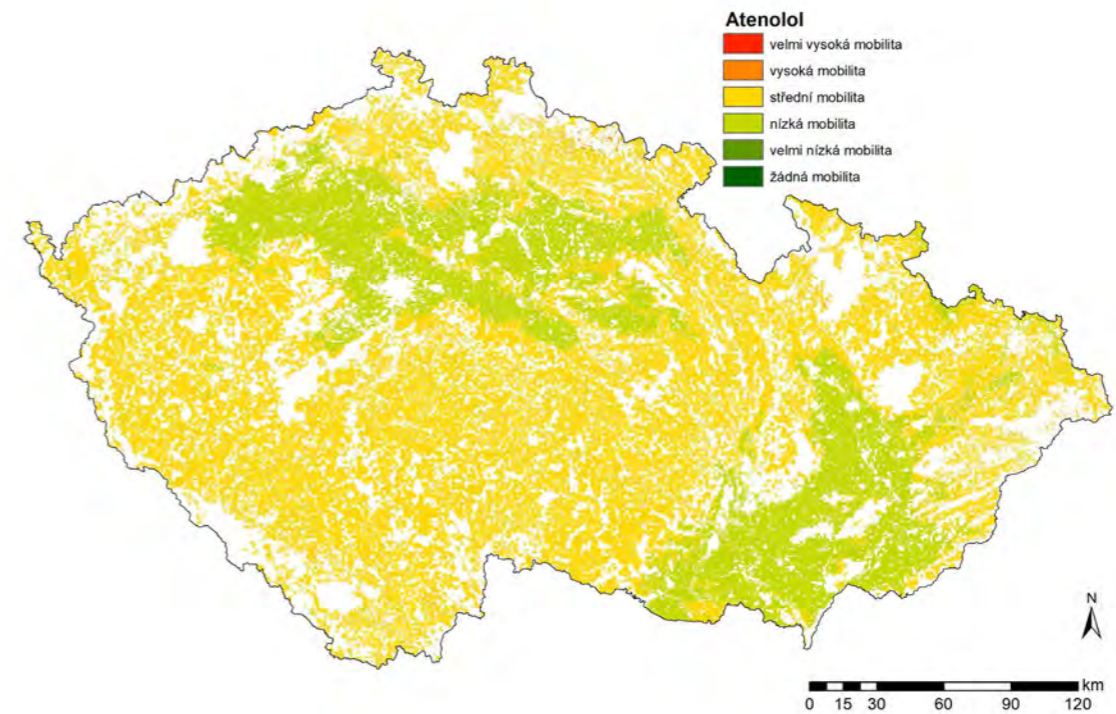
Tyto mapy vznikly za finanční podpory projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QK21020080 Osud vybraných mikropolutantů, které se vyskytují ve vyčištěné vodě a kalech z čistíren odpadních vod, v půdě.

Přílohy

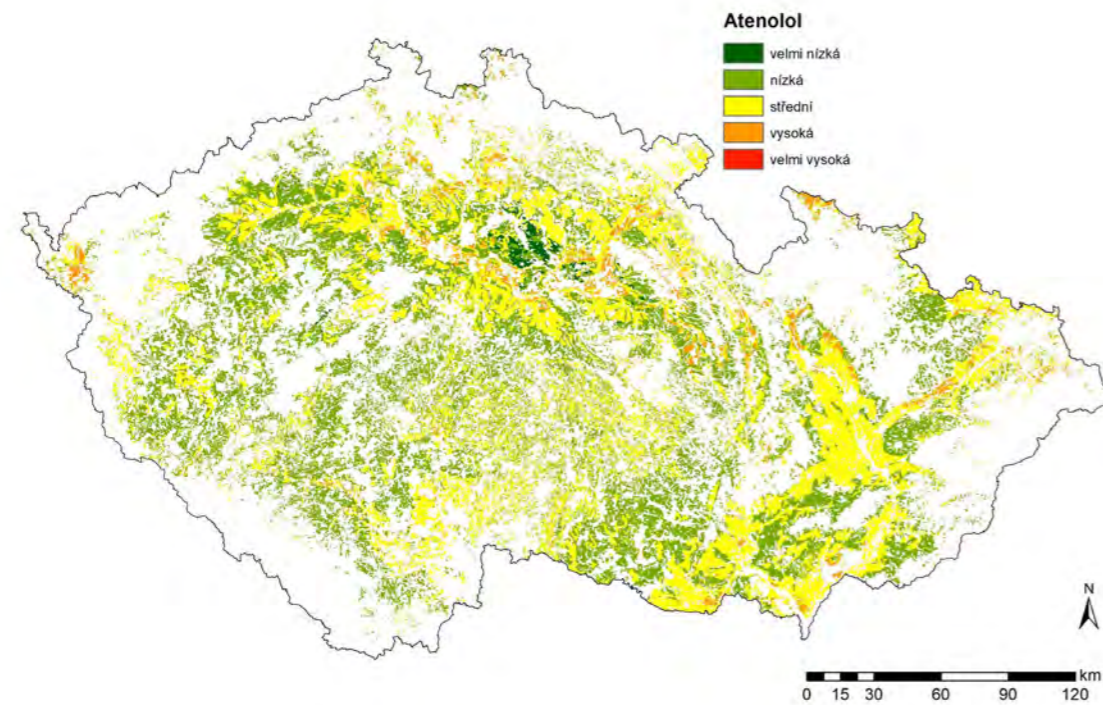
Atenolol



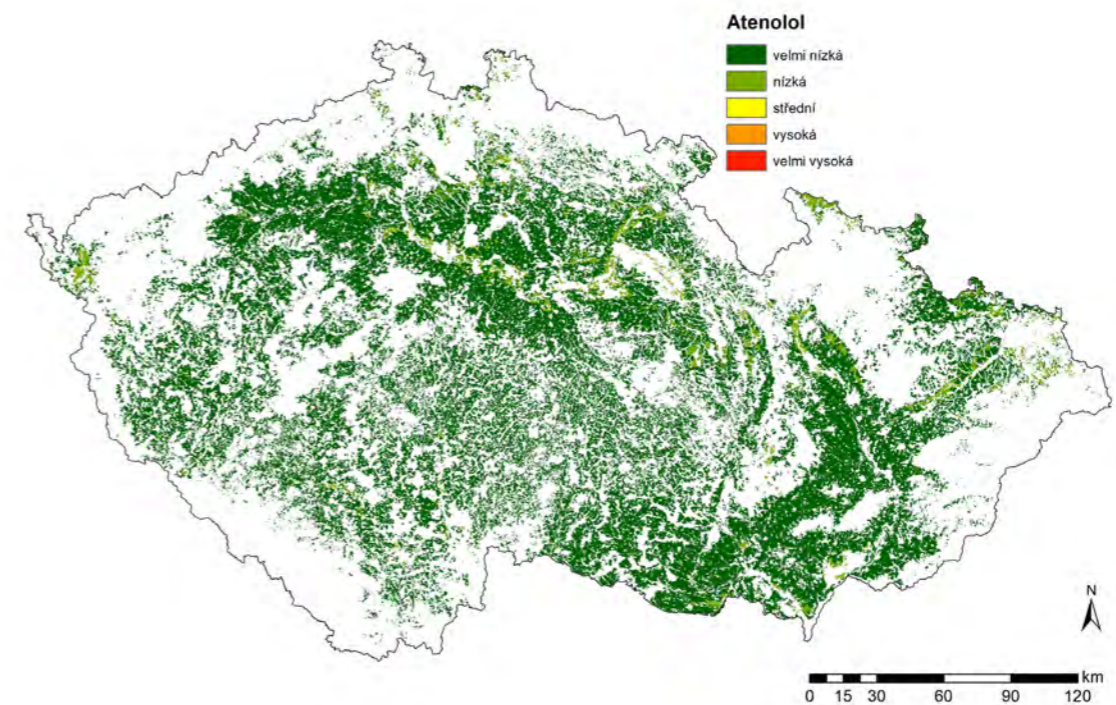
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

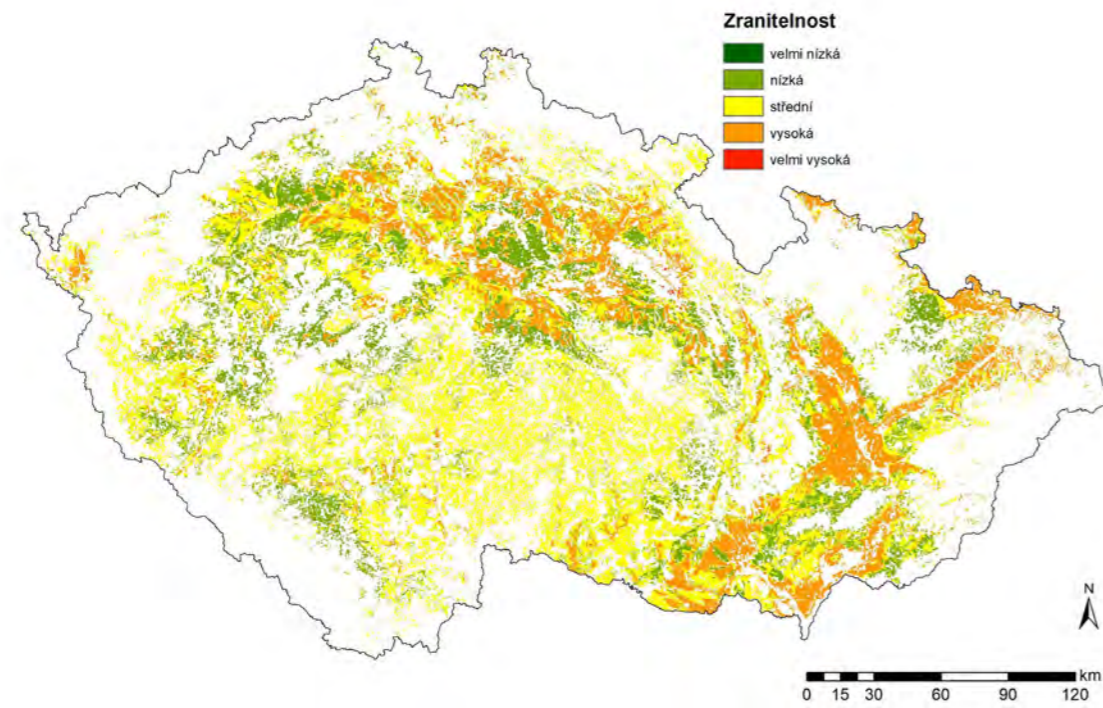


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

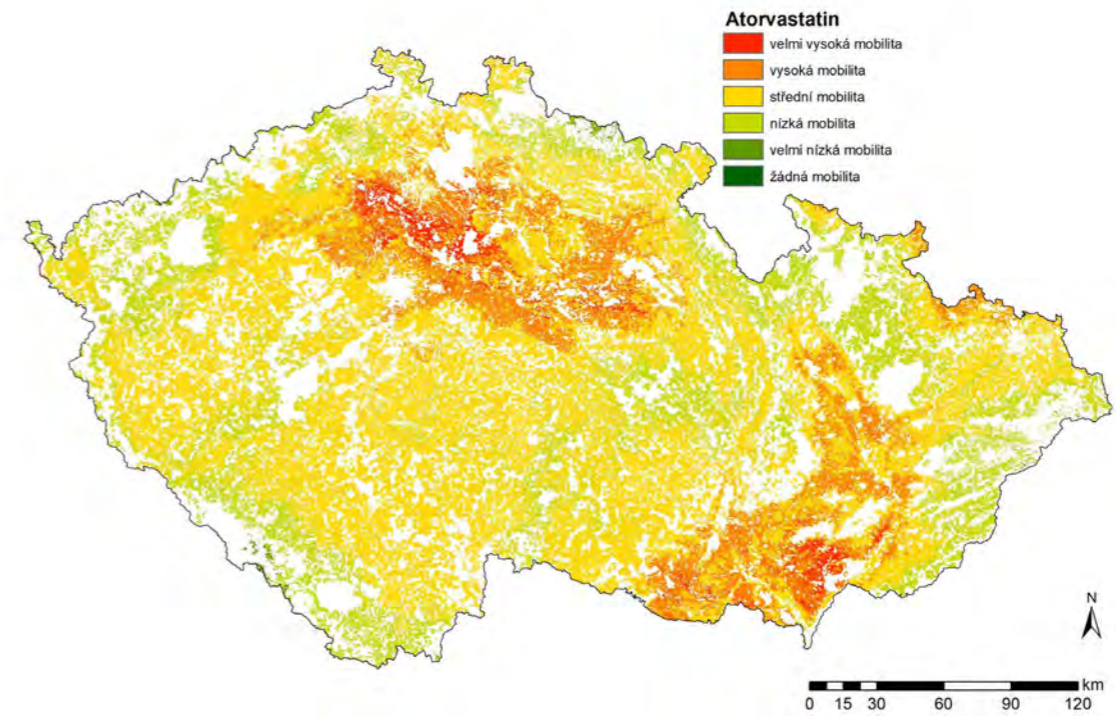


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

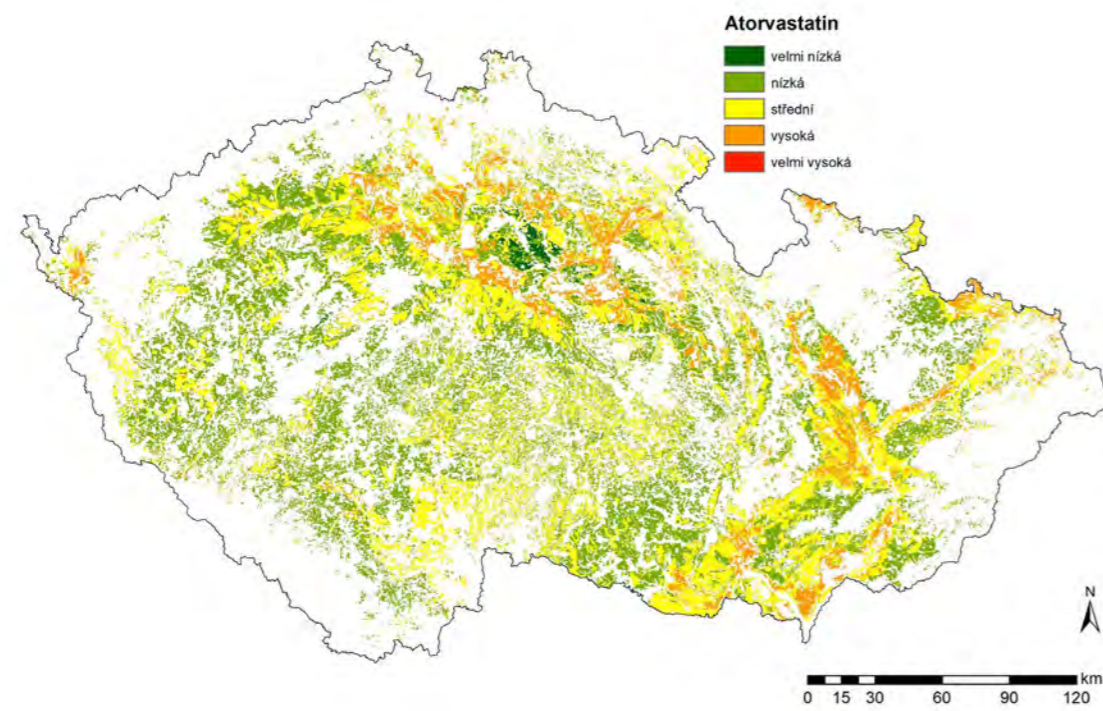
Atorvastatin



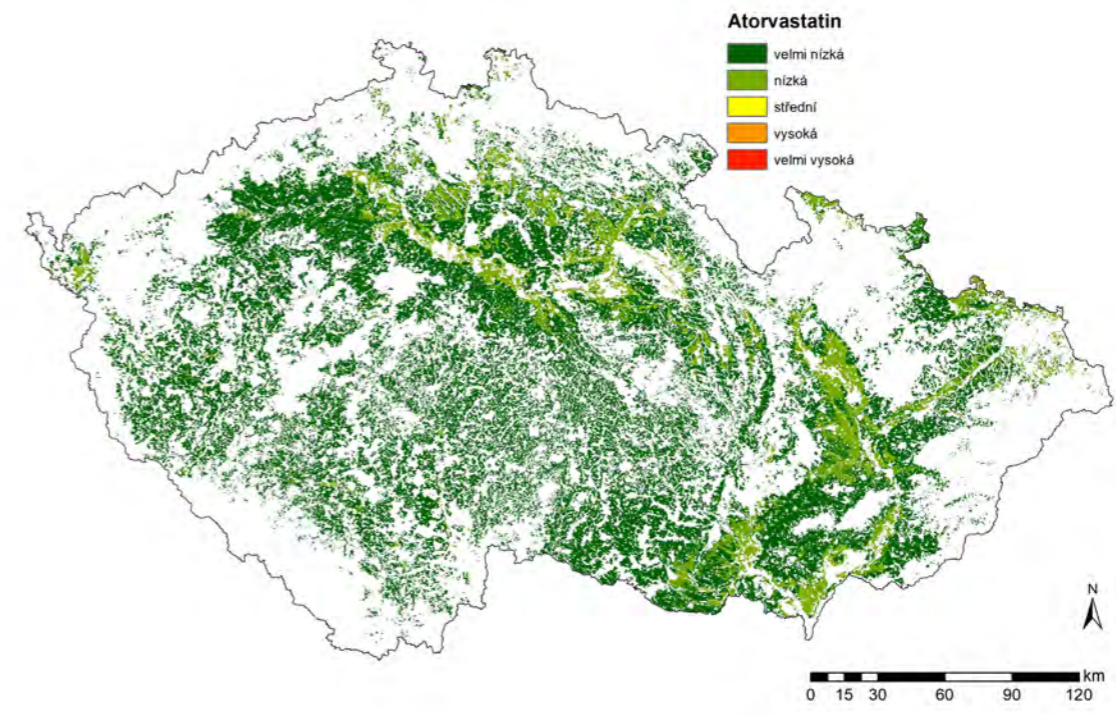
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

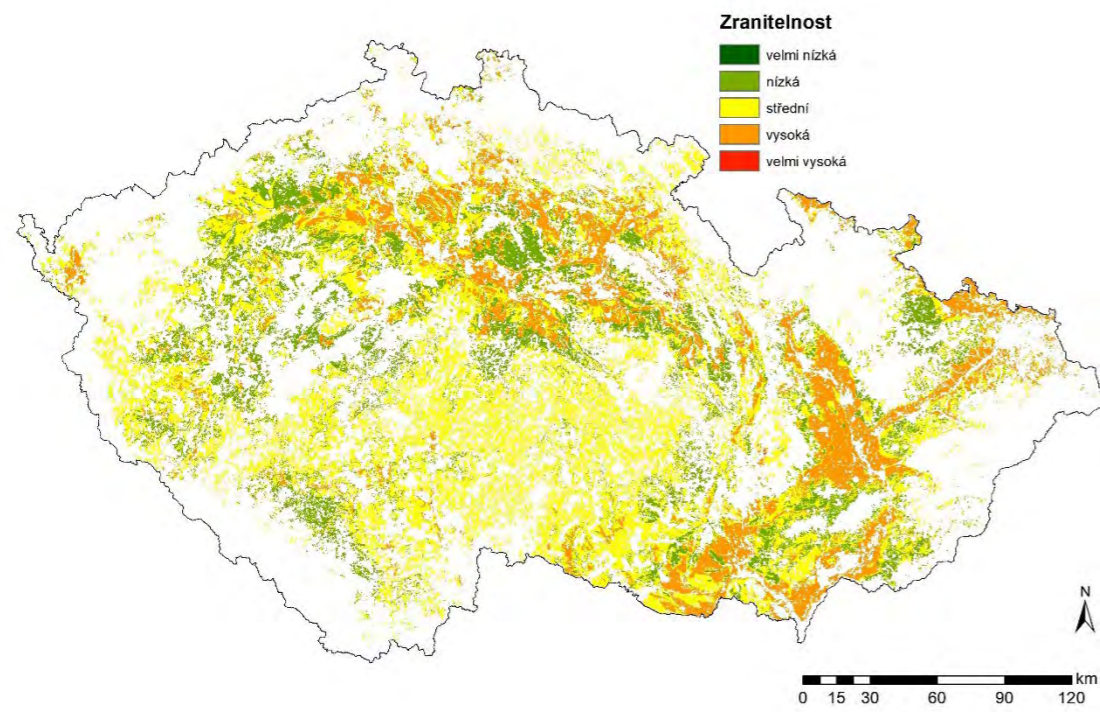


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

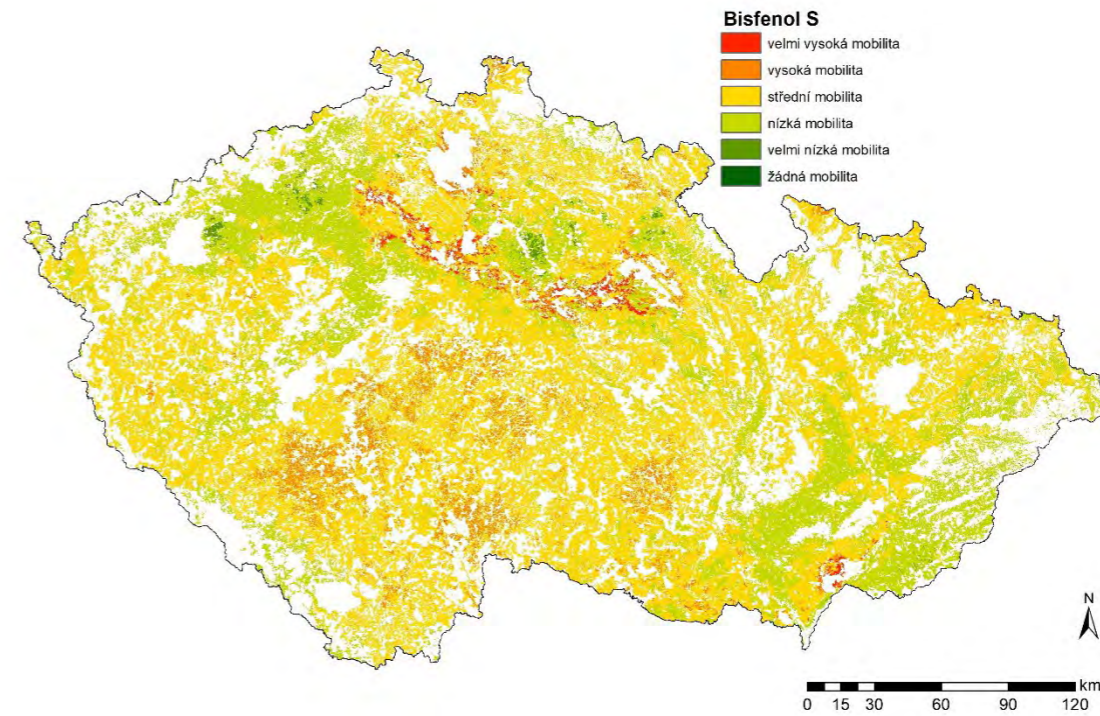


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

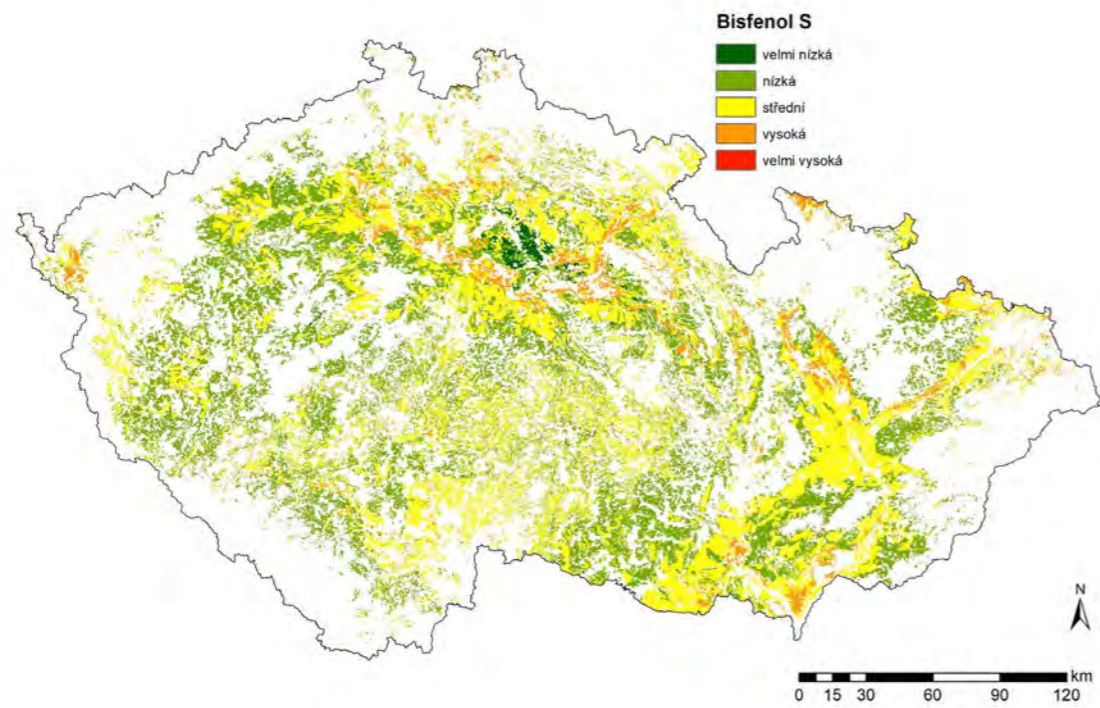
Bisfenol S



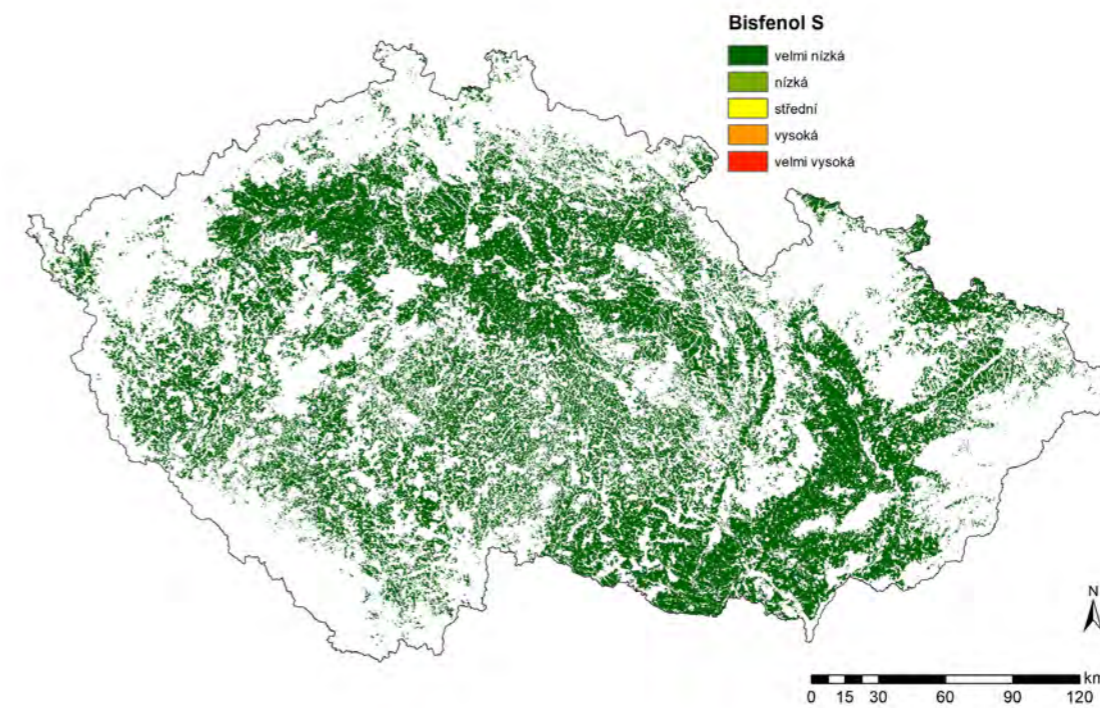
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

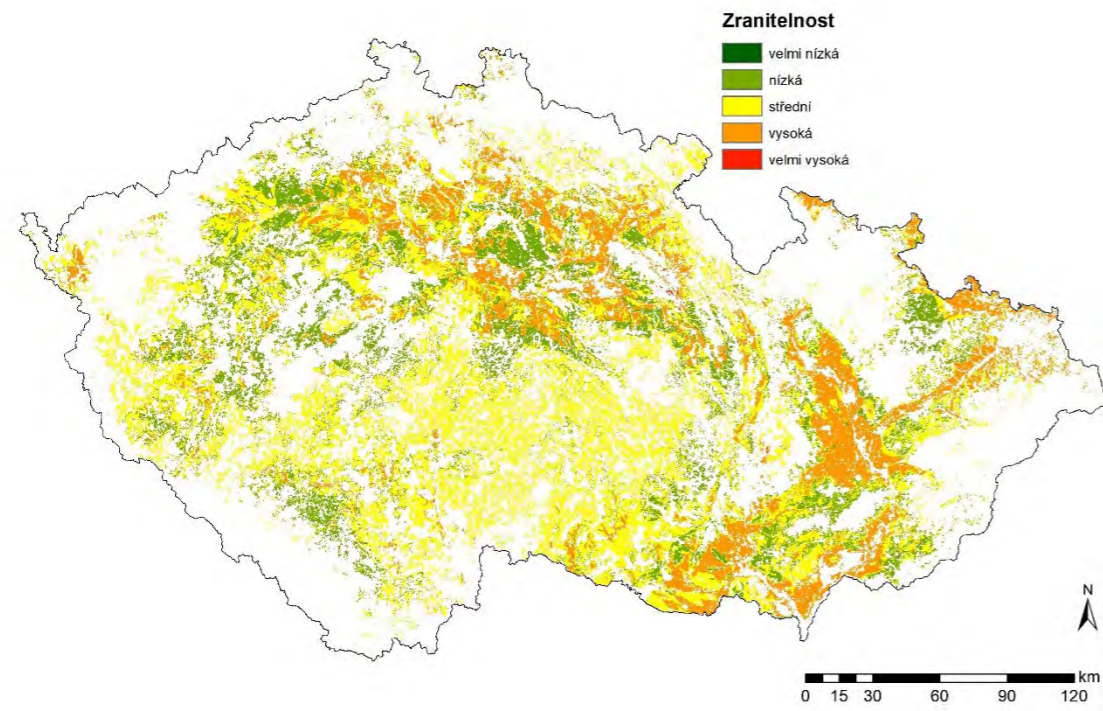


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

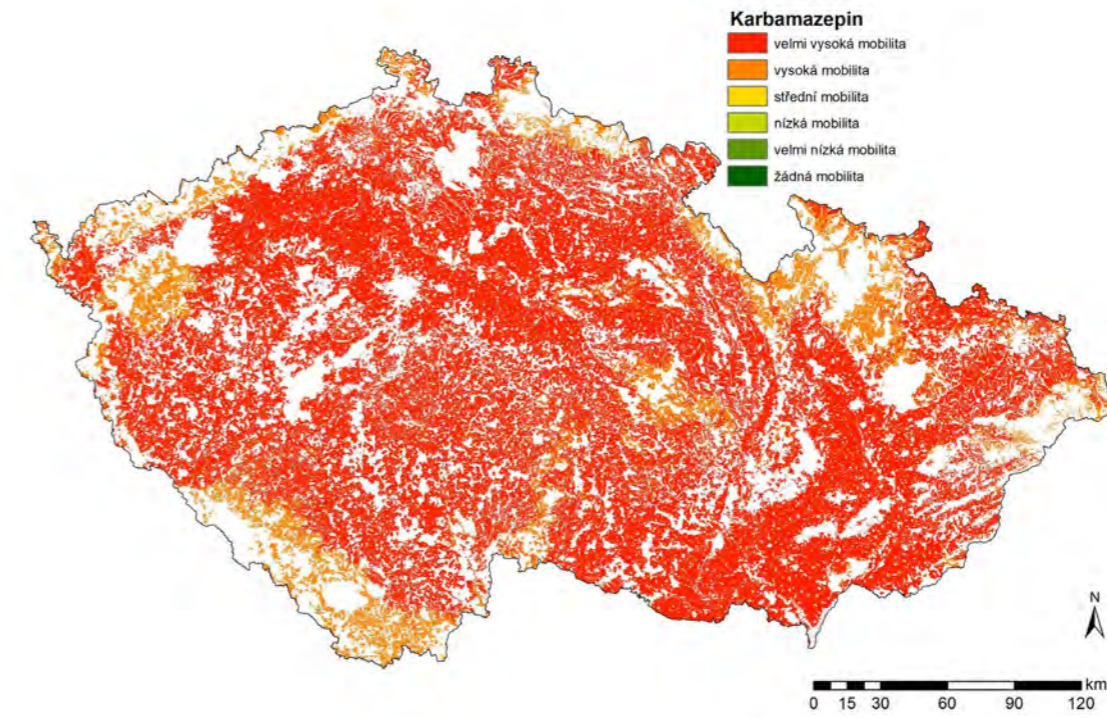


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

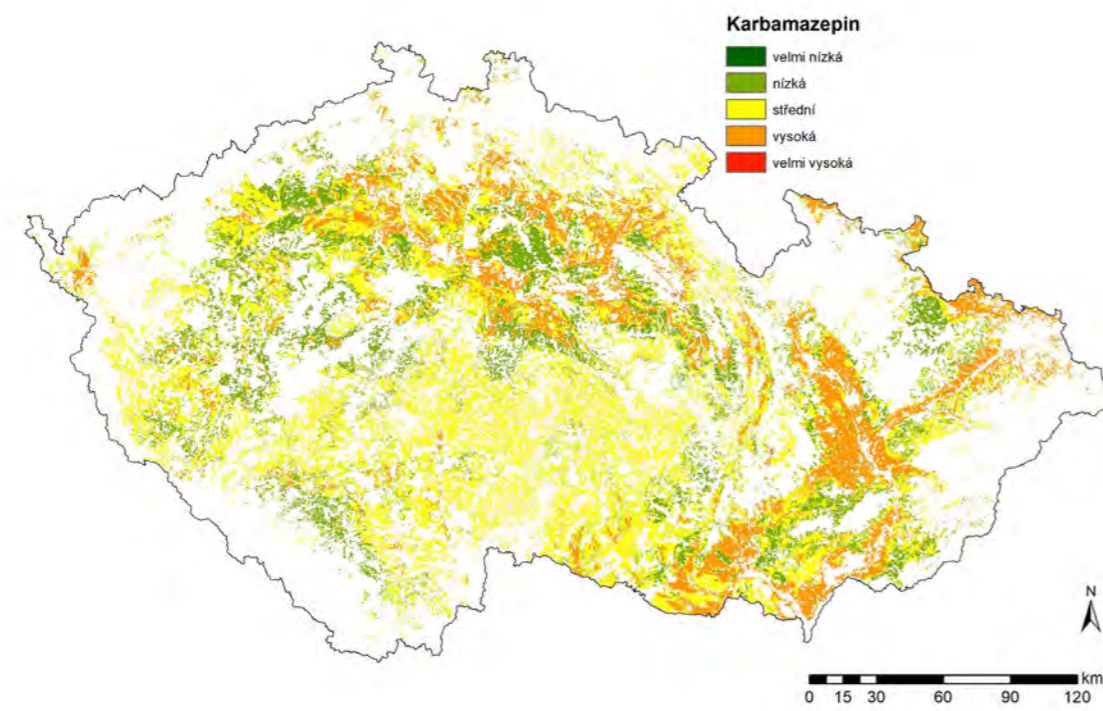
Karbamazepin



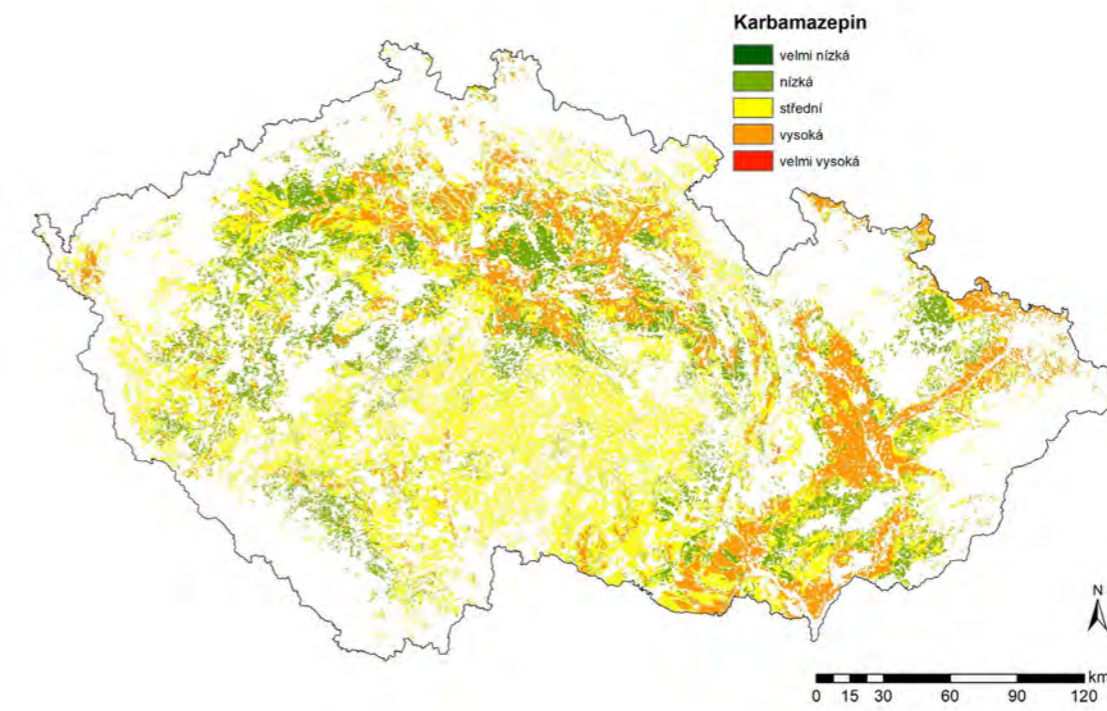
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

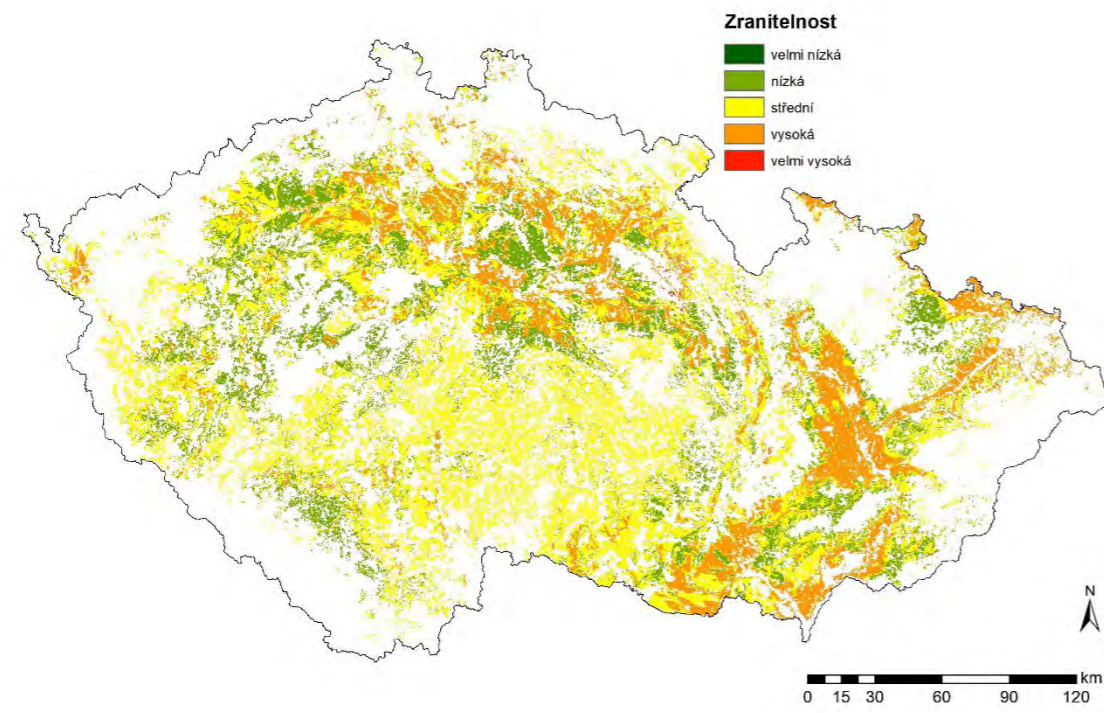


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

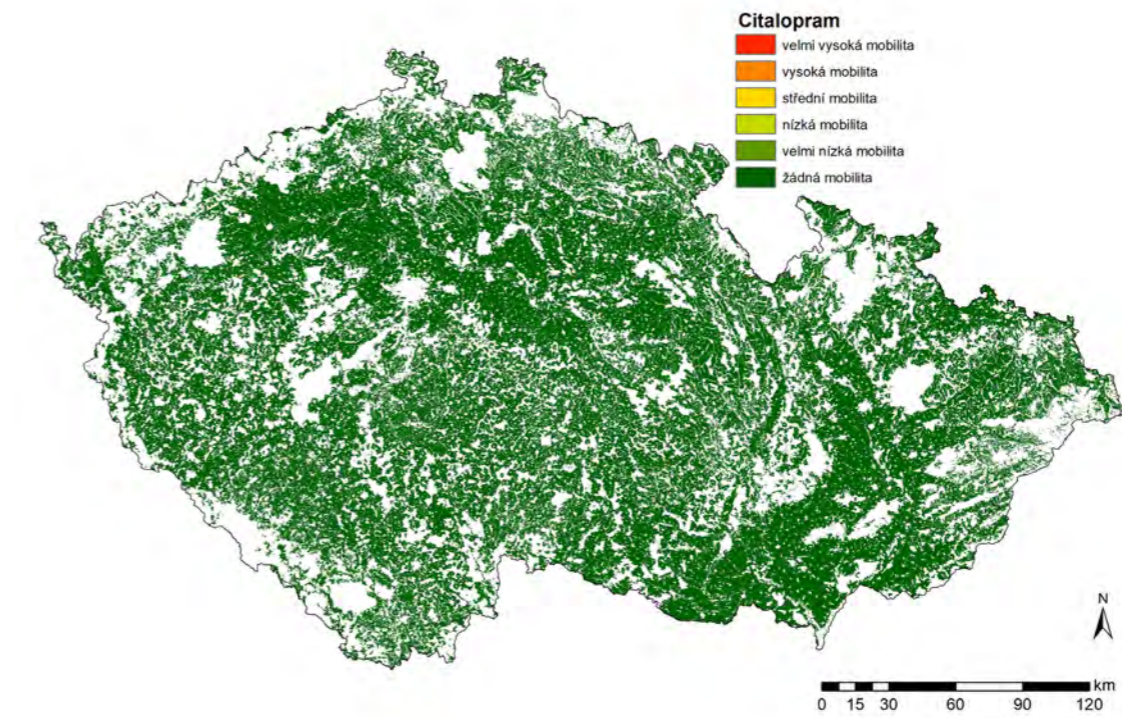


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

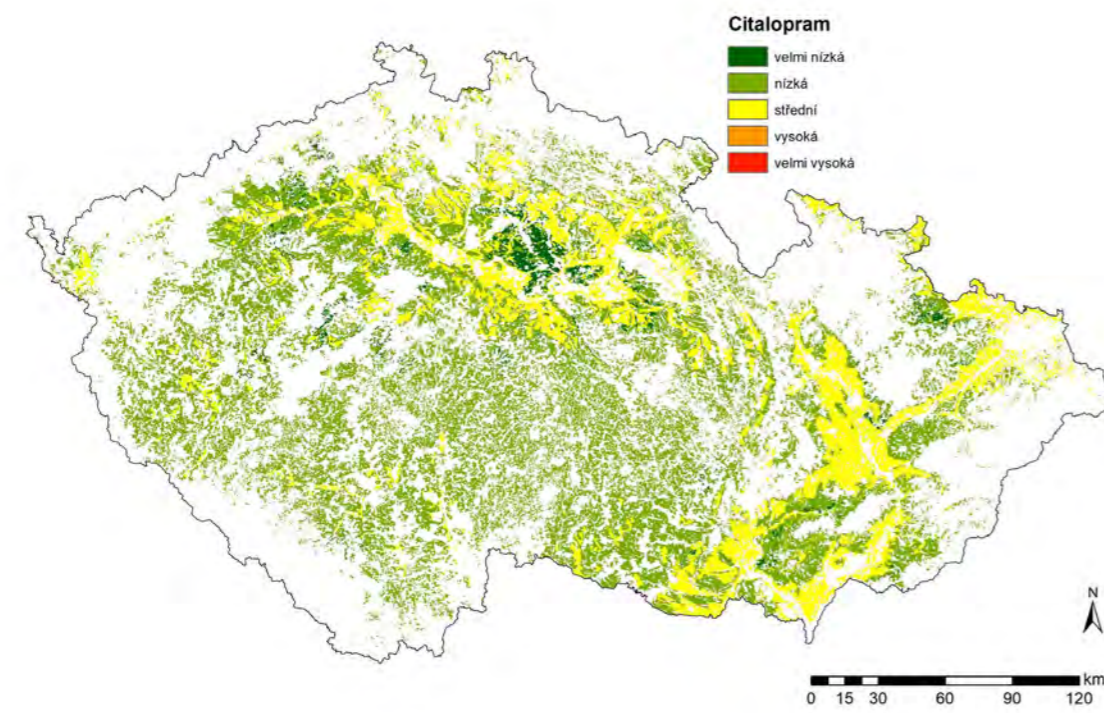
Citalopram



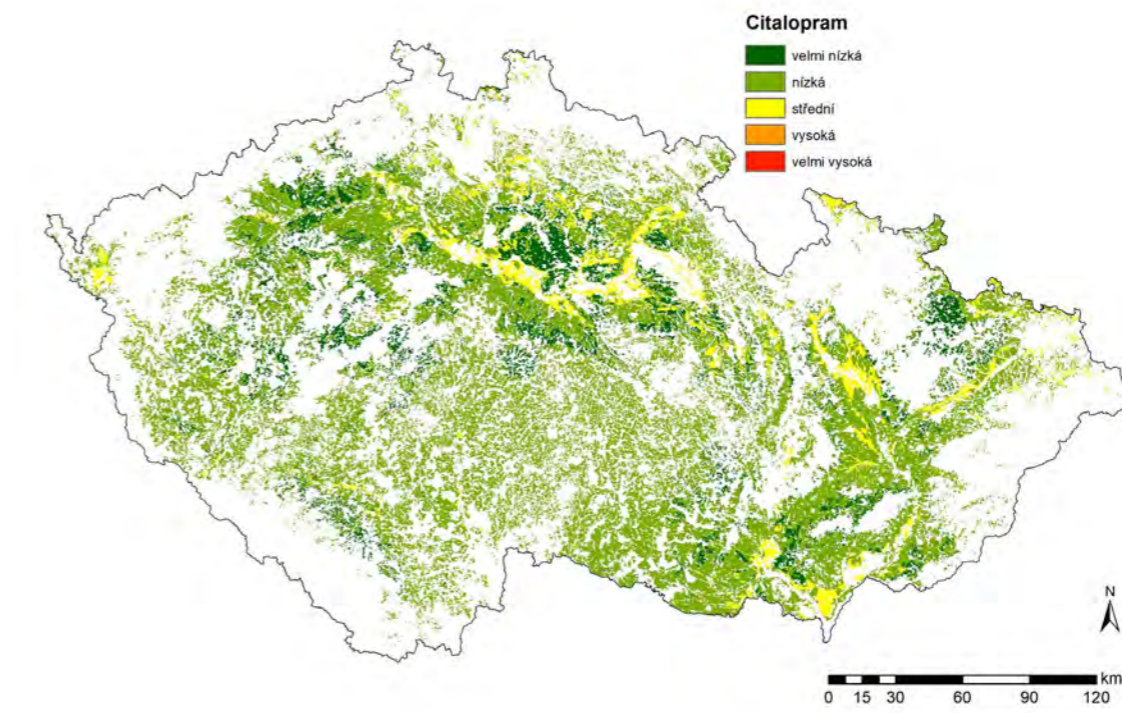
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

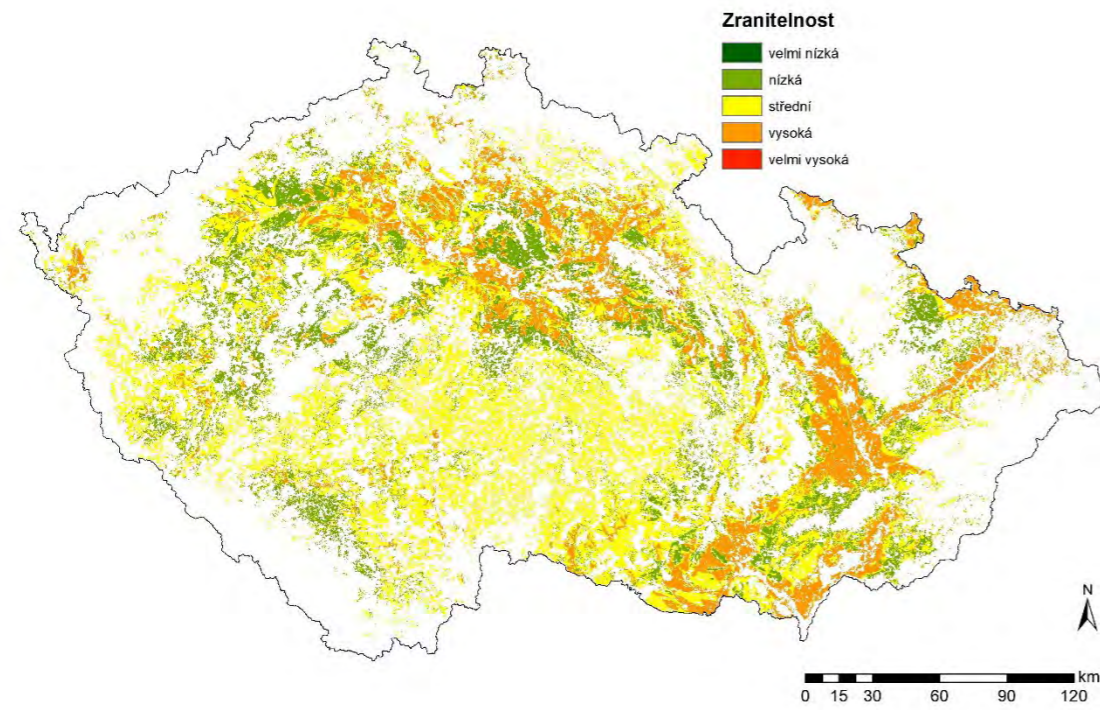


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

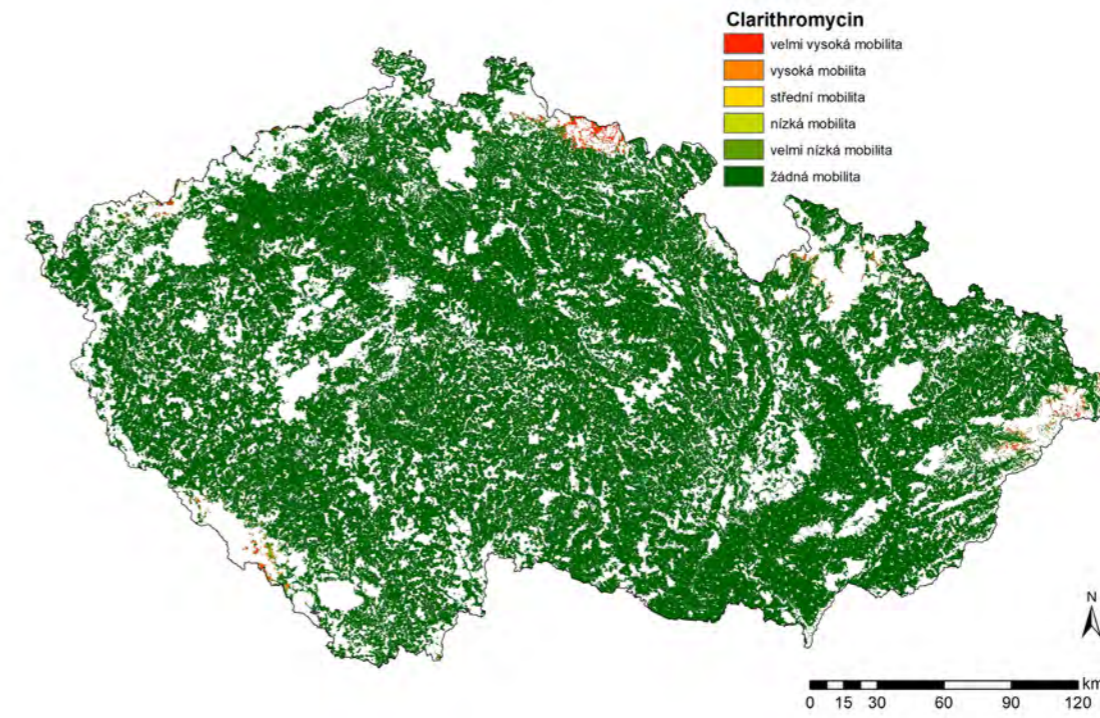


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

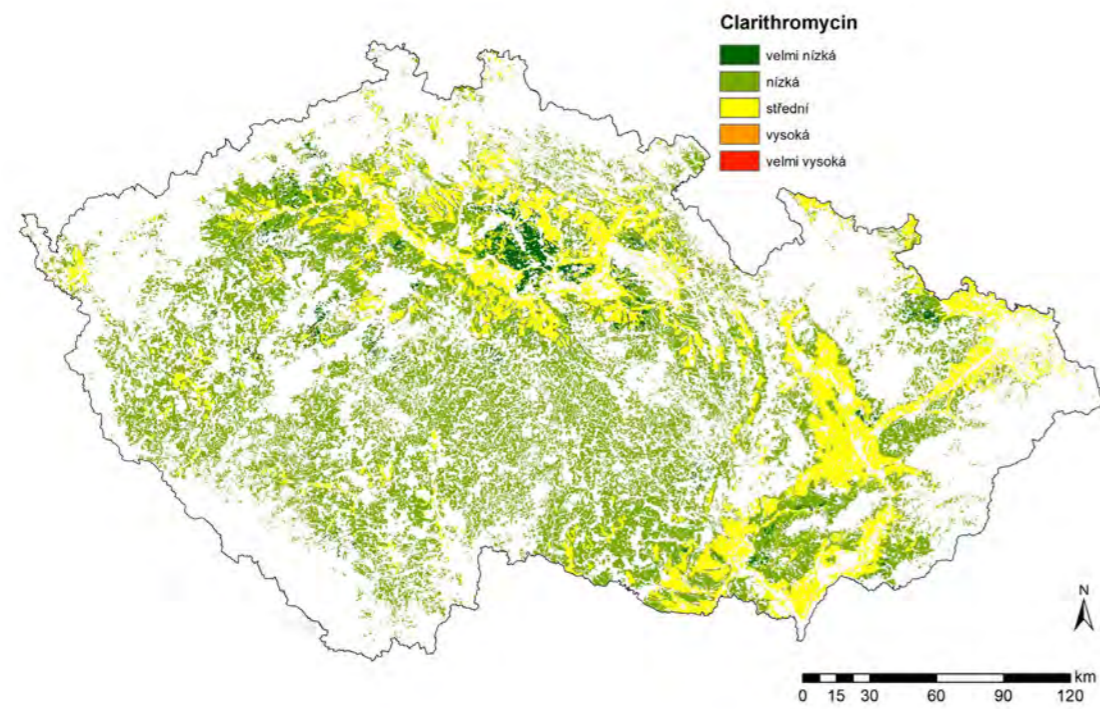
Clarithromycin



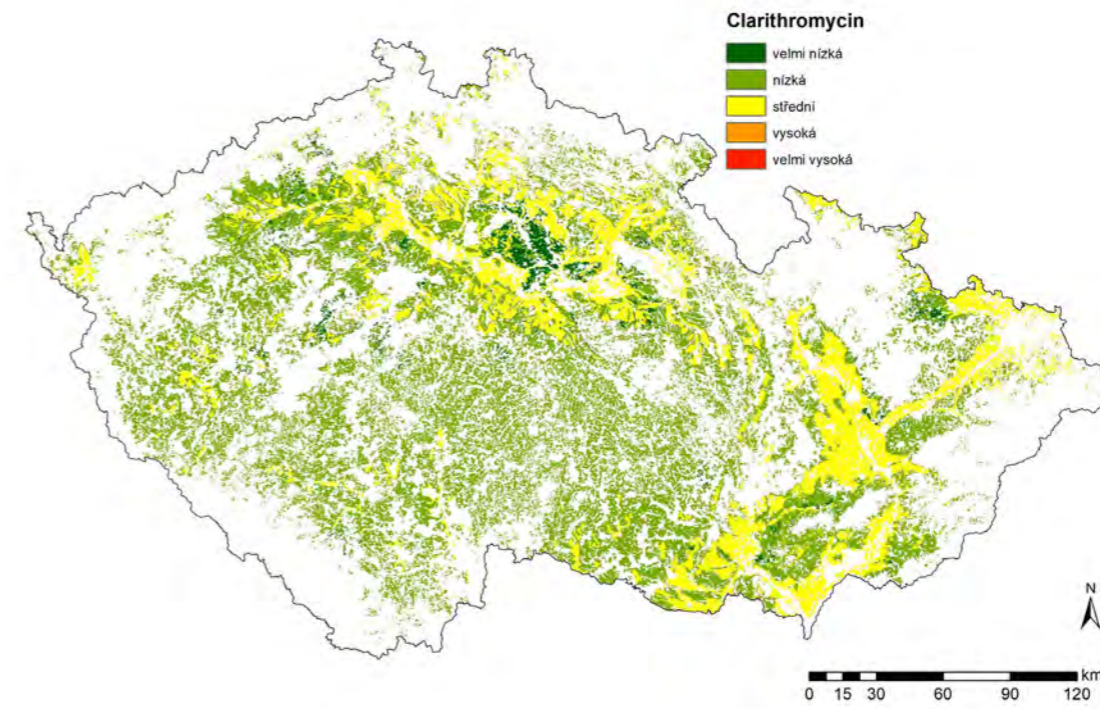
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

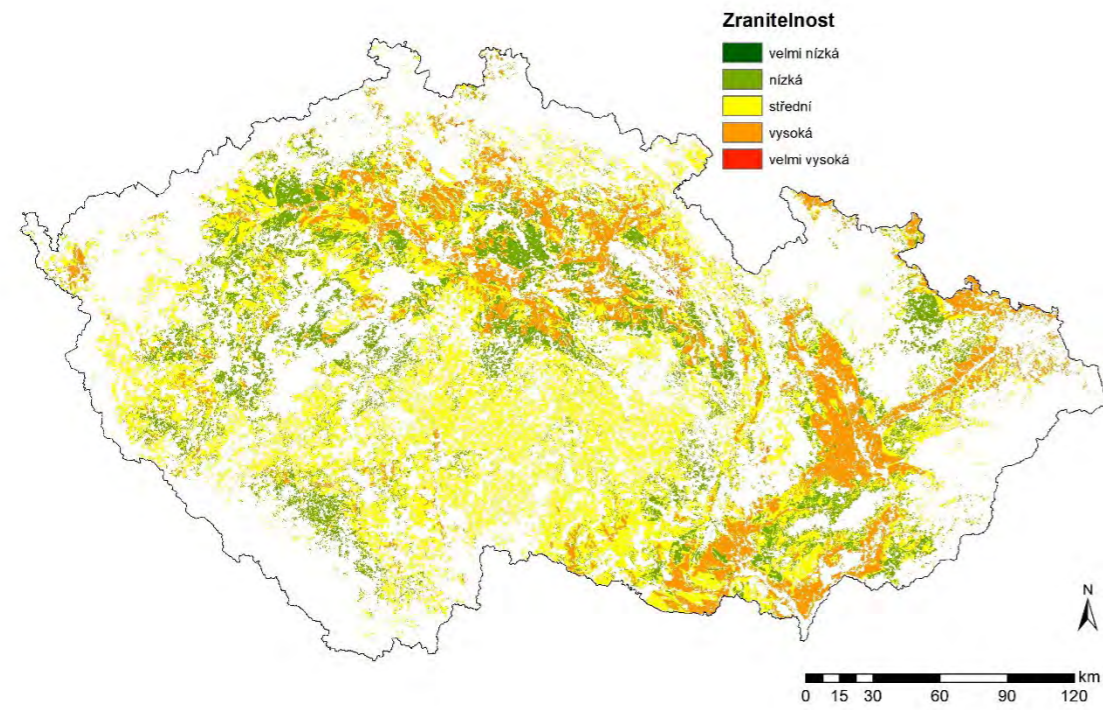


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

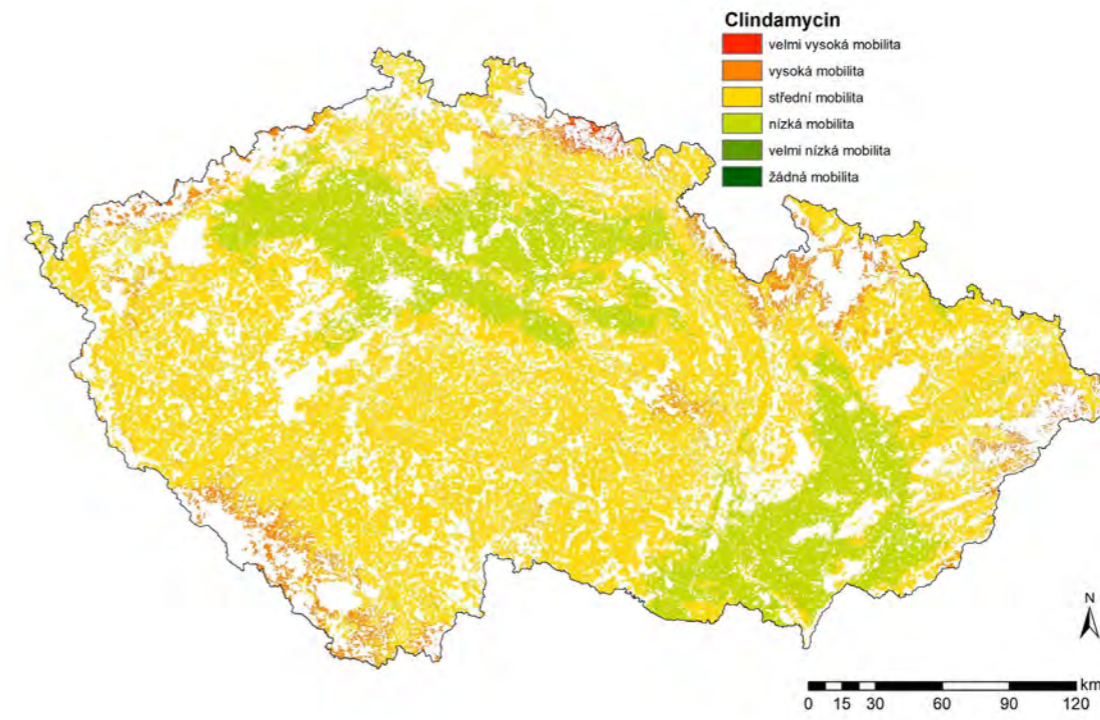


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

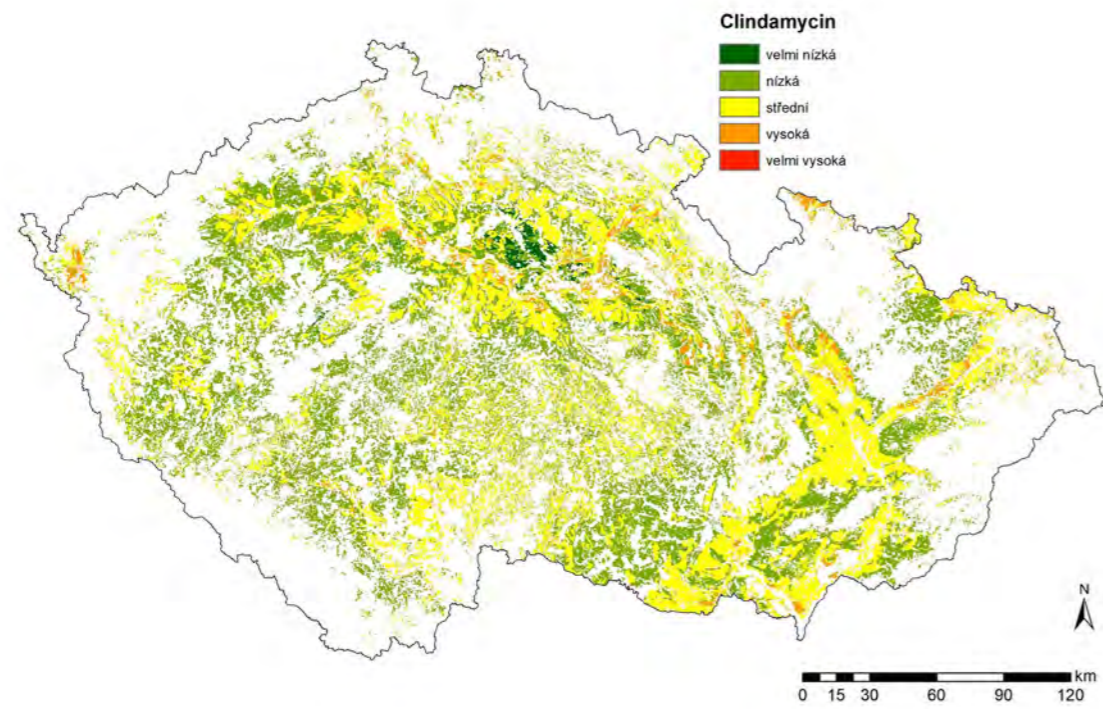
Clindamycin



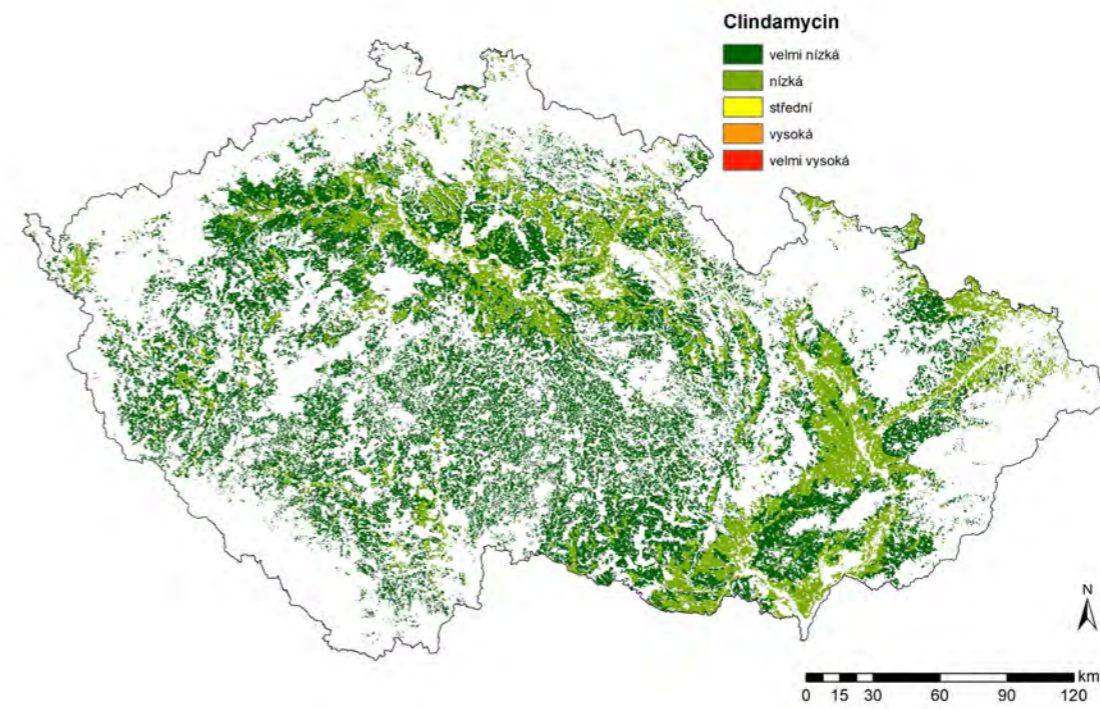
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

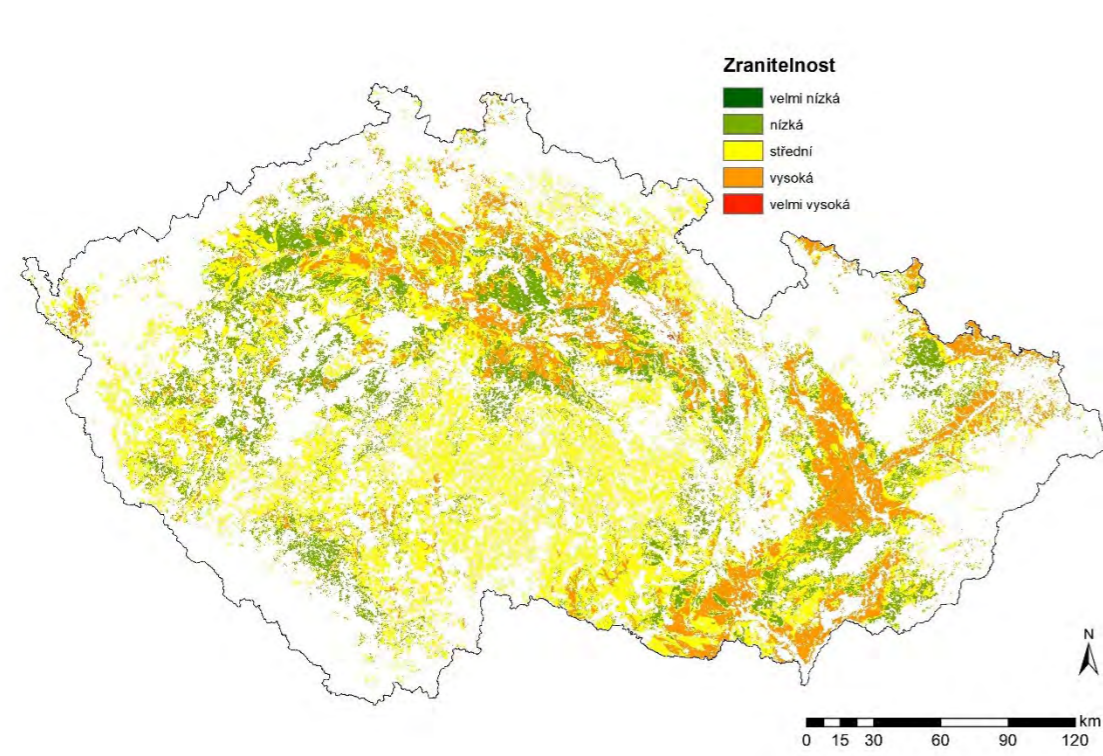


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

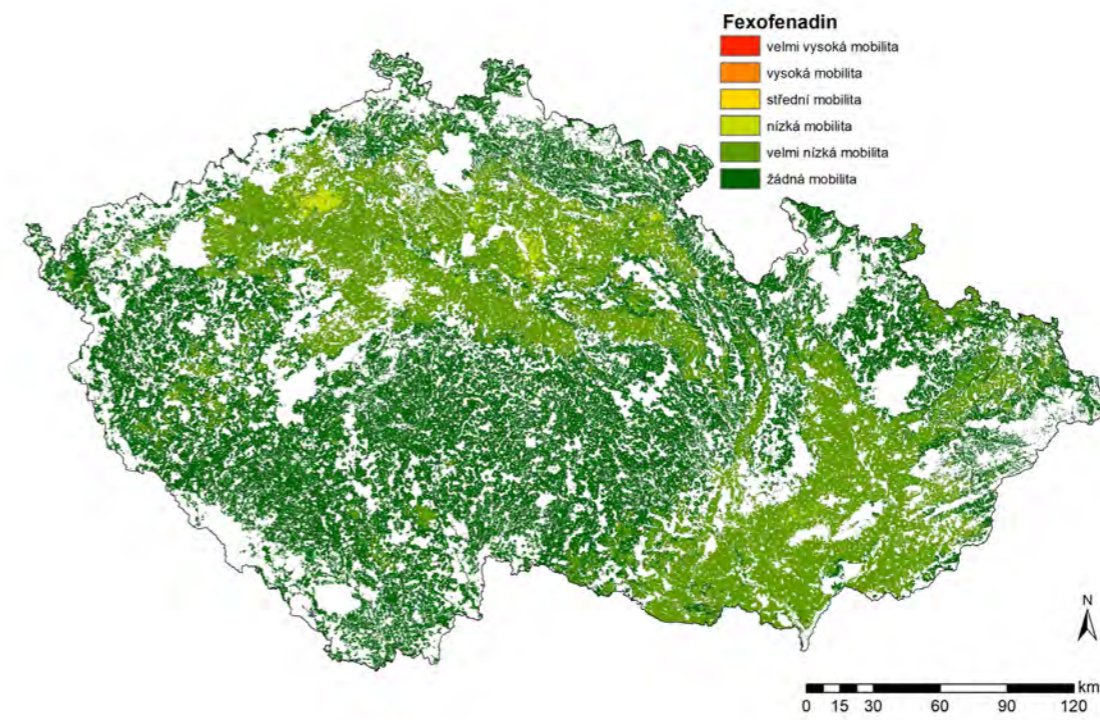


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

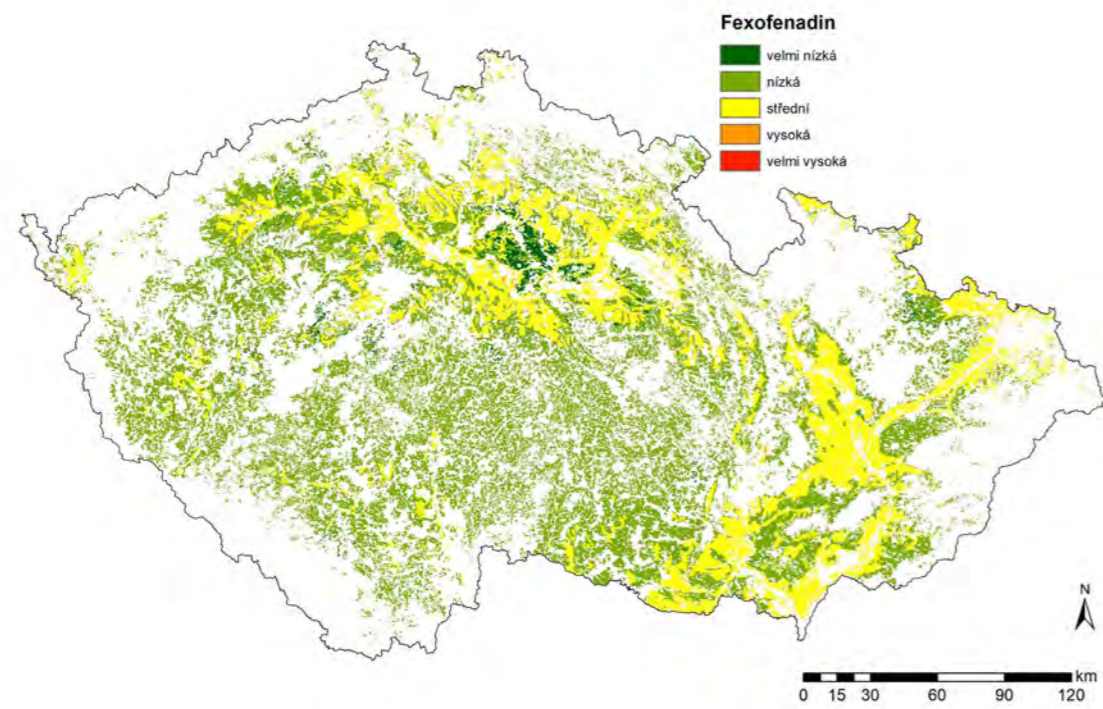
Fexofenadin



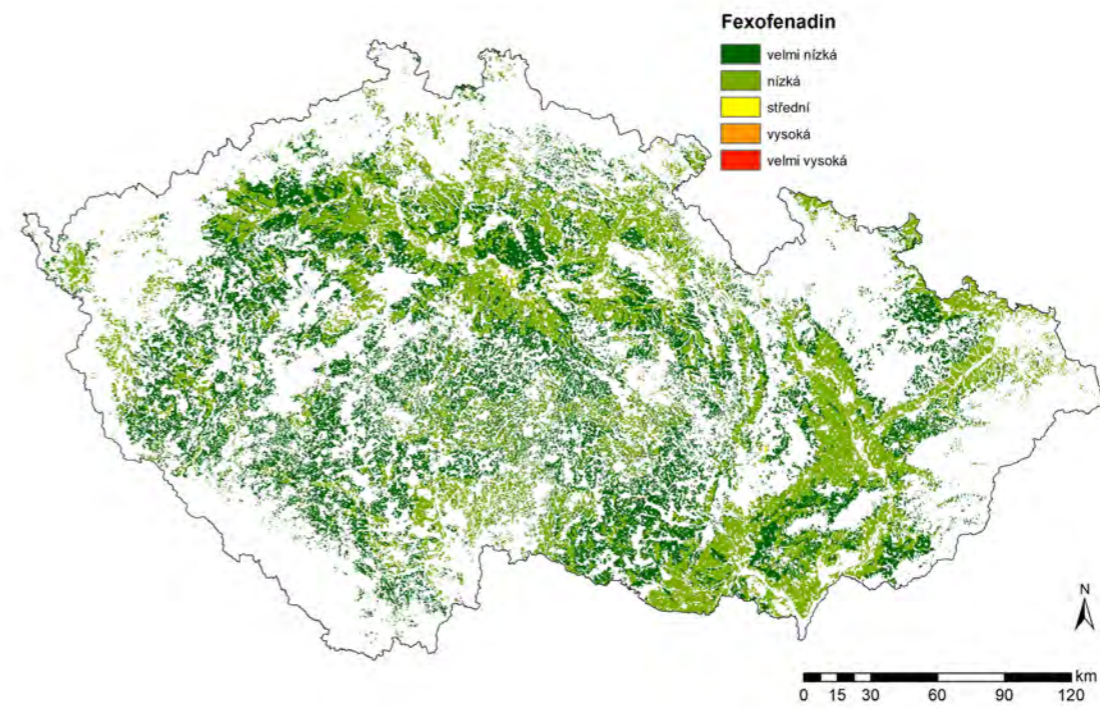
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

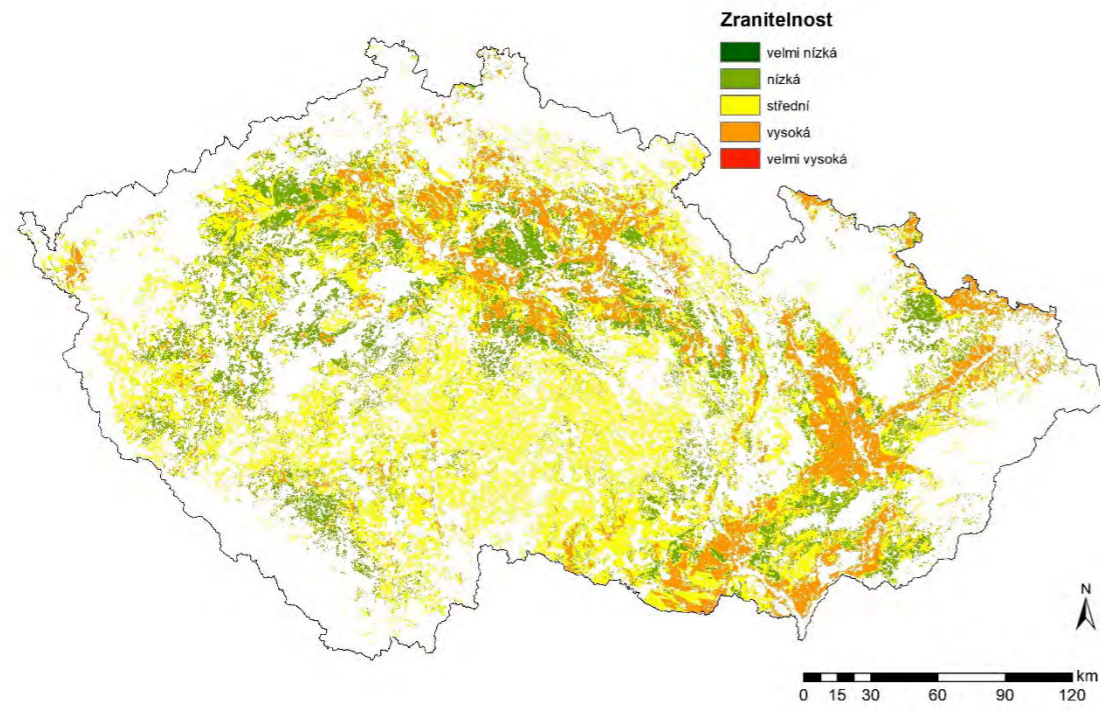


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

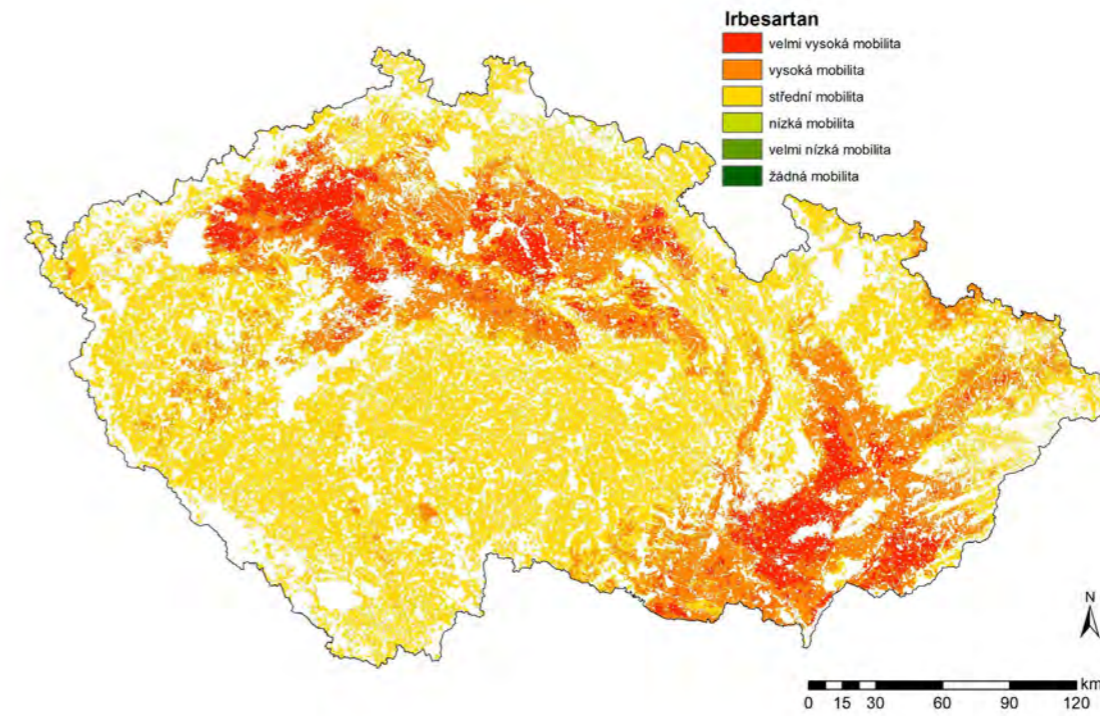


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

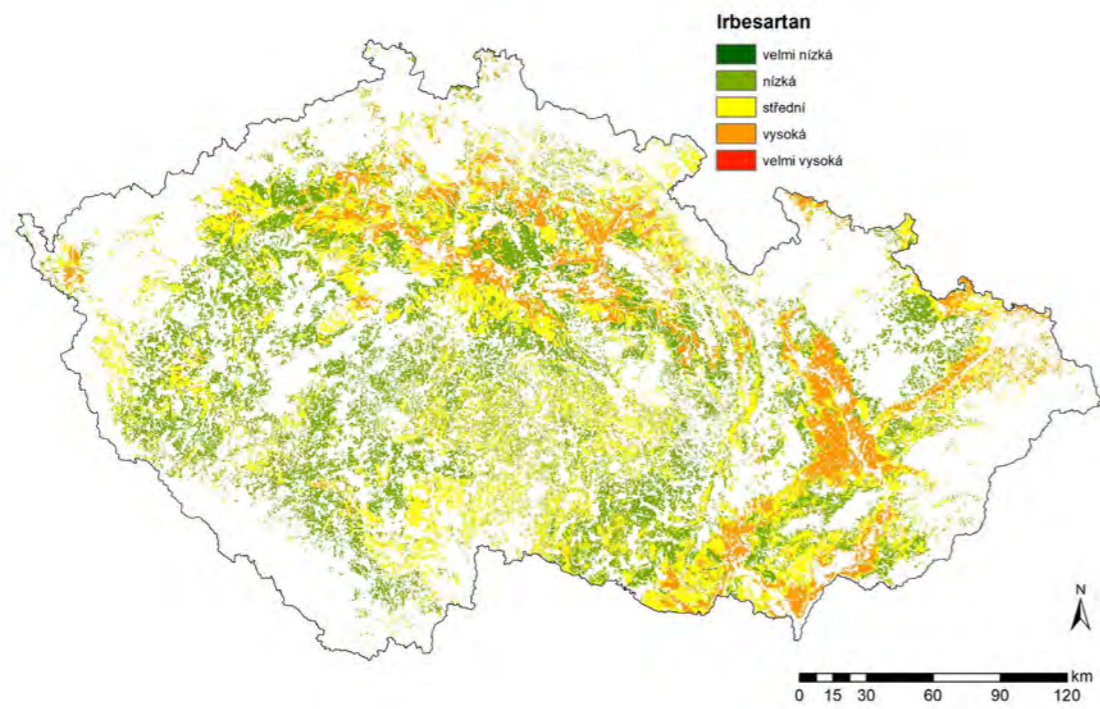
Irbesartan



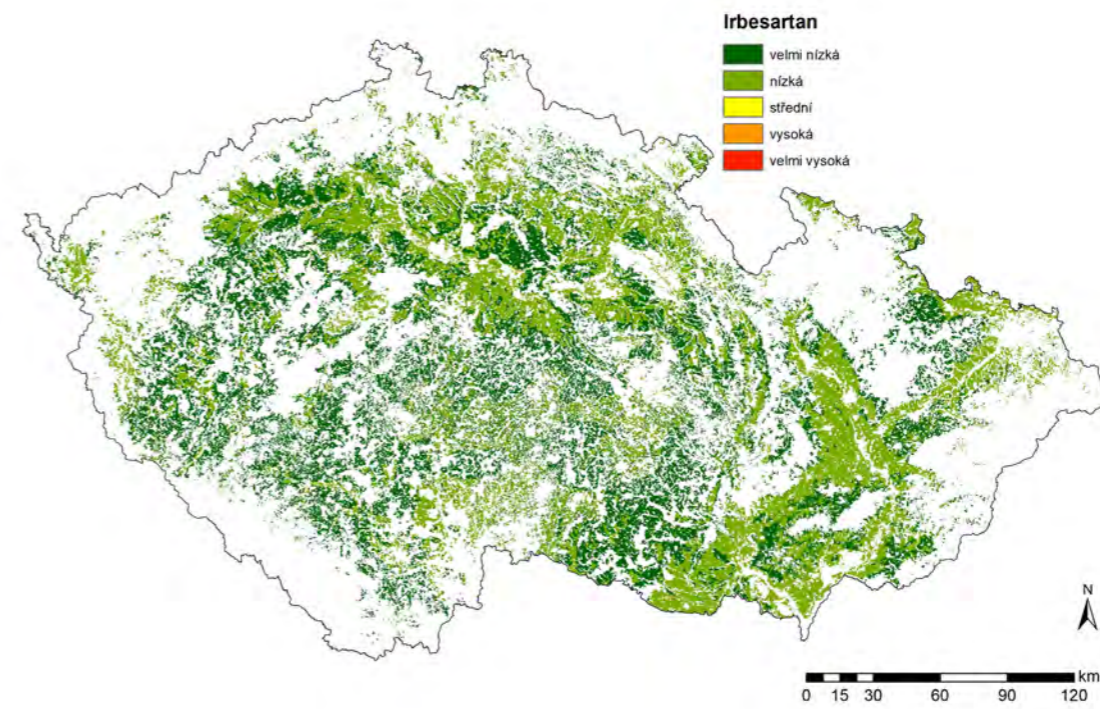
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

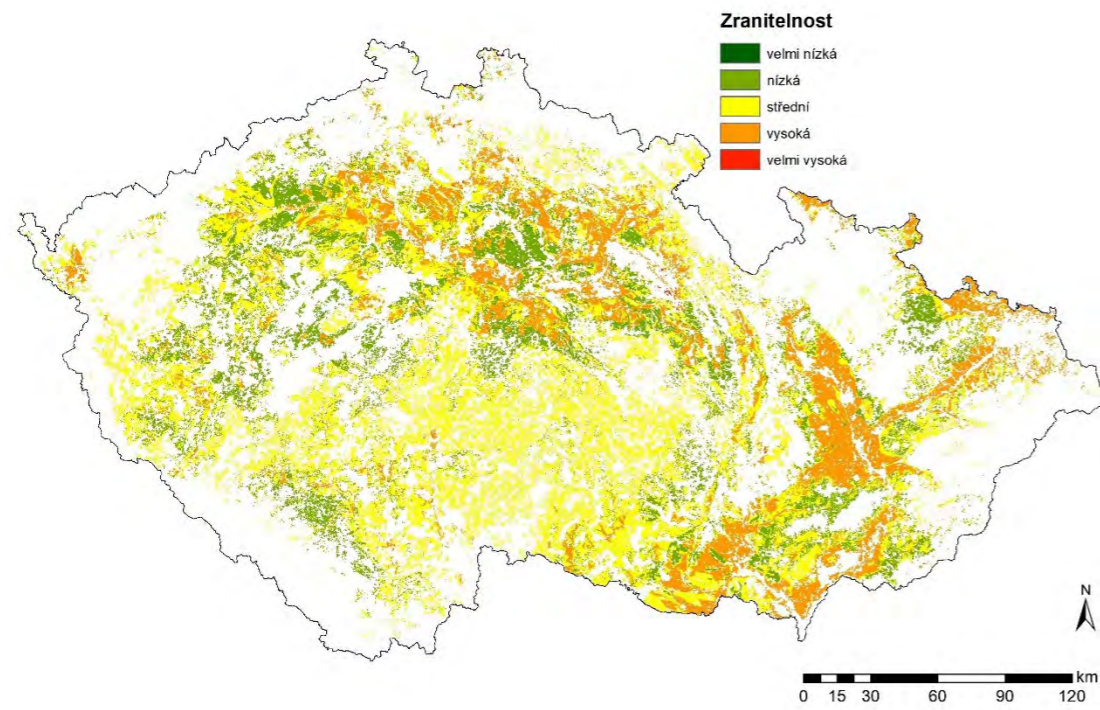


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

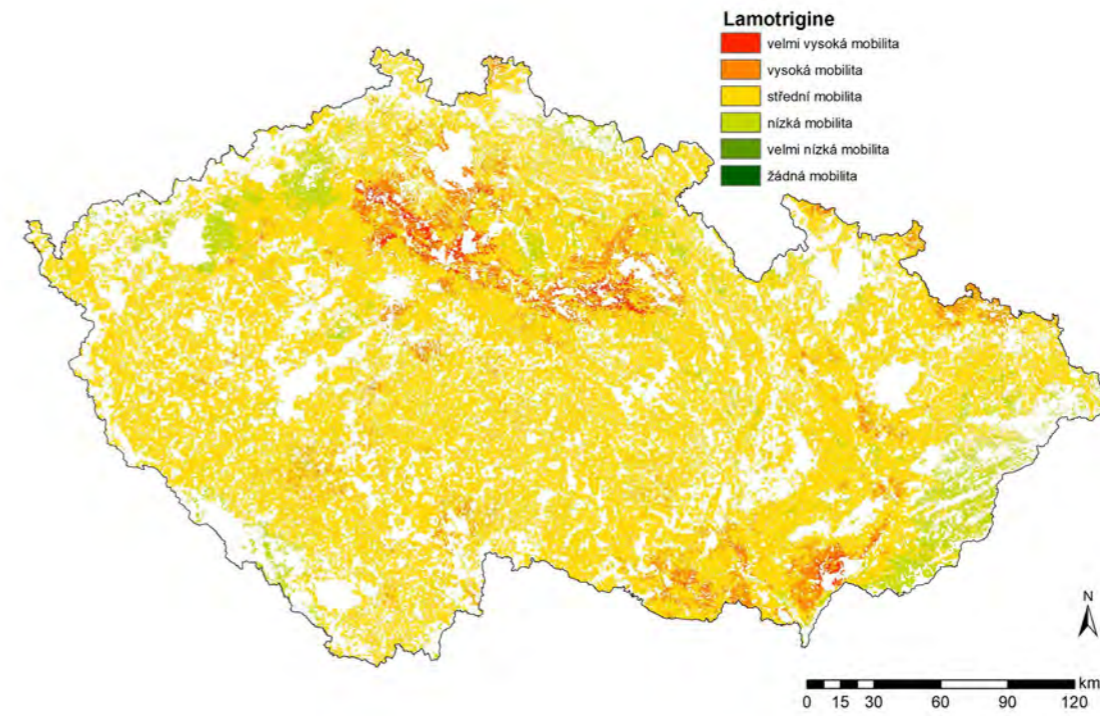


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

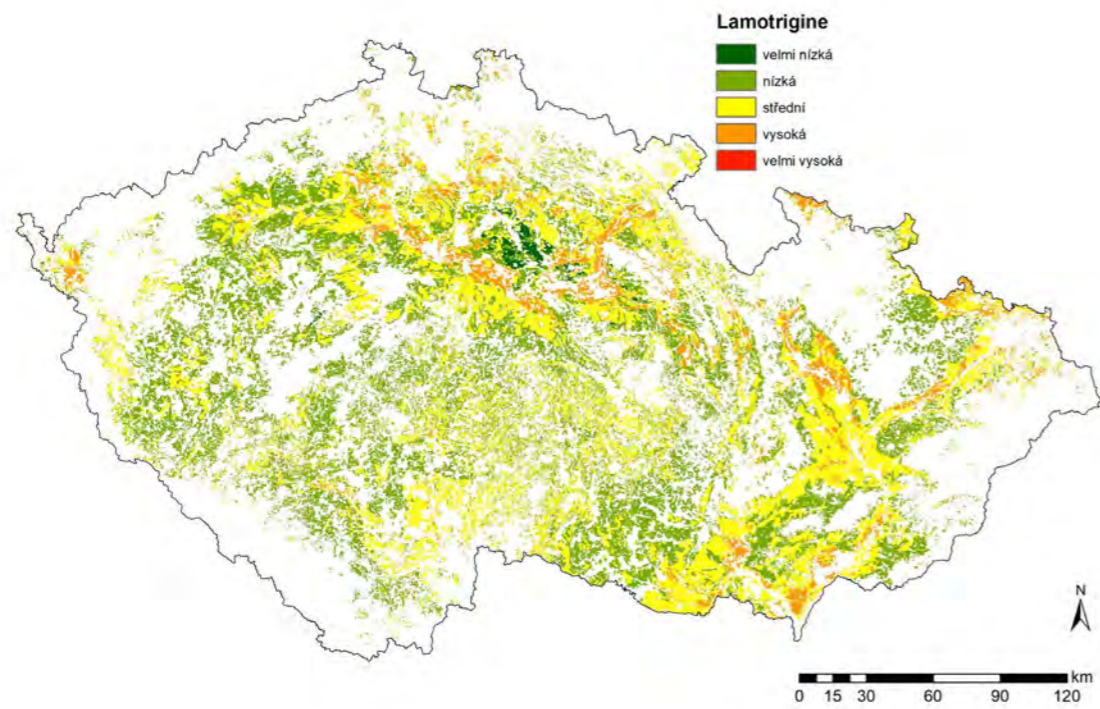
Lamotrigine



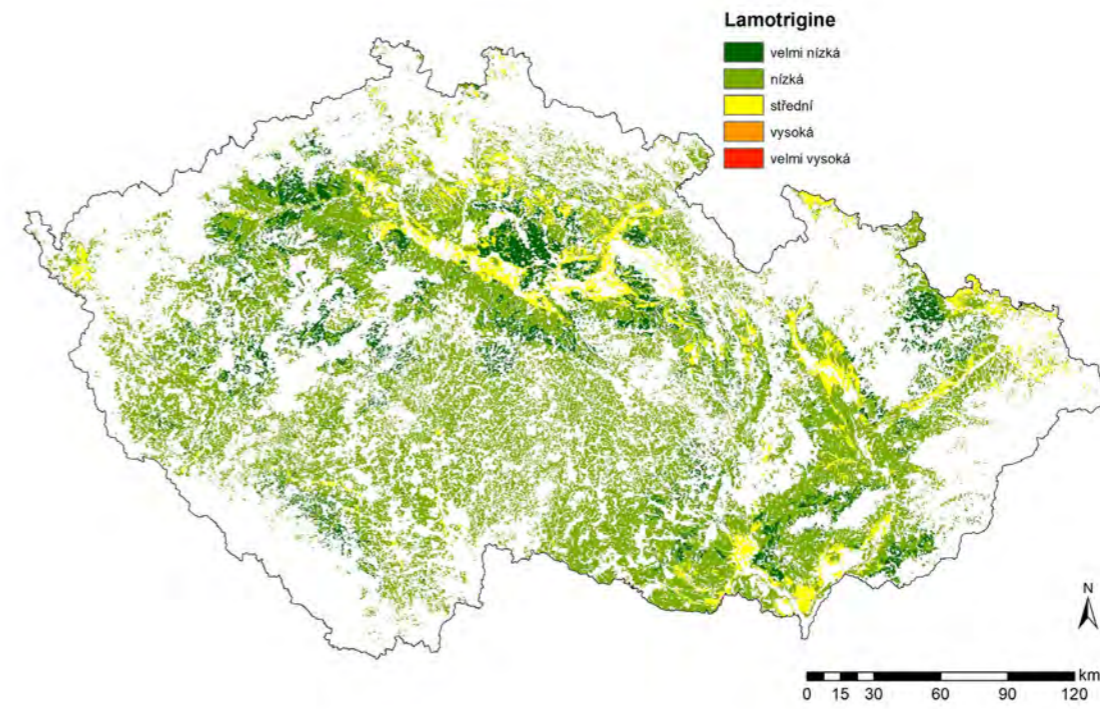
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

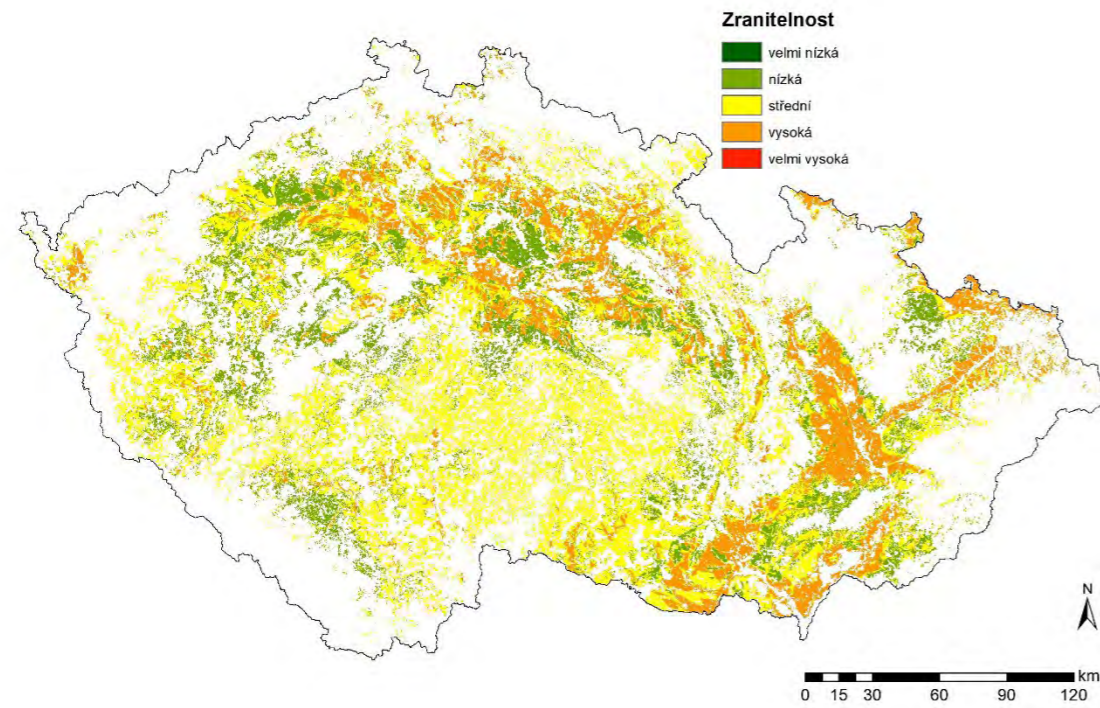


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

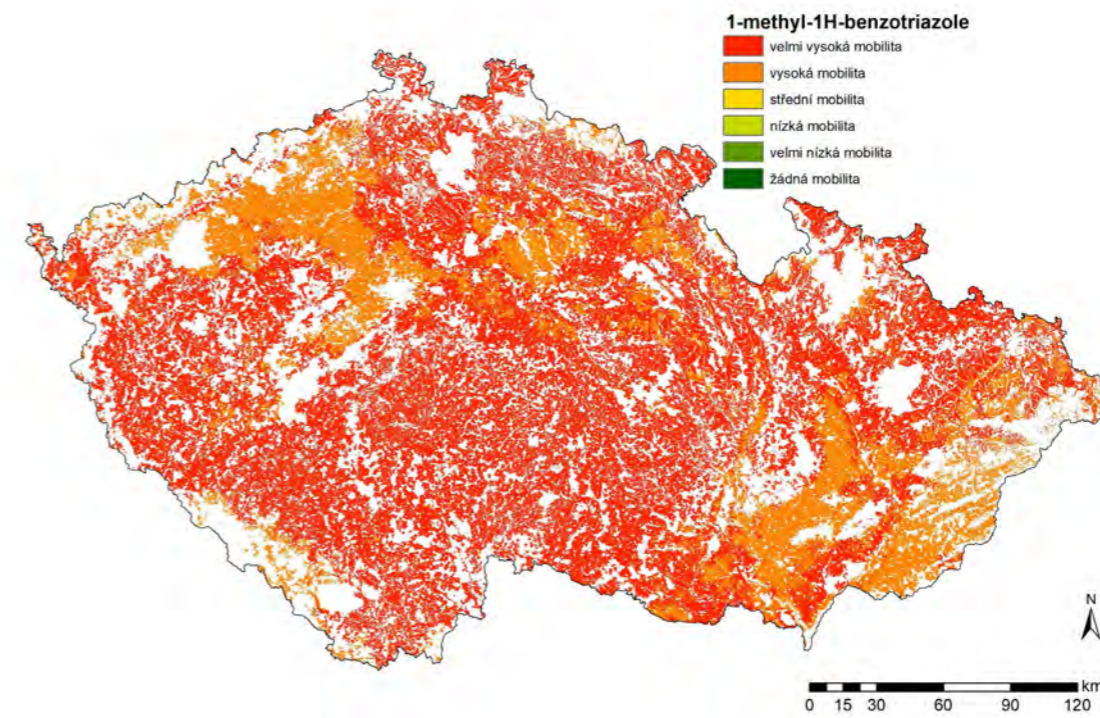


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

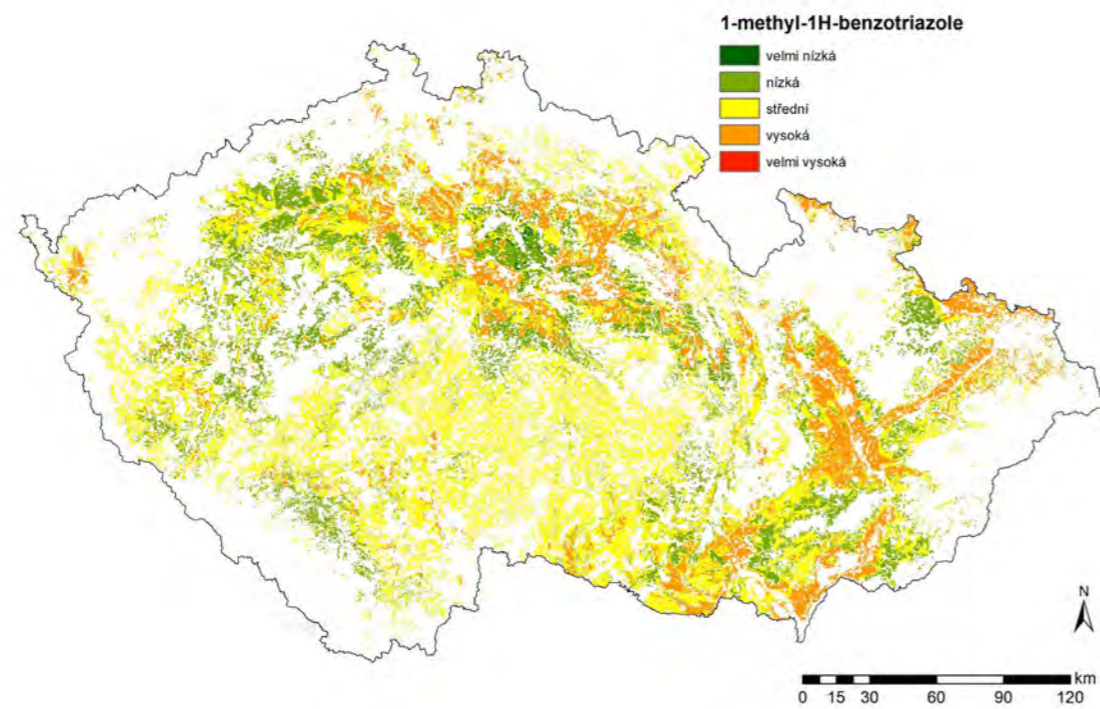
1-methyl-1H-benzotriazole



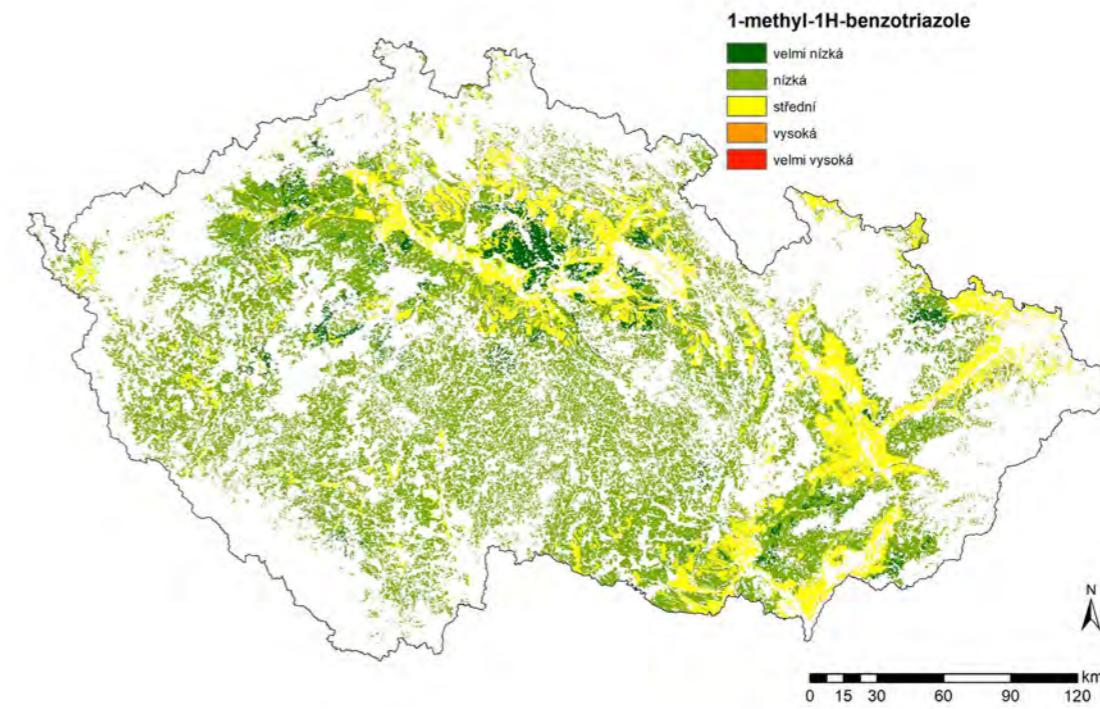
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

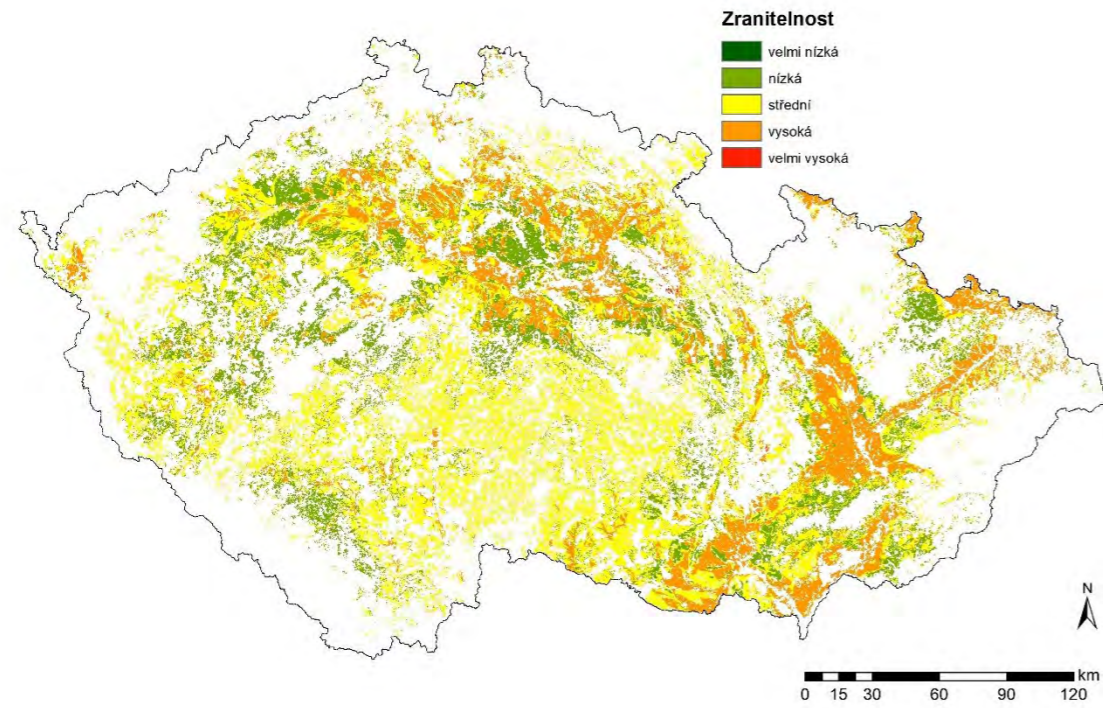


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

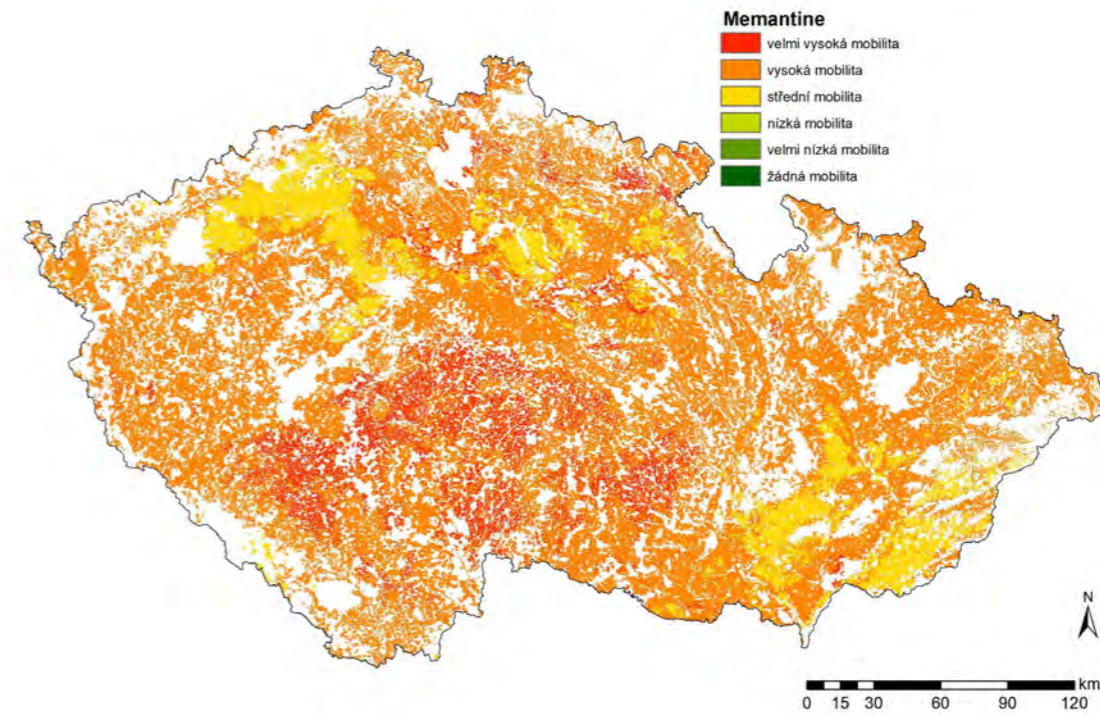


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

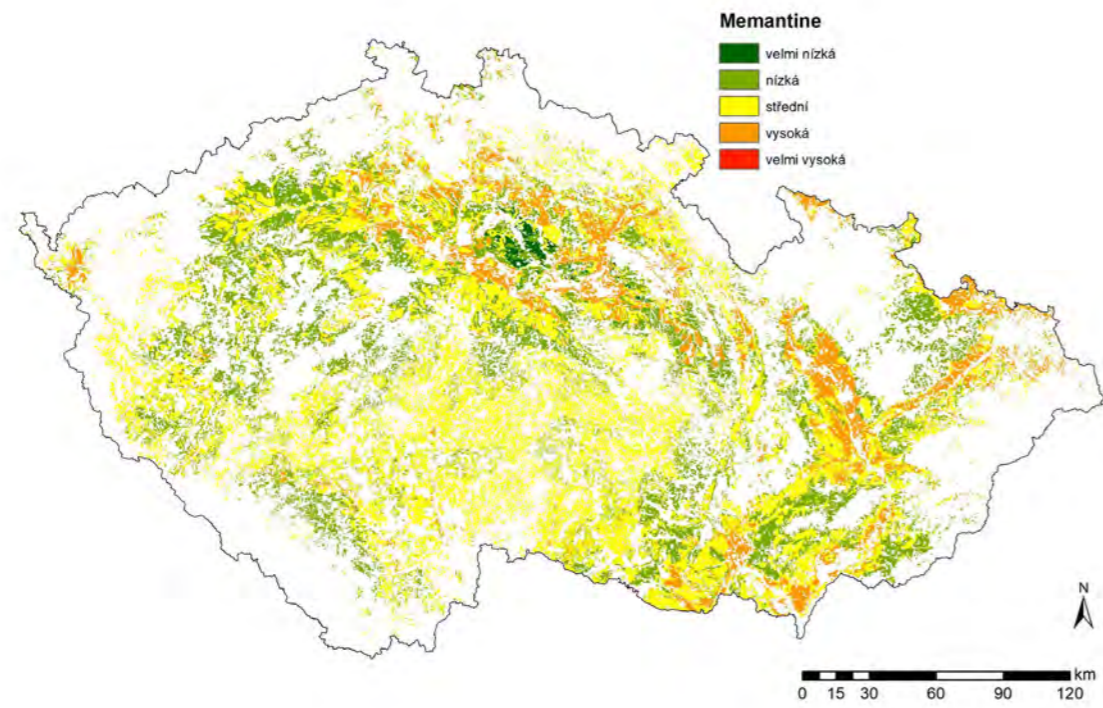
Memantine



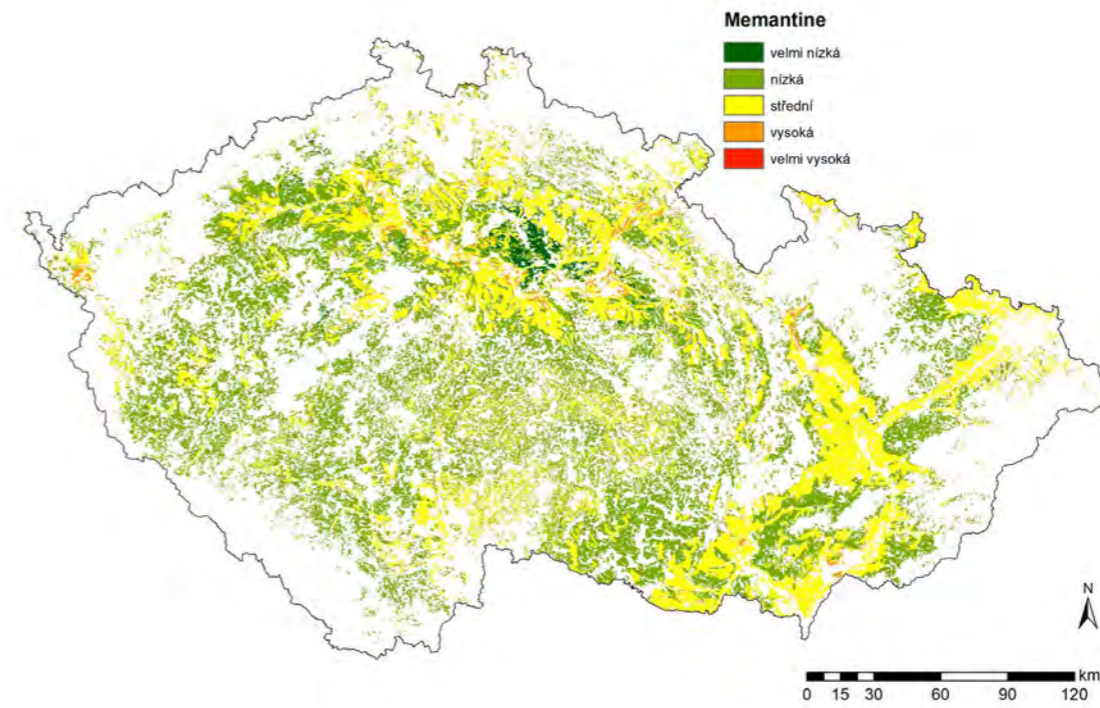
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

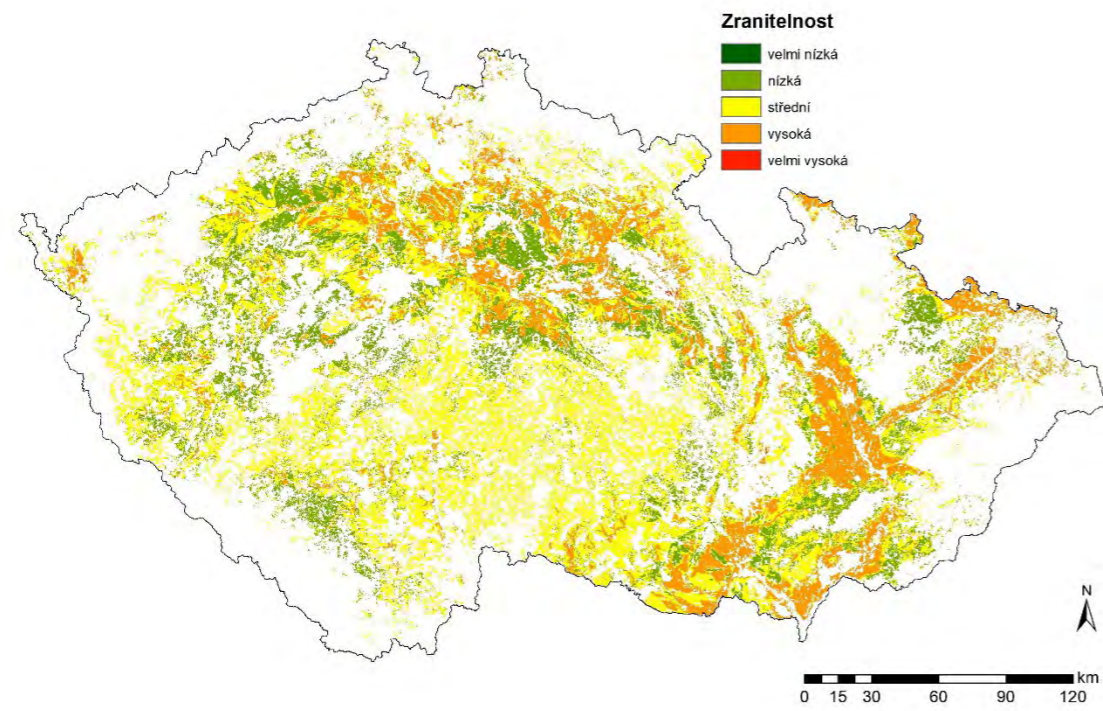


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

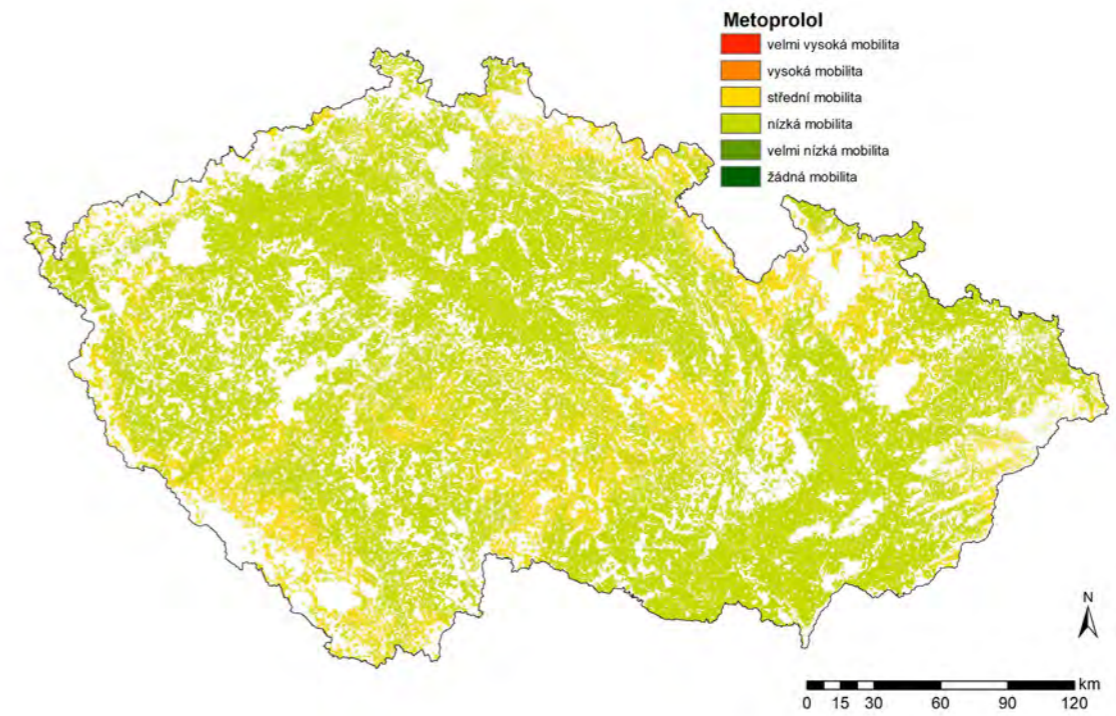


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

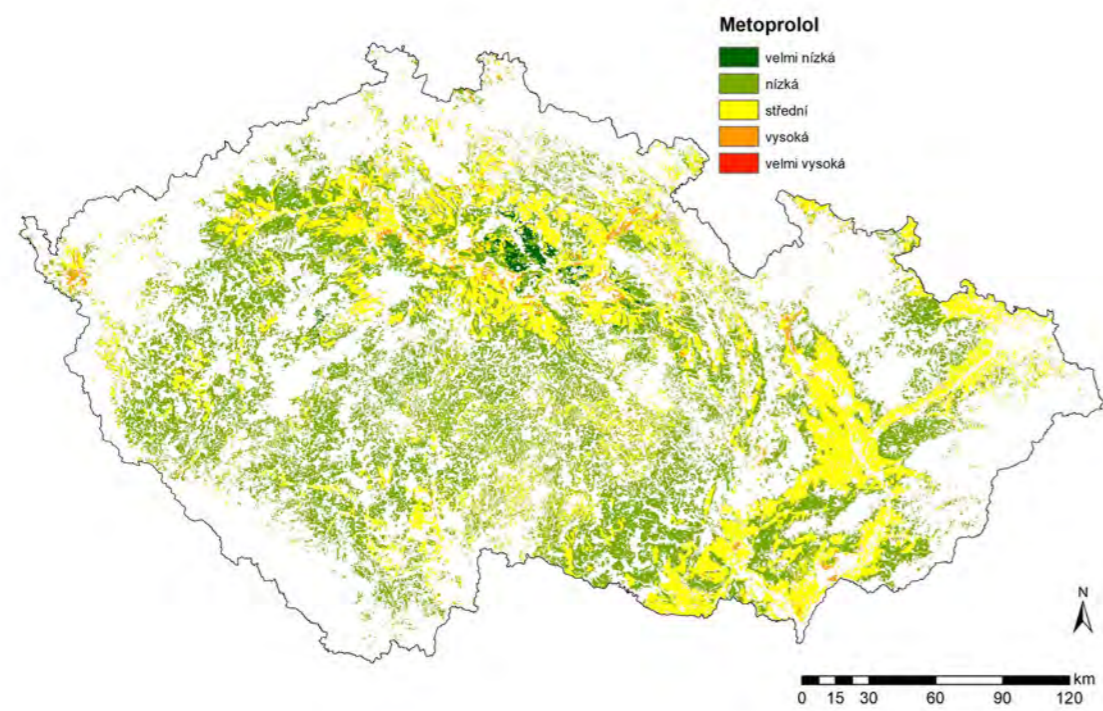
Metoprolol



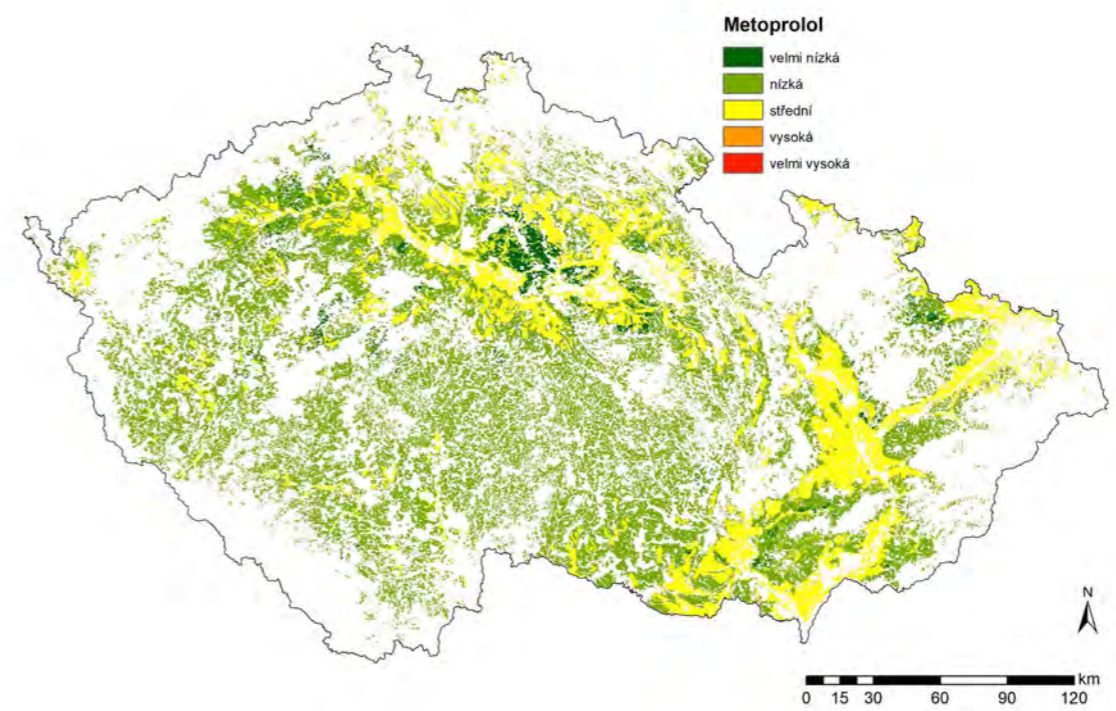
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

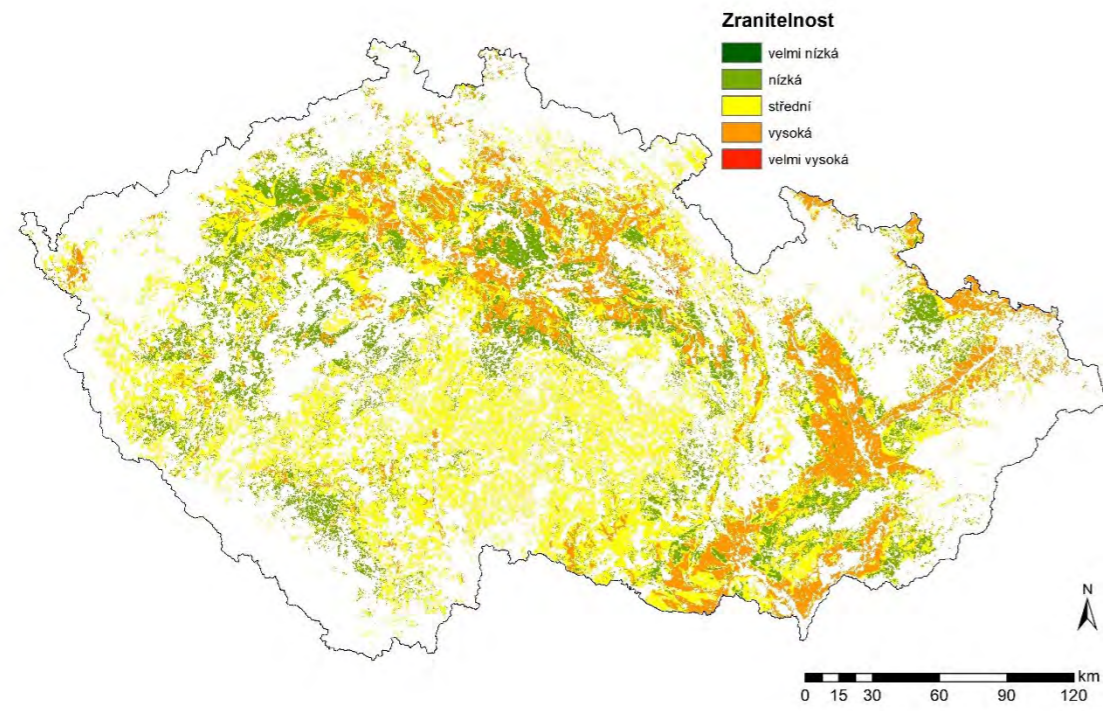


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

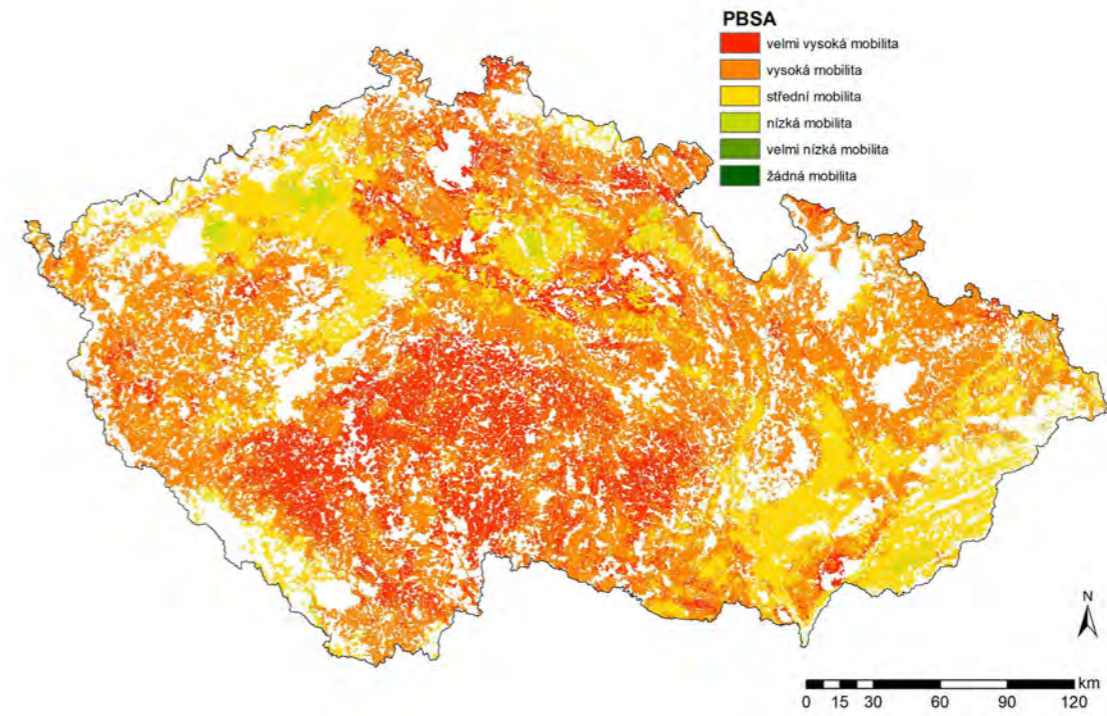


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

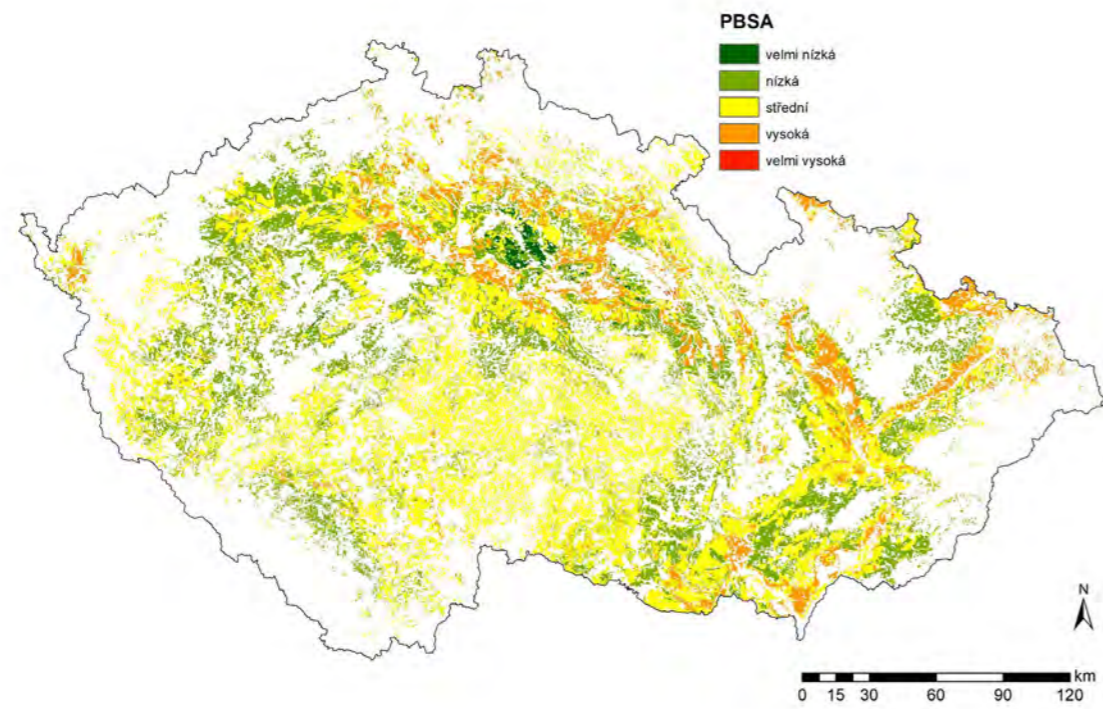
PBSA



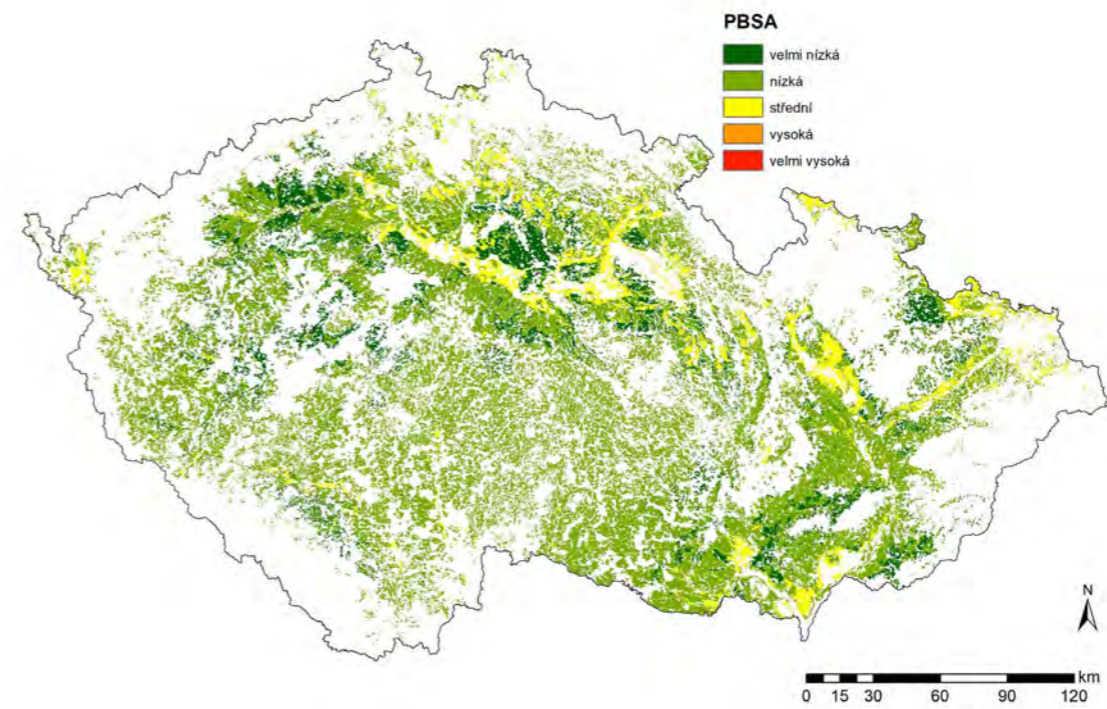
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

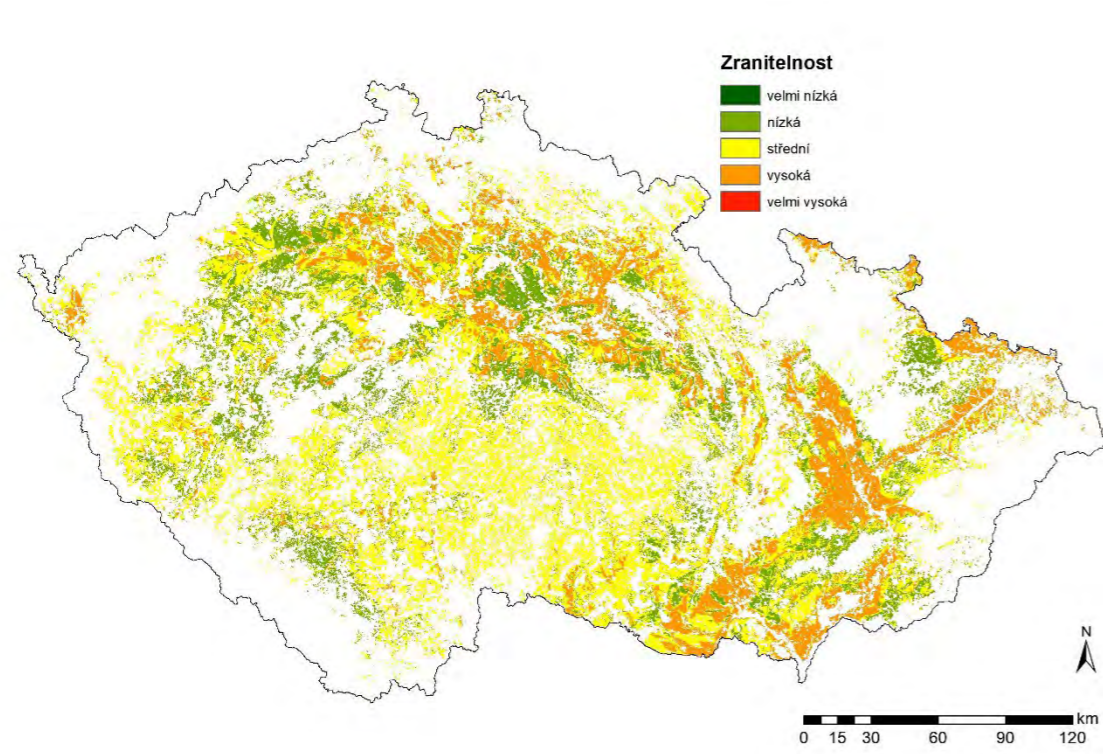


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

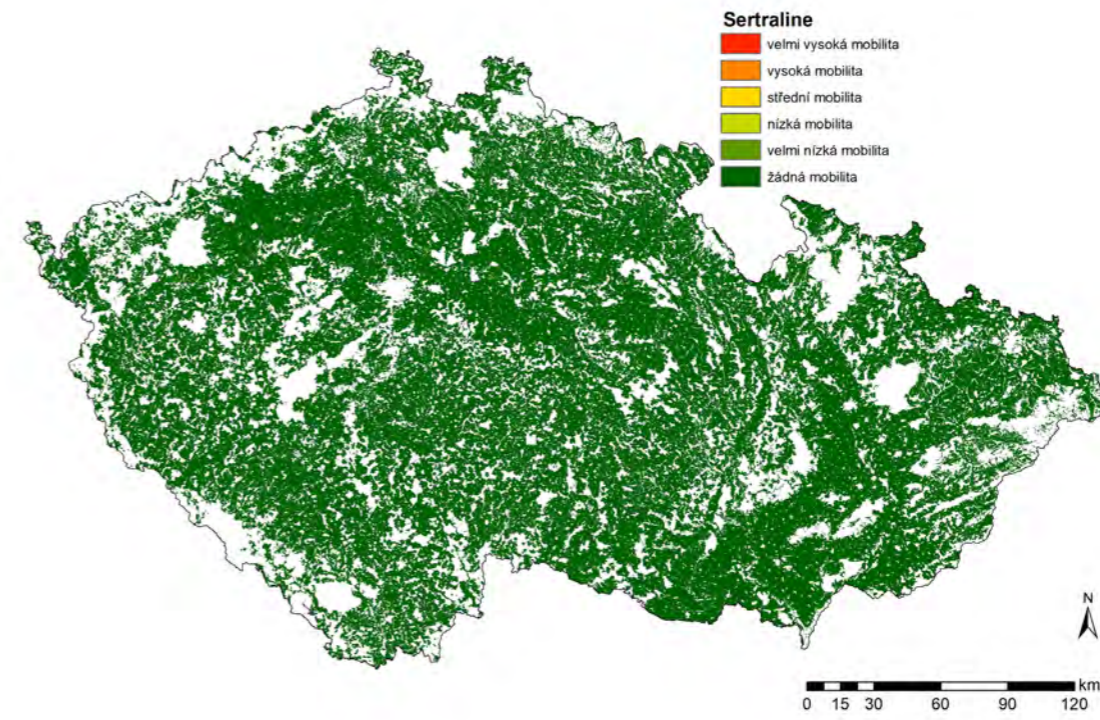


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

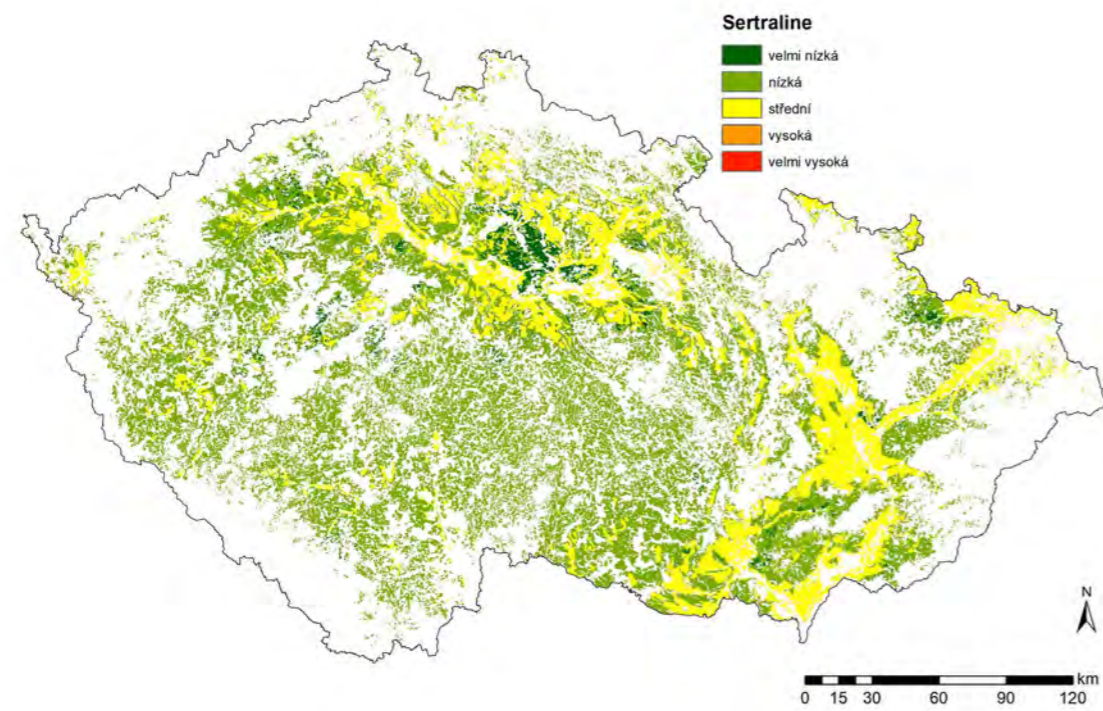
Sertraline



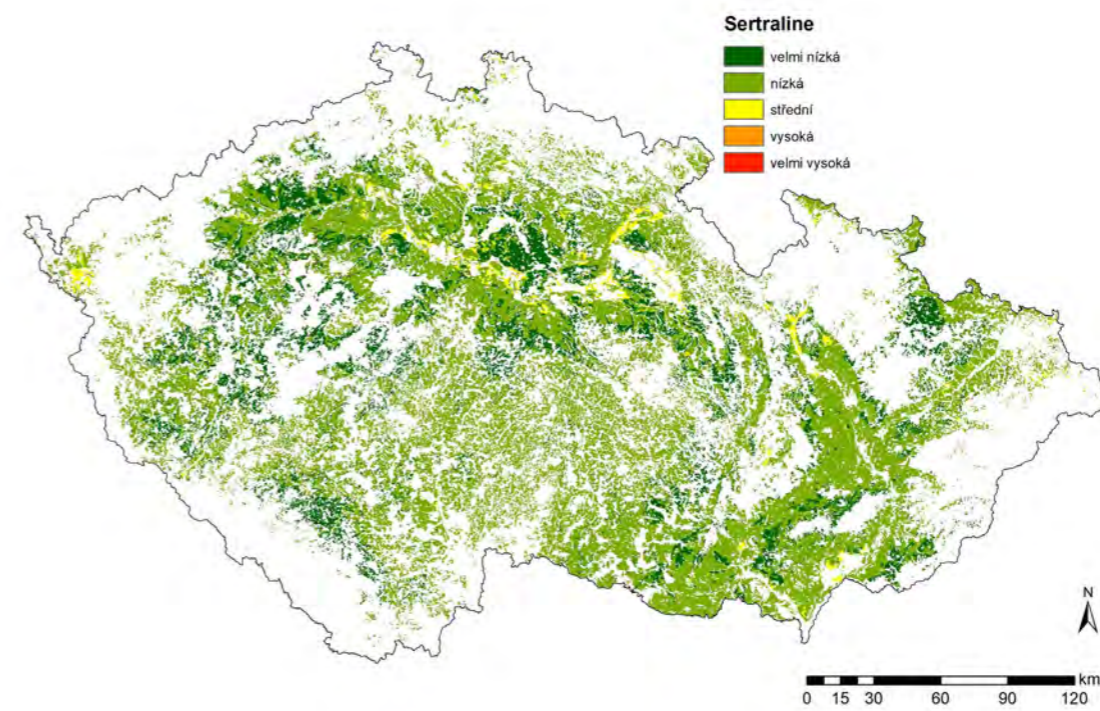
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_K)

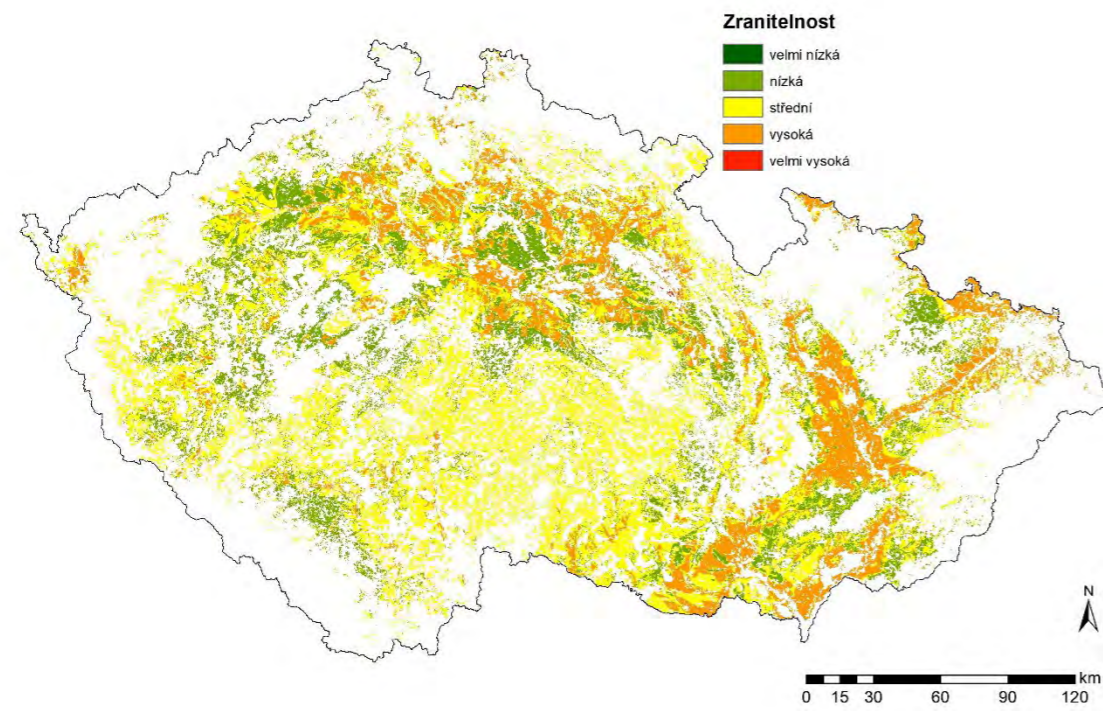


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

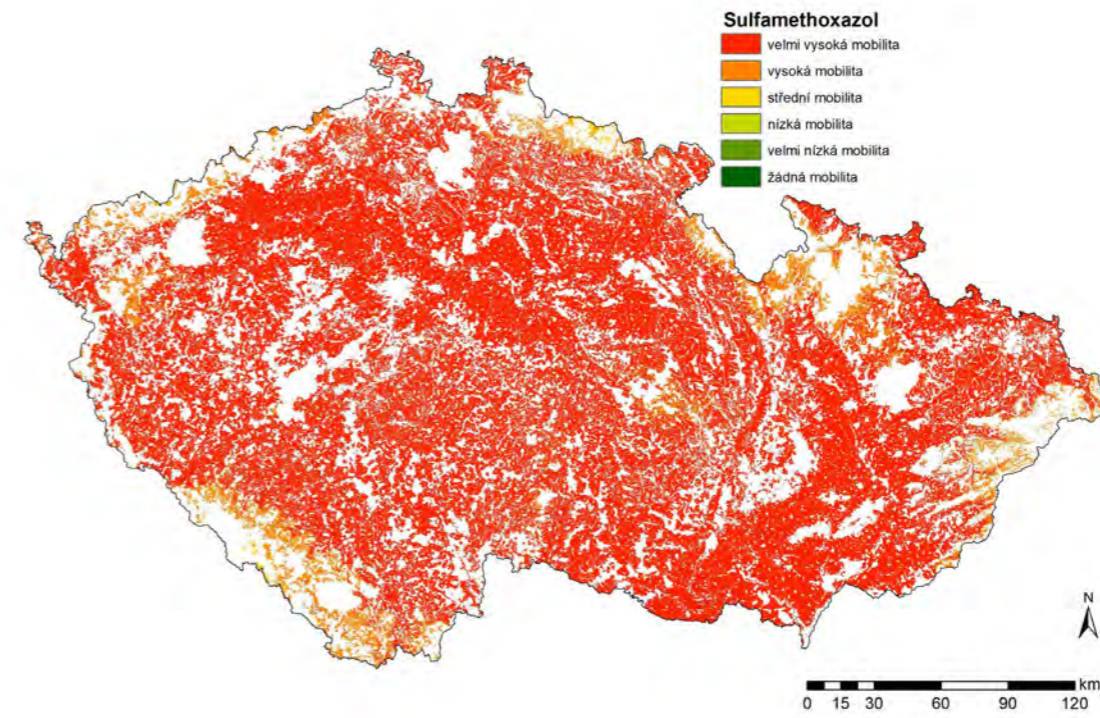


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

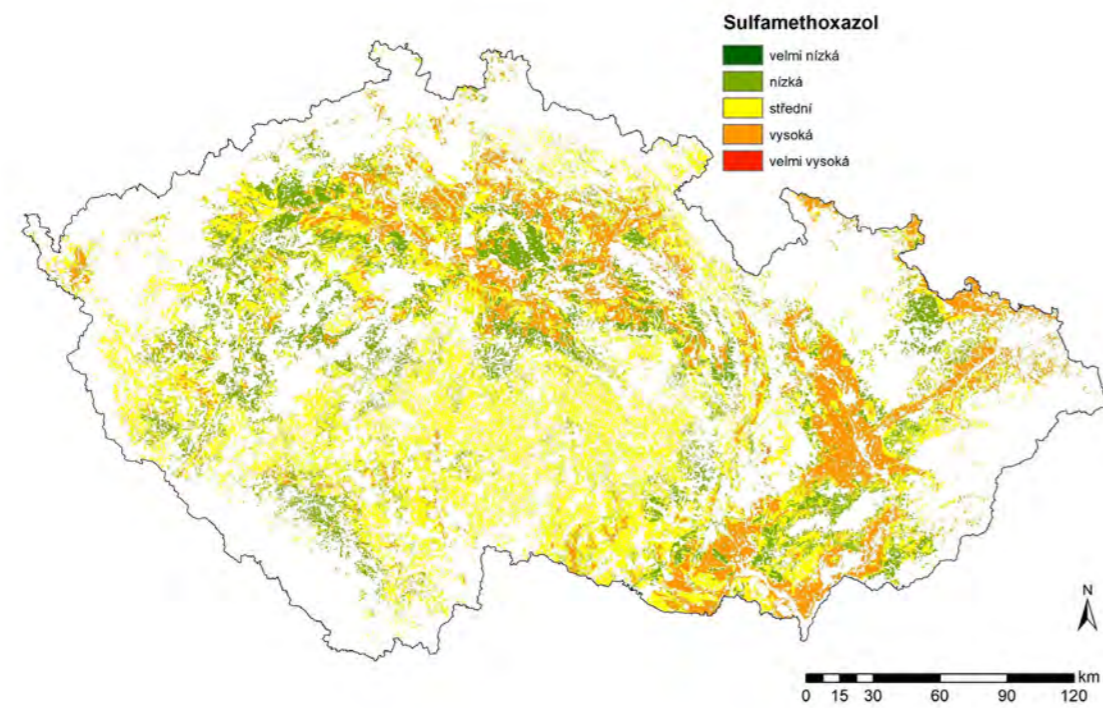
Sulfamethoxazol



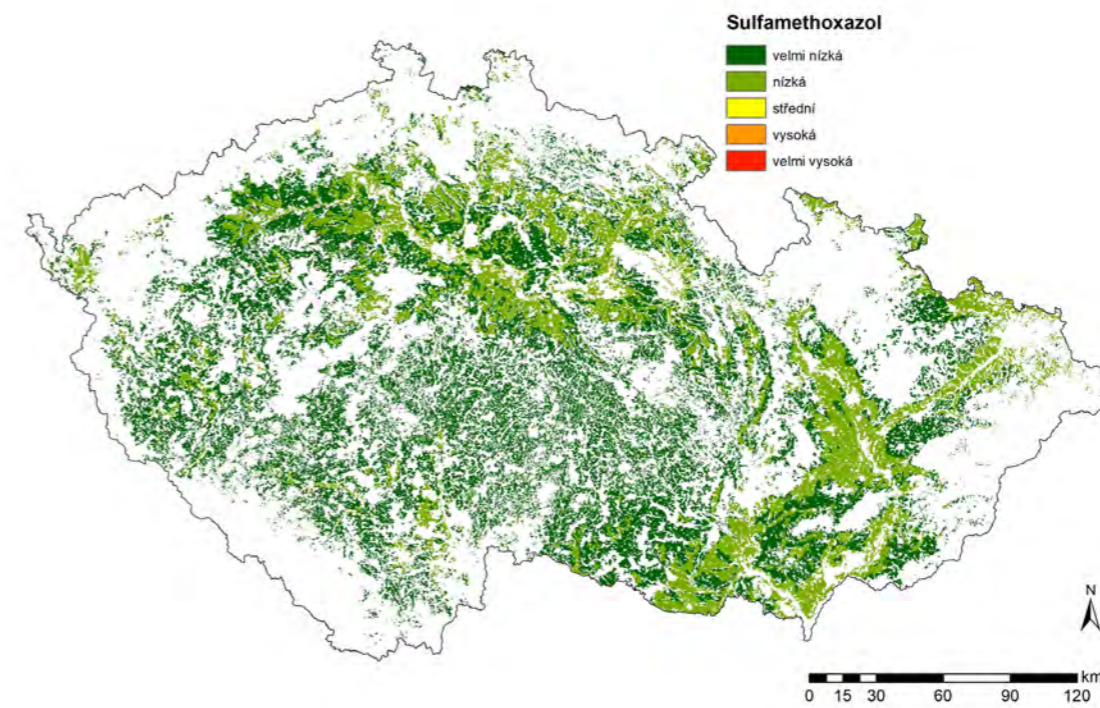
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

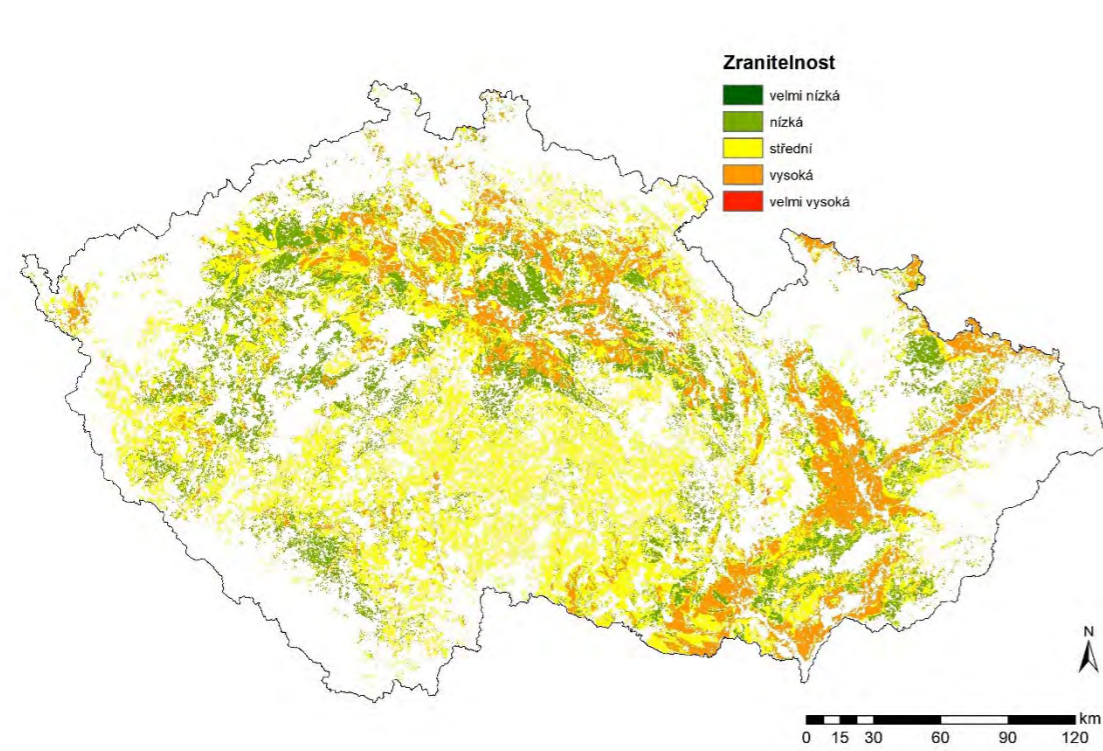


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

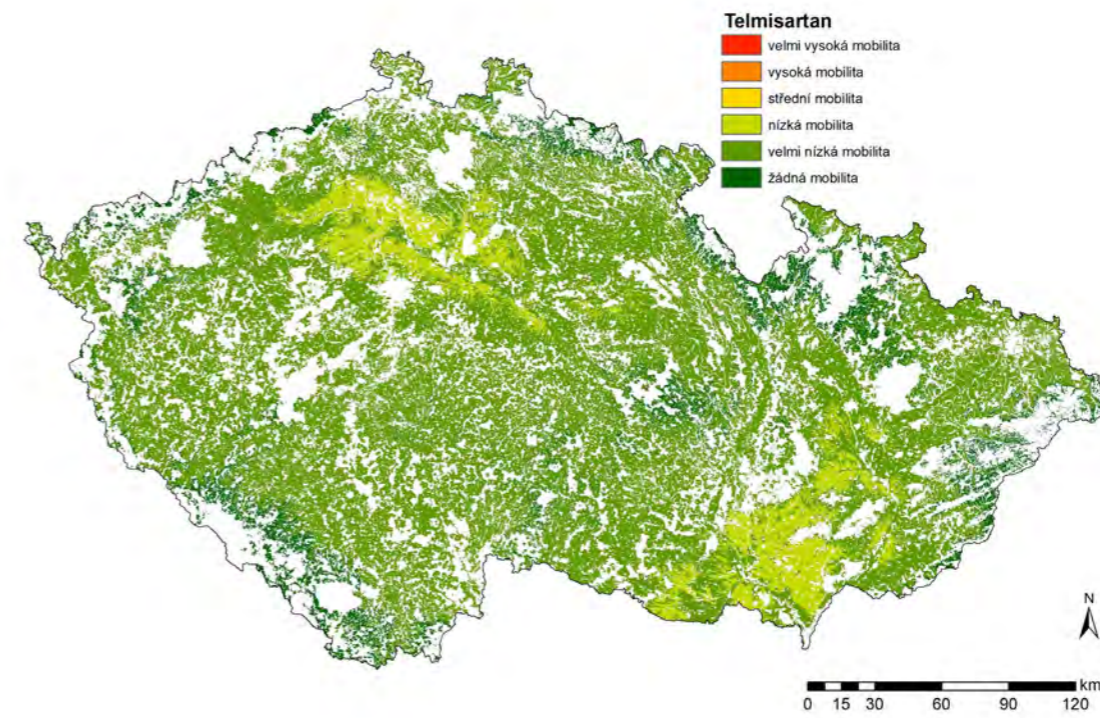


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

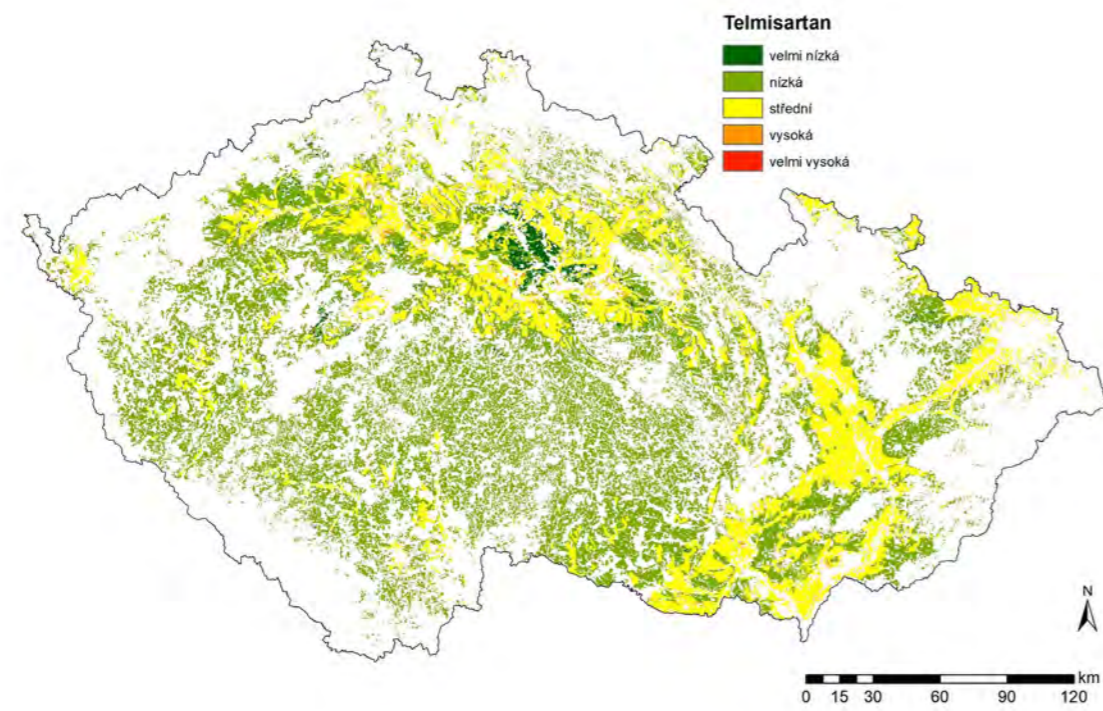
Telmisartan



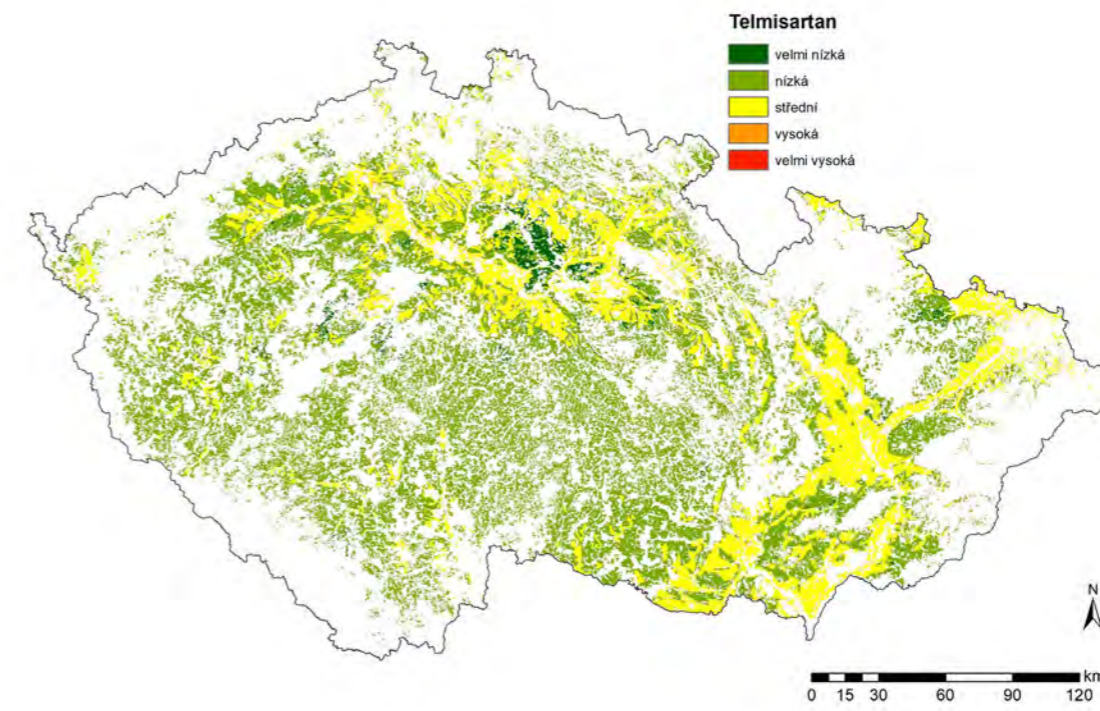
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

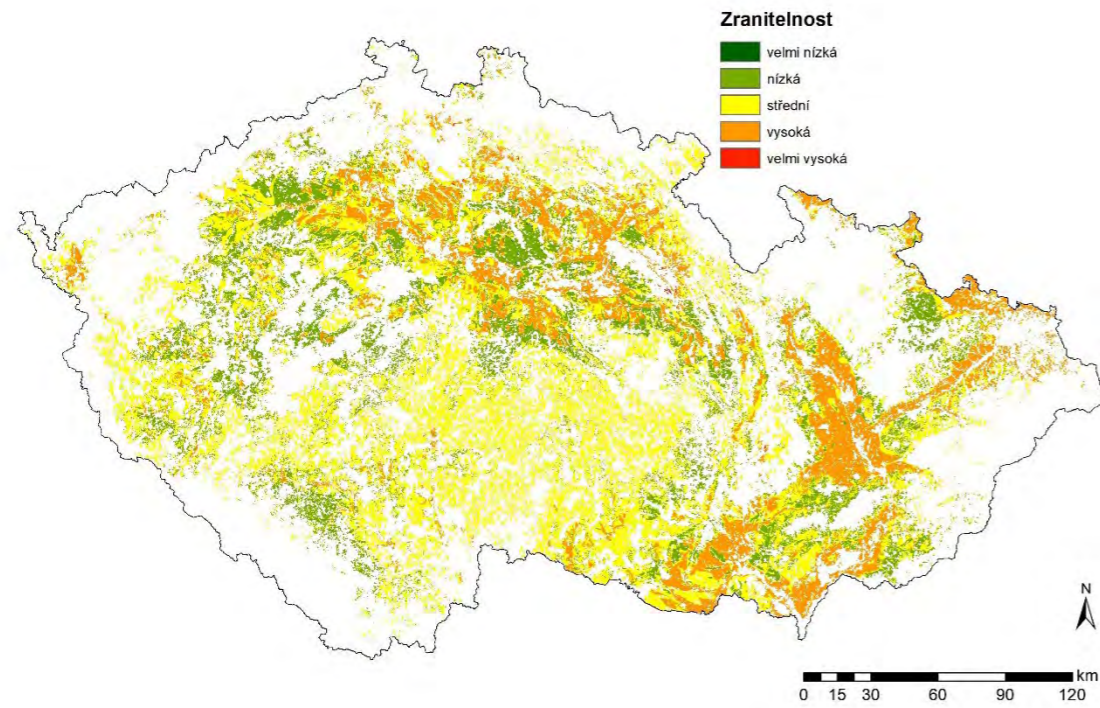


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

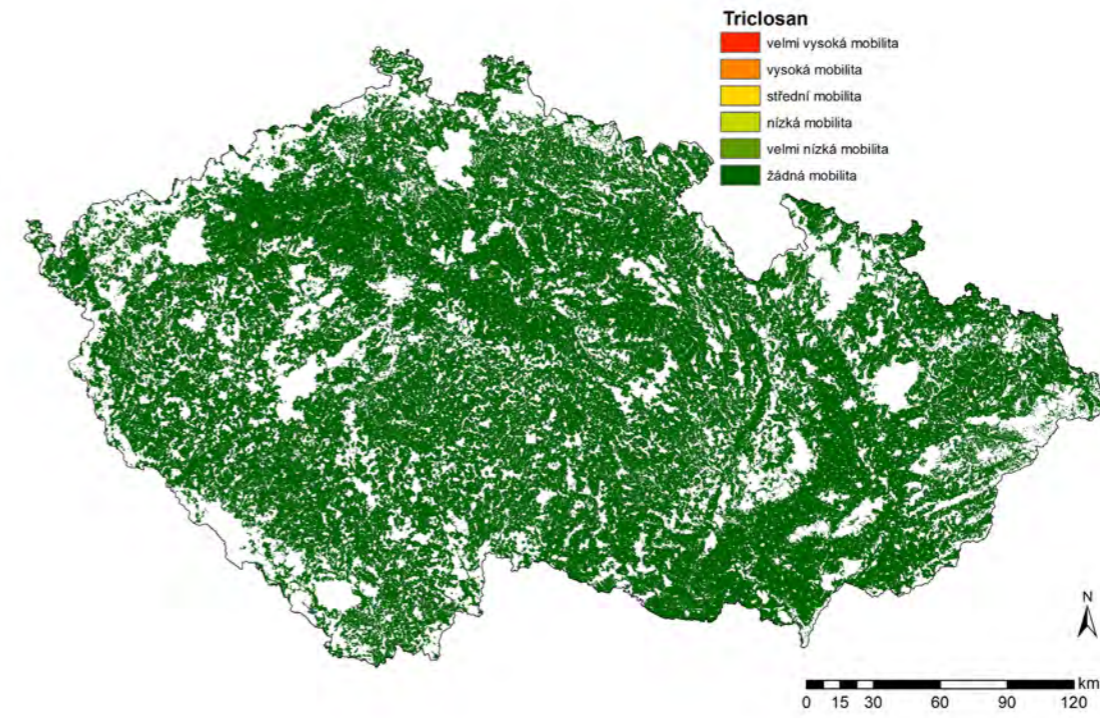


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

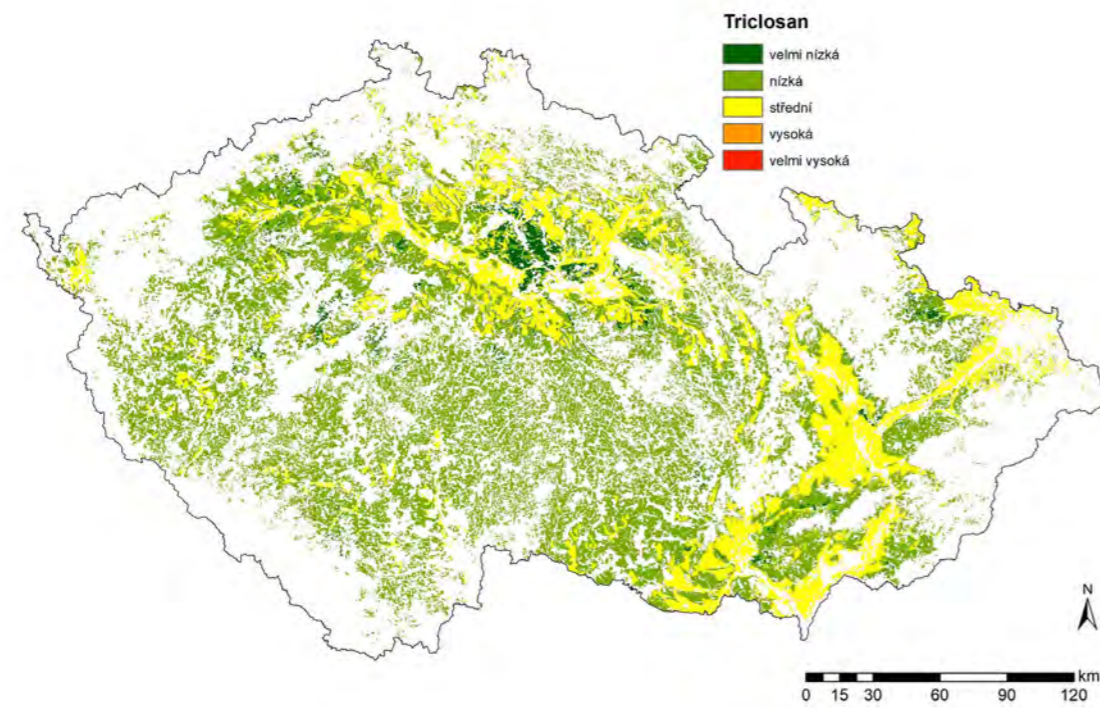
Triclosan



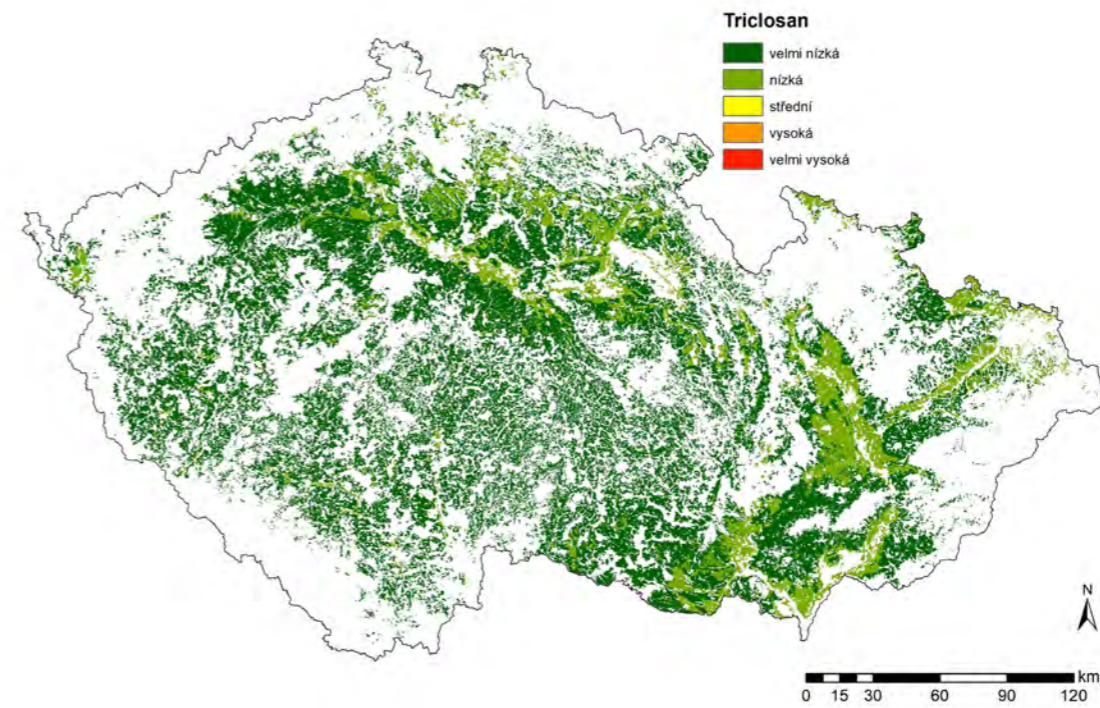
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

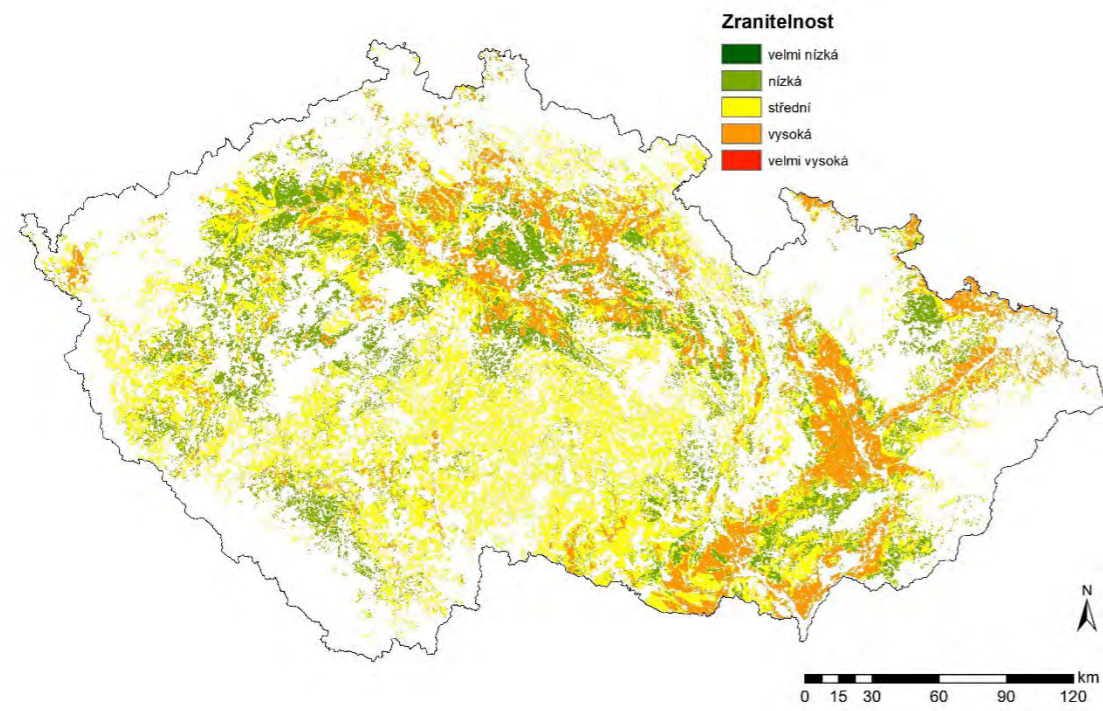


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

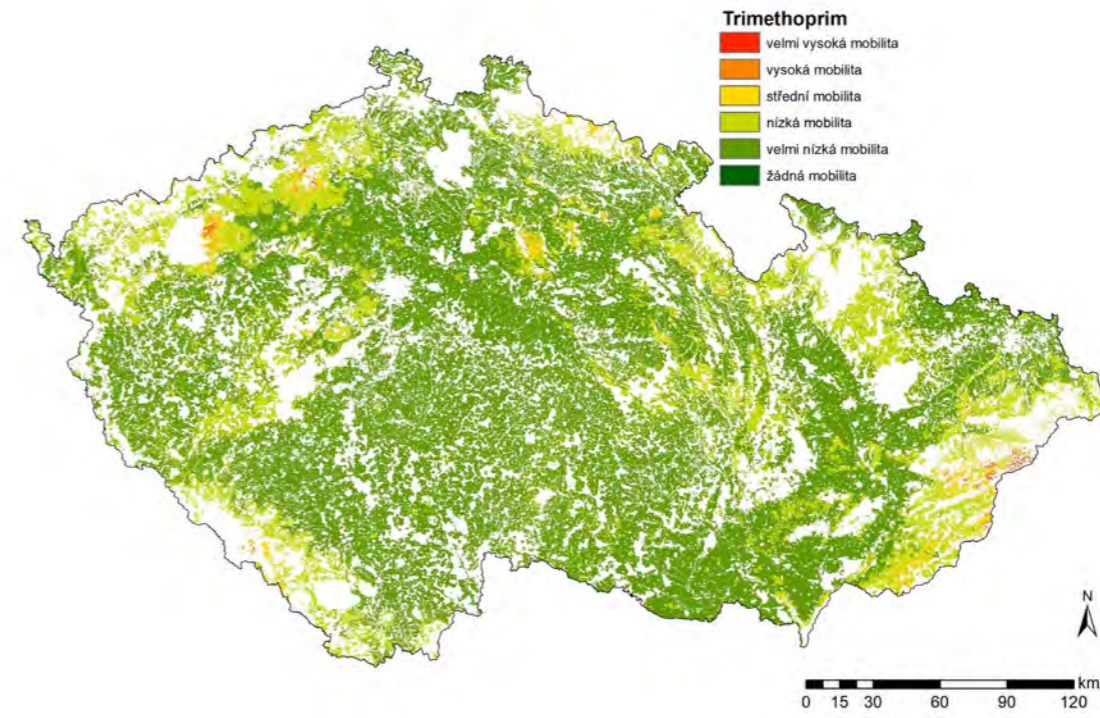


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

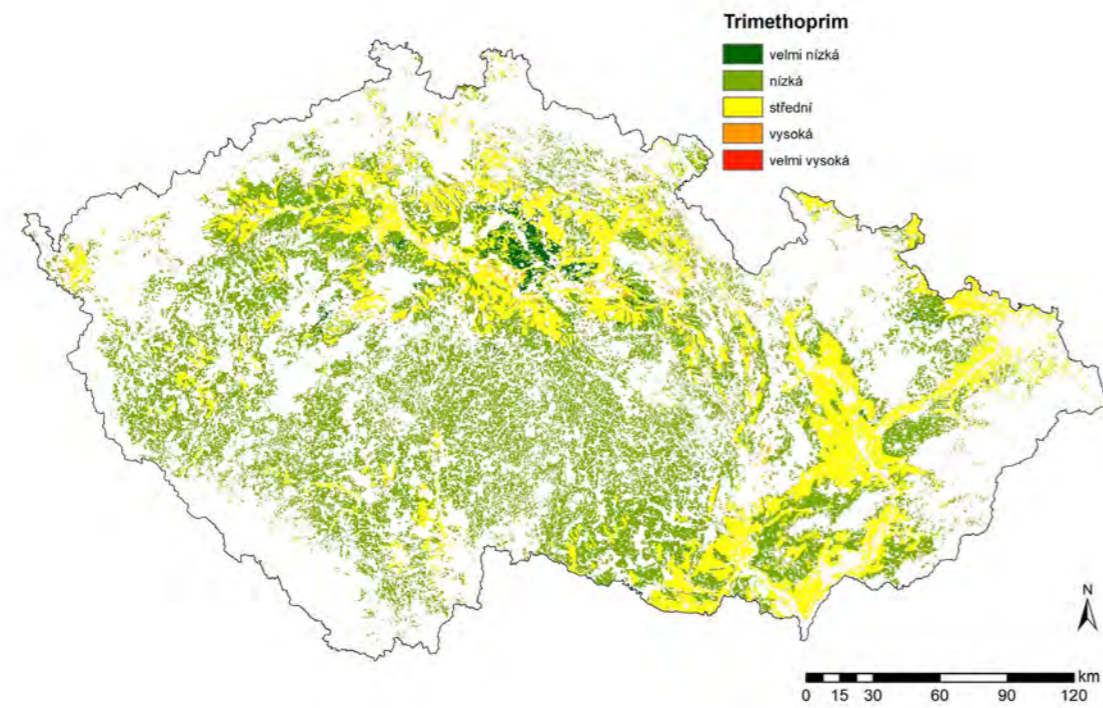
Trimethoprim



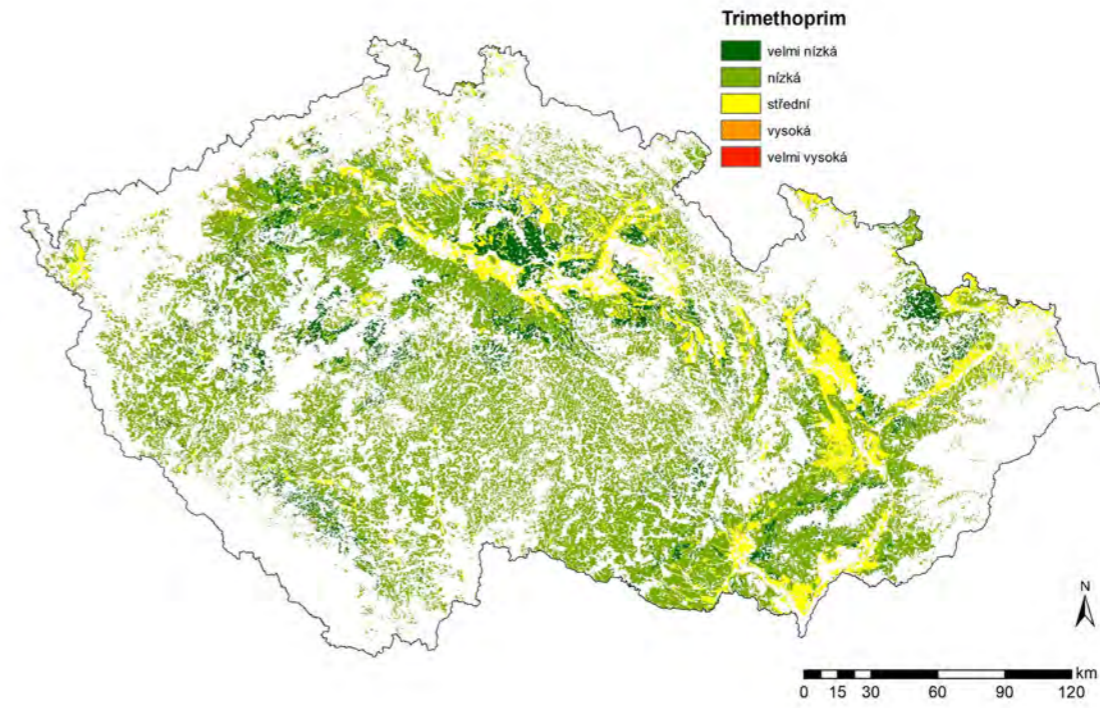
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

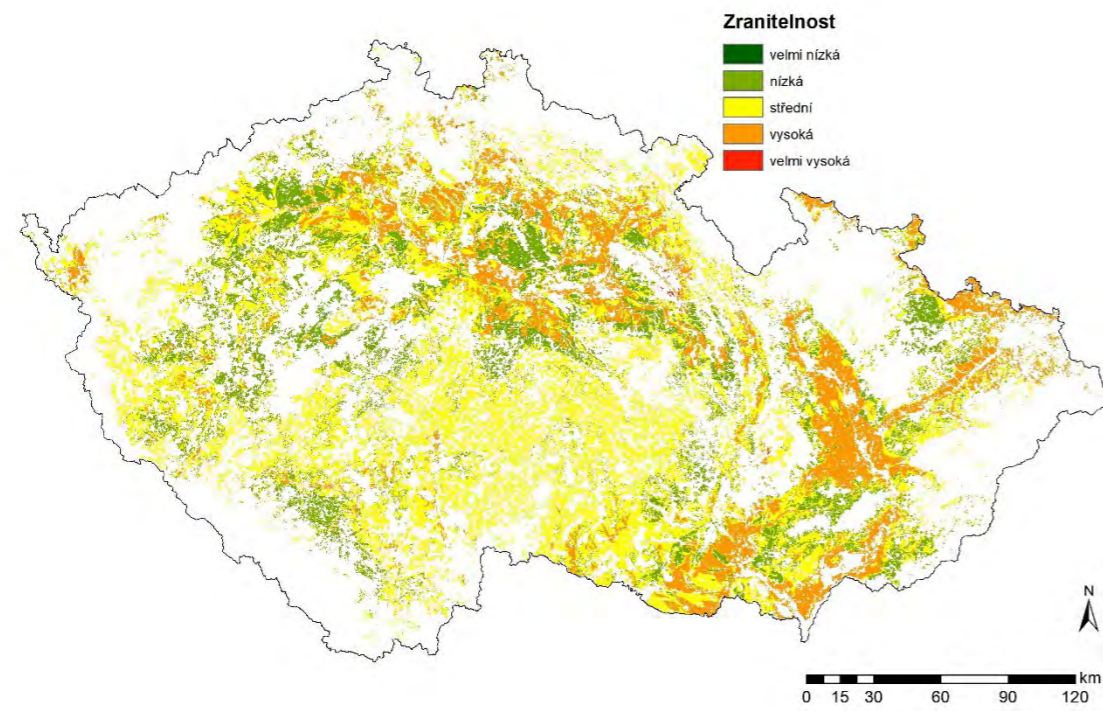


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

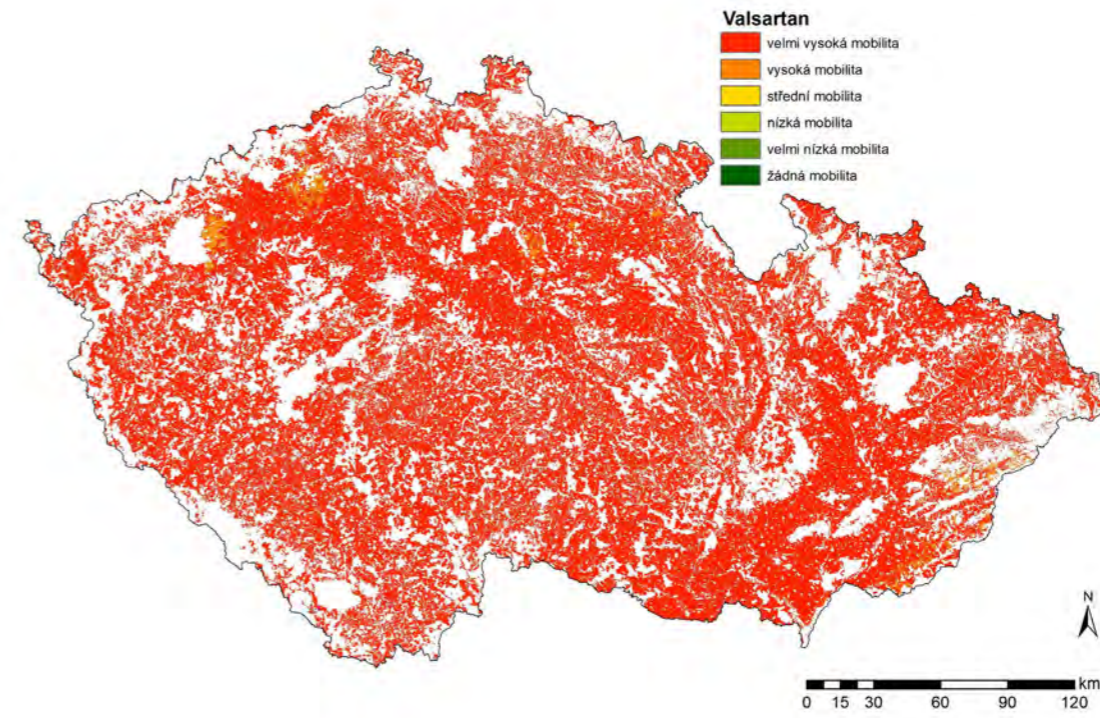


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

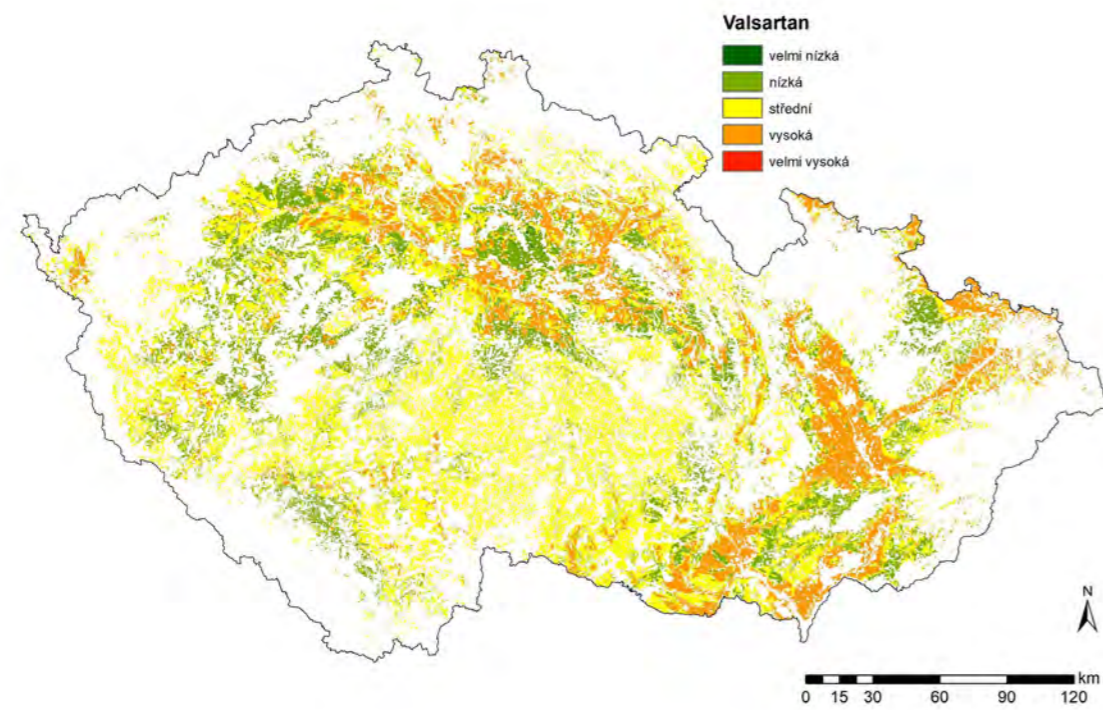
Valsartan



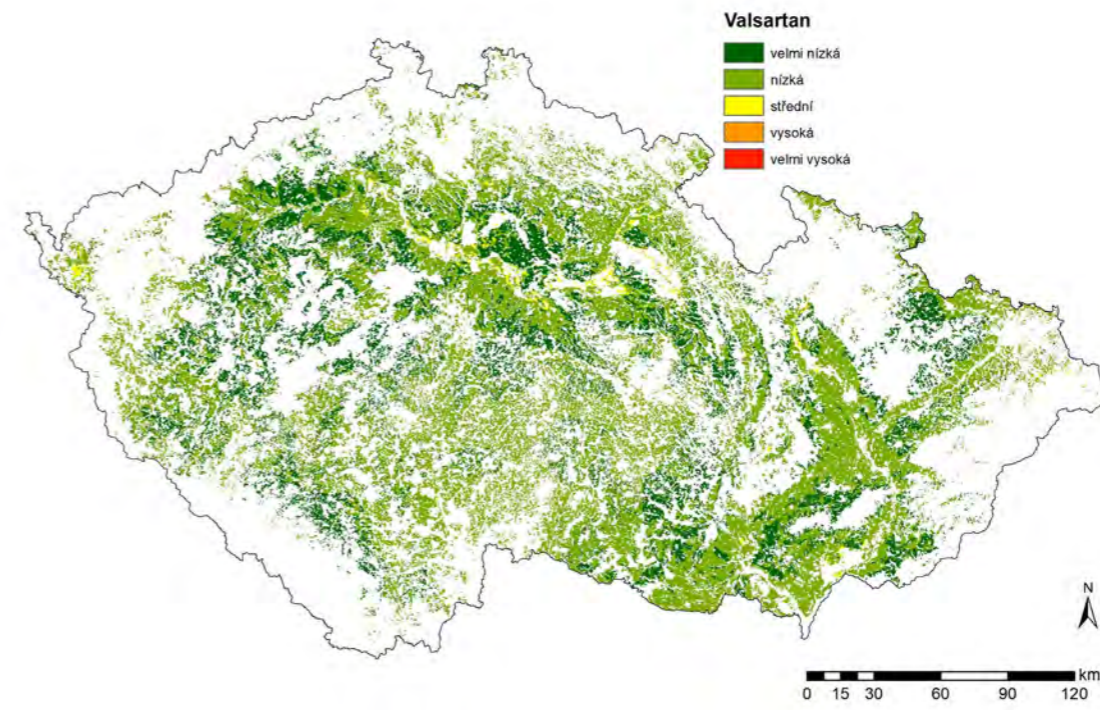
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)

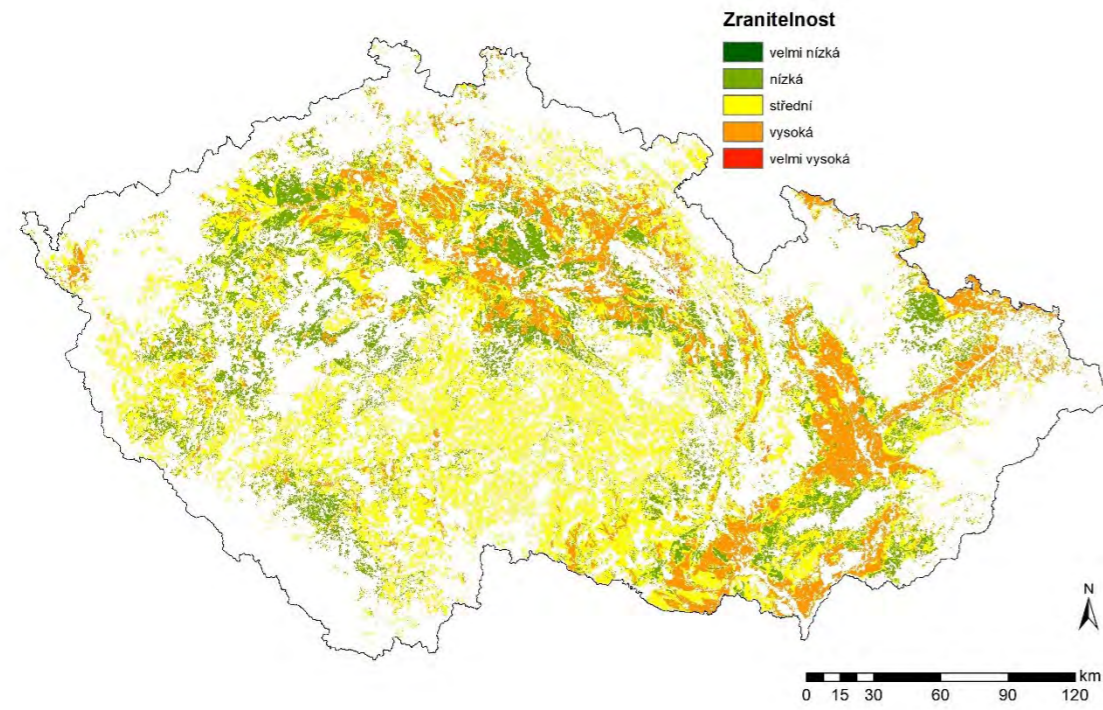


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})

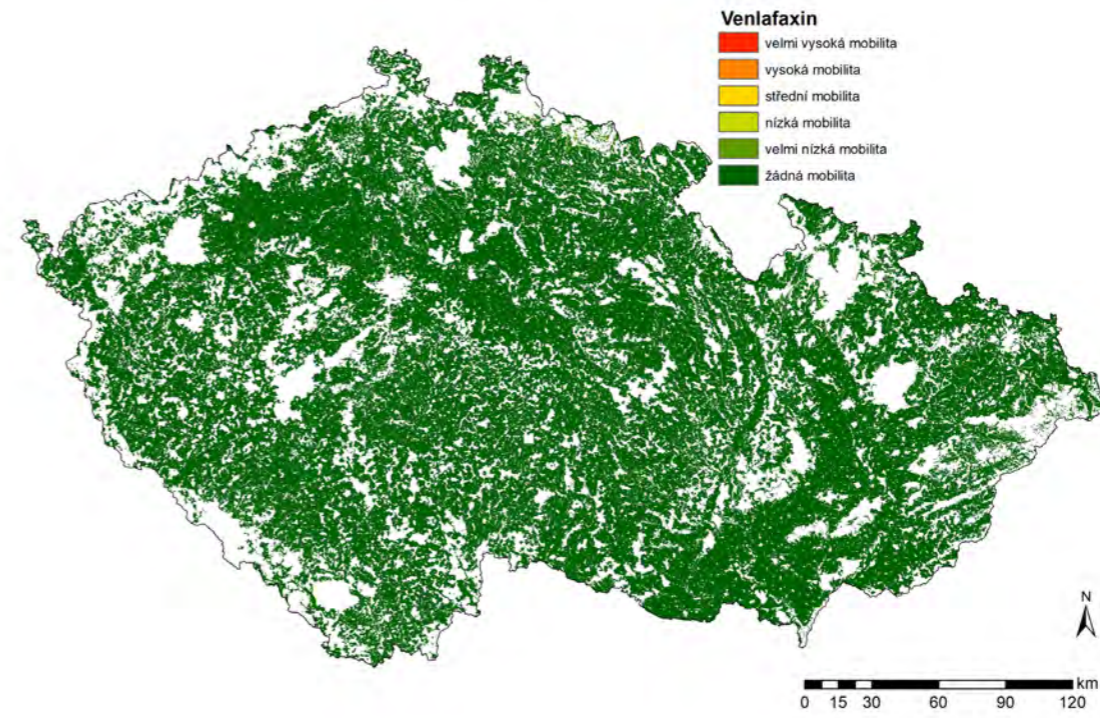


Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

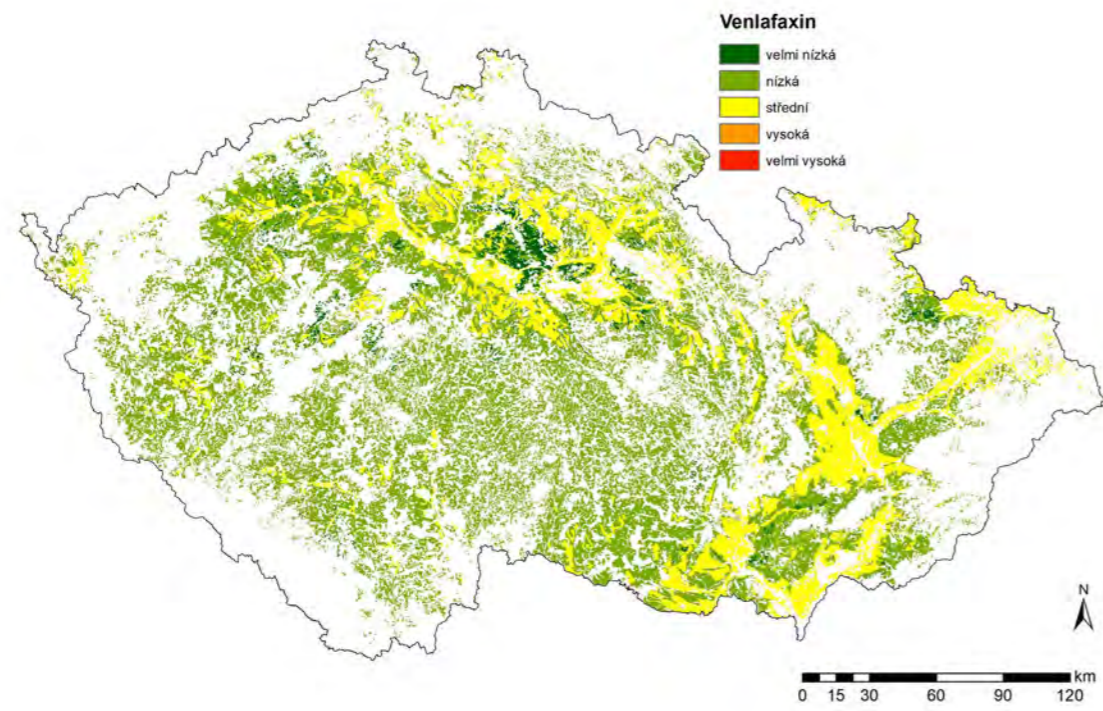
Venlafaxin



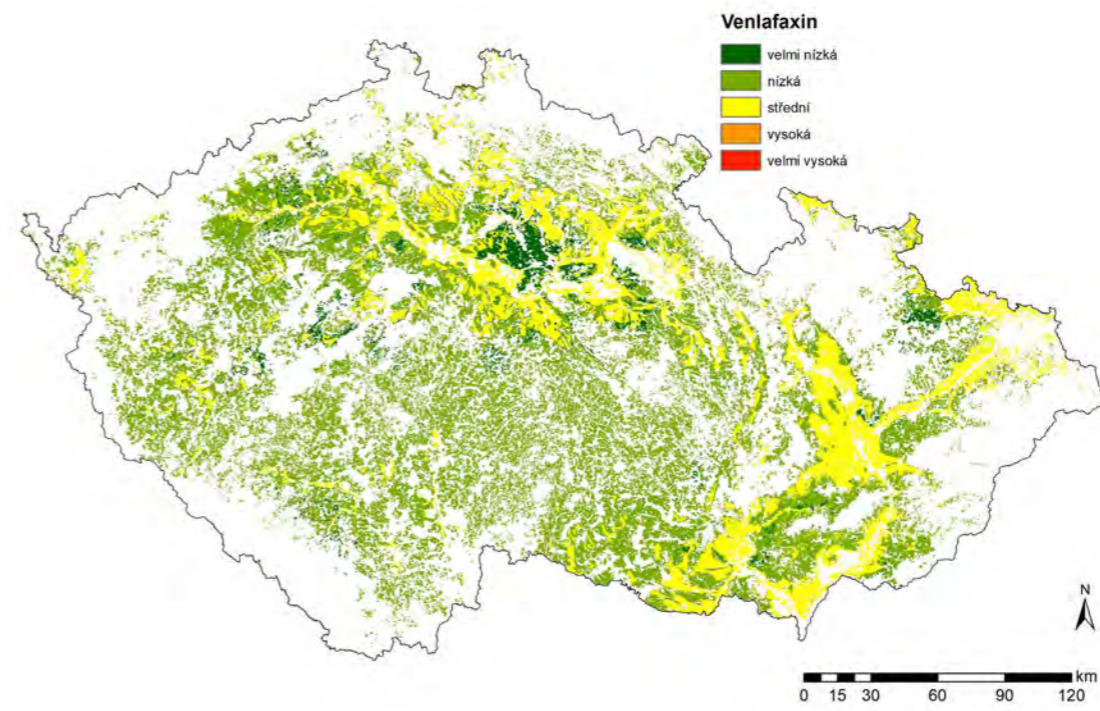
Obecná zranitelnost podzemních vod ($I_{DRASTIC}$)



Mobilita látky v půdách (I_k)



Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility v půdách (I_{spec_K})



Specifická zranitelnost při zahrnutí mobility a perzistence v půdách (I_{spec})

**Mapy specifické zranitelnosti podzemních vod vybranými organickými mikropolutanty
původem z odpadních vod a kalů**

Vydal Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, Praha 4, 143 06
Praha 2023, 1.vydání, 46 stran

ISBN 978-80-7653-065-2 (pdf)

Publikace neprošla jazykovou úpravou. Za věcnou a jazykovou správnost díla odpovídají autoři. Mapy jsou poskytovány bezplatně.