

**Modelování proudění vody a transportu látek v půdě**

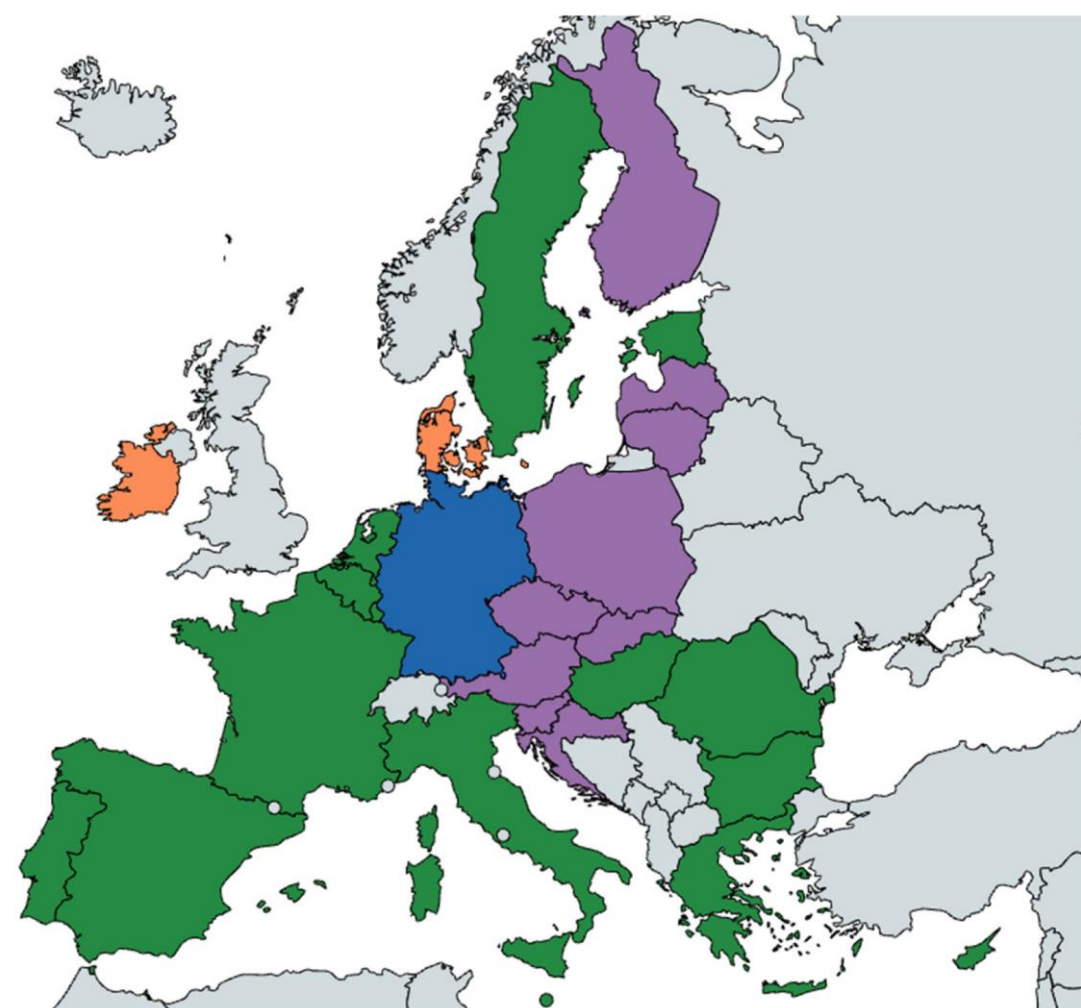
**Rizika spojená s využitím vyčištěné odpadní  
vody a kalů z ČOV zemědělství**

**Kodešová R.**

**Česká zemědělská univerzita v Praze, [kodesova@af.czu.cz](mailto:kodesova@af.czu.cz)**

# Využití vyčištěné odpadní vody pro závlahu

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) **2020/741** ze dne 25. května 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32020R0741>
- <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/water-reuse>
- Sustainability **2023**, 15, 12781. <https://doi.org/10.3390/su151712781>



## LEGEND

- Povolen pro závlahu v zemědělství
- Povolen s výjimkou některých oblastí
- Nepovoleno
- Není rozhodnuto
- Chybí informace

# Produkce kalů v ČOV a způsoby nakládání s kaly (t sušiny)

- Více než 70% bylo aplikována na půdu (**33% přímo 44% v kompostu**)

Rok	Produkce kalů celkem	Způsob zneškodnění kalů				
		přímá aplikace a rekultivace	kompostování	skládování	spalování	jinak
2015	172 997	63 061	67 065	6 513	2 167	34 191
2016	173 709	62 551	65 163	10 183	4 814	30 998
2017	178 077	75 451	60 930	11 809	4 736	25 151
2018	202 358	88 883	64 515	17 728	19 440	11 792
2019	196 967	90 663	63 462	16 869	15 206	10 767
2020	<b>192 393</b>	<b>63 064</b>	<b>84 747</b>	15 225	21 330	8 027

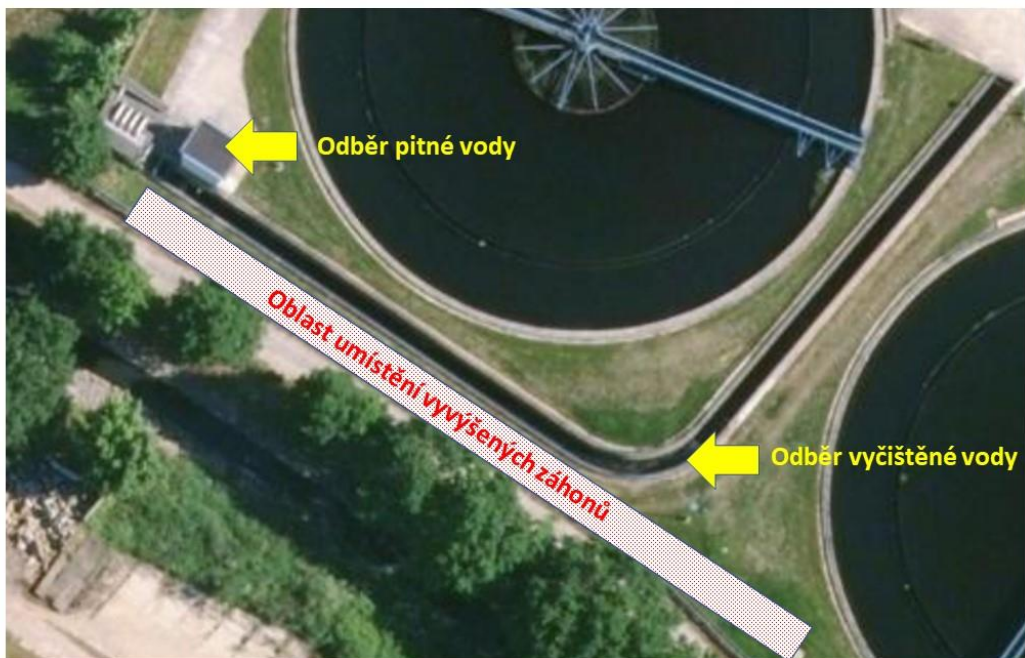
<https://www.czso.cz/csu/czso/3-zivotni-prostredi-6v2cbi3kl0>

# Organické mikropolutanty

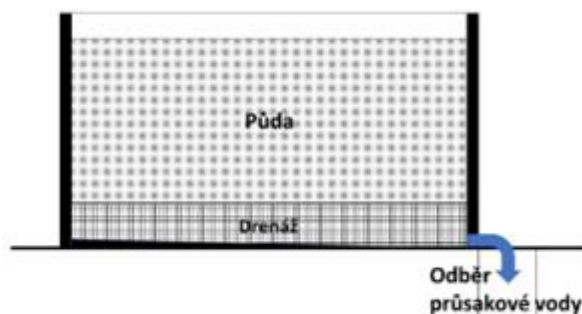
- Vyčištěné odpadní vody a kaly z ČOV obsahují řadu organických mikropolutantů
  - léčiva
  - hormony
  - detergenty
  - produkty osobní péče
  - aditiva do plastů
  - antikorozy
  - pesticidy
- Existují parciální informace o jejich chování v půdách a rostlinách získané v laboratorních podmínkách
- Ilustrace komplexního chování v reálných podmínkách

# Experiment v čistírně odpadních vod v Hrdějovicích – zahájení v březnu 2021

- 9 vyvýšených záhonů 1x1.5 m, výška 0.8 m
- Závlaha vyčištěnou odpadní vodou
- Aplikace kalu z ČOV nebo kompostovaného kalu



- Koncentrace látek v
  - závlahové vodě
  - prosakující vodě
  - půdě



Monitoring klimatických dat



Kapková závlaha



Prosakující voda



# Pěstované plodiny v roce 2021 a jejich vzorkování

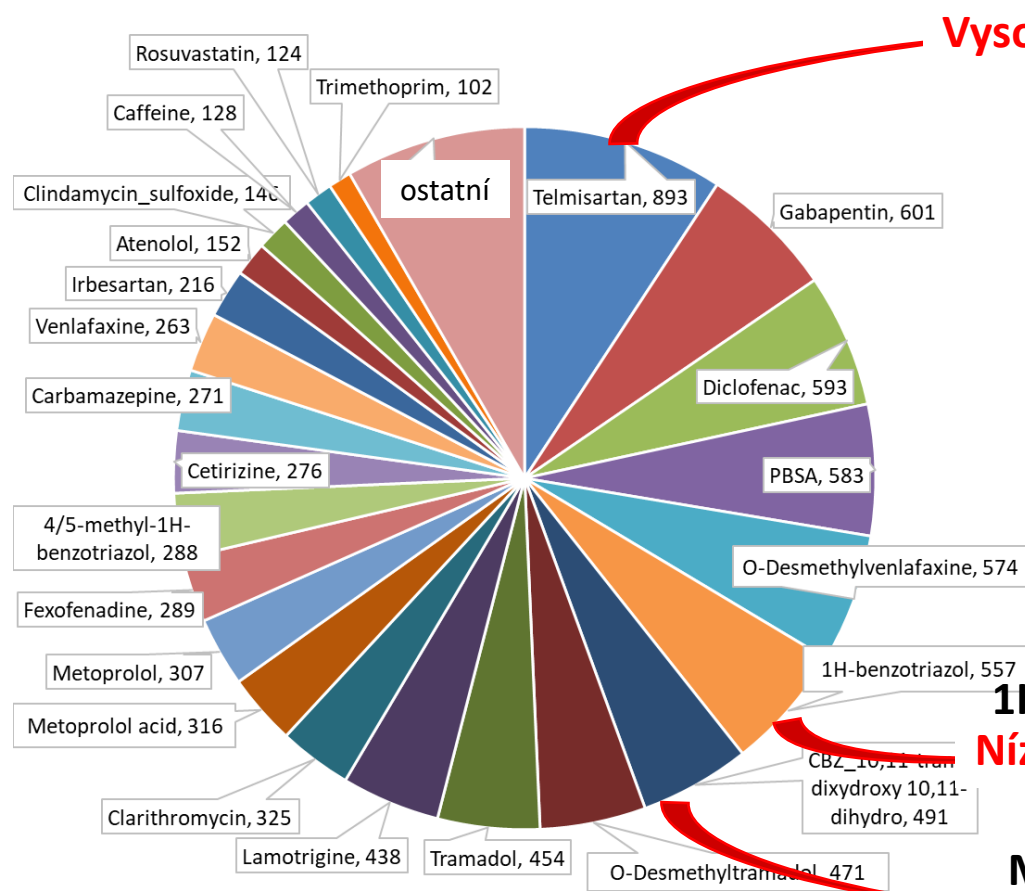


- Salát – 2 druhy
- Cibule – 2 fáze
- Mrkev
- Kukuřice
  - Vzejití
  - Siláž
  - Zrno



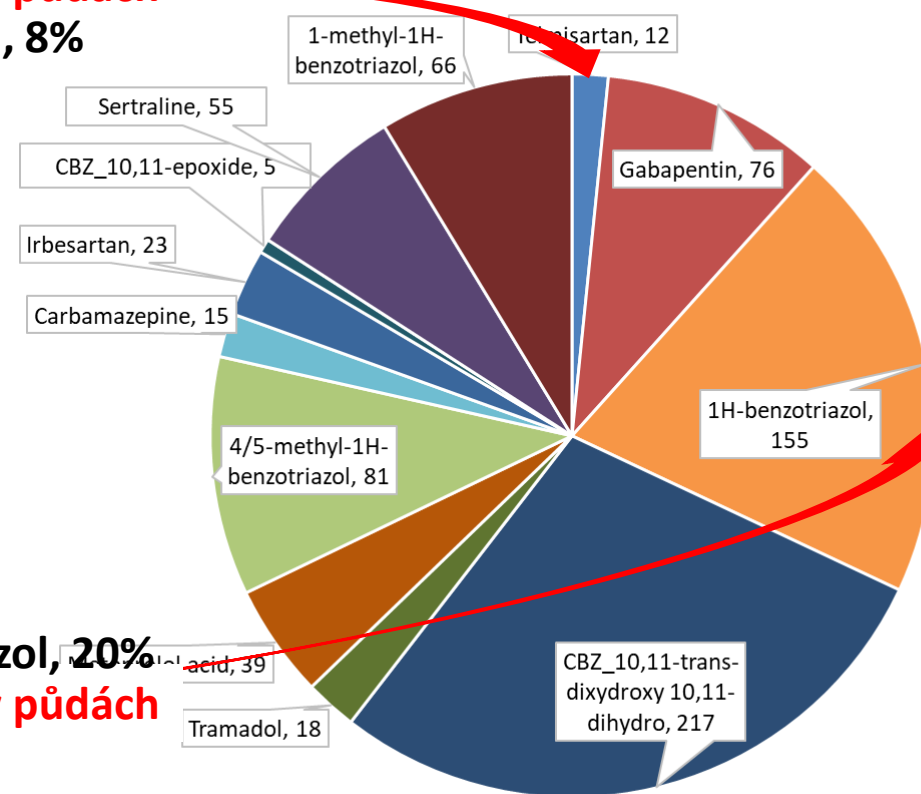
# Koncentrace ve vyčištěné odpadní vodě a vodě odtékající ze zavlažovaných záhonů – 54 ze 77 analyzovaných látek

Průměrná koncentrace v odpadní vodě (ng/L)



**Vysoká sorpce v půdách**  
Telmisartan, 8%

Průměrná koncentrace ve vodě ze záhonů (ng/L) – kambizem, zelenina

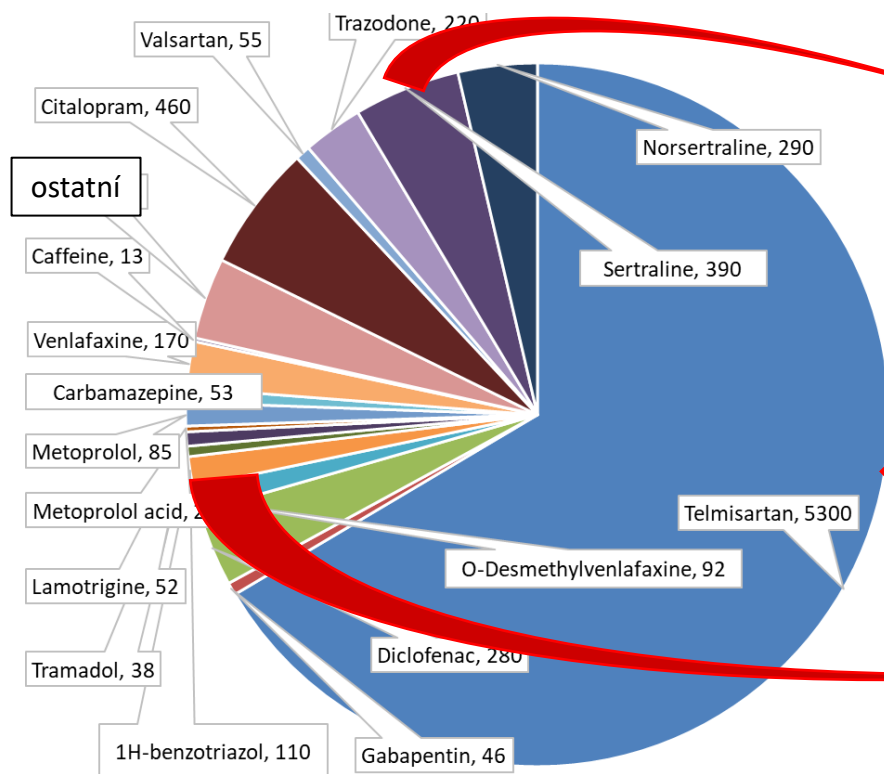


**1H-benzotriazol, 20%**  
**Nízká sorpce v půdách**

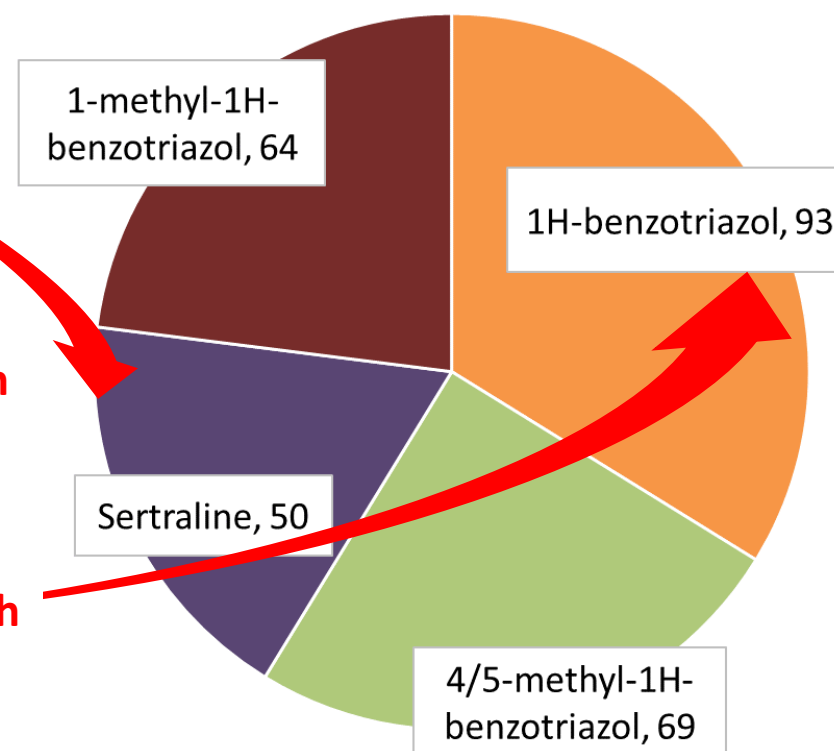
**Metabolit karbamazepinu, 30%**  
**Nízká sorpce v půdách**

# Koncentrace v kalu z ČOV a vodě odtékající ze záhonů – 33 ze 77 analyzovaných látek

Koncentrace v kalu z ČOV (ng/g)



Průměrná koncentrace ve vodě ze záhonů (ng/L) – kambizem, kal, kukuřice



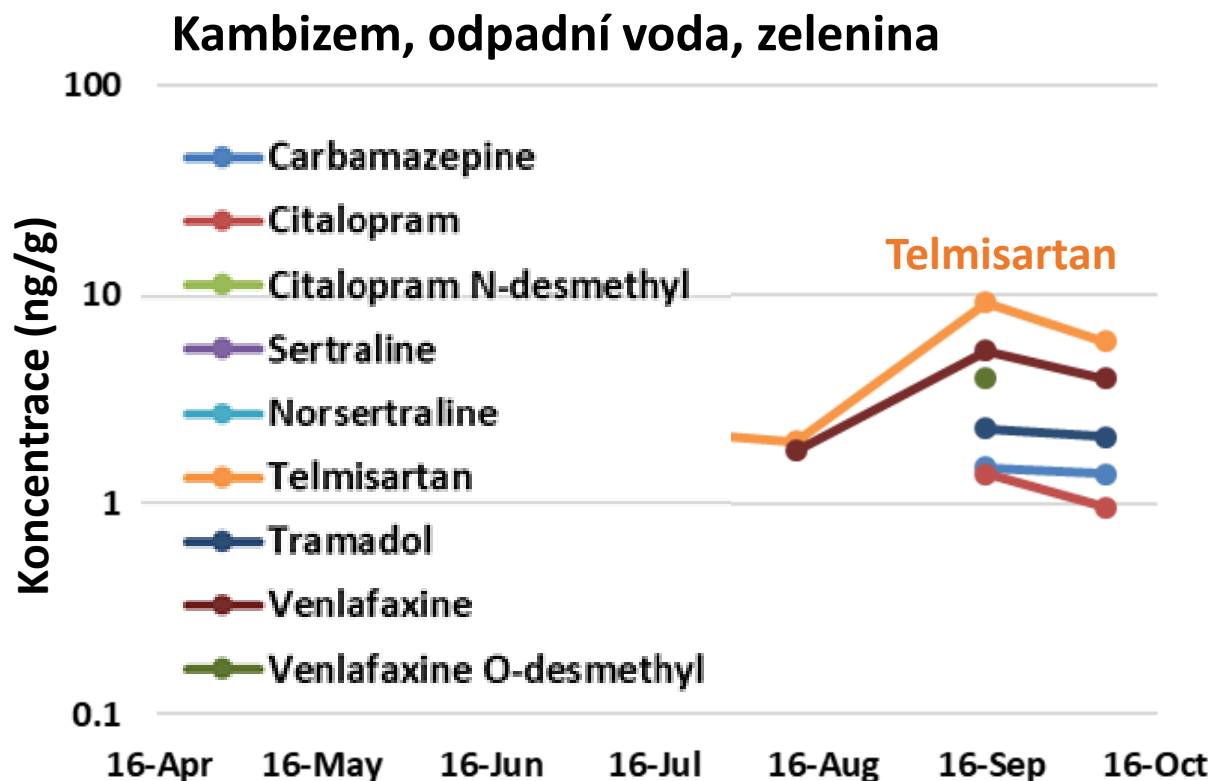
Sertralin, 8%

Vysoká sorpce v půdách

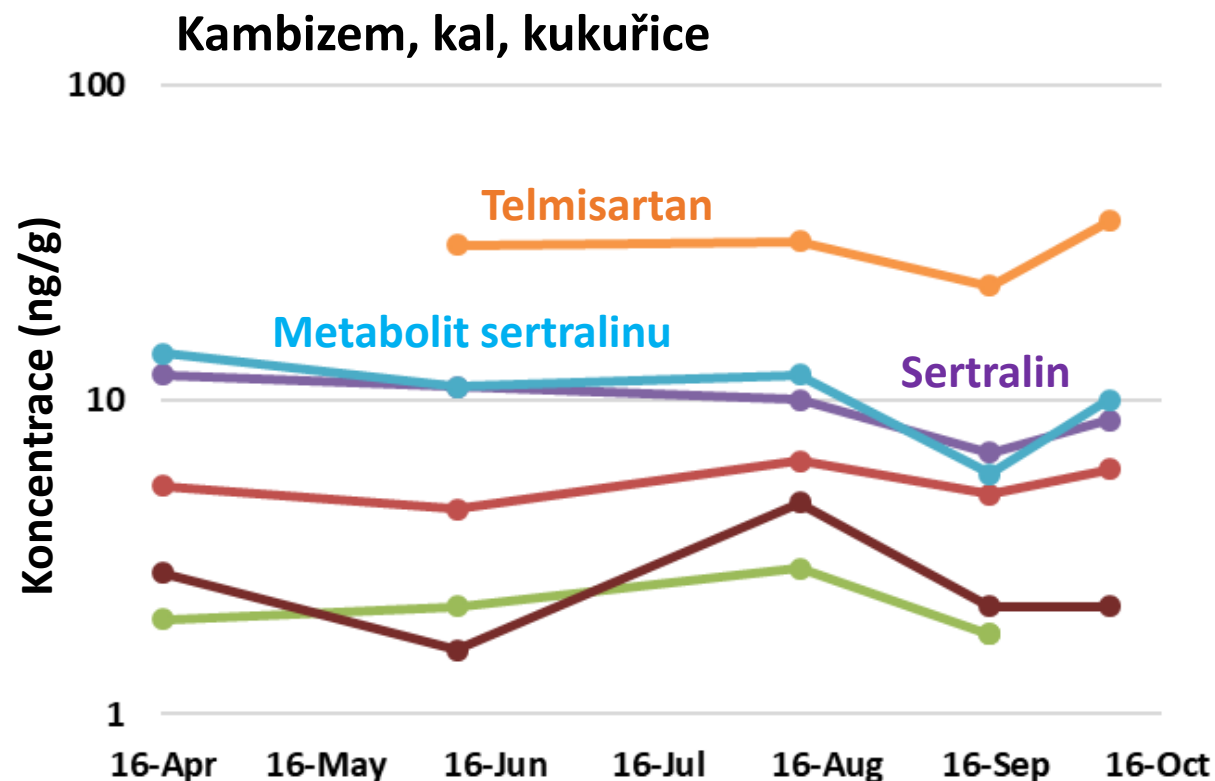
Telmisartan

Nízká sorpce v půdách  
1H-benzotriazol, 56%

# Koncentrace látek v půdě

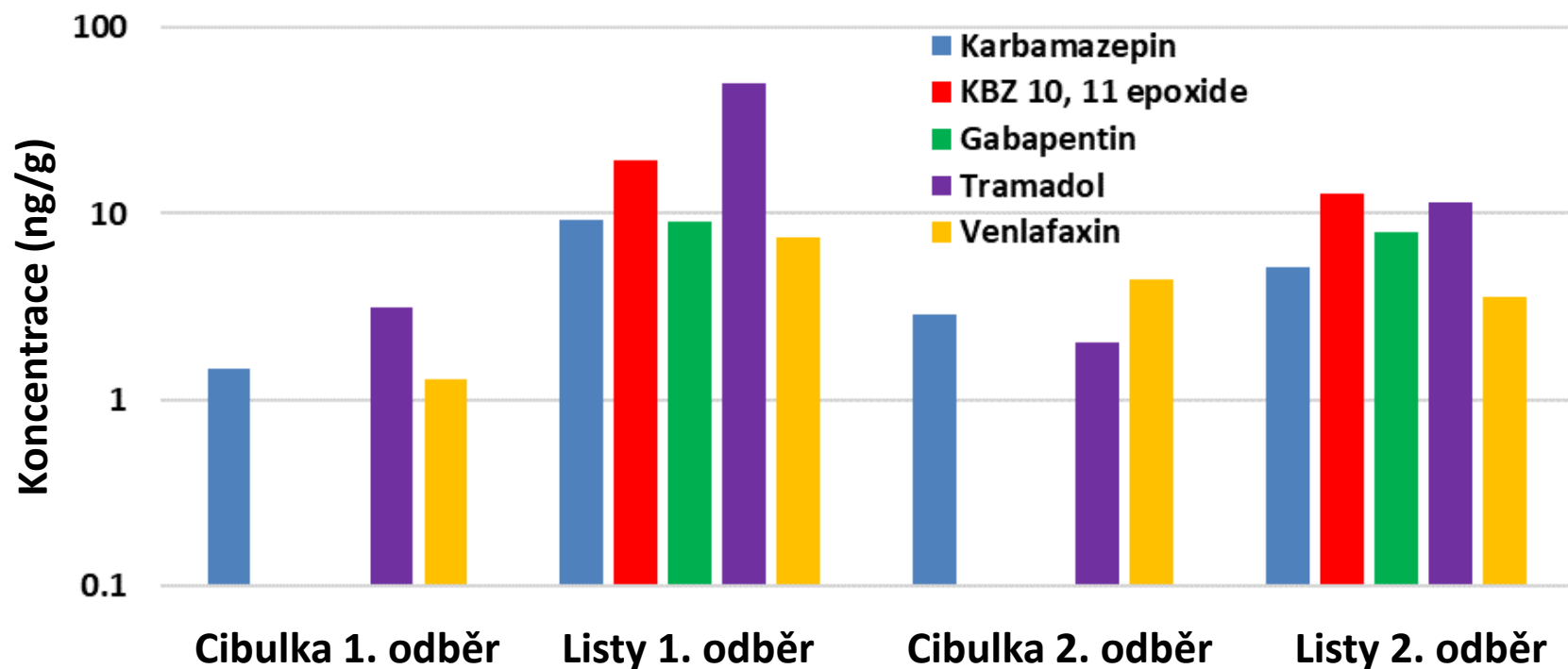


Akumulace látek, které se v půdách sorbují a zároveň jsou v půdách stabilní



Persistence látek v půdách a zároveň nedochází k vyplavování díky jejich vysoké sorpci

# Koncentrace ve tkáních cibule, závlaha odpadní vodou



1. odběr



2. odběr



**Vstřebané a pohyblivé látky se akumuluji v listech**

**Látky, které se silně sorbují na buněčné membrány zůstávají v kořenech**

Karbamazepin a gabapentin - epilepsie a periferní neuropatické bolesti

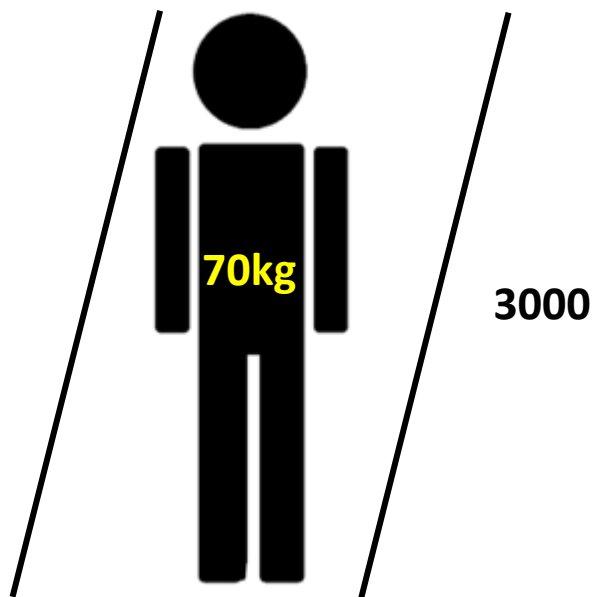
Tramadol – léčba bolesti, Venlafaxin – léčba deprese

# Expozice a riziko pro lidské zdraví

- Přijatelná denní dávka (ADI) na osobu ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  tělesné hmotnosti)

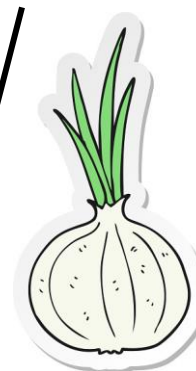


Minimální  
terapeutická  
dávka



- Denní spotřeba (DC)

ADI x  
tělesná hmotnost  
25 kg děti  
70 kg dospělí



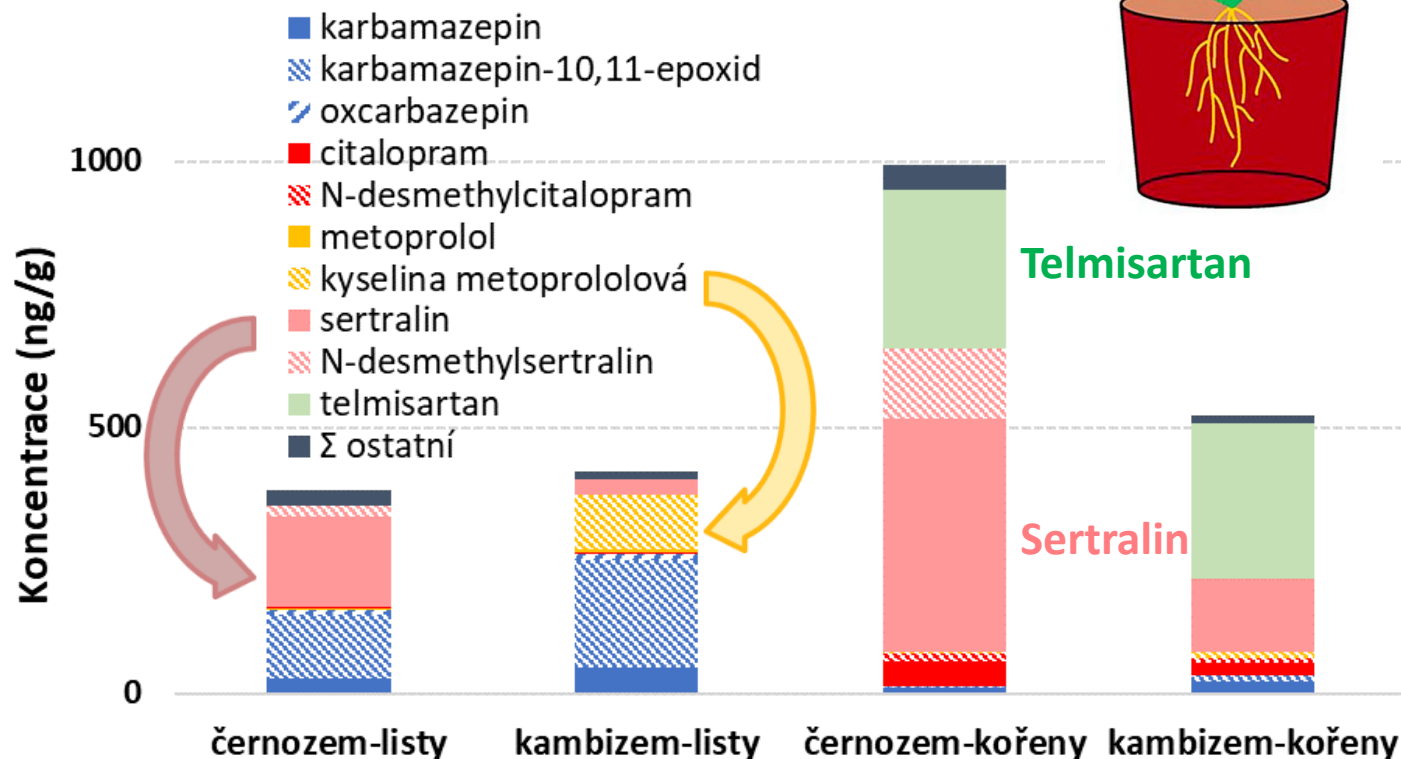
Koncentrace

- V desítkách kg a více vyjma DC pro metabolit karbamazepinu v cibulových listech pro děti (2,7-6,8 kg).

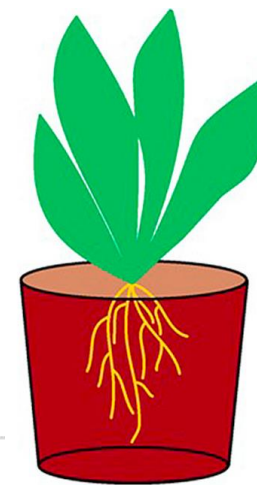
# Koncentrace léčiv v listech a kořenech špenátu

- pěstovaných v 7 půdách obohacených kaly ze 2 ČOV
- Příklad pro černozem pH=6.0 kambizem pH=8.2

Denní spotřeba pro děti:  
0,1 – 0,2 kg pro sertralin  
0,29 – 0,28 kg pro metabolit karbamazepinu

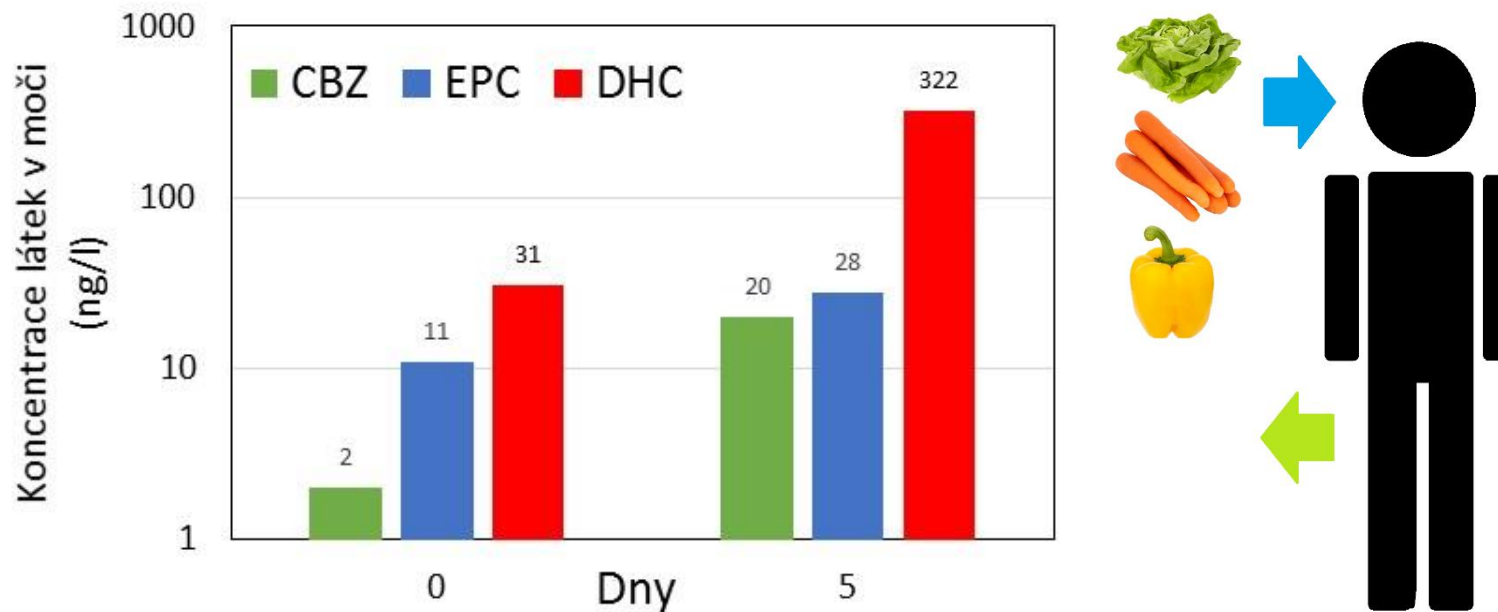


Karbamazepin a jeho metabolit



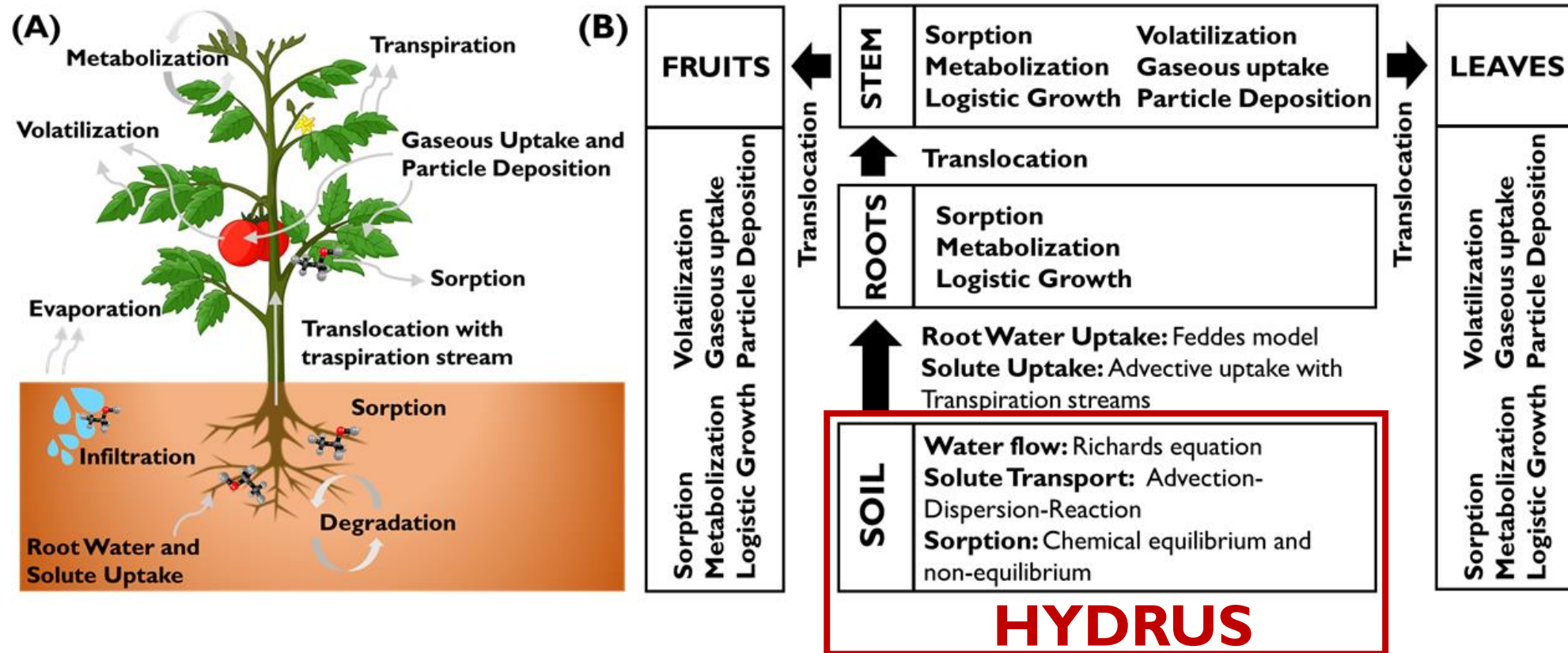
# Co se stane při konzumaci kontaminovaných plodin

- Karbamazepin (CBZ) a metabolity 10,11-epoxy-karbamazepin (EPC) a 10,11-dihydrokarbamazepinu (DHC)



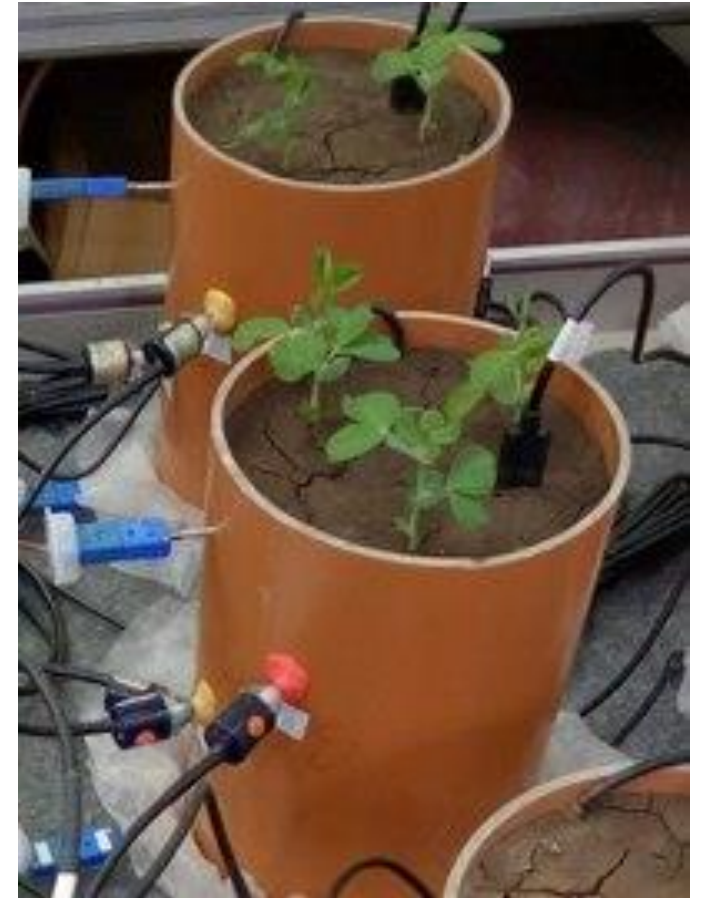
# Využití matematických modelů pro předpověď chování látek v systému půda-voda-rostlina

- HYDRUS + DPU model



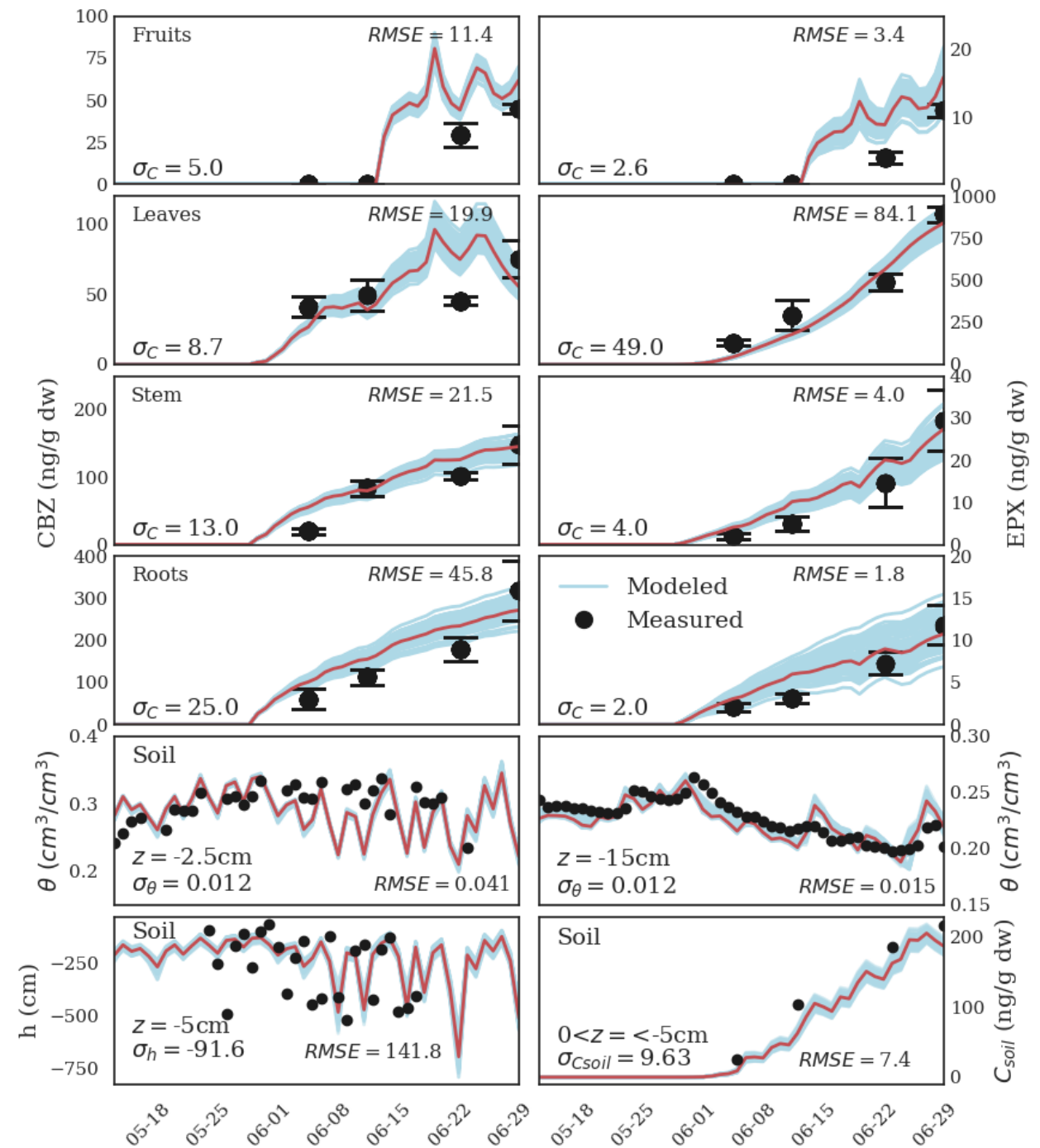
# Testování HYDRUS-1D + DPU modelu pro předpověď chování 6 látek v systému půda-voda-rostlina

- 25 válců, objem 1185 cm<sup>3</sup>
- Hrách setý (*Pisum sativum* L.)
- Závlaha roztokem 6 léčiv (karbamazepin, citalopram, klindamycin, fexofenadin, irbesartan, sulfamethoxazol)
- Sledování režimu půdní vody
- Koncentrace látek v půdě a rostlině



# Chování látek v systému půda-voda-rostlina

- Koncentrace karbamazepinu (**CBZ**) v rostlinách a půdě
- Koncentrace metabolitu karbamazepinu (**EPX**)
- Půdní vlhkosti v hloubkách 2.5 a 15 cm
- Tlakové výšky



# Závěry

- Bylo identifikováno riziko kontaminace půd, rostlin i podzemních vod
- Obezřetný přístup
  - přesto, že některé studie neprokázaly riziko pro lidské zdraví, jedná se o koktejl různých látek
  - na některé z nich zatím ani nebyla zaměřena pozornost
- Potřeba dalšího výzkumu
- Monitoring kvality půd a vod

# Publikace

- Kodešová et al., Science of The Total Environment 907 (2024) 167965
- Kodešová et al., Journal of Environmental Management 250 (2019) 109407
- Brunetti et al., Water Resources Research 55 (2019) 8967–8989
- Brunetti et al., Environmental Science & Technology 55 (2021) 2991–3000
- Brunetti et al., Journal of Hazardous Materials 423 (2022) 127008

Švecová H.  
Klement A.  
Fér M.  
Nikodem A.  
Fedorova G.  
Rieznyk O.  
Kočárek M.  
Sadchenko A.  
Chroňáková A.  
Grabic R.  
Brunetti G.  
Šimůnek J.  
Golovko O.  
...

Projekty:

QK21020080

CZ.02.1.01/0.0/0.0/  
16\_019/0000845

GA17-08937S

Děkuji za pozornost