



T A
Č R

Ministerstvo životního prostředí

Kontaminace životního prostředí a zdrojů pitné vody v CHKO Jizerské hory způsobená běžkařskými vosky s obsahem PFAS

Jaroslav Semerád, Magdalena Barešová,
Martin Hrubý, Tomáš Cajthaml



Mikrobiologický ústav
Akademie věd České republiky

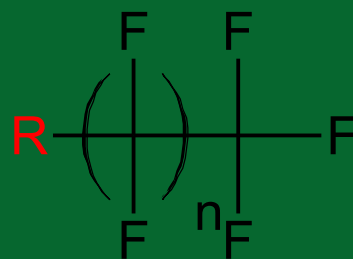


Přírodovědecká fakulta
Univerzita Karlova



Per- a polyfluorované sloučeniny (PFAS)

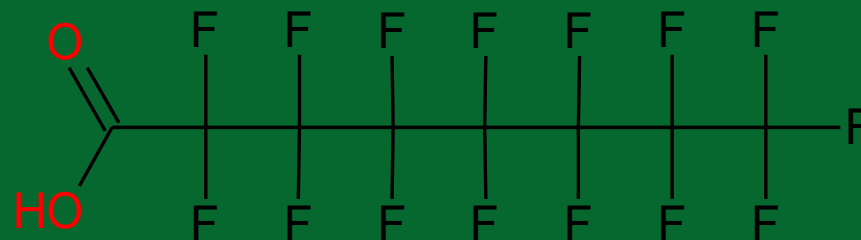
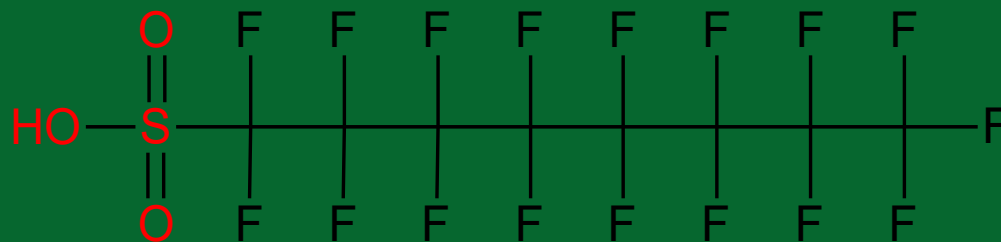
- Syntetické fluorované látky čistě antropogenního původu
- Vyráběné od 40 let minulého století
- Až 12 000 různých látek
- Unikátní fyzikálně chemické vlastnosti
- Naprosto nerozložitelné biologickou cestou – „forever chemicals“ či „věčné chemikálie“
- Persistentní látky s bioakumulačním potenciálem
- Teplota rozkladu $\approx 600 - 1200^{\circ}\text{C}$



Carbon-Halogen Bond Lengths and Bond Strength

C-X Bond Length (Å)	1.39	1.78	1.93	2.14
C-X Bond Strength (kJ/mol)	472	350	293	239

Ch. 6 - 3



Využití perfluorovaných látek

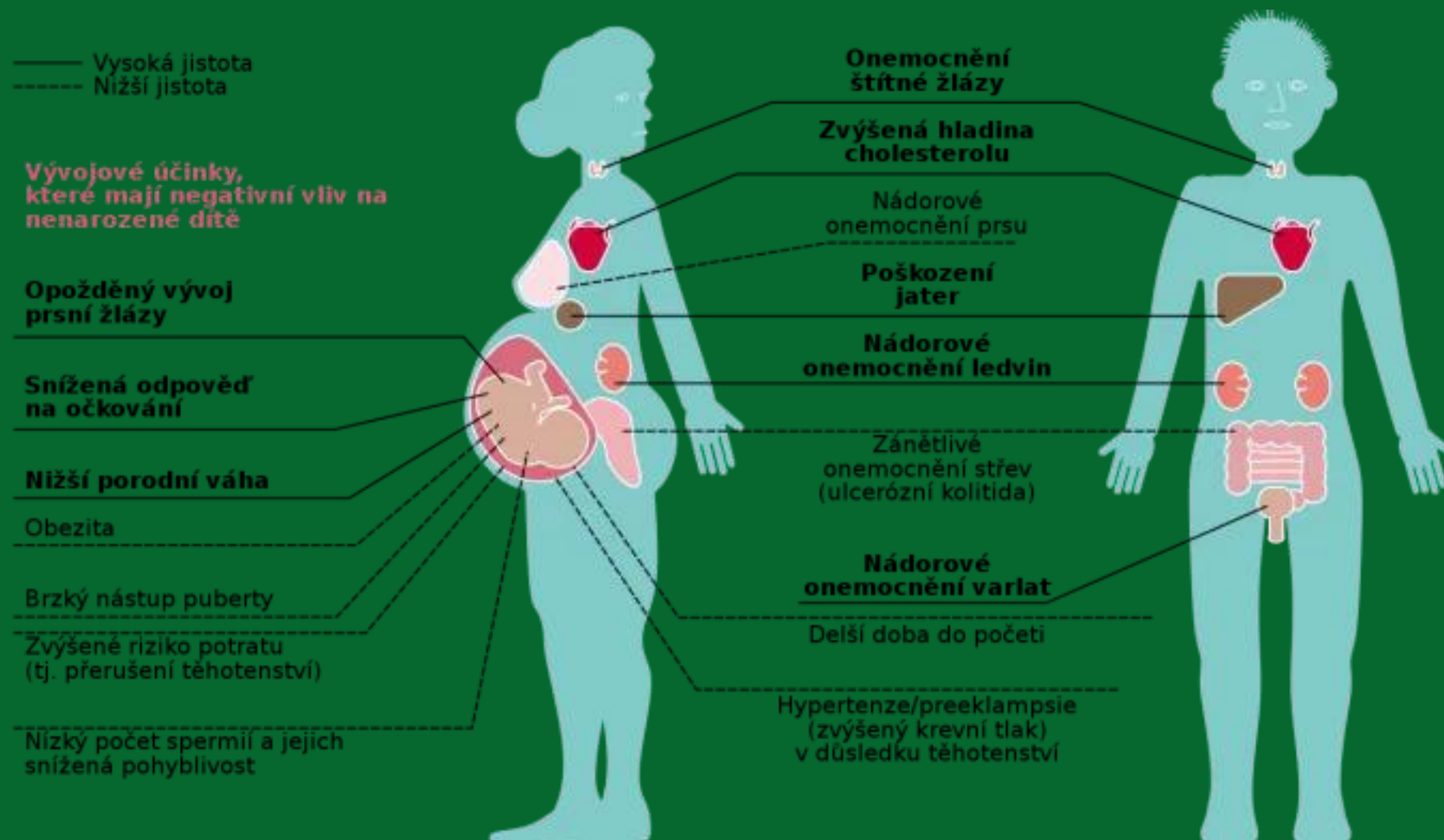
- Hasící pěny
- Potravinové obaly
- Nepřilnavé povrchy (např. teflonové pánve)
- Pesticidy
- Barvy
- Přípravky proti korozi
- Kosmetika
- Impregnace
- Gore-tex
- Lyžařské vosky



Životní cyklus věčných chemikálií



Dopady perfluorovaných látek na lidské zdraví



Perfluoroalkyl-carboxylic Acids (PFCA)	PFBA	Perfluoro-n-butanoic acid	Chloroperfluoroalkyl ether sulfonates (Cl-PFESA)	9-ClPF3ONS	Potassium 9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonate
	PFPeA	Perfluoro-n-pentanoic acid		11-ClPF3OUdS	Potassium 11-chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonate
	PFHxA	Perfluoro-n-hexanoic acid	Per- and polyfluoroalkyl ether carboxylic acids (PFECA)	NaDONA	Sodium dodecafluoro-3H-4,8-dioxanonanoate
	PFHpA	Perfluoro-n-heptanoic acid		PF4OPeA	Perfluoro-4-oxapentanoic acid (PFMPA)
	PFOA	Perfluoro-n-octanoic acid		PF5OHxA	Perfluoro-5-oxahexanoic acid (PFMBA)
	PFNA	Perfluoro-n-nonanoic acid		3,6-OPFHpA	Perfluoro-3,6-dioxaheptanoic acid (NFDHA)
	PFDA	Perfluoro-n-decanoic acid	Perfluoroalkyl ether sulfonates (PFESA)	PFEESA	Potassium perfluoro(2-ethoxyethane)sulfonate
	PFUnDA	Perfluoro-n-undecanoic acid	Hexafluoropropylene oxide dimer acid	HFPO-DA	2,3,3,3-Tetrafluoro-2-(1,1,2,2,3,3,3-heptafluoropropoxy)propanoic acid (GenX/FRD-903)
	PFDoDA	Perfluoro-n-dodecanoic acid			
	PFTTrDA	Perfluoro-n-tridecanoic acid	Fluorotelomer sulfonates (X:2 FTS)	4:2 FTS	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorohexanesulfonate (4:2)
Perfluoroalkane-sulfonates (PFSA)	PFTeDA	Perfluoro-n-tetradecanoic acid		6:2 FTS	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorooctanesulfonate (6:2)
	PFPrS	Perfluoro-1-propanesulfonate		8:2 FTS	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorodecanesulfonate (8:2)
	PFBS	Perfluoro-1-butanesulfonate		10:2 FTS	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorododecanesulfonate (10:2)
	PFPeS	Perfluoro-1-pentanesulfonate	Perfluoroalkyl-phosphonic acids (PFAPA)	4:2 FTP	4:2 phosphonic acid
	PFHxS	Perfluoro-1-hexanesulfonate		6:2 FTP	6:2 phosphonic acid
	PFHpS	Perfluoro-1-heptanesulfonate		8:2 FTP	8:2 phosphonic acid
	PFOS	Perfluoro-1-octanesulfonate		PFBPA	Perfluorobutylphosphonic acid
	PFNS	Perfluoro-1-nonanesulfonate		PFHxPA	Perfluorohexylphosphonic acid
	PFDS	Perfluoro-1-decanesulfonate		PFOPA	Perfluorooctylphosphonic acid
	PFUnDS	Perfluoro-1-undecanesulfonate		PFDPA	Perfluorodecylphosphonic acid
	PFDoS	Perfluoro-1-dodecanesulfonate		Cl-PFHxPA	6-Chloroperfluorohexylphosphonic acid
	PFTTrDS	Perfluoro-1-tridecanesulfonate		Cl-PFOPA	8-Chloroperfluorooctylphosphonic acid
	N-MePFBSA	N-methylperfluoro-1-butanesulfonamide	Sodium perfluoroalkyl phosphinates (X:X PFPi)	6:6 PFPi	Sodium bis(perfluorohexyl) phosphinate
Perfluoroalkane-sulfonamides (FASA)	N-EtPFBSA	N-ethylperfluoro-1-butanesulfonamide		6:8 PFPi	Sodium perfluorohexylperfluorooctyl phosphinate
	FOSA	Perfluoro-1-octanesulfonamide		8:8 PFPi	Sodium bis(perfluorooctyl) phosphinate
	N-MeFOSA	N-methylperfluoro-1-octanesulfonamide	Polyfluoroalkyl phosphate mono-esters (PAP)	6:2 PAP	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl phosphate
	N-EtFOSA	N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamide		8:2 PAP	Sodium 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyl phosphate
Perfluoroalkane-sulfonamidoethanols (FASE)	N-MeFOSE	N-(2-methylperfluoro-1-octanesulfonamido)ethanol	Polyfluoroalkyl phosphate di-esters (diPAP)	6:2 diPAP	Sodium bis(1H,1H,2H,2H-prefluorooctyl) phosphate
	N-EtFOSE	N-(2-ethylperfluoro-1-octanesulfonamido)ethanol		6:2 8:2 diPAP	Sodium (1H,1H,2H,2H-prefluorooctyl-1H,1H,2H,2H- prefluorodecyl) phosphate
Perfluorooctane-sulfonamidoacetic acids (FOSAA)	FOSAA	Perfluoro-1-octanesulfonamidoacetic acid		8:2 diPAP	Sodium bis(1H,1H,2H,2H-prefluorodecyl) phosphate
	N-MeFOSAA	N-methylperfluoro-1-octanesulfonamidoacetic acid	Polyfluoroalkyl phosphate esters (SAmPAP)	diSAmPAP	Sodium bis-[2-(N-ethylperfluorooctane-1-sulfonamido)ethyl] phosphate
Fluorotelomer carboxylic acids (FTCA)	N-EtFOSAA	N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamidoacetic acid			
	3:3 FTCA (FPrPA)	3-Perfluoropropyl propanoic acid (3:3)			
	5:3 FTCA (FPePA)	3-Perfluoropentyl propanoic acid (5:3)	Cationic/Zwitterionic PFAS	N-AP-FHxSA	N-(3-dimethylaminopropan-1-yl)perfluoro-1-hexanesulfonamide
	7:3 FTCA (FHpPA)	3-Perfluoroheptyl propanoic (7:3)		N-TAmP-FHxSA	N-[3-(perfluoro-1-hexanesulfonamido)propan-1-yl]-N,N,N-trimethylammonium
Fluorotelomer unsaturated carboxylic acids (FTUCA)	FHUEA	2H-Perfluoro-2-octenoic acid (6:2)		N-CMAmP-6:2 FOSA	N-(carboxymethyl)-N,N-dimethyl-N-[3-(1H,1H,2H,2H-perfluoro-1-octanesulfonamido)propan-1-yl]ammonium (6:2FTAB)
	FOUEA	2H-Perfluoro-2-decenoic acid (8:2)		5:3 FTB	2-[(4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Undecafluorooctyl)dimethylammonio] acetate
	FDUEA	2H-Perfluoro-2-dodecenoic acid (10:2)		5:1:2 FTB	2-[(3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-Dodecafluorooctyl)dimethylammonio] acetate
Perfluoroethylcyclohexanesulfonate	PFECHS	Perfluoro-4-ethylcyclohexanesulfonate	Other PFAS	HFPO-TA	Perfluoro-2,5-dimethyl-3,6-dioxanonanoic acid
				HFPO-TeA	Perfluoro-2,5,8-trimethyl-3,6,9-trioxadodecanoic acid

PFAS in WAX



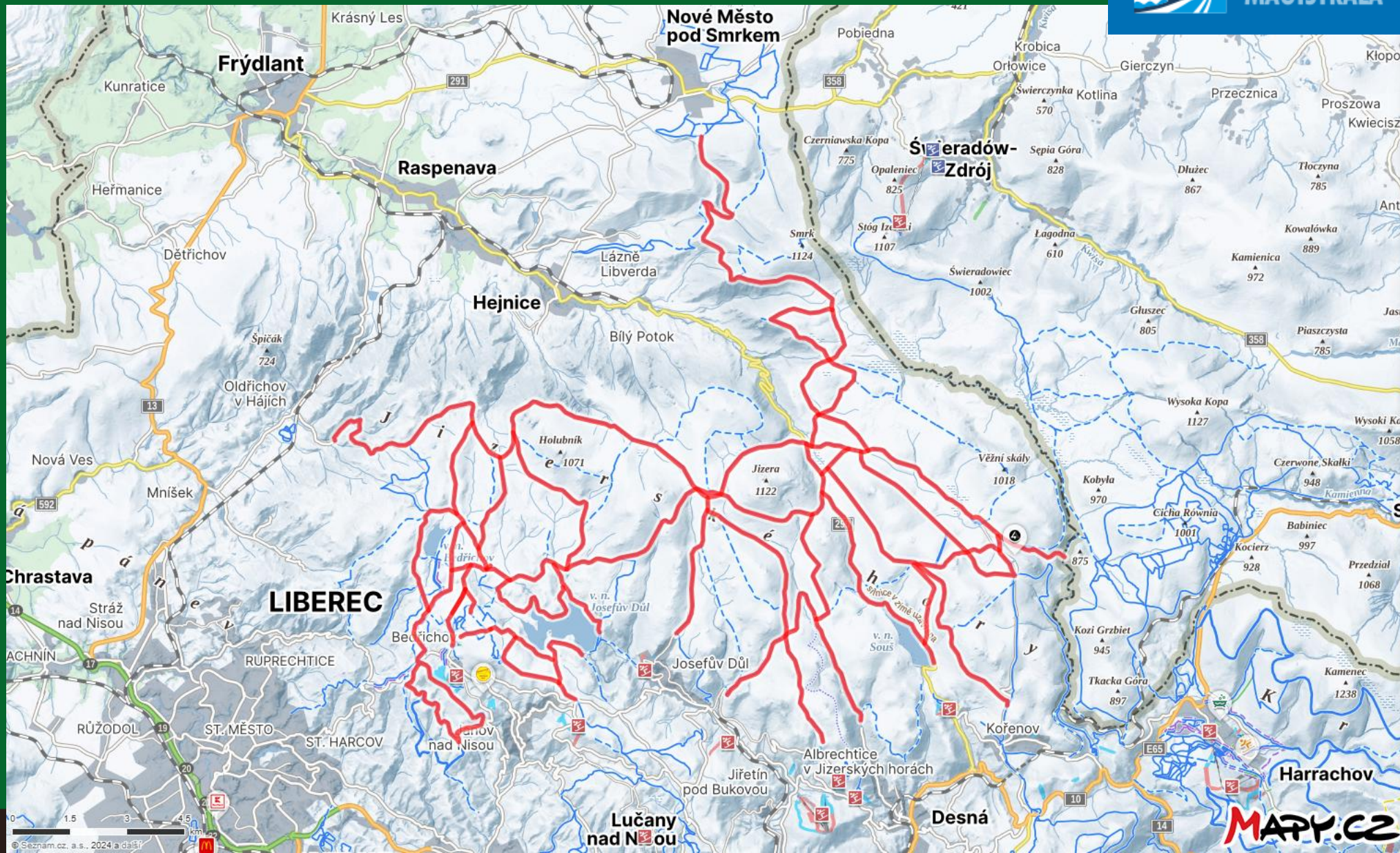
CHKO JIZERSKÉ HORY



JIZERSKÁ MAGISTRÁLA



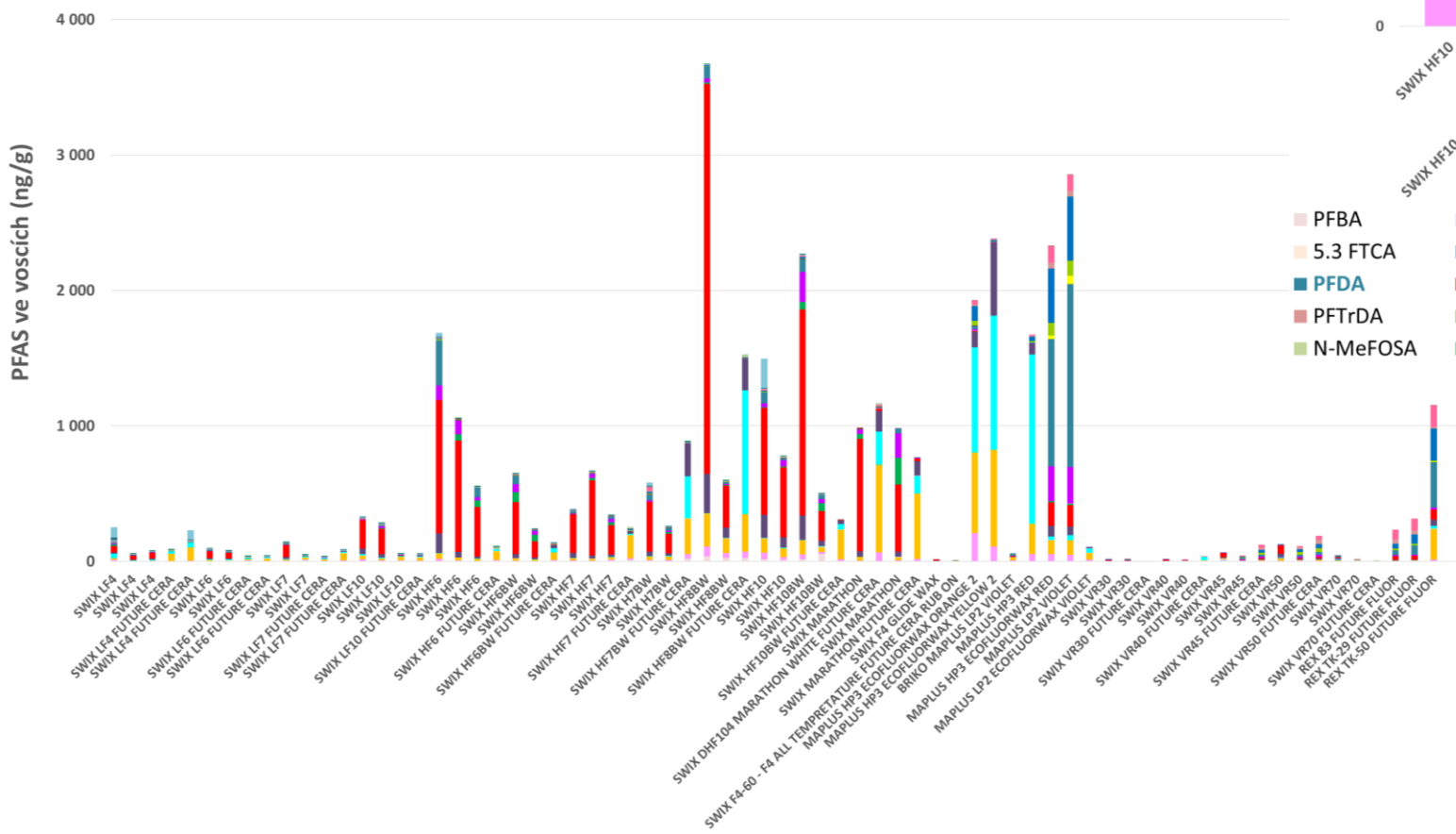
JIZERSKÁ
MAGISTRÁLA



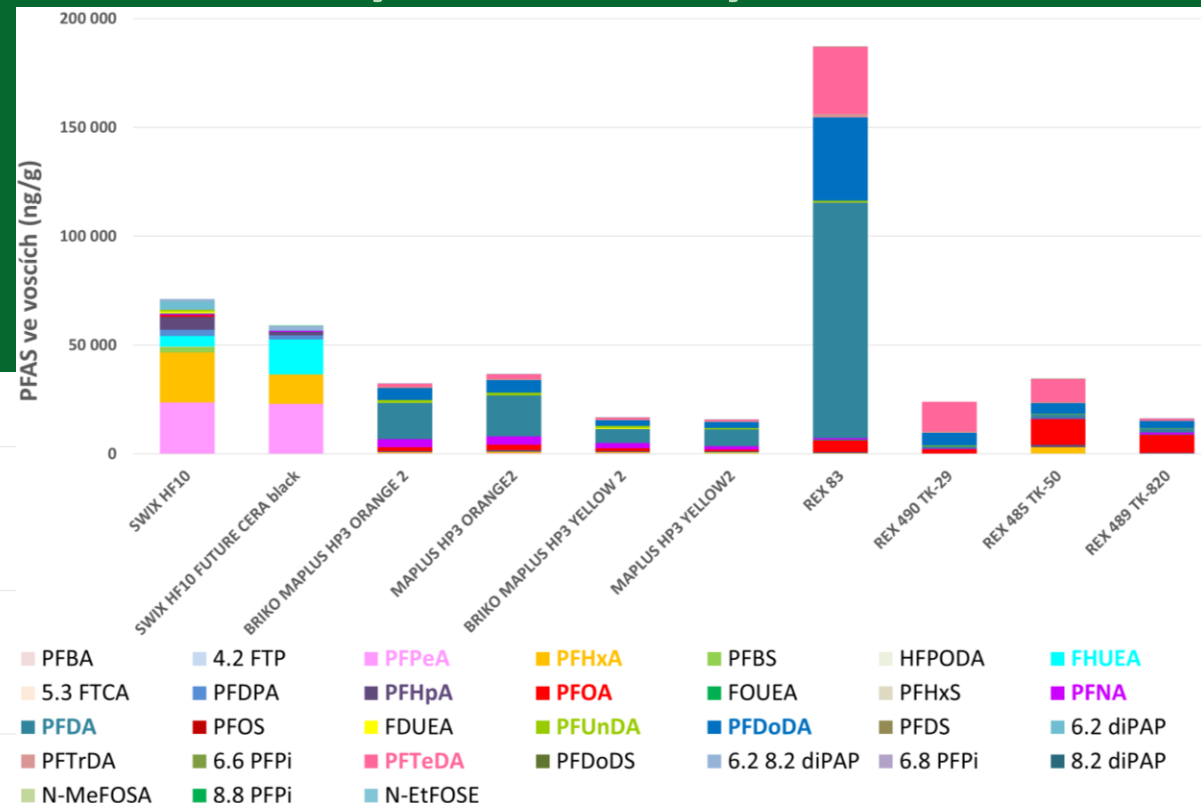
VOSKY

- SPRINT – akce FLUOR FREE 2024
 - vybráno cca 80 kg / 1400 ks / 500 druhů
 - dosud zanalyzováno 80 fluorovaných vosků

PFAS v 80 analyzovaných fluorovaných voscích



Analýza fluorovaných vosků



SPRINT



SNÍH

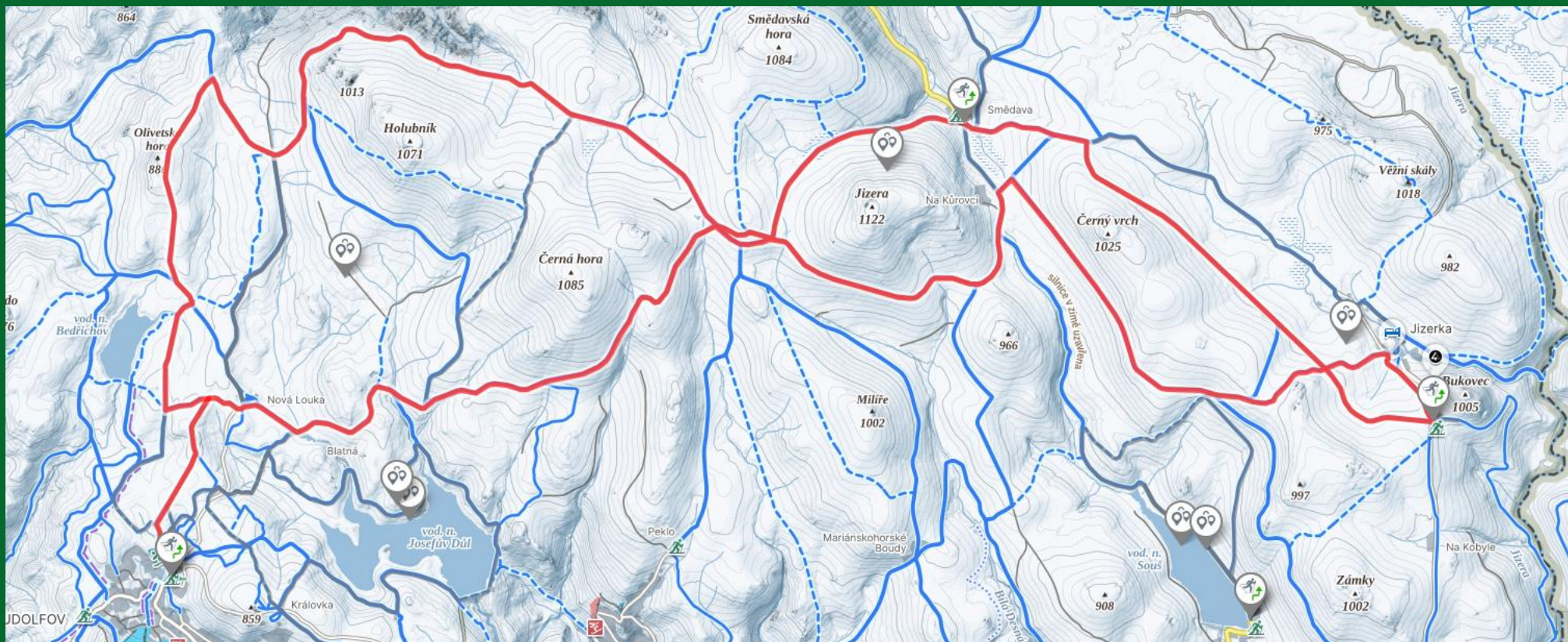


JIZERSKÁ
MAGISTRÁLA

Jizerská
50

- **BODOVÉ ODBĚRY** – stopa a mimo trasu

(3x 1L, 31 lokalit + 4 kontroly, 5 vzorkovacích kampaní v zimní sezóně)

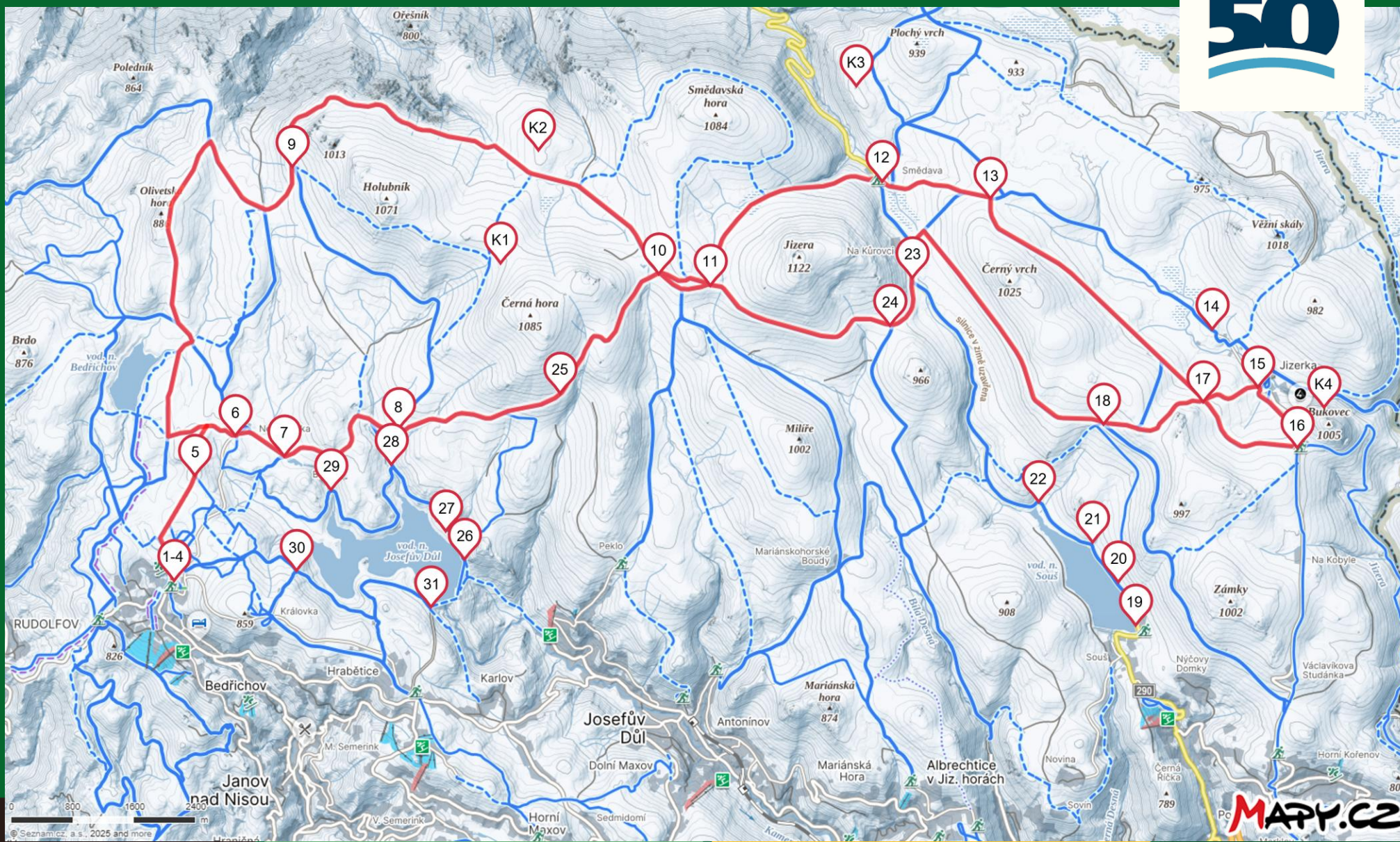


- $\Sigma 105 \text{ vz./měsíc} \sim \Sigma 525 \text{ vz./rok}$



MBU

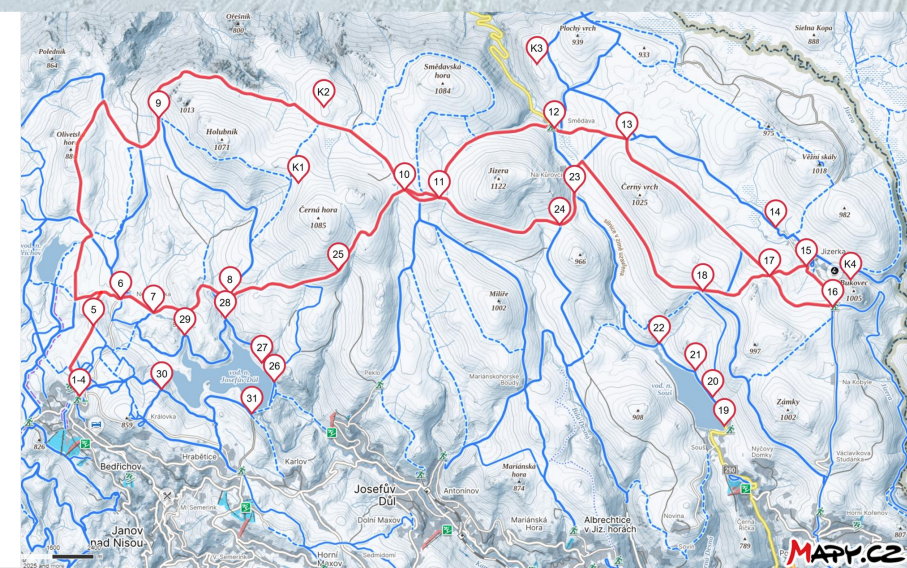
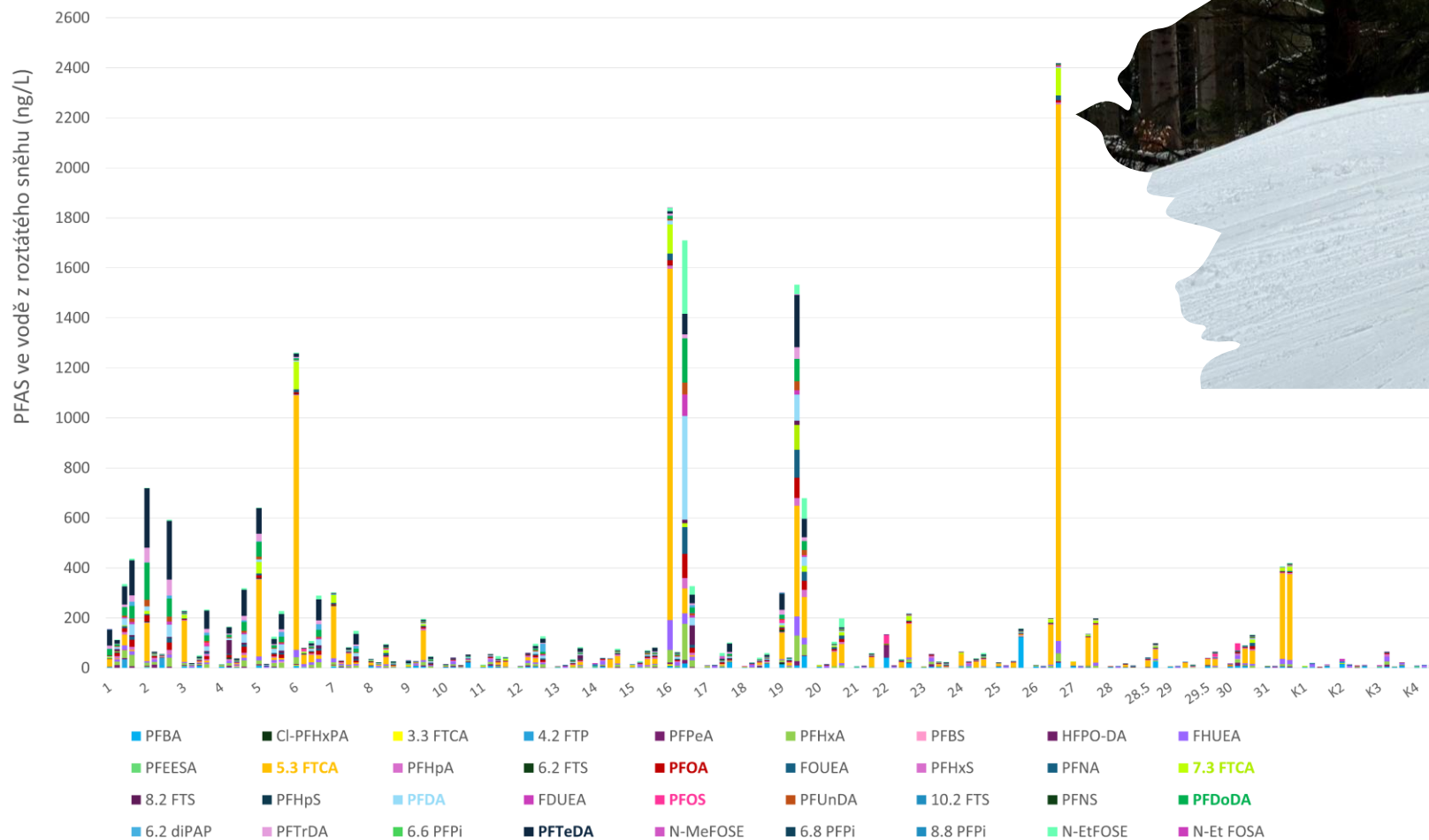
JIZERSKÁ PADESÁTKA



SNÍH

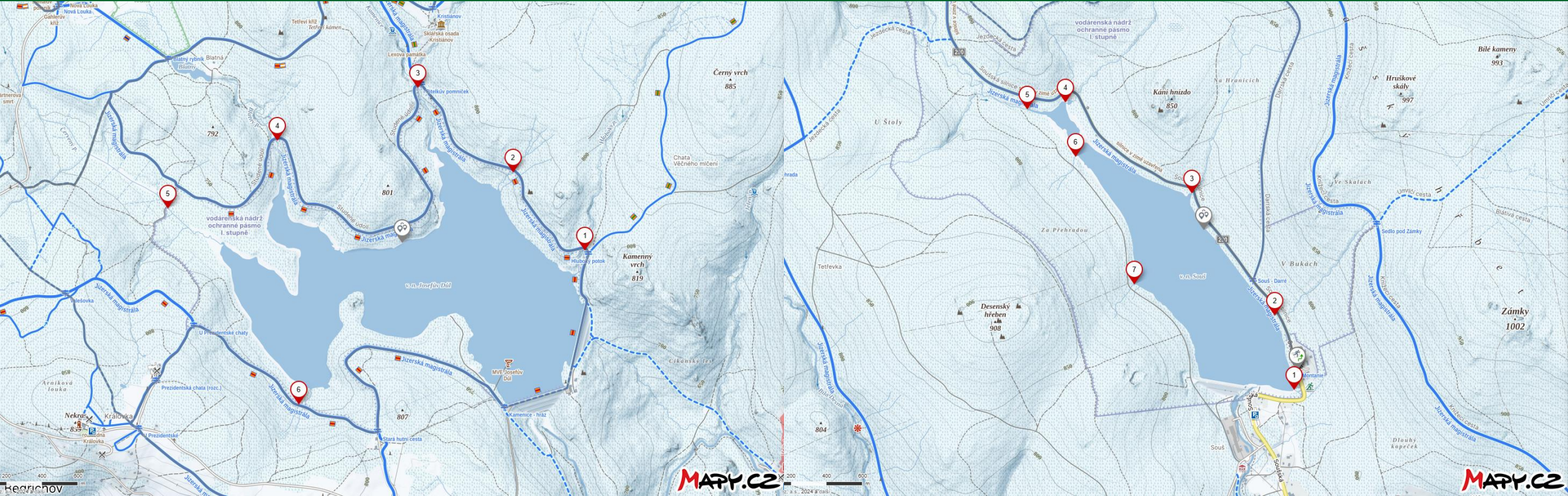
Analýza sněhu z běžkařských tratí

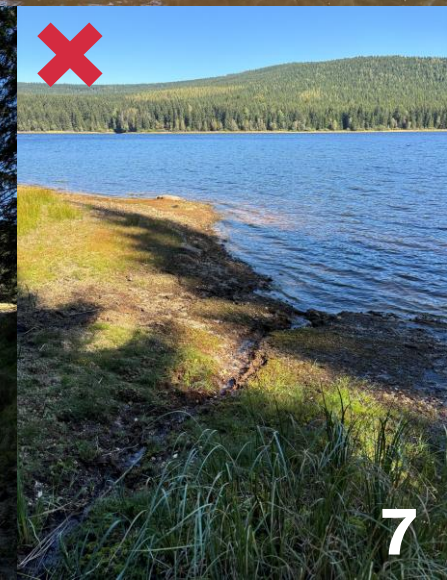
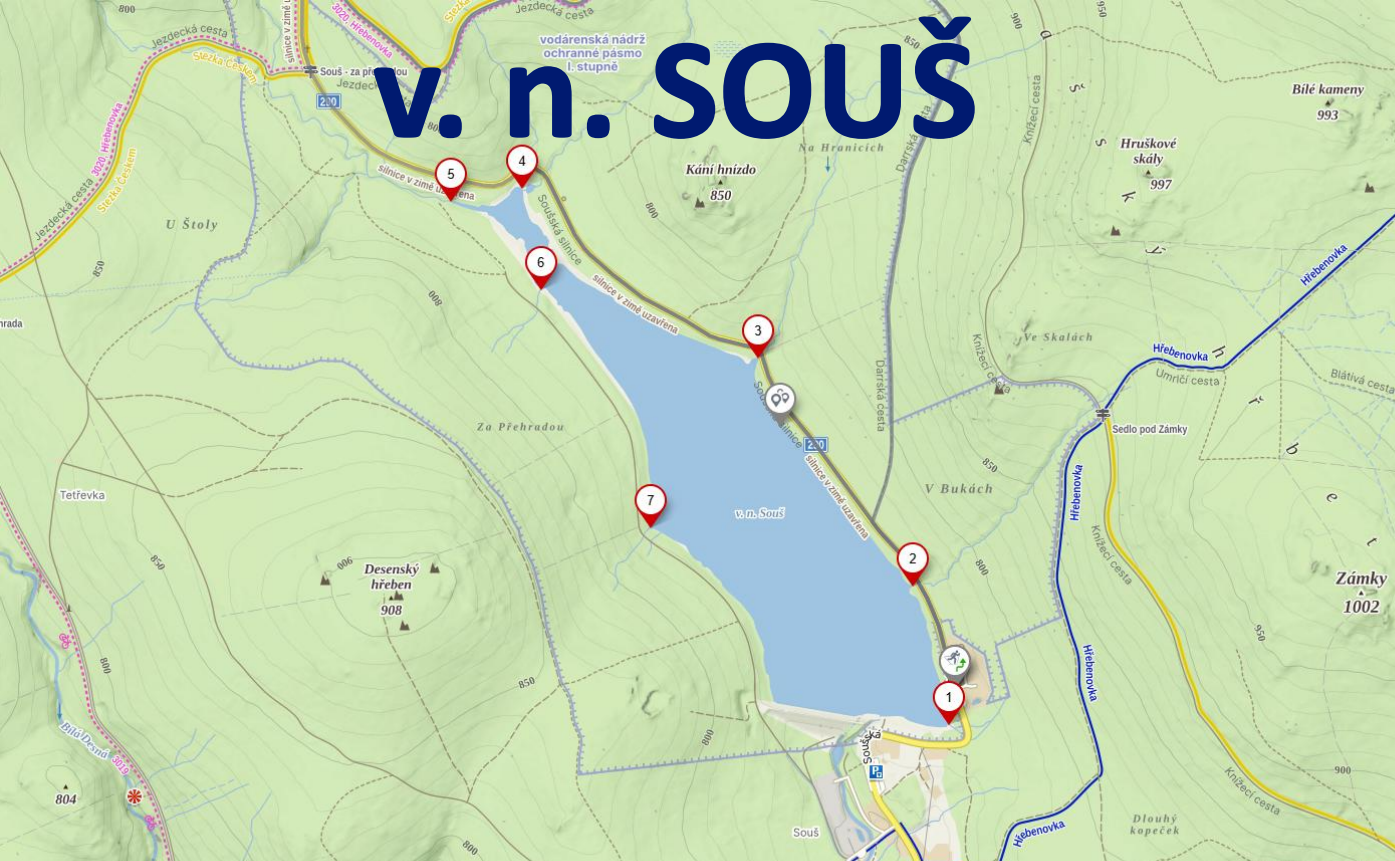
PFAS - SNÍH - PROSINEC 2024, LEDEN 2025, PŘED a PO J50 2025

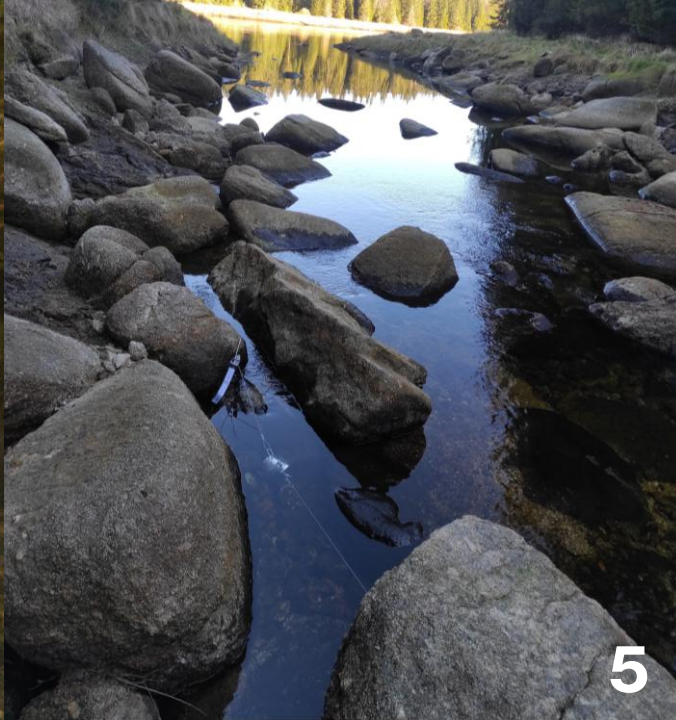
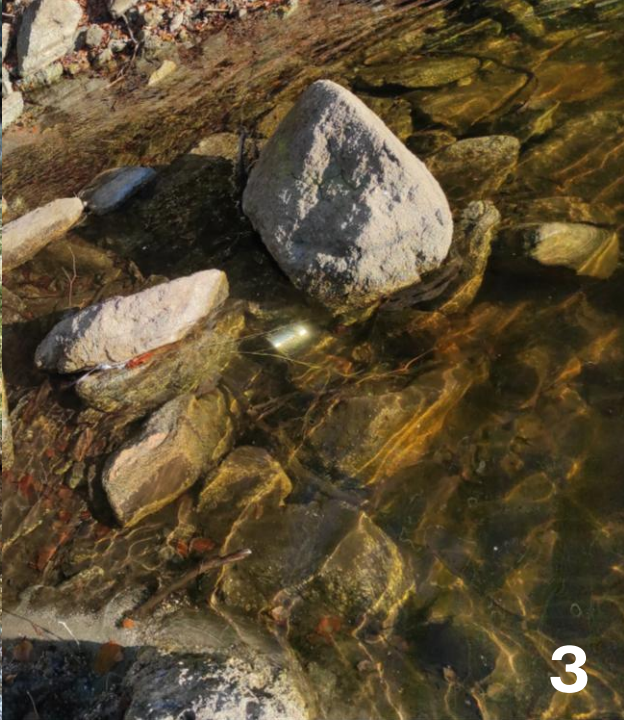


a v. n. JOSEFŮV DŮL / ÚV BEDŘICHOV

- **SUROVÁ a UPRAVENÁ VODA (3x 1L, SUR+UPR, 2 úpravny, 1x měsíc) (12)**
- **BODOVÉ ODBĚRY (3x 1L, 6+8 lokalit, 1x měsíc) (42)**
- **PASIVNÍ VZORKOVAČE POCIS (15 lokalit – 11 na nádržích, 4 na úpravnách, po 3ks, 1x měsíc) (45)**
- **Σ99 vz./měsíc ~ 1188 vz./rok**







v. n. JOSEFŮV DŮL







VODA

JD surová

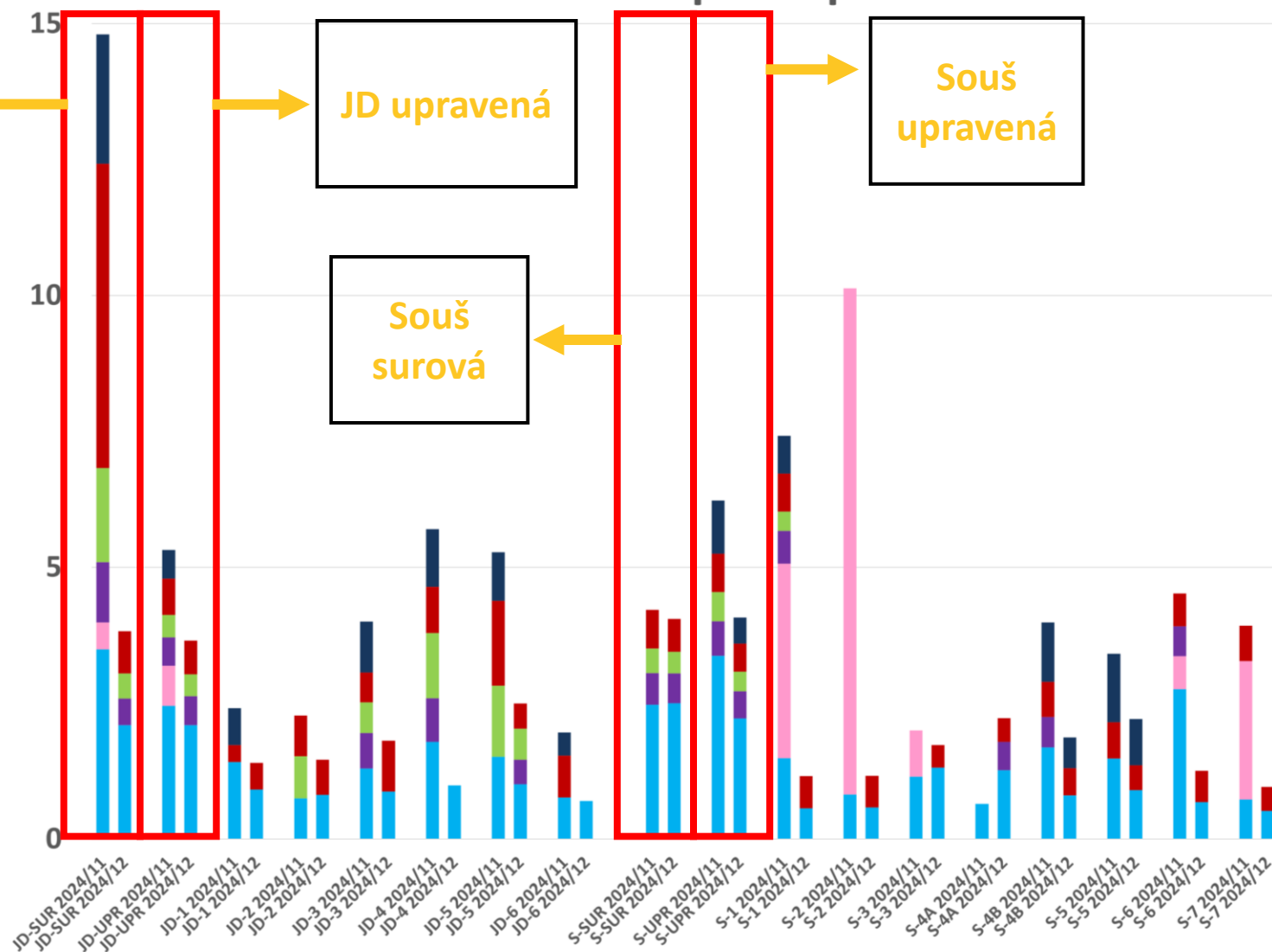
PFAS - VODA - listopad a prosinec 2024

JD upravená

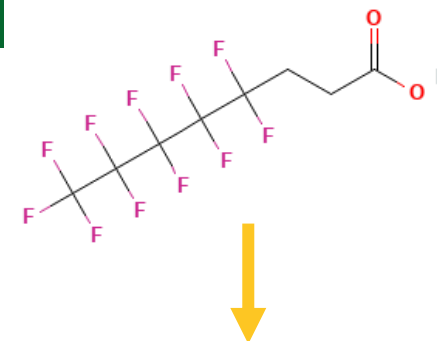
**Souš
upravená**

Souš surová

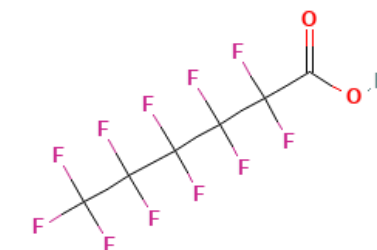
PFAS (ng/L)



Vosky 5:3 FTA



Voda - PFHxA



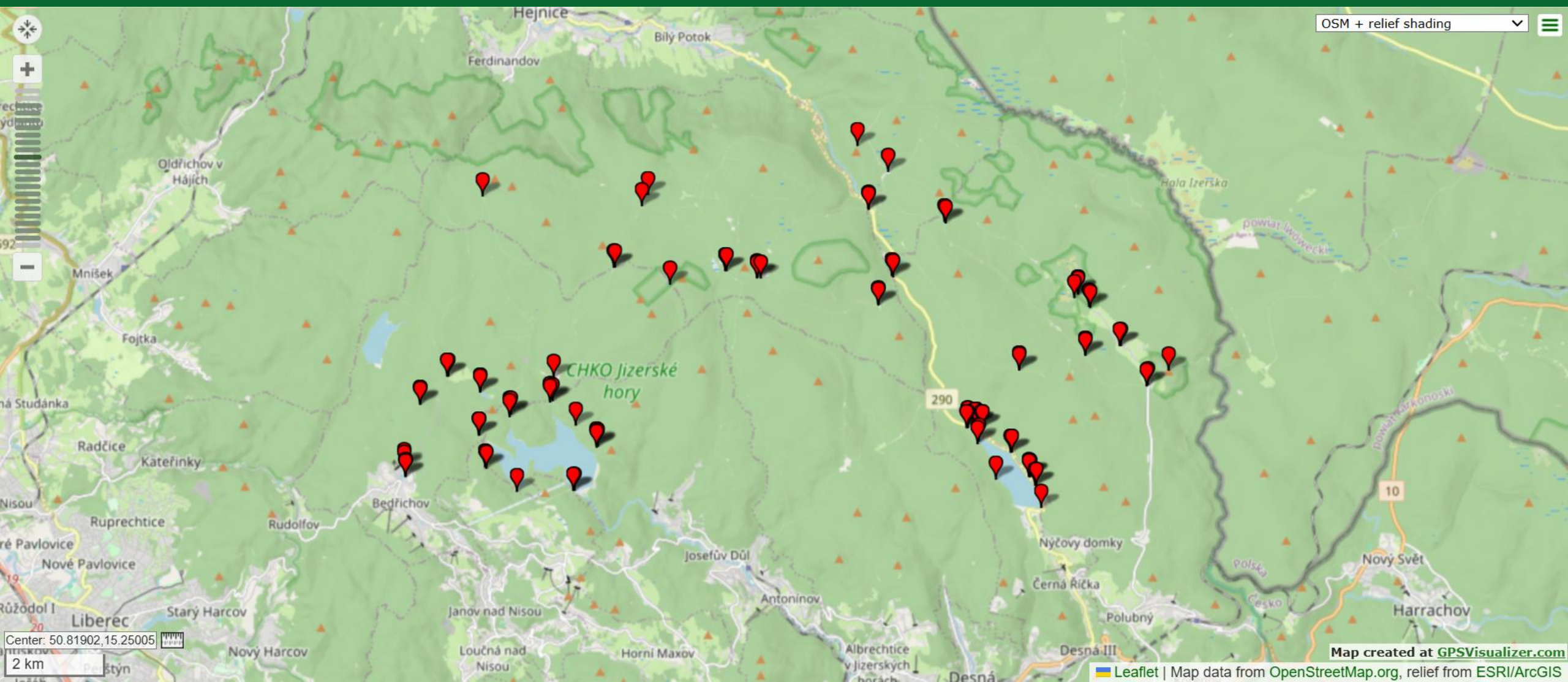
- PFPeA
- PFOA
- PFHxA
- PFHpA
- PFBS
- PFBA

PŮDA A BIOTA

- **PŮDA** – žlab u cesty + kontrola 10 m kolmo do svahu
- **BIOTA** – jehličí, tráva, mech, houby; žížaly, ryby, odlovená zvěř (svalovina, játra)
- Σ cca 720 vz./ $\frac{1}{4}$ rok ~ Σ cca 2880 vz./rok



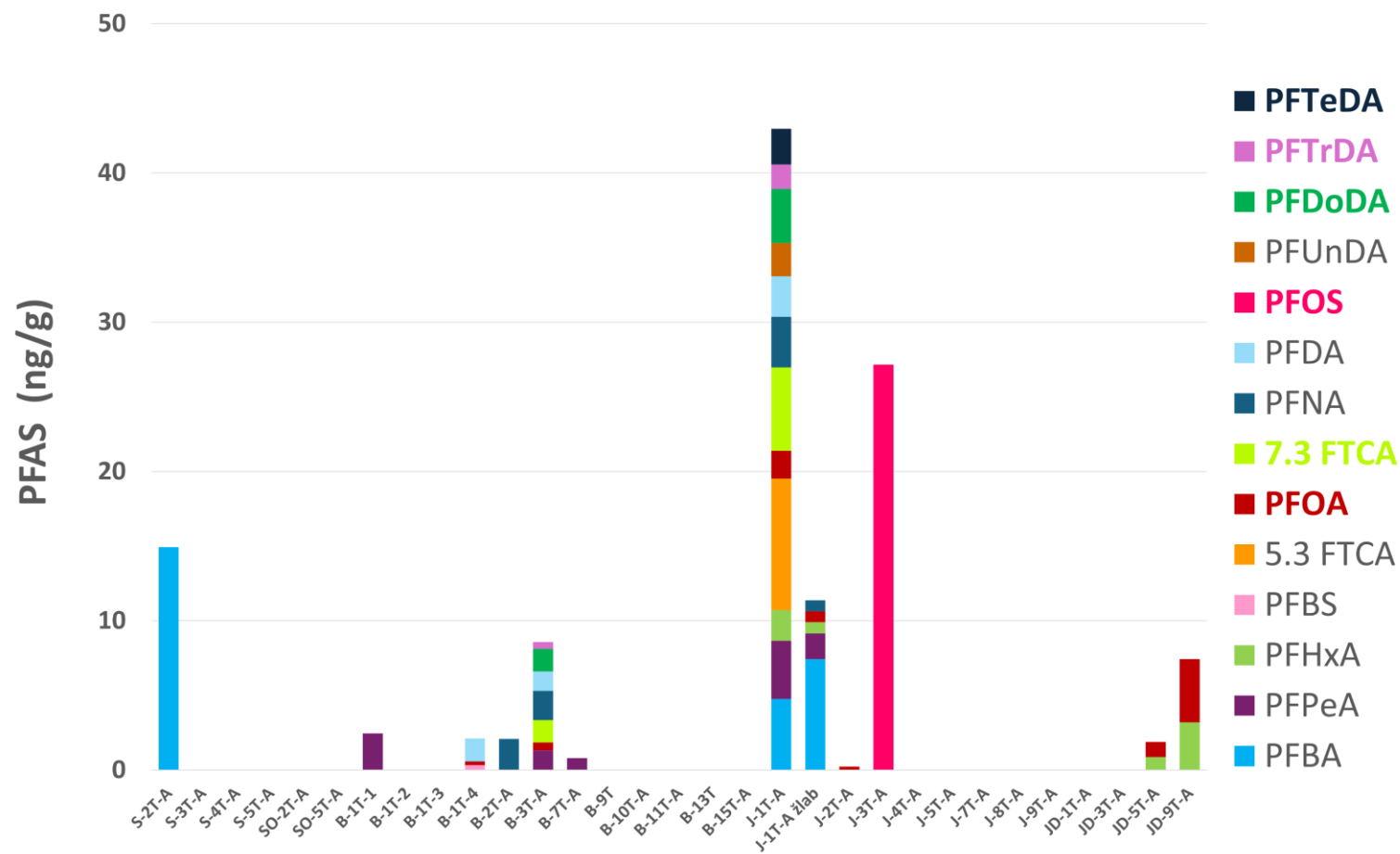
PŮDA A BIOTA



JEDNODĚLOŽNÉ BYLINY -TRÁVY



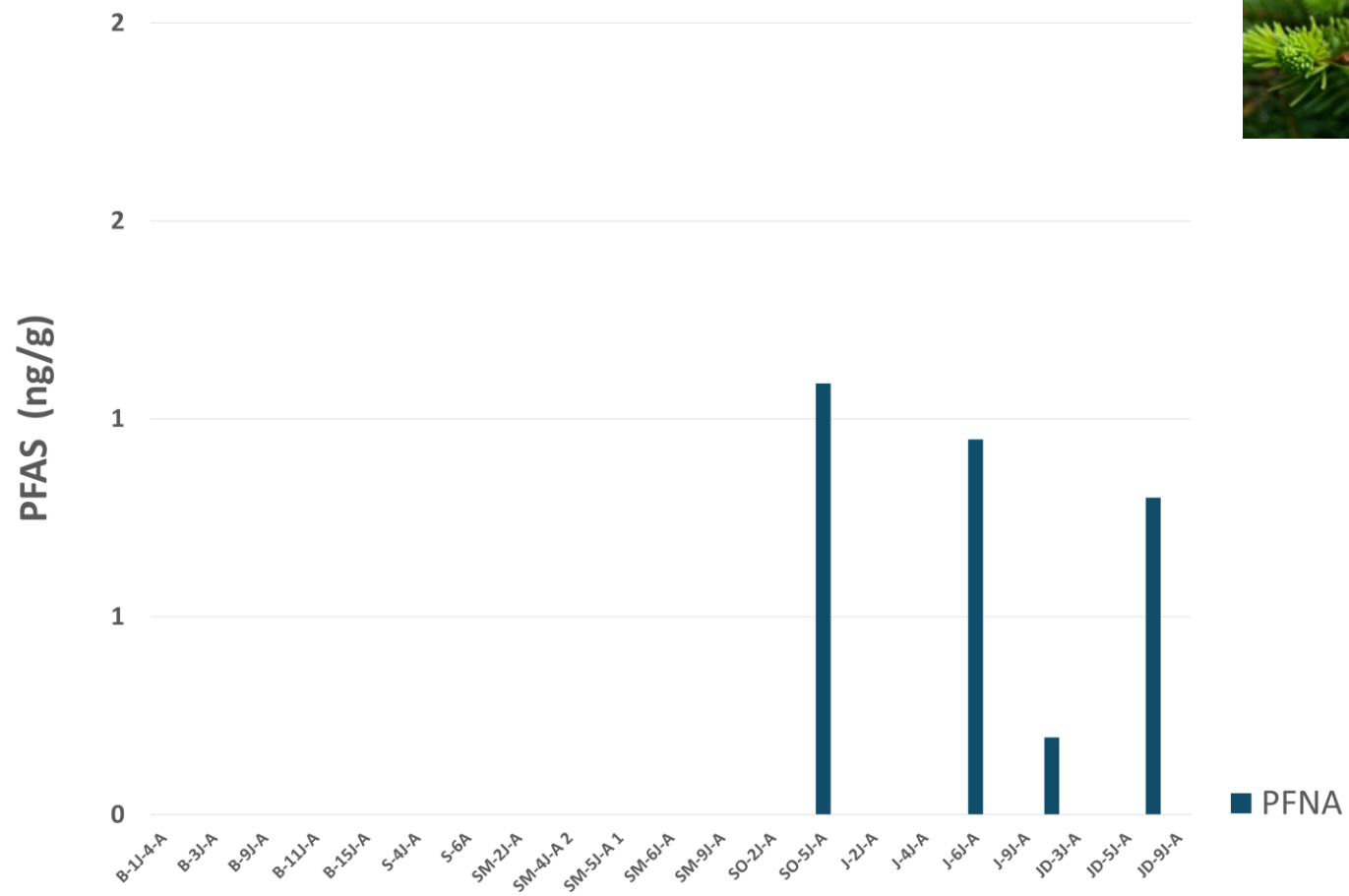
PFAS - TRÁVY - listopad 2024



JEHLIČÍ



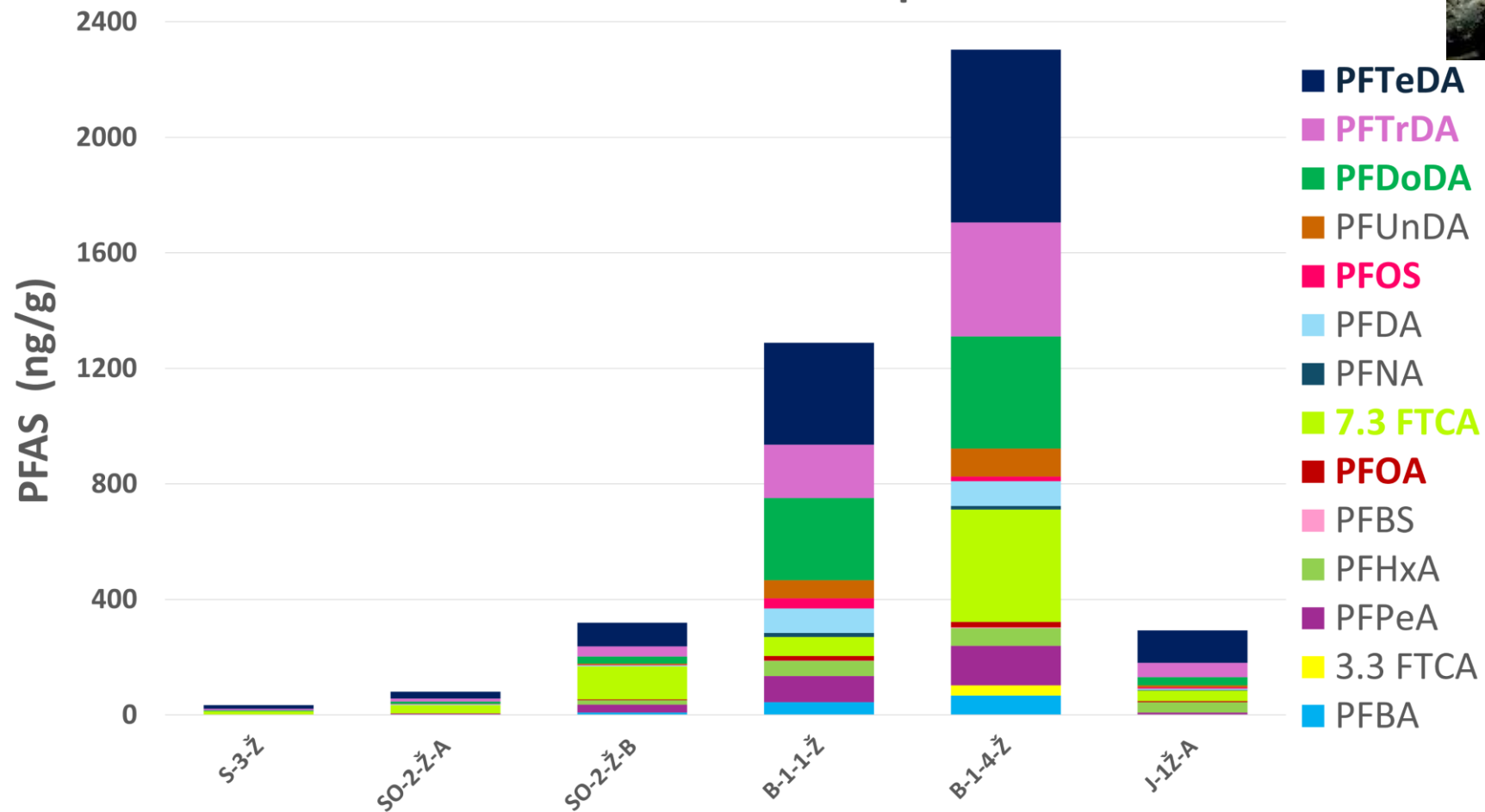
PFAS - JEHLIČÍ - listopad 2024



ŽÍŽALY



PFAS - ŽÍŽALY - listopad 2024



Dosavadní závěry

- Běžkařské aktivity zanášejí do CHKO PFAS
- Krátké PFAS díky své mobilitě pokračují dále do povodí
- Dlouhé PFAS díky svému bioakumulačnímu potenciálu zásadně kontaminují půdní organismy (žížaly)
- V prvních dvou měsících monitoringu 75 PFAS byly v surové vodě detekované pouze stopové množství těchto látek
- V porovnání se situací na dalších úpravnách v ČR patří tyto úrovně k 20% nejnižším



Děkuji za pozornost!

jaroslav.semerad@biomed.cas.cz



Mikrobiologický ústav
Akademie věd České republiky



Přírodovědecká fakulta
Univerzita Karlova

