Centrum environmentálního výzkumu:
Odpadové a oběhové hospodářství
a environmentální bezpečnost

CEVOOH

Workshop

DEKONTAMINAČNÍ TECHNOLOGIE
Stávající možnosti a metody v oblasti sanací kontaminovaných míst

23. 1. 2025, Ústav pro životní prostředí, PřF UK

T A Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.

Využití umělých mokřadů pro aplikaci v čistírenství, průmyslu a zemědělství

RNDr. Michal Šereš, Ph.D., Ústav pro životní prostředí PřF UK

Umělé mokřady jako přírodě blízká technologie čištění odpadních vod

- Umělý mokřad (UM)…nebo též kořenová čistírna odpadních vod (KČOV), biofiltr, biotechnické čištění vod, constructed wetland, artificial wetland, treatment wetland, …
- Jedná se o mokřadní systémy skládající se z vody, substrátu, rostlin a mikroorganismů, který tvoří funkční ekosystém schopný čistit odpadní vody pomocí procesů:
  - Sedimentace
  - Filtrace
  - Srážení
  - Adsorpce
  - Biologického čištění
  - Mikrobiální biodegradace
  - Fytoremediace
  - Evapotranspirace

Definice mokřadů

- Mokřadem jsou území bažin, slatin, rašelinišť i území pokrytá vodou, přirozená i uměle vytvořená, trvalá či dočasná, s vodou stojatou či tekoucí, sladkou, brakickou či slanou, včetně území s mořskou vodou, jejíž hloubka při odlivu nepřesahuje šest metrů (Ramsarská úmluva).

- „Umělé mokřady jsou systémy, které jsou navrženy a budovány tak, aby bylo co nejlépe možné využít přirozené procesy, které zahrnují interakce vegetace a mikrobiálních společenstev v půdě a vodě za účelem čištění odpadních vod.“

Foto: www.ochranaprirody.cz

Přírodě blízká řešení

(Nature based solutions)

- Přírodě blízká řešení jsou založená na principech udržitelného řízení a využívání přírody k řešení socio-environmentálních výzev. Mezi výzvy patří problémy, jako je změna klimatu, bezpečnost vody, znečištění vody, bezpečnost potravin, lidské zdraví, ztráta biologické rozmanitosti a řízení rizik katastrof (wikipedia.com).

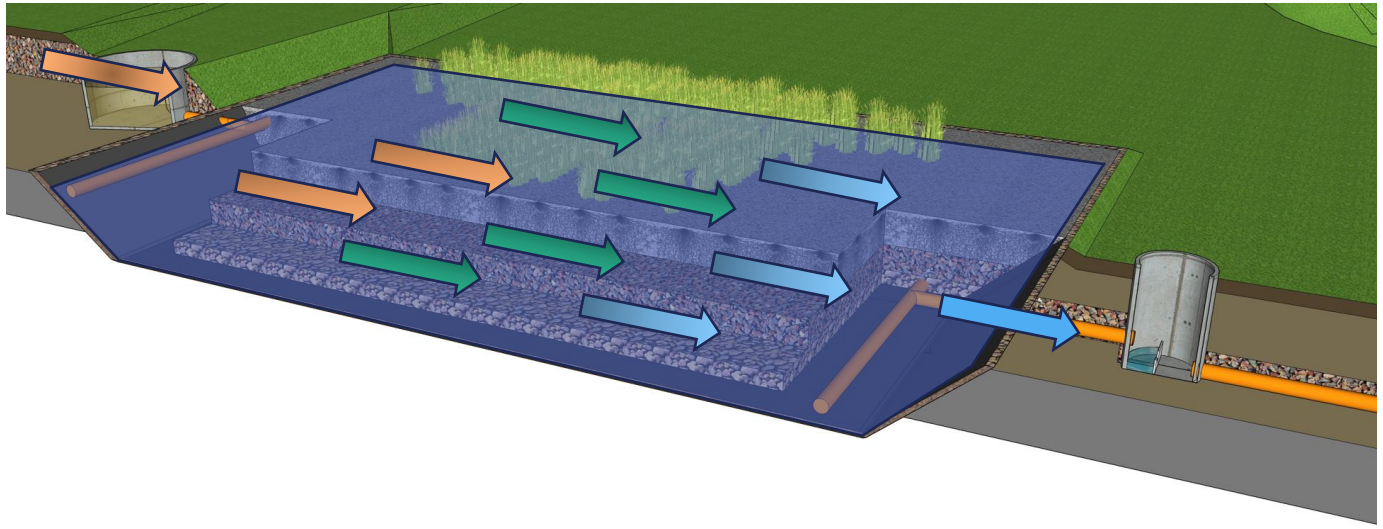
Principy čištění v umělých mokřadech

Kombinace procesů:

FYZIKÁLNÍCH
- Sedimentace
- Filtrace

CHEMICKÝCH
- Chemická transformace
- Adsorpce
- Iontová výměna

BIOLOGICKÝCH
- Biologický rozklad
- Metabolismus mikroorganismů a rostlin



Rostliny

Filtrační materiál

Mikroorganismy

Aplikace umělých mokřadů

V ČR nejčastěji jako sekundární systém čištění odpadních vod pro rodinné domy, v obcích ve velikosti 500 - 2000 obyvatel, jako terciární systém na větších ČOV či dočištění odlehčených OV:

- Komunální odpadní vody (obce, osady, hotely, kempy, rodinné domy)
- Zemědělské vody (statky, produkce vína, moštárny, drenáže atd.)
- Průsaky ze skládek
- Průmyslové odpadní vody kontaminované organickým znečištěním

Domovní a obecní kořenové čistírny

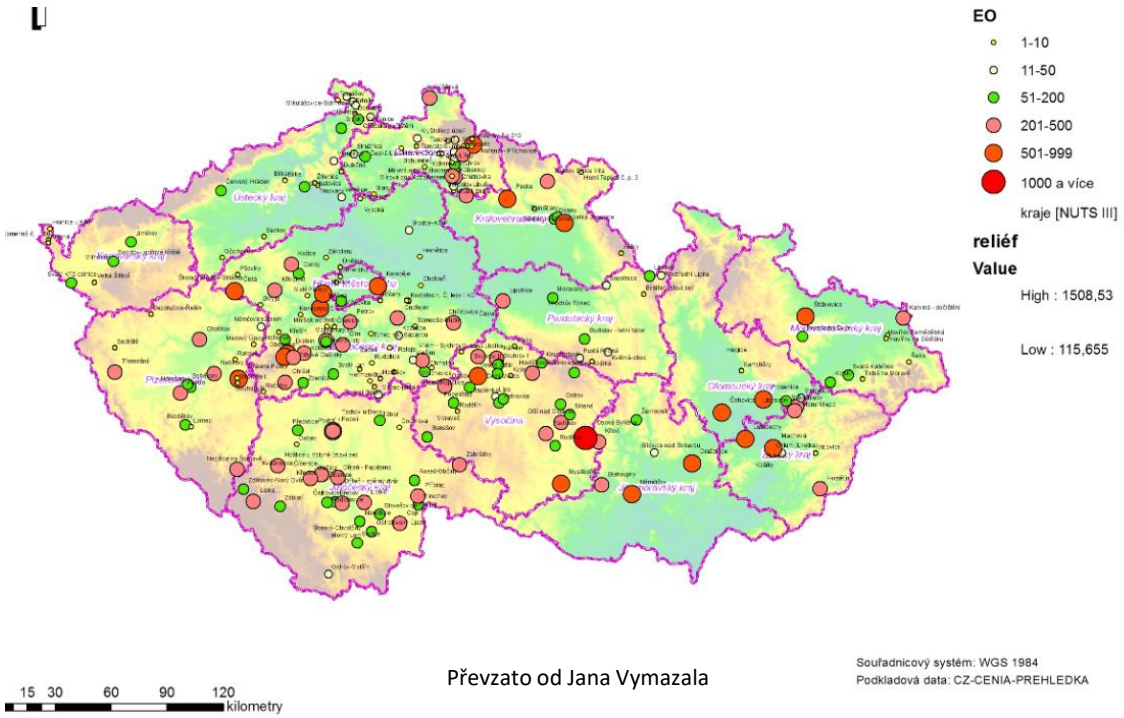
KČOV Smolotely (10 EO)

KČOV Smolotely (10 EO)

KČOV Mirošovice (150 EO)

KČOV Brloh - Louny (150 EO)

Využití KČOV v ČR a Evropě



Převzato od Jana Vymazala

- Německo > 50 000
- Polsko > 8 000
- Francie > 4 000
- Rakousko > 3 000
- Velká Británie > 1 400
- Itálie > 1 500
- Česko > 750

The presence of nature-based solutions (marked in green) as small wastewater treatment plants (<2000 PE) in Central and Eastern European countries. Where available, the (approximate) number of plants is also given.

	BiH	BG	HR	CZ	EE	HU	LV	MD	ME	PL	RO	SK	SI	UA	Total
Soil infiltration				>1000		12								300	>1312
Willow systems													1		>1
Waste stabilization ponds				100		3							2		>105
Aerated ponds													10		>10
Treatment wetlands	3		8	750				7	5	8000		150	180	80	>9183
Sludge treatment reed beds			8	10			10		4	1					>33
Vermifilter				1				1							2
Ecosan technology								>70							70

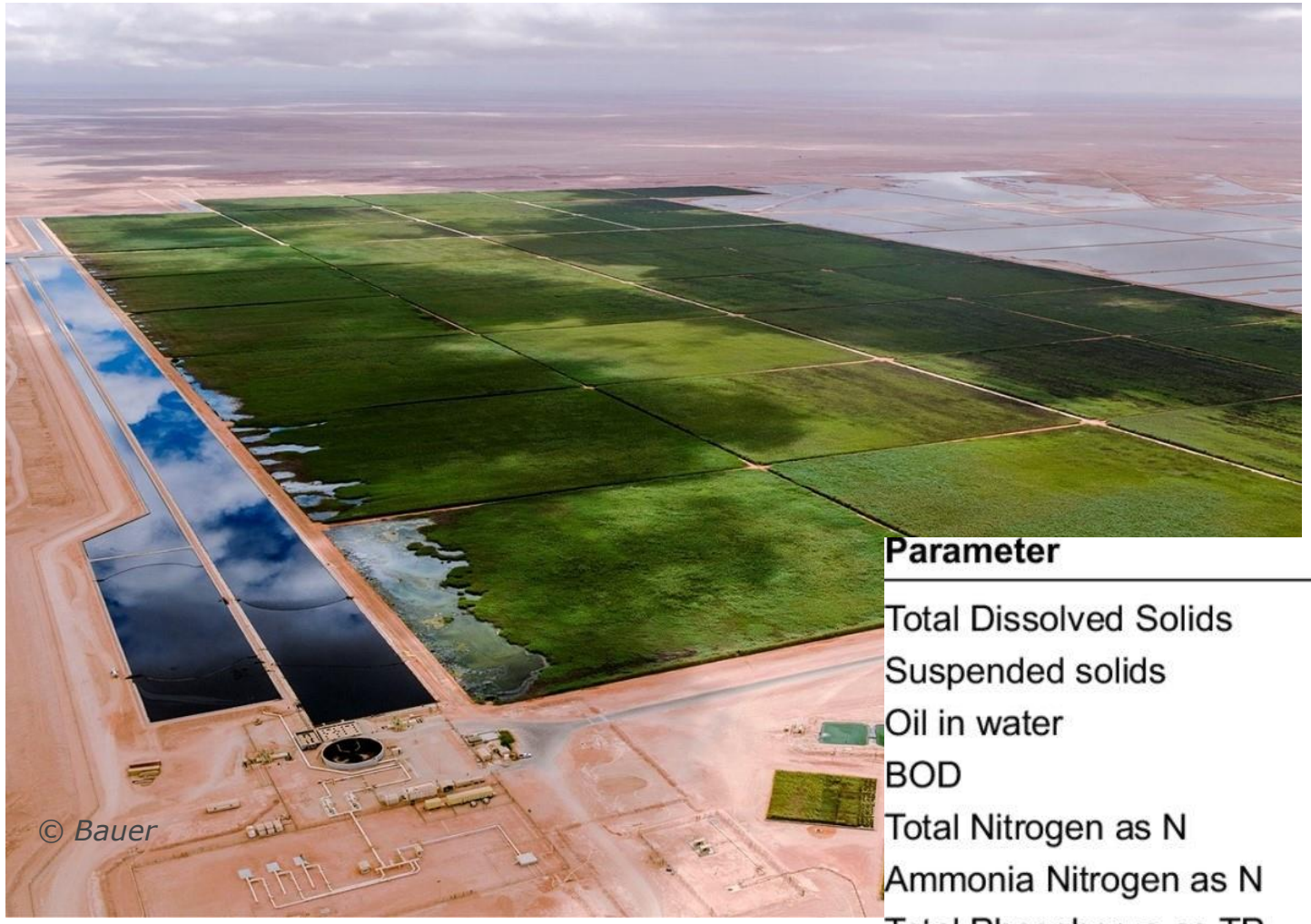
BiH—Bosnia and Herzegovina, BG—Bulgaria, HR—Croatia, CZ—Czechia, EE—Estonia, HU—Hungary, LV—Latvia, MD—Moldova, ME—Montenegro, PL—Poland, RO—Romania, SK—Slovakia, SI—Slovenia, UA—Ukraine .

Zdroj: *Istenič, D.; Bodík, I.; Merisaar, M.; Gajewska, M.; Šereš, M.; Griessler Bulc, T. Challenges and Perspectives of Nature-Based Wastewater Treatment and Reuse in Rural Areas of Central and Eastern Europe. Sustainability 2023, 15, 8145. https://doi.org/10.3390/su15108145*

Použití v průmyslu
Těžba ropy

Nimr Water Treatment Plant (NWTP) v Sultanátu Omán

- Největší kořenová čistírna na světě
- Pokrývá plochu 5 milionů m² umělých mokřadů a 8 milionů m² odpařovacích nádrží (175 000 m³ / den).
- Čistírna zpracovává odpadní vody kontaminované ropou, které vznikají během těžby a zpracování ropy.
- Čištění probíhá prostřednictvím chemických a biologických procesů v rostlinách a substrátu mokřadů, včetně absorpce rostlinami, biodegradace a volatilizace.



Stefanakis, Alexandros & Prigent, Stephane & Breuer, Roman. (2020). CASE STUDY 4 – NIMR WATER TREATMENT PLANT (OMAN).

Parameter	Inflow	Outflow
Total Dissolved Solids	7,000	12,000
Suspended solids	28	10
Oil in water	280	<0.5
BOD	15.7	<1
Total Nitrogen as N	2.5	<0.5
Ammonia Nitrogen as N	1.3	<0.1
Total Phosphorus as TP	0.03	<0.5
Boron as B (dissolved)	4.5	5.6

Použití v průmyslu
Čištění skládkových vod

Technologie Wetland+® (lom Hájek u Hroznětína)

- Čištění skládkové vody
- Založeno na průtoku vody několika reaktivními zónami a mokřadem jako konečnou čisticí jednotkou
- Ve výsypce je uloženo pět tisíc tun lindanu a odpadních látek, které vznikaly při jeho výrobě v neratovické Spolaně za minulého režimu.
- Systém reaktivních a sorpčních polí
- Rozloha 0,75 hektaru
- Dokončeno a spuštěno 09/2021
- Účinnost až 97 %.

Foto: LIFEPOPWAT/TUL

Použití v průmyslu
Čištění skládkových vod

Burnie Landfill Wetland System (Burnie, Tasmánie, Austrálie)

- Kombinace mokřadů s povrchovým a podpovrchovým tokem, doplněná „lesním“ mokřadem s funkcí evapotranspirace a infiltrace, který zajišťuje dočištění a nepřímý odtok do potoka podzemními průsaky.
- Průměrný průtok 280 m^3/den, maximální kapacita 600 m^3/den.
- V provozu od roku 2017.
- Postupné zlepšování účinnosti při odstraňování klíčových parametrů, jako je TN, TKN, amoniak a dusičnany, díky zrání systému.
- Nízké náklady na údržbu, vysoká účinnost čištění, dodatečné environmentální, sociální a ekonomické benefity.

Langergraber, Günter & Dotro, Gabriela & Nivala, Jaime & Rizzo, Anacleto & Stein, Otto. (2019). Wetland Technology: Practical Information on the Design and Application of Treatment Wetlands. 10.2166/9781789060171.

Odstraňování mikropolutantů

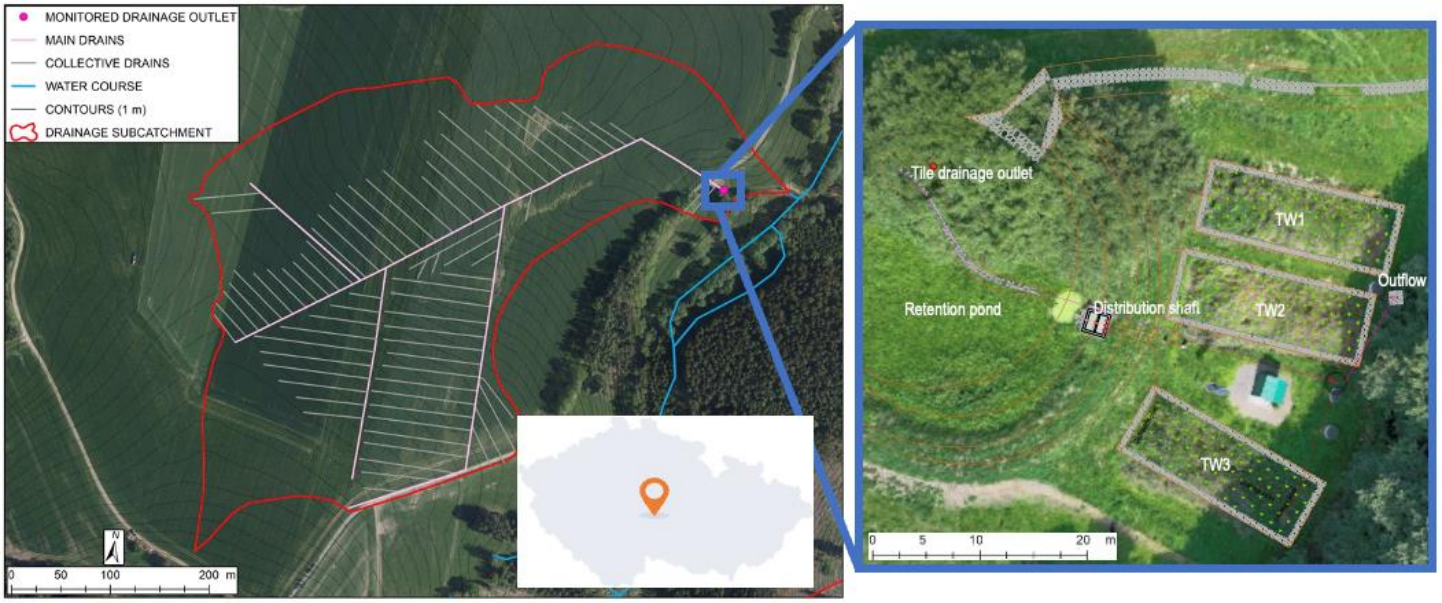
- UM jsou efektivní při odstraňování farmaceutických látek z odpadních vod, například diklofenaku, ibuprofenu, ketoprofenu a naproxenu s účinností až 87 %.
- Mokřady eliminují také hormonálně aktivní látky, endokrinní disruptory a další mikropolutanty, které jsou obtížně odstranitelné jinými metodami.
- Klíčovým mechanismem je biodegradace farmak mikrobiálními společenstvy a sorpce na filtrační média.
- Podpovrchově protékané mokřady mají vyšší účinnost díky delší době zdržení a komplexnějším podmínkám.

Compound	Range	Avg R.E. (%)	Type of treatment	Ref.
Ibuprofen	95-96	96	Restoration FWS wetland (receives secondary effluent from a WWTP)	1
	48 (shallow)-81 (deep)	n.a.	Pilot-scale HF wetlands (different depths) with injection of contaminants	2
	n.a.	99	Experimental pilot -scale VF wetland (5 m^2)	3
	n.a.	<15	Restored wetland system fed with natural waters impacted by urban and agricultural run-off	4
	n.a.	>95	Pilot-scale VF wetland (5 m^2)	5
Diclofenac	n.a.	73	Experimental pilot -scale VF wetland (5m^2)	3
	n.a.	<15	Restored wetland system fed with natural waters impacted by urban and agricultural run-off	4
	n.a.	65	Pilot-scale VF wetland (5 m^2)	5
	65-87	77	Three hybrid treatment Systems (ponds and CWs)	6
	73-96	n.a.	FWS wetland (receives secondary effluent from WWTP)	7
	n.a.	21	Household HF wetland	8
Acetaminophen	>90	>90	Pilot—scale VF wetland (5 m^2)	5
Tonalide	88-90	89	Restoration FWS wetland (receives secondary effluent from a WWTP)	1
	n.a.	82	Experimental pilot-scale VF wetland (5 m^2)	3
	n.a.	15-40	Restored wetland system fed with natural waters impacted by urban and agricultural run-off	4
	n.a.	70	Pilot-scale VF wetland (5 m^2)	5
Oxybenzone	n.a.	>95	Pilot-scale VF wetland (5 m^2)	5
	n.a.	98	Household HF wetland	8
	n.a.	77	Tertiary treatment by Pond + FWS wetland	9
Triclosan	n.a.	>40	Restored wetland system fed with natural waters impacted by urban and agricultural run-off	4
	n.a.	>80	Pilot-scale VF wetland (5 m^2)	5
	n.a.	86	Tertiary treatment by Pond + FWS wetland	9

1. Llorens et al. (2009); 2. Matamoros et al. (2005); 3. Matamoros et al. (2007); 4. Matamoros et al. (2012a); 5. Ávila et al, 2014c; 6. Hijosa-Valsero et al. (2010a); 7. Matamoros et al. (2008b); 8. Matamoros et al. (2009a); 9. Matamoros and Salvadó (2012).

Ávila, C., & García, J. (2015). Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Environment and Their Removal from Wastewater through Constructed Wetlands. *Comprehensive Analytical Chemistry*, *67*, 195–244. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63299-9.00006-5

Čištění vod ze zemědělství



Rok	Odstranění N (g/m²/den)				Průtok (l/s)
	M1	M2	M3	CELKEM	CELKEM
2018	0,445	0,351	0,365	1,161	0,114
2019	0,468	0,223	0,347	1,038	0,179
2020	2,511	1,935	1,639	6,085	0,525
2021	1,646	1,643	1,616	4,905	0,617
2022	0,465	0,31	0,39	1,165	0,314
2023	0,491	0,318	0,418	1,227	0,308
2024	0,595	0,466	0,658	1,719	0,461
Průměr	0,946	0,749	0,776	2,471	0,360

- Experimentální UM Velký Rybník (spolupráce Dekonta, a.s., VUMOP a ČZU)
- Povodí VN Švihov – snižování zatížení Kopaninského potoka N a pesticidy
- 3 UM o celkové ploše 267 m^2
- Celkem odstraní 0,66 kg N/den

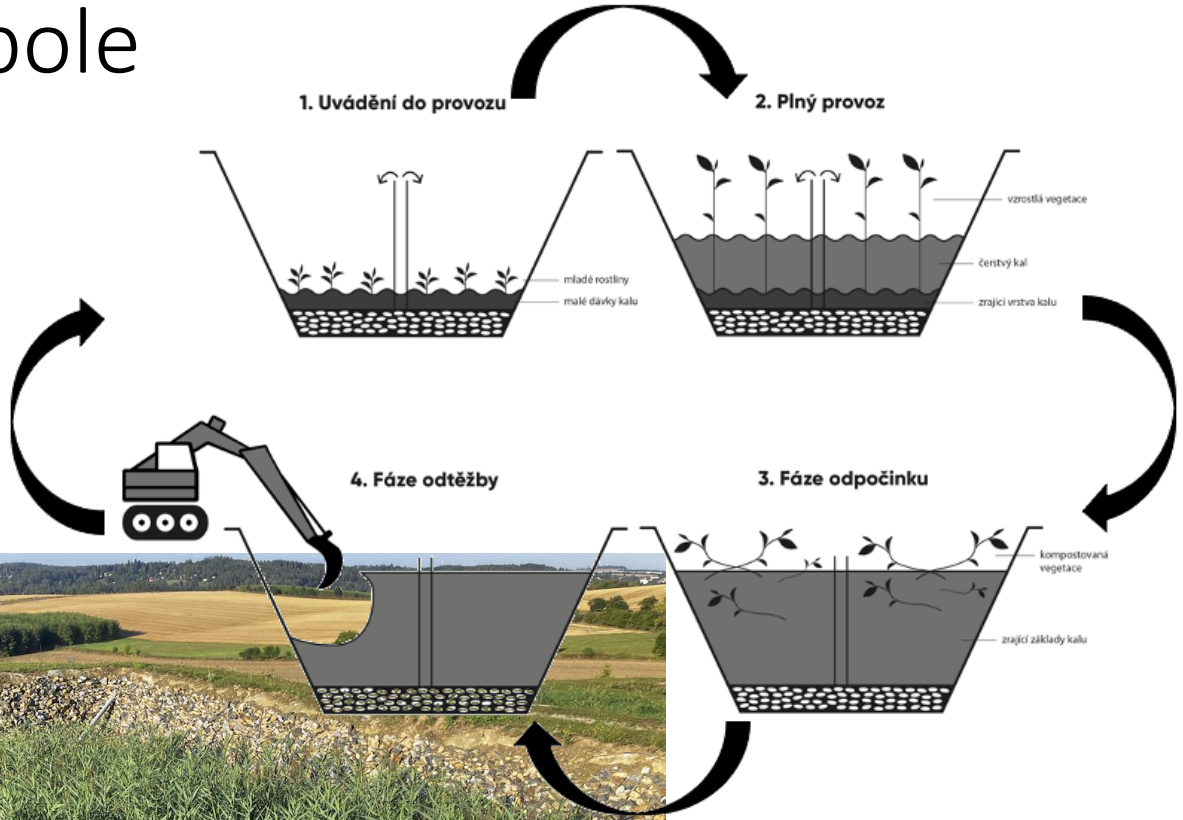
Bezodtoké mokřady
domovní a komunální vody

- Mokřady osázené vrbami, fungující převážně na principu evapotranspirace, kdy dochází k odpařování vody z povrchu půdy a transpiraci přes rostliny.
- Některé systémy kombinují evapotranspiraci s infiltrací nebo průtokovým režimem s výstupem vody využitelným pro zavlažování a recyklaci živin.
- Běžně využívány v severských a baltských zemích, Irsku, Anglii, Číně a Polsku; pilotní projekty fungují ve Francii, Řecku, Španělsku a Slovinsku.
- V Dánsku pokrývají systémy pro jednu domácnost 200–300 m² podle místních klimatických podmínek a množství odpadní vody.

Zdroj: Brix, Hans & Arias, Carlos. (2011). Use of willows in evapotranspirative systems for onsite wastewater management ? theory and experiences from Denmark. Strepow International Workshop, 23-24 February, 2011 Andrevlje-Novi Sad. 15-29.

Kalová pole

- ČOV transformuje přes 50-80% znečištění do kalu a představuje cca 1-2% objemu čištěných odpadních vod.
- Čistírenský kal je zdrojem organického uhlíku (až 40 % celkového objemu), dusíku (9,8 %) a fosforu (2,7 %) (Uggetti et al., 2010) a má tak potenciál využití jako hnojiva na zemědělské půdě.
- Technologie kalových (rákosových) polí (z aj. Reed beds)
  - RB jsou hydroizolované nádrže s drenážní vrstvou a mokřadní vegetací (nejčastěji rákosem obecným).
  - Slouží k odvodnění a stabilizaci čistírenských kalů pomocí filtrace vody a evapotranspirace a také mineralizace organických látek.
- Výhody používání RB:
  - Snížení objemu kalu: Kaly se mohou deponovat více než 10 let, přičemž jejich objem se po každém dávkování sníží až o 97 %.
  - Nízké provozní náklady, což je výhodné zejména pro malé obce.
  - Možnost dalšího využití zmineralizovaných kalů v zemědělství, pokud splňují legislativní požadavky na obsah těžkých kovů a patogenů.



Mokřadní střechy

- Čištění šedých vod přímo u producenta
- Zlepšení mikroklimatu měst
- Možnost znovu využití vod na pozemku

Zdroj: www.korenova-cisticka.cz

Zdroj: https://sustainability.stackexchange.com

Koupací biotopy a jezírka

Ústav pro životní prostředí
Přírodovědecká fakulta UK

Michal Šereš
seresm@natur.cuni.cz