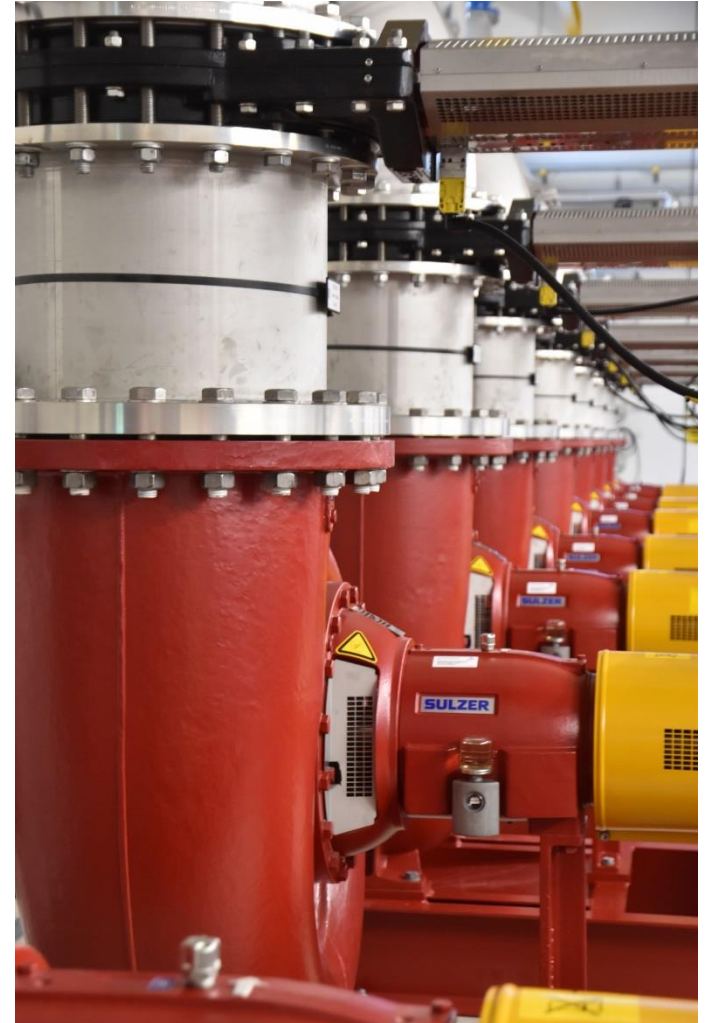


ČESKO-IZRAELSKÝ VODOHOSPODÁŘSKÝ SEMINÁŘ

Odstraňování mikropolutantů z odtoku ČOV
požadované směrnicí EU o čištění městských
odpadních vod:

Systematický přístup k výběru vhodné technologie kvartérního čištění

Jan Bartacek, Martin Srb, Radka Rosenbergová

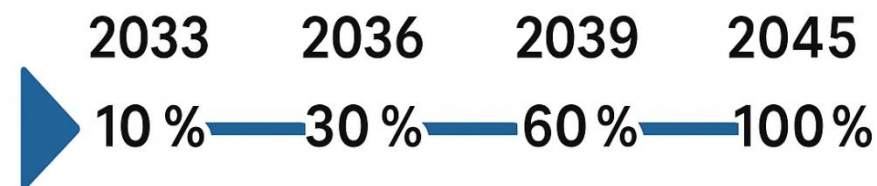
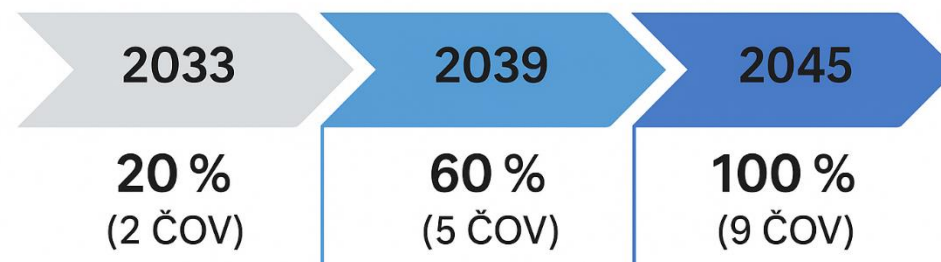


Struktura prezentace

- Úvod – Stav legislativy a situace Prahy
- Koncepce projektové přípravy pro ÚČOV Praha
- Srovnání dostupných technologií
 - Technická část
 - Ekonomická část
- Shrnutí

Úvod – Legislativní a časový rámec

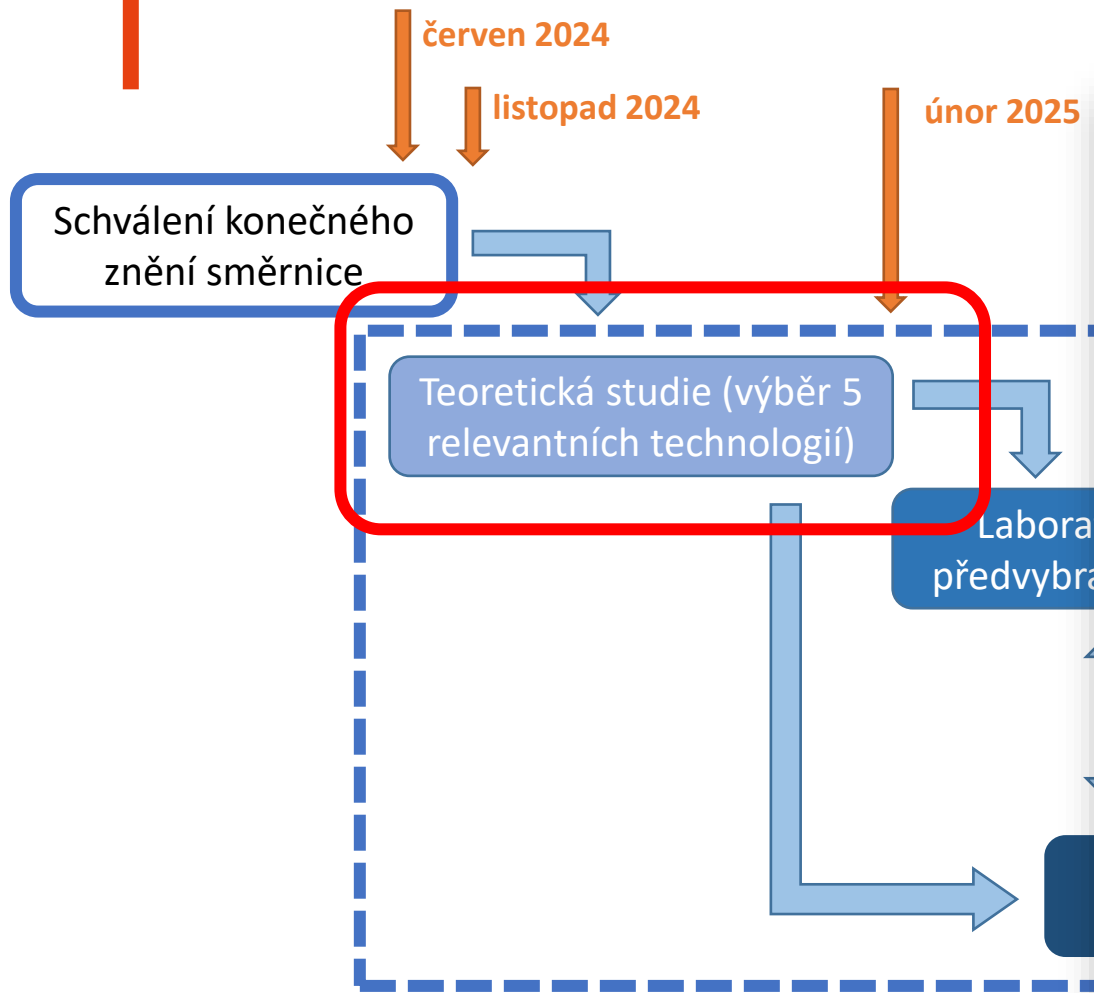
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/3019 ze dne 27. listopadu 2024 o čištění městských odpadních vod požaduje zavedení kvartérního stupně čištění u ČOV s kapacitou větší než 150 000 EO
 - Harmonogram plnění bude vycházet z Národního prováděcího programu (NPP)
 - Požadováno 80% odstranění vybraných mikropolutantů (6 ze 12 látek definovaných Přílohou I) při bezdeštném průtoku
- Zavedení kvartérního stupně pro aglomerace s kapacitou >10 000 EO, které vypouštějí odtok do recipientu se zvýšeným rizikem akumulace mikropolutantů



Situace Ústřední čistírny odpadních vod Praha (ÚČOV)

- Obě vodní linky budou podléhat požadavku na zavedení kvarterního čištění
 - Nová vodní linka (NVL) – v provozu od roku 2019 (2022)
 - Stávající vodní linka (SVL) – rekonstrukce bude zahájena v roce 2026
- Předpokládá se, že alespoň NVL by měla spadat do první vlny ČOV vybavených kvartérním čištěním
- Není vyloučeno, že některé menší (tzv. pobočné) pražské ČOV budou rovněž muset být vybaveny kvartérním stupněm čištění

Příprava implementace kvartérního čištění na ÚČOV Praha



REŠERŠE TECHNOLOGIÍ
KVARTÉRNÍHO ČIŠTĚNÍ
ODPADNÍCH VOD SE
ZAMĚŘENÍM NA
APLIKOVATELNOST
V MĚSTSKÝCH ČOV

ZADAVATEL

Pražská vodohospodářská společnost a.s.



PRAŽSKÁ
VODOHOSPODÁŘSKÁ
SPOLEČNOST a.s.

ZHOTOVITELÉ

Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Veolia Holding Česká republika, a.s.



Pražské vodovody
a kanalizace



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE



VEOLIA



PRAŽSKÁ
VODOHOSPODÁŘSKÁ
SPOLEČNOST a.s.

prosinec 2027

Prováděcí plán
směrnice pro ČR

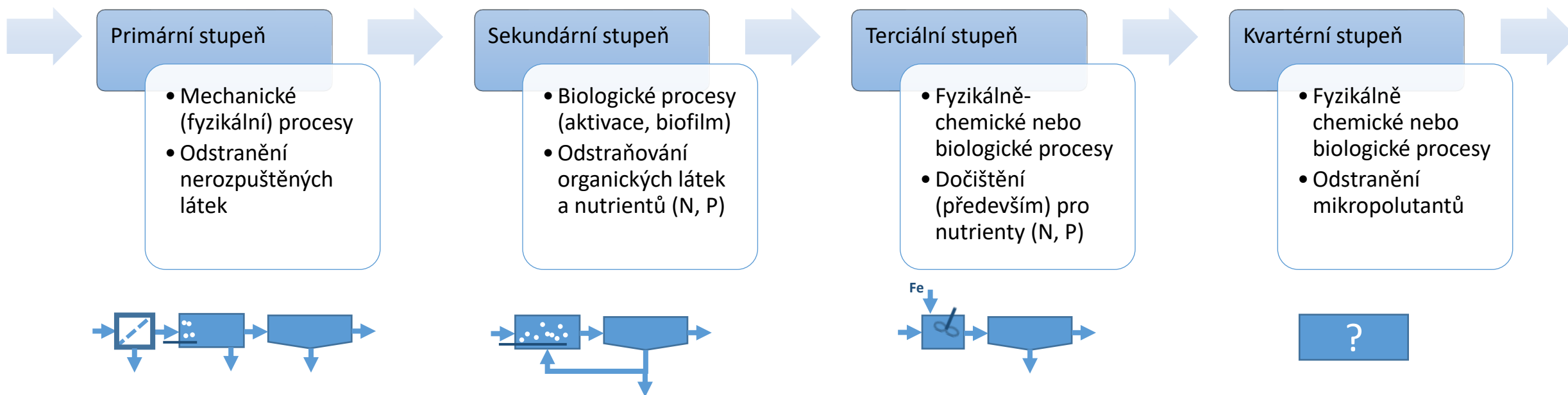
prosinec 2033 (?)

Realizace vybrané
technologie



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

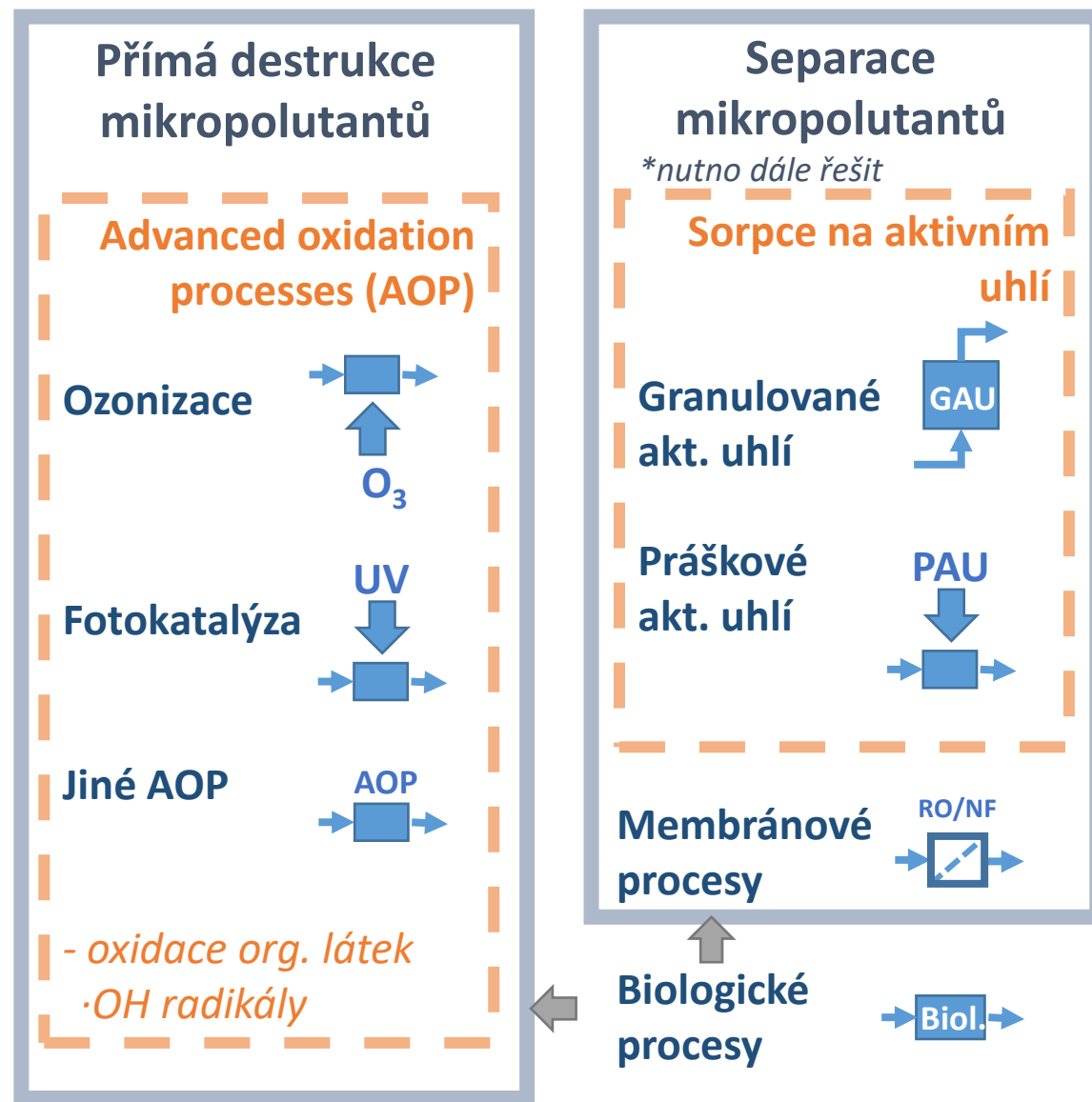
Definice kvartérního stupně čištění



Relevantní procesy

Kvartérní stupeň

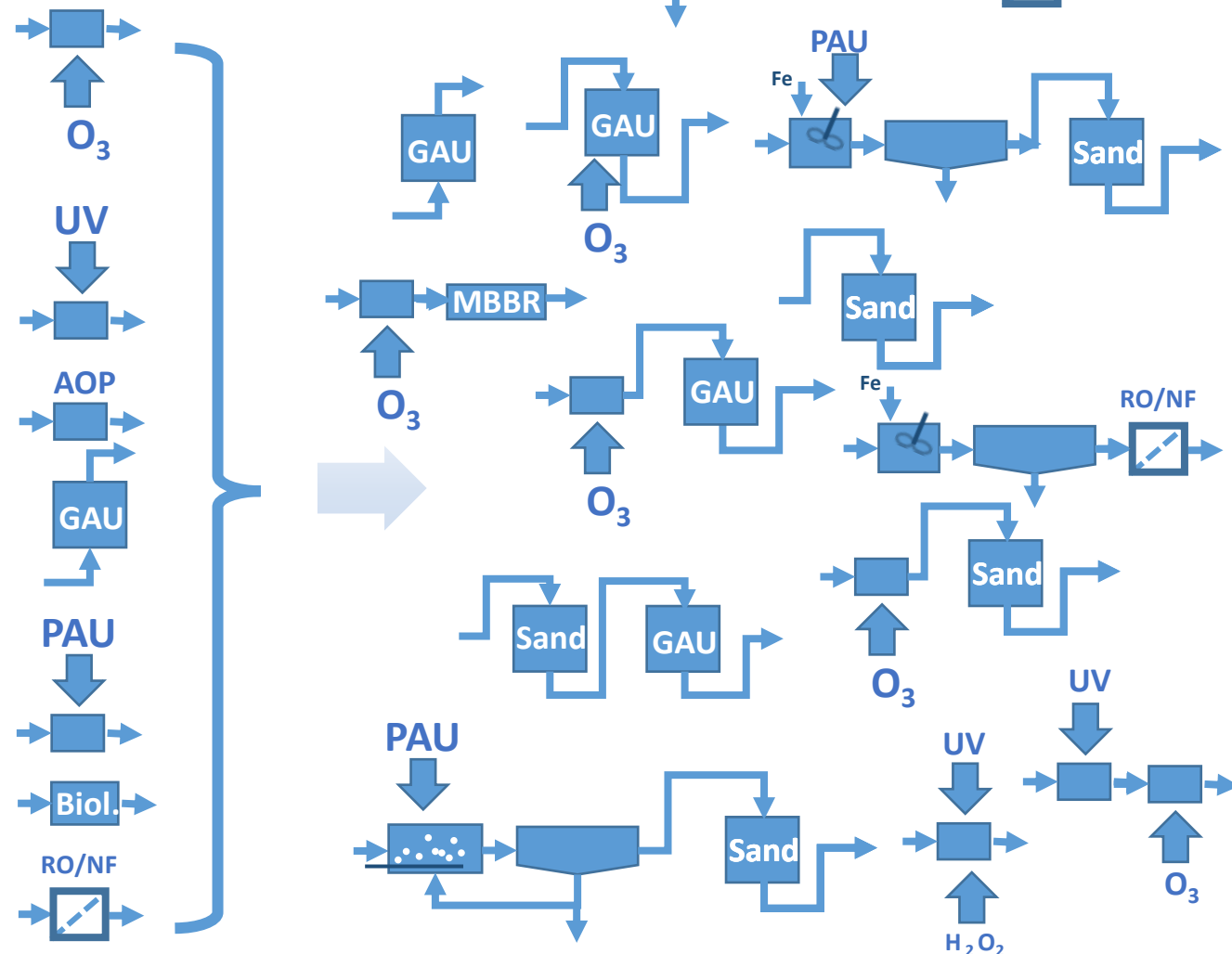
- V úvahu přichází široká škála fyzikálně-chemických a biologických procesů
- Pro zajištění dostatečné účinnosti je většinou potřeba kombinovat dva a více procesů



Relevantní technologie

Kvartérní stupeň

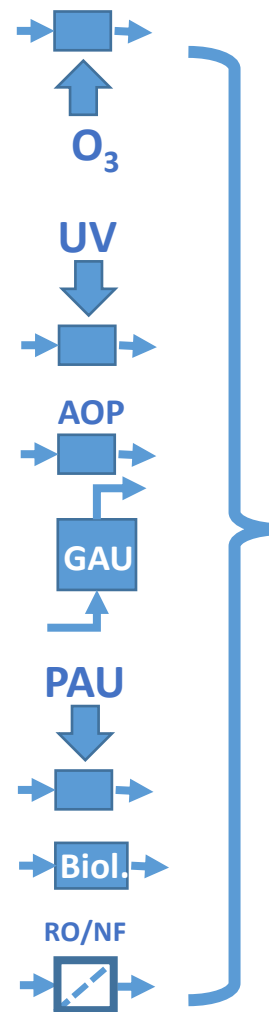
- V úvahu přichází široká škála fyzikálně-chemických a biologických procesů
- Pro zajištění dostatečné účinnosti je většinou potřeba kombinovat dva a více procesů



Relevantní technologie

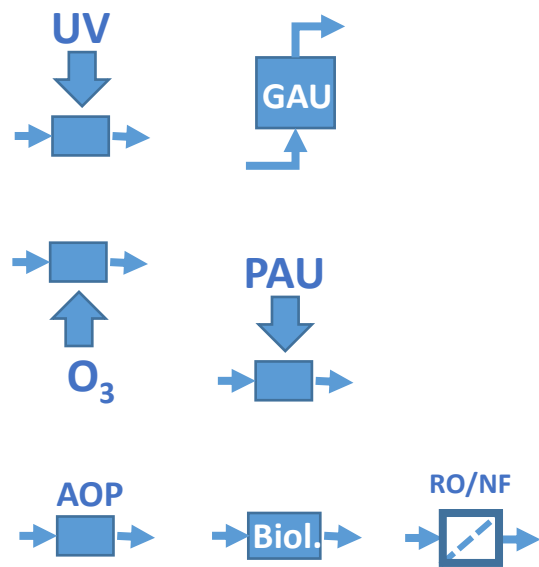
Kvartérní stupeň

- V úvahu přichází široká škála fyzikálně-chemických a biologických procesů
- Pro zajištění dostatečné účinnosti je většinou potřeba kombinovat dva a více procesů



Koncepce studie

29 variant technologií
a jejich kombinací



Literární
rešerše

Exkurze
ČOV

Konfe-
rence

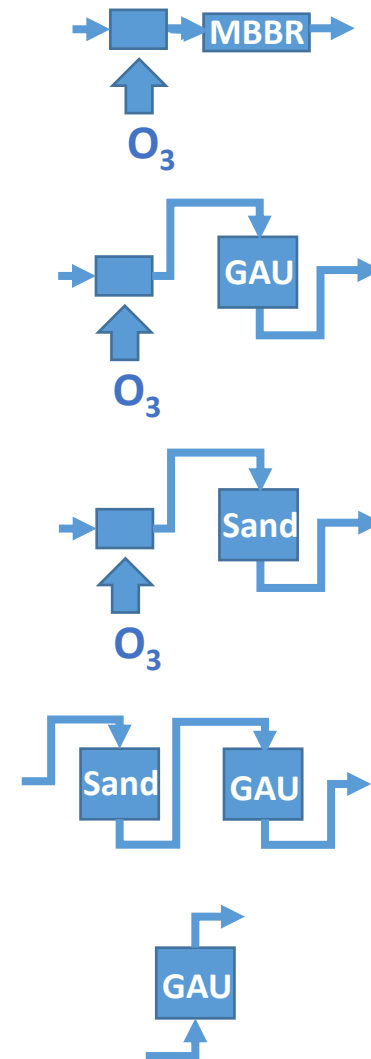
Multikriteriální technická
analýza technologií

Srovnání nákladů na stavbu
a provoz technologií

Veřejné informace
z ČOV (CH, D, NL, S)

Literární
rešerše

5 variant technologií
pro další testování



Hlavní principy technické části studie

- Pouze technické aspekty
- Důraz na provozní (poloprovozní zkušenosti)
- Snaha posoudit všechny dostupné technologie
 - Technologie hodnoceny vždy v celku (vč. všech stupňů a nutné předúpravy)
- Důraz na místní podmínky ÚČOV Praha
 - problém s plochou
 - snaha o energetickou úspornost
 - velká ČOV

Technická analýza

Multikriteriální SWOT analýza technologií

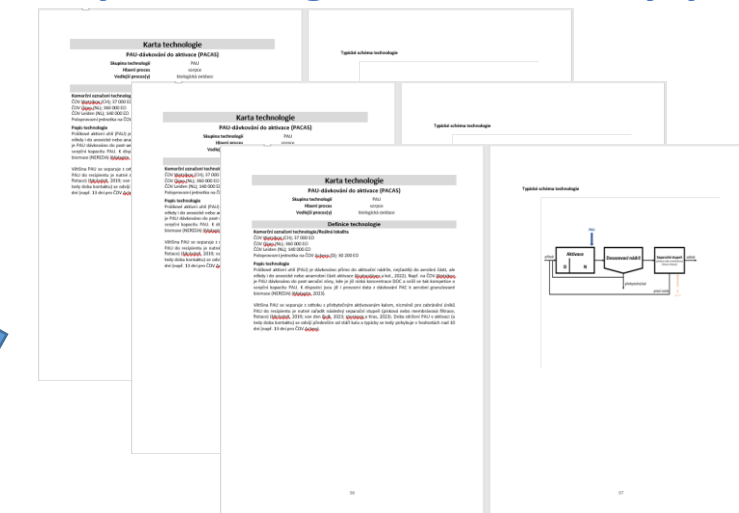
Proces porovnání technologií

Volba kritérií a jejich vah

Rešerše zdrojů

Matice technologií
(MS Excel)

Karty technologií vč. SWOT analýzy

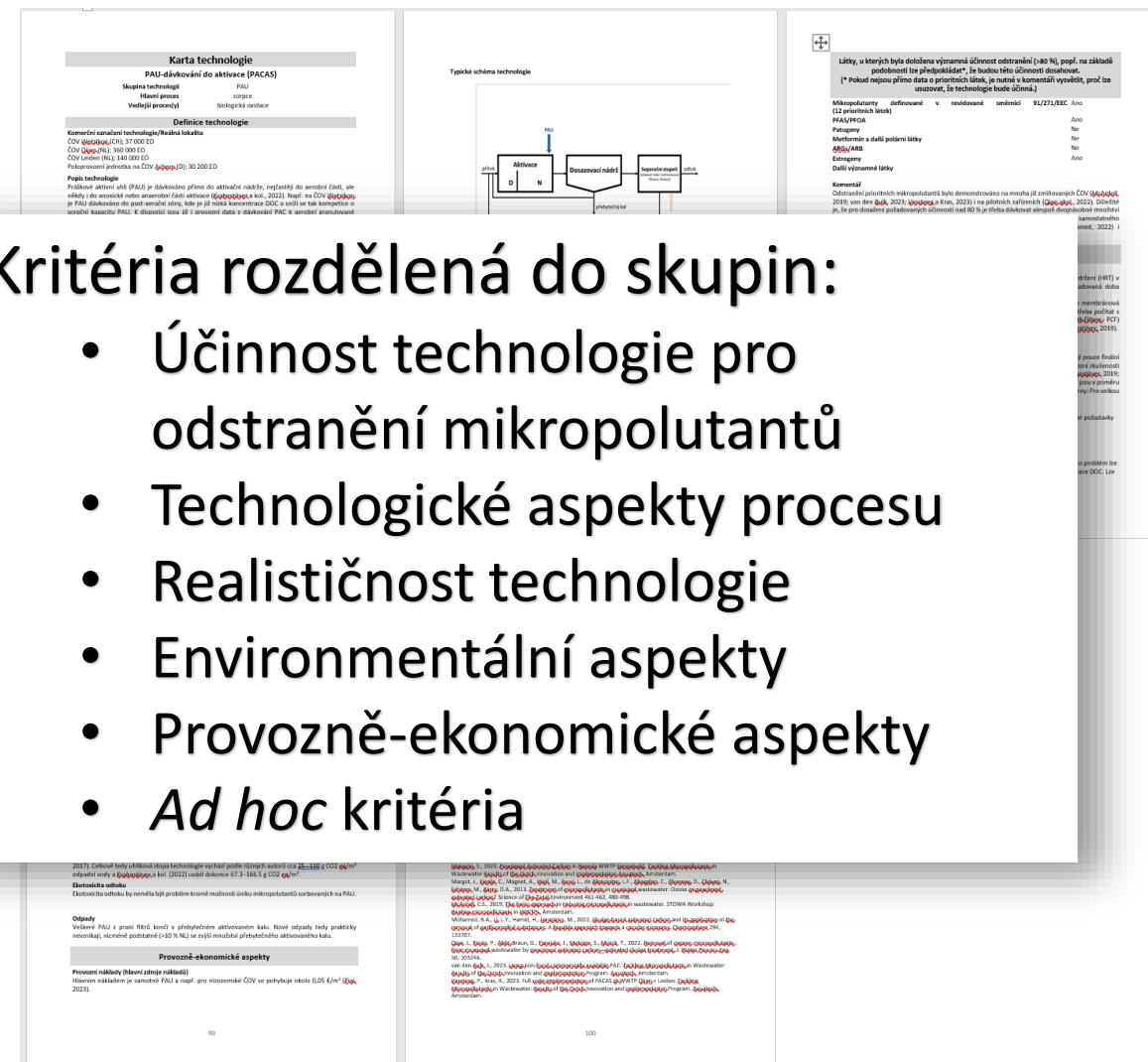


Srovnávací tabulky

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel	Účel
2. Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis	Popis
3. Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody	Výhody
4. Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody	Nevýhody
5. SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza	SWOT analýza
6. Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr	Závěr

Karty technologií

- Samostatná karta s jednotnou strukturou pro každou technologickou variantu
- 22 předdefinovaných kritérií
 - Kvantitativní hodnocení (0 – 10) na základě detailně vydefinovaných kategorií pro každé kritérium
- *Ad hoc* kritéria
 - Definovaná pouze pro relevantní technologické varianty



Kritéria rozdělená do skupin:

- Účinnost technologie pro odstranění mikropolutantů
- Technologické aspekty procesu
- Realističnost technologie
- Environmentální aspekty
- Provozně-ekonomické aspekty
- *Ad hoc* kritéria

Multikriteriální (SWOT) analýza

- Interní kritéria (slabé/silné stránky)
 - přímo spojena s danou technologií
 - mají přímý vliv na chod technologie nebo na splnění legislativních požadavků platných v současnosti
- Externí kritéria (příležitosti/hrozby)
 - výskyt není pod kontrolou provozovatele (např. mění se kvalita vstupních surovin)
 - jejich důležitost se může měnit např. v závislosti na budoucích změnách legislativy
- Rozsahy hodnot (škálování) definovány zvlášť pro jednotlivá kritéria
- Pro některá kritéria jsou definovány prahové hodnoty, při jejichž podkročení je technologie automaticky vyřazena
- Agregované kritérium zvlášť pro externí a interní kritéria (normalizováno: 0-100 %)
- Relativní váhy jednotlivých kritérií (0 až 1) byly nastaveny podle jejich důležitosti a lze s nimi manipulovat

SWOT analýza			
Silné stránky			
Potřebná hydraulická doba zdržení v celé technologii	18,9	Hodnocení	Váha
Prostorová náročnost technologie	HRT = 1-4 h	6	0,5
Požadovaná předúprava	A = 1-5 m³/1000 EO	6	0,5
Velikost současné realizace (průtok)	Bázně/Nická_gg_bez úinidel	5	0,5
Riziko zhoršení kvality odtoku z ČOV s přihlédnutím k tradičním ukazatelům	stovky L/h	5	0,3
Odpady	výjimečná/bázně	9	0,1
Dávkování chemikálie	Malé množství/Výjimečná	9	0,4
Náročnost na obsluhu	Nenáročná/Periodicky	8	0,4
Slabé stránky			
inhibiční vlivy	5,5	Hodnocení	Váha
Pokročilost technologie ve vývoji (TRL)	Bázně-Neodstranitelné agens/Cástečně-Neodstranitelné inhibice	3	0,3
Zdokumentovaná délka provozu	188,4 - technologie ověřena v laboratořích	4	0,5
Energetická náročnost	hodiny	1	0,2
Uhlíková stopa	> 0,12 kWh/m³	0	0,5
Ekotoxicita odtoku	Vysoká střední - Nenáročná	2	0,2
Bezpečnostní rizika	matér. bázně - varníka/ tox. I. - Žádné odstranění	0	0,5
Příležitosti	14,0	Hodnocení	Váha
PFAS/POA	Ano	10	0,5
Patogeny	Ano	10	0,5
Metformin a další pojení látky	Ano	10	0,1
AR/G/ARB	Ano	10	0,75
Estrogeny	Ano	10	0,05
Hrozby	0,4	Hodnocení	Váha
Provoz (neteknologická) rizika	Velký dopad/střední pravděpodobnost	2	0,2

220

Ad Hoc kritéria			
Interní	0,0	Hodnocení	Váha
Externí			
2,4	Hodnocení	Váha	
Mikropolutanty jsou destruktivní z větší části přímo v technologii	8	0,3	
Silné stránky			
Splněná účinnost			
Technologie nebyla provozně - bezpečně minimální hodnoty pro 3 kritéria			
Absolutní	24,4 / 56	54%	
Externí	10,8 / 19	57%	

221

Multikriteriální (SWOT) analýza

- Interní kritéria (slabé/silné stránky)
 - přímo spojena s danou technologií
 - mají přímý vliv na chod technologie nebo na splnění legislativních požadavků platných v současnosti
- Externí kritéria (příležitosti/hrozby)
 - výskyt není pod kontrolou provozovatele (např. mění se kvalita vstupních surovin)
 - jejich důležitost se může měnit např. v závislosti na budoucích změnách legislativy
- Rozsahy hodnot (škálování) definovány zvlášť pro jednotlivá kritéria
- Pro některá kritéria jsou definovány prahové hodnoty, při jejichž podkročení je technologie automaticky vyřazena
- Agregované kritérium zvlášť pro externí a interní kritéria (normalizováno: 0-100 %)
- Relativní váhy jednotlivých kritérií (0 až 1) byly nastaveny podle jejich důležitosti a lze s nimi manipulovat

SWOT analýza

Silné stránky	18,9	Hodnocení	Váha
Potřebná hydraulická doba zdržení v celé technologii	HRT = 1–4 h	6	0,5
Prostorová náročnost technologie	A = 1–5 m ² /1000 EO	6	0,5
Požadovaná předúprava	Běžně/Nízká en./Bez činidel	5	0,5
Velikost současné realizace (průtok)	stovky L/h	5	0,3
Riziko zhoršení kvality odtoku z ČOV s přihlédnutím k tradičním ukazatelům	Nehrozí	9	0,1
Odpady	výjimečně/běžný odpad/malé množství	9	0,4
Dávované chemikálie	Malé množství/Výjimečně	8	0,4
Náročnost na obsluhu	Nenáročné/Periodicky		0,2

Energetická náročnost

Interní kritérium s váhou 0,5, které nabývá hodnot:

10 – <0,04 kWh/m³

8 – 0,04 – 0,08 kWh/m³

5 – 0,08 – 0,16 kWh/m³

2 – 0,16 – 0,32 kWh/m³ **prahová hodnota kritéria**

0 – >0,32 kWh/m³

- Zvolená hodnota kritéria se vztahuje ke standardnímu odtoku z dosazovací nádrže (viz vzorová karta).
- Prahová hodnota byla zvolena na úrovni spotřeby energie celé vodní linky běžné pro standardní městskou ČOV.

Multikriteriální (SWOT) analýza

- Interní kritéria (slabé/silné stránky)
 - přímo spojena s danou technologií
 - mají přímý vliv na chod technologie nebo na splnění legislativních požadavků platných v současnosti
- Externí kritéria (příležitosti/hrozby)
 - výskyt není pod kontrolou provozovatele (např. mění se kvalita vstupních surovin)
 - jejich důležitost se může měnit např. v závislosti na budoucích změnách legislativy
- Rozsahy hodnot (škálování) definovány zvlášť pro jednotlivá kritéria
- Pro některá kritéria jsou definovány prahové hodnoty, při jejichž překročení je technologie automaticky vyřazena
- Agregované kritérium zvlášť pro externí a interní kritéria (normalizováno: 0-100 %)
- Relativní váhy jednotlivých kritérií (0 až 1) byly nastaveny podle jejich důležitosti a lze s nimi manipulovat

Prahové hodnoty vybraných kritérií:

- Účinnost odstranění mikropolutantů definovaných Směrnicí >80 %
- Θ_H (HRT) < 12 h
- **Potřebná plocha $A < 5 \text{ m}^2/1\,000 \text{ EO}$**
(pro produkci OV 150 L/EO/d - MĚSTSKÉ STANDARDY)
- Vyřazeno, pokud proces zcela inhibují agens přítomné v odtoku z dosazovací nádrže, které nelze odstranit předúpravou.
- Vyřazeno, pokud proces zhoršuje kvalitu odtoku
- TRL > 4 (alespoň poloprovoz)
- Velikost současné realizace > desítky L/h
- Zdokumentovaná délka provozu > jednotky týdnů
- **Spotřeba energie < 0,32 kWh/m³**

Srovnávací tabulka

Suma Interních kritérií (norm.)	64%	76%	63%	54%	48%	48%	92%
Suma Externích kritérií (norm.)	40%	69%	92%	65%	63%	83%	50%
Kritérium	PAU-písková filtrace	Písková filtrace-GAU filtr	O3 - GAU	Reverzní osmóza	UV-H2O2-GAU	Plasmou aktivovaná voda (PAW)	Písková filtrace
<i>Skupina procesů</i>	PAU	GAU	Ozonizace (O3 AOP)	Membránová filtrace	Foto AOP	AOP	Biologické procesy
Mikropolutanty definované v revidované směrnici 91/271/EEC (12 prioritních látek)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
PFAS/PFOA	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
Patogeny	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Pokročilost technologie ve vývoji (TRL)	TRL 9 – skutečný systém prověřený v provozním prostředí	TRL 9 – skutečný systém prověřený v provozním prostředí	TRL 9 – skutečný systém prověřený v provozním prostředí	TRL 9 – skutečný systém prověřený v provozním prostředí	TRL 6 – technologie demonstrována v relevantním prostředí	TRL 4 – technologie ověřena v laboratoři	TRL 9 – skutečný systém prověřený v provozním prostředí
Velikost současné realizace (průtok)	tisíce m3/h	stovky m3/h	tisíce m3/h	tisíce m3/h	stovky L/h	jednotky m3/h	tisíce m3/h
Zdokumentovaná délka provozu	roky	roky	roky	roky	jednotky měsíců	hodiny	roky
Potřebná hydraulická doba zdržení v celé technologii	HRT = 10 - 60 min	HRT = 10 - 60 min	HRT = 10 - 60 min	HRT <10 min	HRT = 10 - 60 min	HRT = 10 - 60 min	HRT = 10 - 60 min
Prostorová náročnost technologie	A = 1 - 5 m2/1000 EO Běžné-Neodstranitelné agens/Částečná-Potlačitelná inhibice	A = 1 - 5 m2/1000 EO Běžné-Neodstranitelné agens/Částečná-Nepotlačitelná inhibice	A = 1 - 5 m2/1000 EO Běžné-Neodstranitelné agens/Částečná-Potlačitelná inhibice	A = 5 - 30 m2/1000 EO	A = 1 - 5 m2/1000 EO Běžné-Neodstranitelné agens/Částečná-Nepotlačitelná inhibice	A = 1 - 5 m2/1000 EO Běžné-Neodstranitelné agens/Částečná-Nepotlačitelná inhibice	A = 0,1 - 1 m2/1000 EO
Inhibiční vlivy	Nevznikají tox. l. - Nedokonalé odstranění z přítoku	Nevznikají toxické látky	Běžně vznikají tox. l. - Částečné odstranění	Nevznikají toxické látky	Vznikají tox. l. - Odstraňují se	Běžně vznikají tox. l. - Žádné odstranění	Nevznikají tox. l. - Nedokonalé odstranění z přítoku
Ekotoxicita odtoku	Velké množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Malé množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Žádné	Žádné
Dávkované chemikálie	Velké množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Malé množství/Běžně	Velké množství/Běžně	Žádné	Žádné
Odpady	běžně/běžný odpad/velké množství	běžně/běžný odpad/velké množství	výjimečně/běžný odpad/malé množství	běžně/běžný odpad/velké množství	výjimečně/běžný odpad/malé množství	nikdy/---/---	nikdy/---/---
Požadovaná předúprava	Žádná	Žádná	Výjimečně/Nízká en./Bez činidel	Běžně/Vysoká en./S činidlem	Běžně/Nízká en./Bez činidel	Běžně/Nízká en./Bez činidel	Žádná
Energetická náročnost	< 0,04 kWh/m3	< 0,04 kWh/m3	0,04 - 0,08 kWh/m3	> 0,32 kWh/m3	> 0,32 kWh/m3	> 0,32 kWh/m3	< 0,04 kWh/m3
Uhlíková stopa	Nízká energ. - Náročné mater.	Buď nízká energ. nebo Nenáročné mater.	Nízká energ. a Nenáročné mater.	Vysoká energ. - Nenáročné mater.	Vysoká energ. - Nenáročné mater.	Vysoká energ. - Nenáročné mater.	Buď nízká energ. nebo Nenáročné mater.
Bezpečnostní rizika	Periodická	Žádná	Permanentní	Žádná	Permanentní	Výjimečně	Žádná

Kritéria nesplňující prahové hodnoty

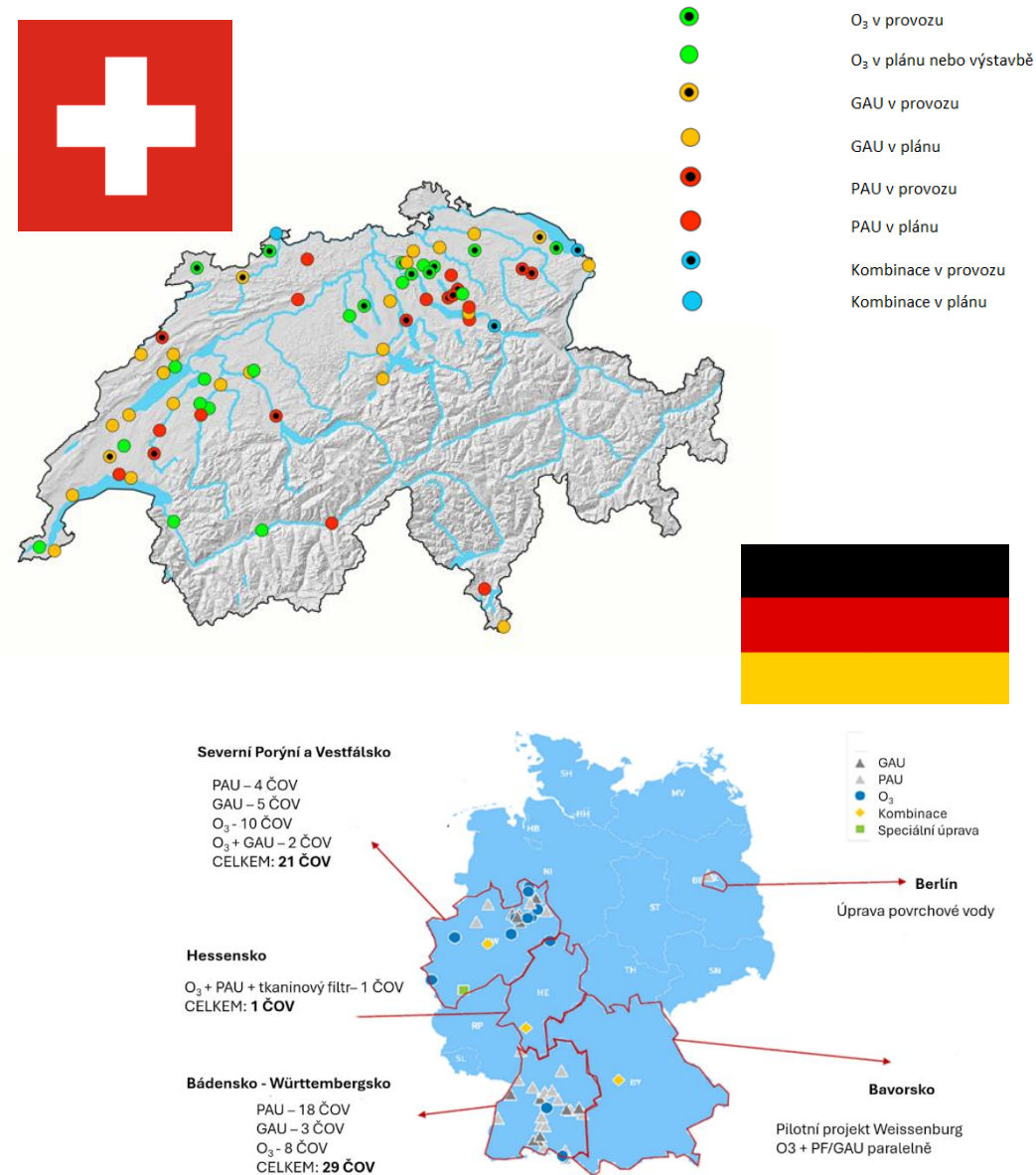
Nejvyšší hodnoty kritéria pro daný výběr technologií

Ekonomická analýza

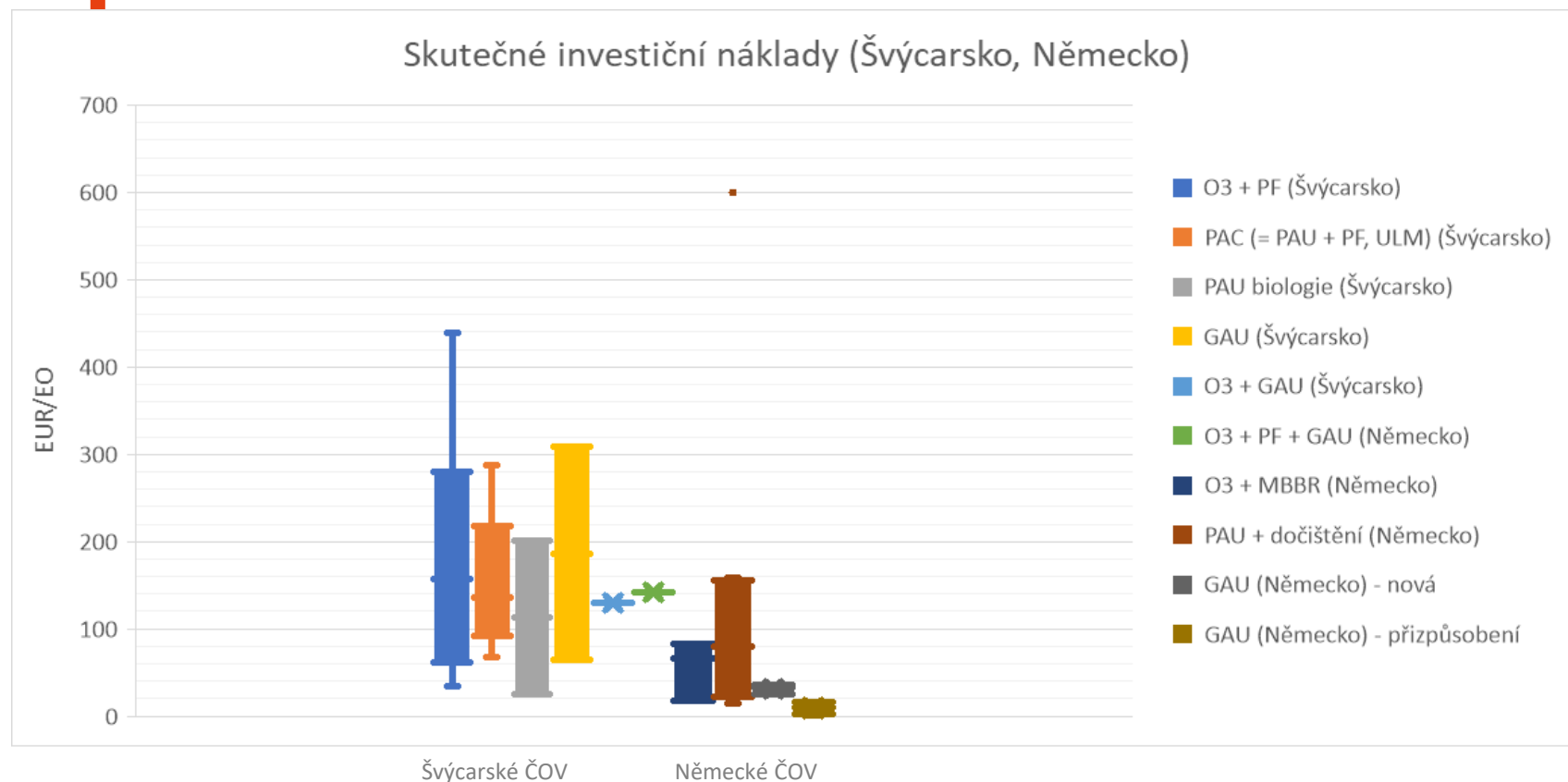


Ekonomická analýza

- Porovnání investičních nákladů (CAPEX i OPEX)
- Zdroje dat:
 - nákladové studie vlád EU, EUREAU apod.
 - skutečné investice konkrétních instalací v daném roce výstavby (výroční zprávy)
- Typ dat:
 - specifické náklady na EO
 - specifické náklady na m³ vyčištěné OV



CAPEX – reálné investice



1. GAU při využití stávající infrastruktury
2. PAU biologie/GAU nový filtr (Německo)
3. PAU + PF, PAU – Ulm proces, O3 + MBBR
4. Investičně srovnatelné technologie: O3 + PF/O3+ GAU/GAU (Švýcarsko)

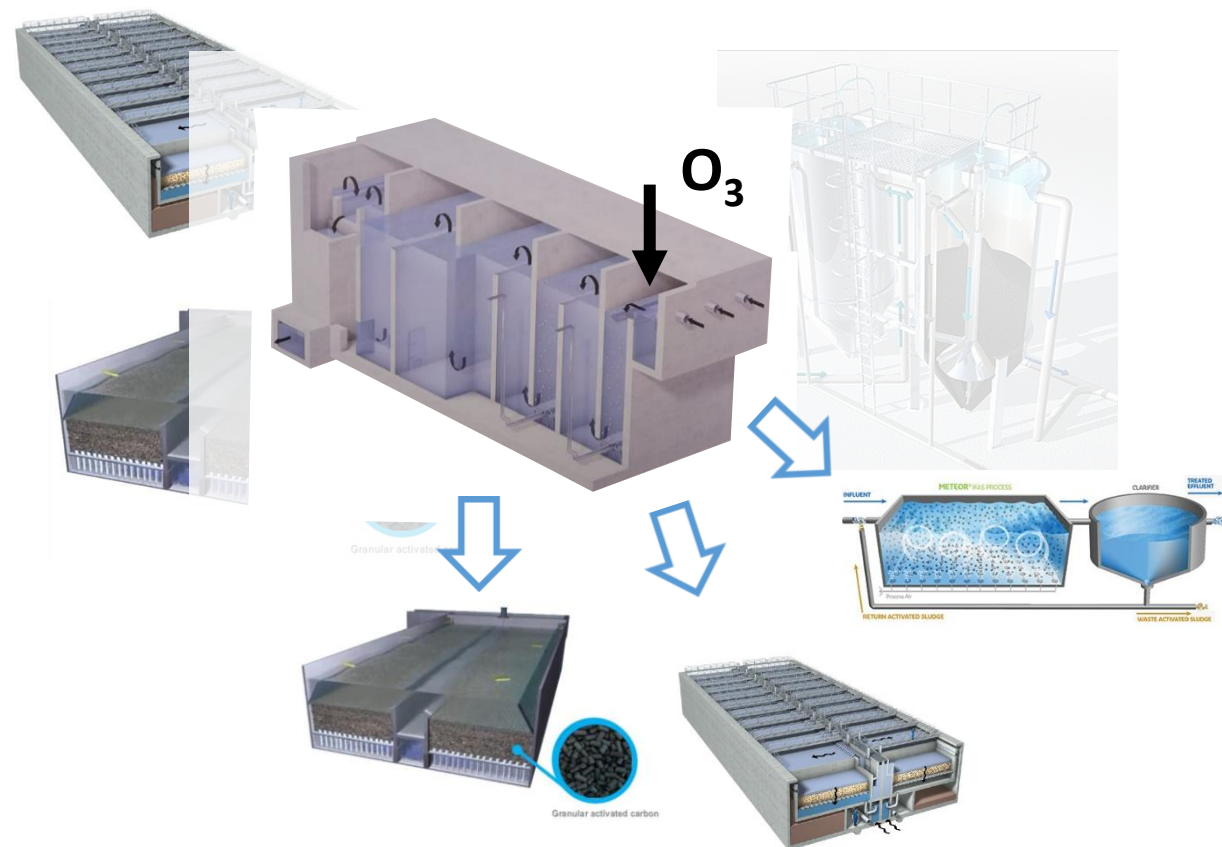
Ekonomická část: shrnutí

- Absolutní výše nákladů ani porovnání nákladů na různé technologie nelze jednoduše zobecnit – **Vždy je potřeba hodnotit reálnou ČOV**
- Kritické parametry, na které je nutné se zaměřit
 - Kvalita nátoků na kvartérní čištění
 - Řešení srážkových průtoků
 - Možnost použití stávajících kapacit ČOV (volné objemy)
 - Způsob likvidace kalů, popř. dalších odpadů
 - Cena a spotřeba energie
 - Specificky pro GAU a PAU:
 - Reálná sorpční kapacita GAU/PAU pro danou odpadní vodu (nutnost obnovy GAU filtrů)
 - Dostupnost a spolehlivost GAU/PAU, popř. kapacity pro termickou regeneraci GAU
 - Specificky pro ozonizaci:
 - Dostupnost kapalného kyslíku

Výběr technologií pro další posuzování

Výběr technologií pro další posuzování (pro ÚČOV)

1. Filtr s granulovaným aktivním uhlím (GAU)
 - 1a) statický, s předřazenou pískovou filtrací
 - 1b) expandovaný
2. Ozonizace v sérii s
 - 2a) GAU filtrem
 - 2b) pískovým filtrem
 - 2c) MBBR



Praktické výsledky s výběrem technologie kvarterního čištění - Shrnutí

- Technické posouzení je nutné přizpůsobit místním podmínkám
(velké množství kritérií, jejichž váhy je nutné pečlivě zvažovat)
- Ekonomické posouzení konkrétních technologií má smysl jen při jasně daných místních podmínkách
 - specifika dané lokality (dostupnost plochy, volné objemy ...), kvalita odtoku ze sekundárního/terciálního čištění, dostupnost a cena materiálů a energie

... lze však identifikovat kritické nákladové položky

- Na výběr je široká škála technologií a jejich kombinací a s mnoha jsou k dispozici dlouhodobé provozní zkušenosti
- Vzhledem k časovému harmonogramu implementace Směrnice je nutné s projektovou přípravou začít okamžitě

Systému Rozšířené odpovědnosti výrobce (EPR)

- Směrnice (EU) 2024/3019 požaduje zavedení systému Rozšířené odpovědnosti výrobce (Extended producer responsibility)
 - Systém má pokrýt 80 % nákladů na investice a provozní náklady kvarterního čištění
 - Subjekty uvádějící výrobek na trh se připojují k centralizované organizaci, která plní povinnosti EPR (PRO – Producer responsibility organization)
 - PRO zavedena nejpozději do **31.12.2028**
- Již probíhají přípravy Národního prováděcího plánu směrnice, který definuje pravidla pro ČR
 - Transparentní diskuse o možnostech zavedení EPR je extrémně důležitá

ČESKO-IZRAELSKÝ VODOHOSPODÁŘSKÝ SEMINÁŘ

Odstraňování mikropolutantů z odtoku ČOV
požadované směrnicí EU o čištění městských
odpadních vod:

Systematický přístup k výběru vhodné
technologie kvartérního čištění

Jan Bartáček, Martin Srb, Radka Rosenbergová

jan.Bartacek@vscht.cz

