



ASOCIACE PRO VODU ČR



ODBORNÁ SKUPINA
KALY A ODPADY



ASOCIÁCIA
ČISTIARENSKÝCH
EXPERTOV SR
ASOCIÁCIA ČISTIARENSKÝCH
EXPERTOV SR

32. KONFERENCE „KALY A ODPADY 2026“
Hradec Králové – Nové Adalbertinum
13. – 14. května 2026

Zvýšení energetické nezávislosti ČOV přesměrováním toku uhlíku do anaerobní fermentace

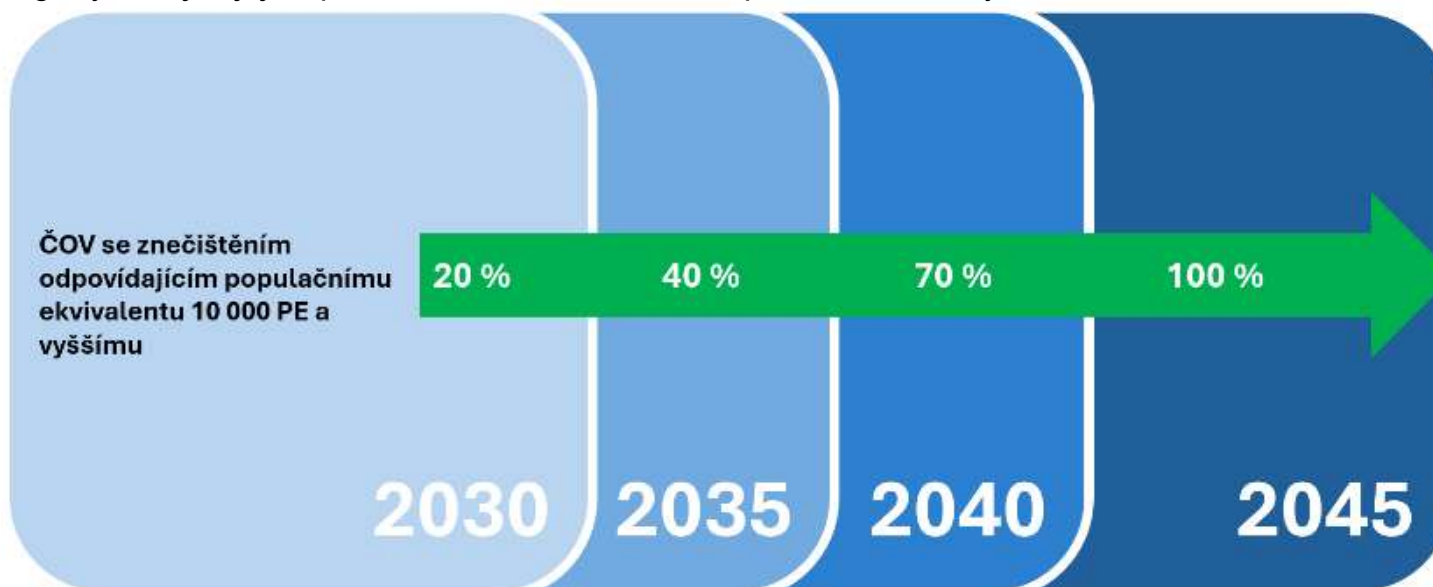
Miroslav Kos



Směrnice 2024/3019 – milníky energetické neutrality ČOV

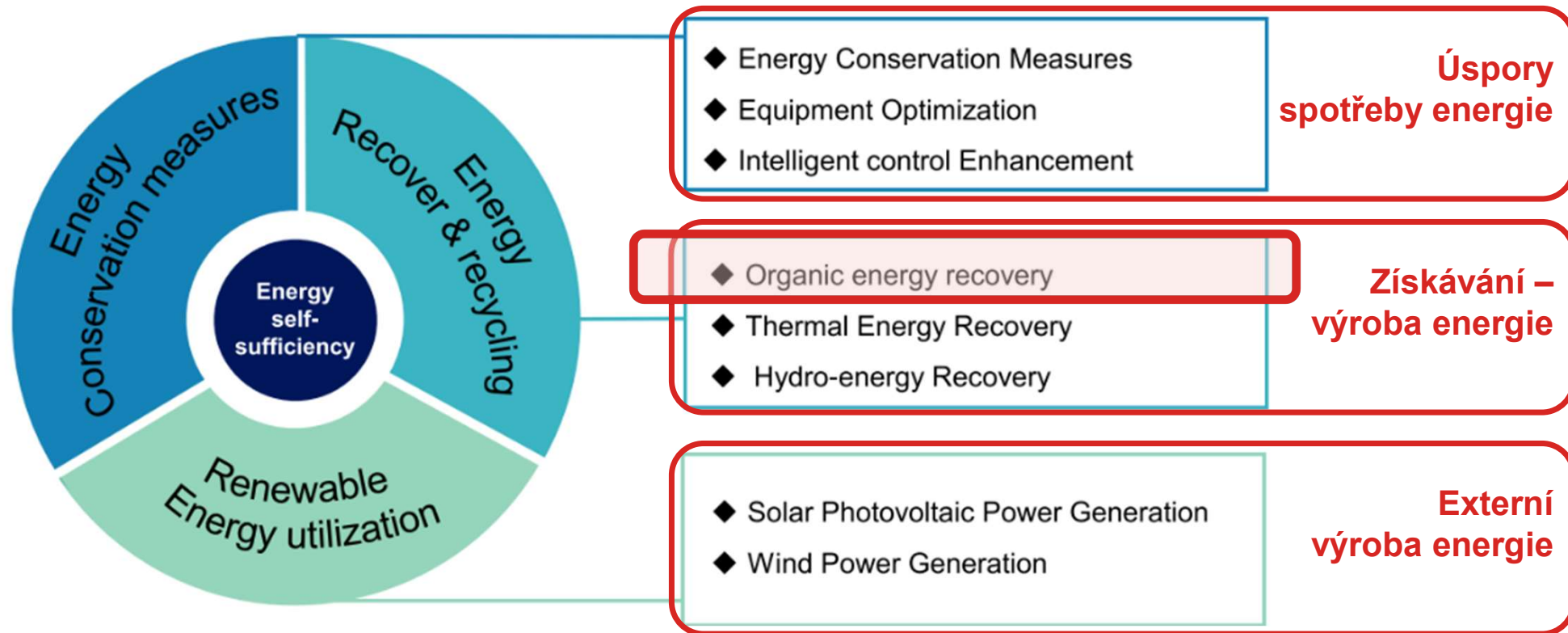
Milníky plnění energetické neutrality ČOV (Čl. 11 Energetická neutralita)

Členské státy zajistí, aby na vnitrostátní úrovni bylo celkové roční množství energie z obnovitelných zdrojů ve smyslu čl. 2 bodu 1 směrnice (EU) 2018/2001 vyrobené v prostorách čistíren městských odpadních vod, které zpracovávají zatížení odpovídající **populačnímu ekvivalentu 10 000 PE a vyššímu**, či mimo ně jejich majiteli či provozovateli nebo jejich jménem a bez ohledu na to, zda majitelé nebo provozovatelé těchto čistíren tuto energii využívají v jejich prostorách nebo mimo ně, odpovídala uvedeným cílům.



Pokud **členský stát** nedosáhne cíle uvedeného v odst. 2 písm. d), přestože provedl všechna opatření v oblasti energetické účinnosti a všechna opatření nezbytná ke zvýšení výroby energie z obnovitelných zdrojů, zejména opatření identifikovaná v energetických auditech uvedených v odstavci 1, mohou členské státy výjimečně povolit nákup energie ze zdrojů na bázi nefosilních paliv. Tyto nákupy jsou omezeny na nejvýše 35 % energie z nefosilních paliv ve vztahu k cíli 2045.

Navrhované cesty k dosažení energetické neutrality ČOV



Song et al. Carbon Neutrality (2025) Realization approaches for constructing energy self-sufficient wastewater treatment plants: a review
<https://doi.org/10.1007/s43979-025-00133-y>

Základní přístup k dosažení energetické neutrality ČOV

Klíčovou strategií je **přechod z aerobních na anaerobní procesy a přesměrování toků uhlíku** z energeticky náročné biologické oxidace do kalové linky vyrábějících energii. **Je to změna paradigmatu současné skladby ČOV.**

- maximální zachycení uhlíku před aerobním stupněm ČOV (Carbon Capture Technology)
- přesměrování toku uhlíku (tzv. Redirection Technology) jeho maximálním převodem do anaerobního vyhnívání kalů jako nástroje pro produkci bioplynu a jeho energetické využití a navazujícím energetickým využitím vyprodukovaných kalů

Jako doplňková opatření je nutné vnímat:

- opatření na úsporu energie – logické a je obvykle již provedeno
- opatření na využití jiných obnovitelných zdrojů energie.



Frakcionace CHSK odpadní vody

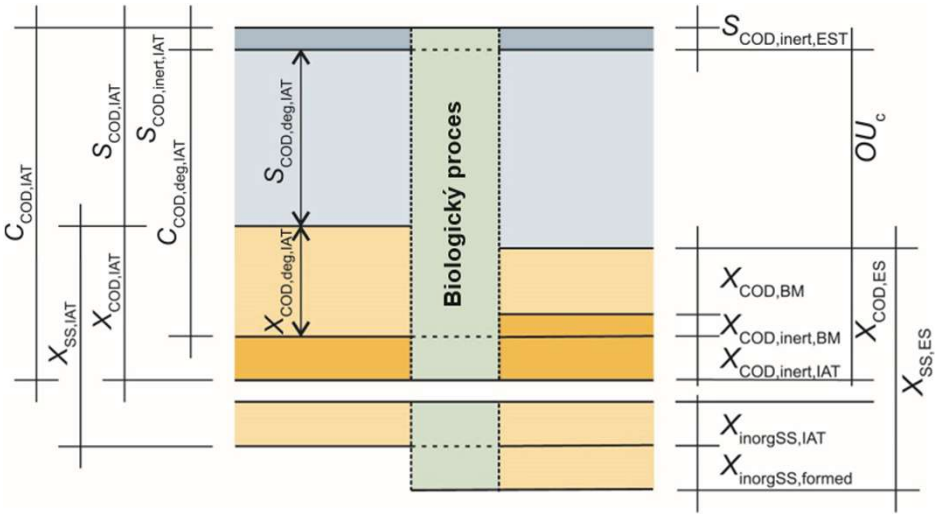
Filozofie zachycování uhlíku před jeho oxidací vychází ze skladby organického znečištění. Organické substráty v surové městské odpadní vodě jsou vysoce diferencované, do ČOV přitékají v rozpuštěné nebo suspendované formě.

Frakcionace CHSK přítokové odpadní vody rozděluje celkovou chemickou spotřebu kyslíku na odlišné složky – **rozpuštěné/suspendované** a **biologicky rozložitelné/inertní**. Toto rozdělení je **zásadní pro optimalizaci návrhu, modelování a zvýšení energetické soběstačnosti ČOV**.

Obsah frakcí CHSK v surové městské odpadní vodě

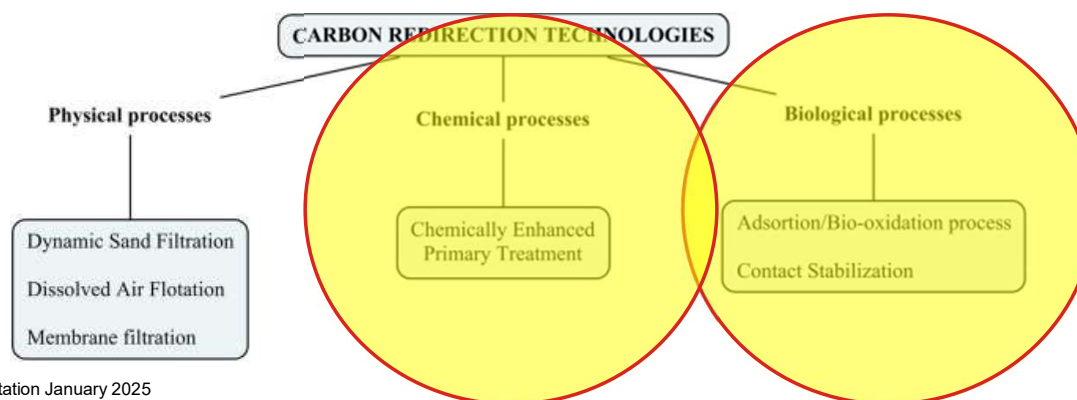
Frakce CHSK	% z celkové CHSK
X_s – suspendované organické látky biologicky rozložitelné	40–75
X_i – suspendované látky inertní	10–15
C_s – rozpuštěné látky biologicky rozložitelné	5–25
C_i – rozpuštěné látky inertní	5–10

Metodika DWA-A 131



Strategie zvýšení energetického výnosu ČOV se zachycováním uhlíku před aerobním stupněm

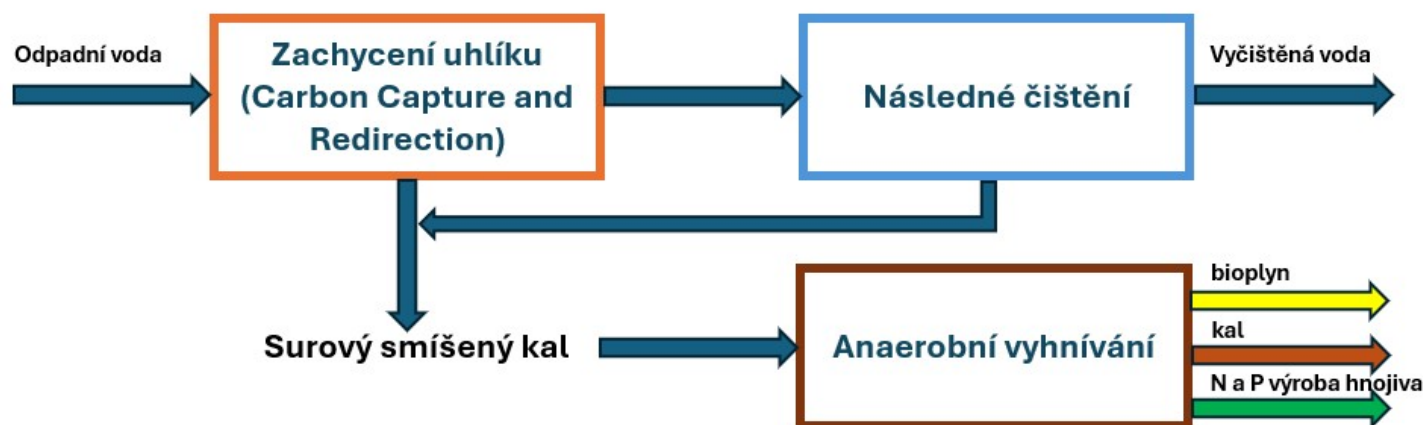
- Cílem strategie je **zachytit suspendované organické látky včetně jejich koloidní formy v prvním stupni čištění procesem**, kdy nejsou nebo převážně nejsou oxidovány, tj. s minimální spotřebou energie.
- Procesy pro zachycení převážně organických látek (uhlíku) mohou být chemické srážení, sopce, bioadsorpcí (bioflokulací) a bioakumulací.
- Tento stupeň se **obvykle označuje jak A, neboť se jedná o proces adsorpce** (chemické biologické).
- Hlavní rozdíl spočívá v účinnosti zachycení CHSK, **klasickou primární sedimentací je účinnost obvykle 30-40 %**, zatímco **procesy adsorpce se účinnost zvyšuje na 50 až 80 %**.
- Praxi nejbližší jsou procesy chemicky intenzifikované primární sedimentace (**Chemically Enhanced Primary Treatment – CEPT**) a vysoce zatížené aktivace (**High-Rate Activated Sludge Process – HRAS**) jako první stupně čištění předcházející druhý biologicky stupeň.



Koncepce výhledového řešení ČOV se zachycováním uhlíku před aerobním stupněm

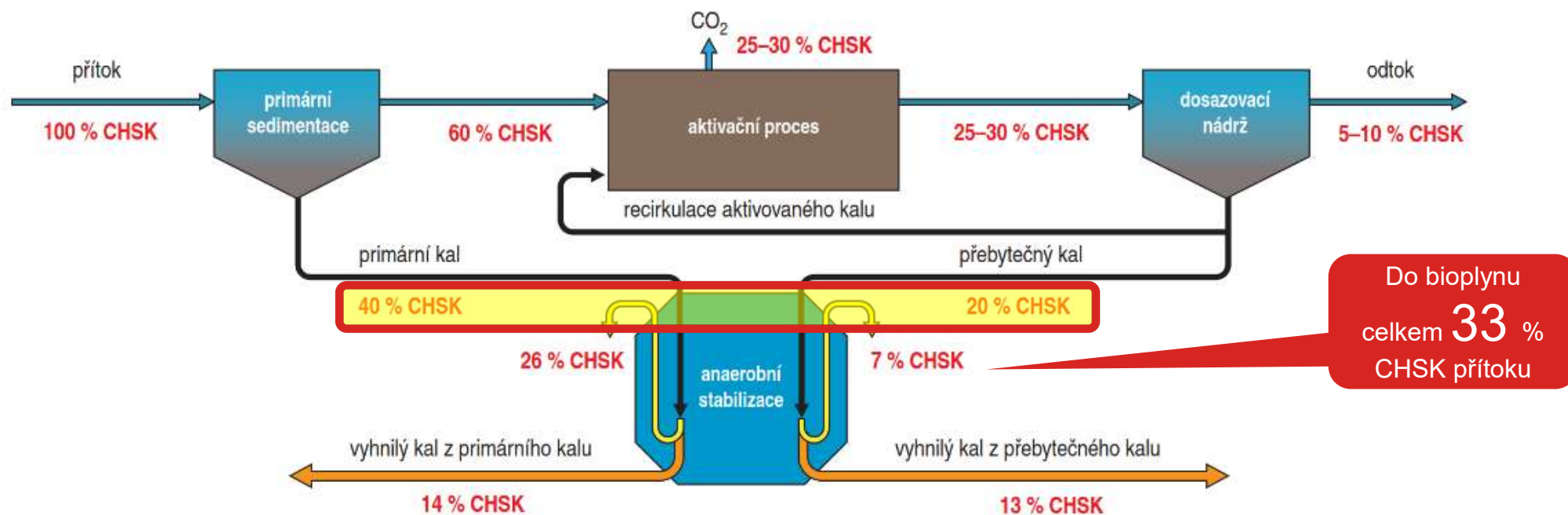
Jako Carbon Capture Technology a Redirection Technology se jeví vhodné technologie:

- proces chemicky zesíleného primárního čištění (**Chemically Enhanced Primary Treatment, CEPT**)
- proces s vysoce zatíženým A stupněm (**High-rate activated sludge systems, HRAS**)



Bilance CHSK na ČOV – klasická ČOV a anaerobní stabilizace kalu

- Bilance distribuce vstupního CHSK vstupujícího do ČOV nám rozkrývá možnosti energetických úspor.
- Bez bilance CHSK nejsme schopni posoudit možnosti snižování energetické náročnosti ČOV.

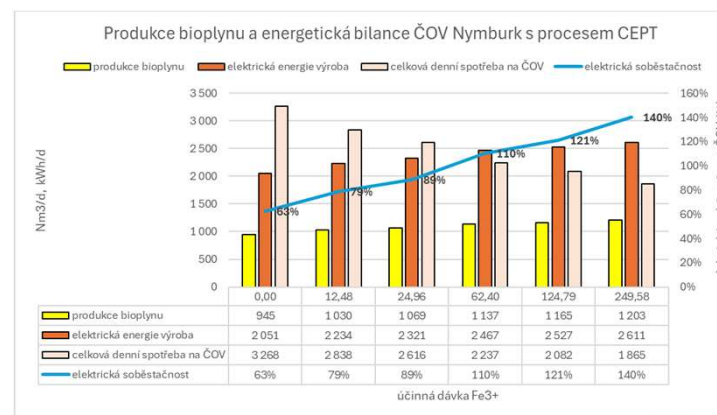


Hmotnostní toky CHSK jako procento přítokového množství v klasické komunální ČOV s anaerobní stabilizací kalu (*), upraveno Kos

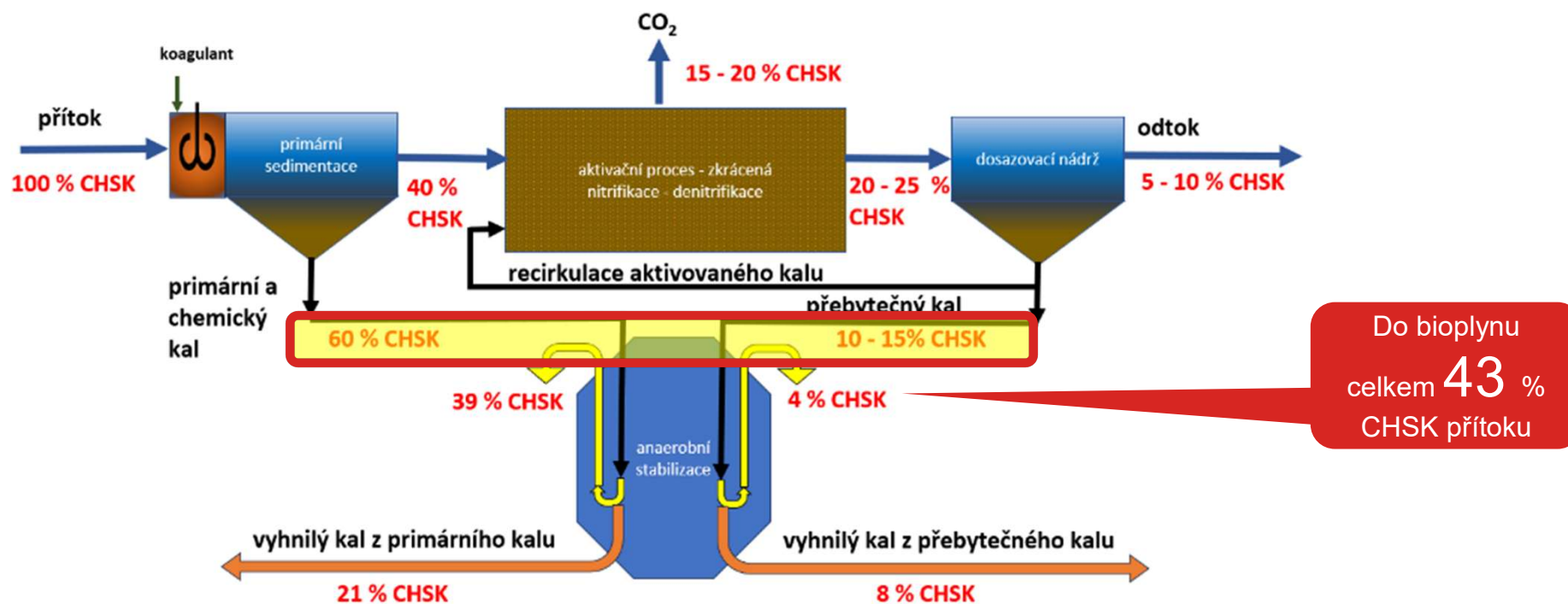
*) Wan J., et al. (2016) COD capture: a feasible option towards energy self-sufficient domestic wastewater treatment. Sci. Rep. 6, 25054; doi: 10.1038/srep25054

Technologie CEPT – zvýšení zachytu CHSK na primární sedimentaci

Parameter	Unit	Raw wastewater	Chemically enhanced primary treatment effluent
Total Suspended Solids (TSS)	mg TSS/L	243±39	30±20
Volatile Suspended Solids (VSS)	mg VSS/L	209±33	26±15
Total COD (tCOD)	mg COD/L	419±23	151±36
Particulate COD (pCOD)	mg COD/L	317±17	67±36
Colloidal COD (cCOD)	mg COD/L	19±6	22±10
Flocculated filtered COD (ffCOD)	mg COD/L	84±12	63±12
Ammonia	mg N/L	26±2.5	23±3.6
Total Phosphorous	mg P/L	4.2±0.7	1.9±0.3

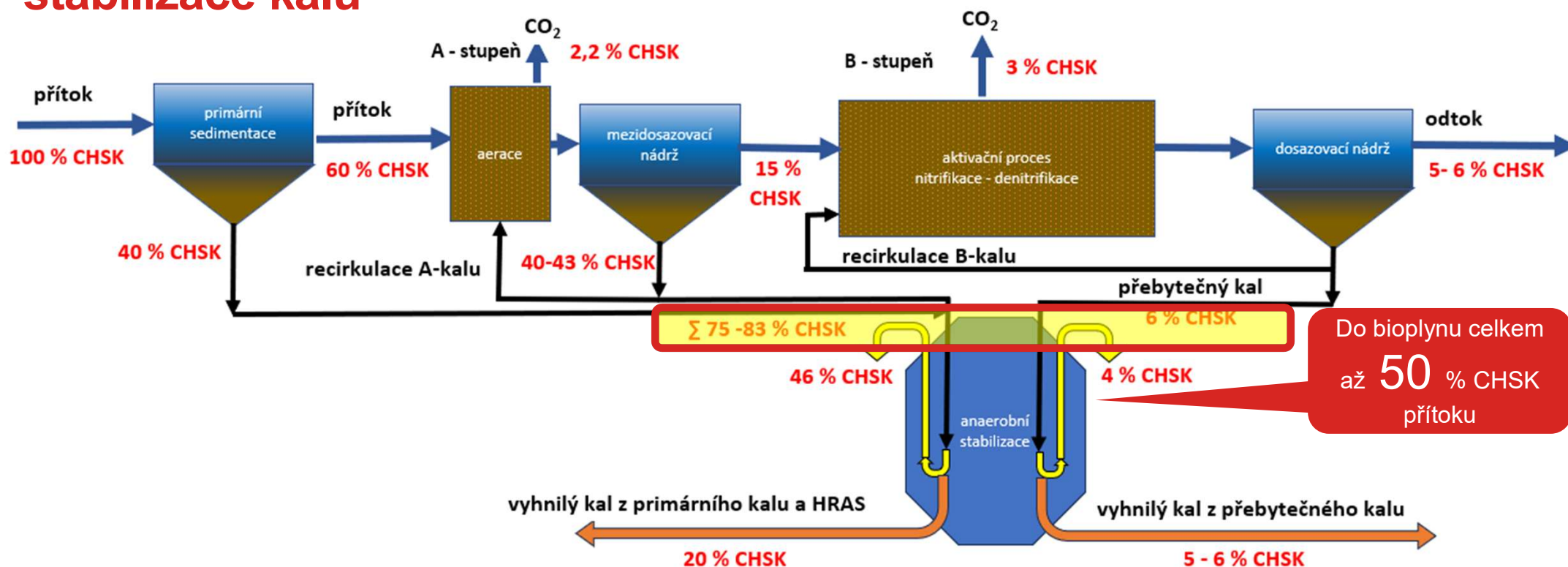


Bilance CHSK na ČOV pracující s principem Carbon Capture and Redirection Technology – použita technologie CEPT a anaerobní stabilizace kalu



Hmotnostní toky CHSK jako procento přítokového množství v komunální ČOV se scénářem zachycování uhlíku na primární sedimentaci s anaerobní stabilizací kalu

Bilance CHSK na ČOV pracující s principem Carbon Capture and Redirection Technology – použita technologie HRAS a anaerobní stabilizace kalu



Hmotnostní toky CHSK jako procento přítokového množství v komunální ČOV se scénářem zachycování uhlíku na primární sedimentaci s anaerobní stabilizací kalu

Popis hlavních parametrů srovnávaných modelů

AC – existující klasická ČOV s primární sedimentací, R-D-N proces, simultánní srážení P, dosazovací nádrže, mezofilní stabilizace parametry – Q_d 75 000 m³/d, 250 000 PE, 32,4 t CHSK/d, zatížení kalu dle BSK₅ 0,052 kg/kg.d

CEPT – bylo přidáno chemické srážení před usazovací nádrží na ČOV AC, velikosti nádrží primární sedimentace ponechány, **účinnost UN na CHSK stoupla ze 40 % na 55 %**, dále linka bez změny skladby, tj. R-D-N proces, simultánní srážení P, dosazovací nádrže, mezofilní stabilizace, parametry na přítoku stejné jako u AC, v aktivačním procesu pokleslo zatížení kalu dle BSK₅ 0,038 kg/kg.d

HRAS – za stávajícími usazovacími nádržemi na ČOV AC byla **vložena vysoce zatížená aktivace a mezi-usazovací nádrž, účinnost na CHSK 85 %**, dále linka bez změny skladby, tj. R-D-N proces, provozní koncentrace snížena na 3 kg/m³, simultánní srážení P, dosazovací nádrže, mezofilní stabilizace, parametry na přítoku stejné jako u AC, v aktivačním procesu pokleslo zatížení kalu dle BSK₅ 0,036 kg/kg.d

Modelový příklad porovnání přínosu CEPT a HRAS na reálné ČOV

Na výsledcích provozu reálné ČOV bylo provedeno **porovnání přínosů zavedení procesů CEPT a HRAS z hlediska vlivu na energetickou bilanci ČOV.**

Pro existující stav byla pro tuto ČOV **sestavena hmotová a energetická bilance**, ze které se pak vycházelo při nastavení parametrů pro oba intenzifikační procesy.

Aktivační nádrže zůstaly v obou případech stejně velké jako v současnosti, tzn. že v případě CEPT byla použita nová kontaktní nádrž a v případě HRAS nový první stupeň. Procesní parametry pro modelování vycházely z literárních údajů, hodnoty byly voleny konzervativně.

V případě CEPT laboratorní testy prokázaly vhodnost dávky cca 40 až 50 mg/l PIX 113 pro intenzifikaci primární sedimentace, **účinnost na CHSK vzrostla ze 40 % na 55 %**.

V případě HRAS byla nová aktivační nádrž umístěna **za usazovací nádrže**, byla zvolena doba kontaktu 2 h, **stáří kalu 1,6 d**, objemové zatížení CHSK 3,1 kg/m³.d, produkce organického podílu v kalu na přivedenou CHSK byla cca 0,4 kg ZŽ/kg CHSK a **účinnost na CHSK 75 %**.

Ztráta žíháním pro aktivovaný kal ze stupně HRAS vychází 80 %, ze stupně B pak 64 % (vlivem velmi nízkého zatížení).

Výpočtový přítok pro obě varianty byl 75 000 m³/d, velikost aglomerace (ČOV) 250 000 PE).

Hodnocení výsledku a diskuze

Klíčová pro dosažení vysoké produkce bioplynu **je vyprodukovaná celková ztráta žíháním v kalech, které vstupují do procesu vyhnívání jako smíšený kal** (součet primárního kalu a všech přebytečných kalů).

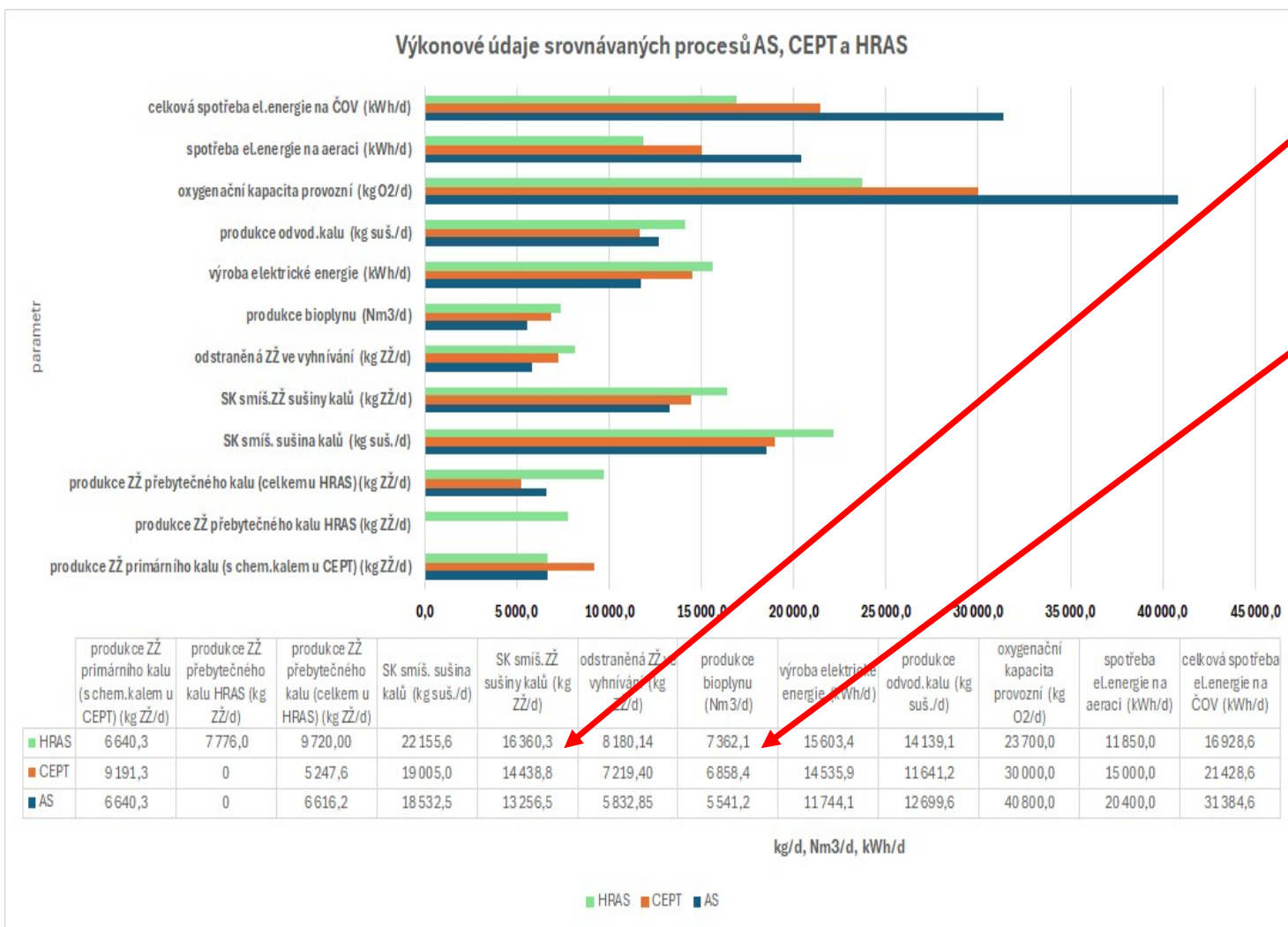
Nejvyšší produkce byla dosažena u procesu HRAS, následovala produkce systému CEPT a nejnižší zůstala stávající produkce na systému AS. Výsledky byly porovnány s výsledky na ČOV Wien (je zde HRAS).

Vzhledem k odlišným specifickým produkcím bioplynu se rozdíl nepřenáší úměrně do produkce bioplynu, ale i tak je množství vyprodukovaného bioplynu nejvyšší v systému HRAS. V návaznosti na to pak i produkce vyrobené elektrické energie.

Zachycení uhlíku do primárního kalu (CEPT) nebo do aktivovaného kalu (HRAS) dramaticky snižuje potřebnou oxypenační kapacitu ve stupni B (stále klasická nízkozatěžovaná aktivace). Logicky poklesla spotřeba elektrické energie na aeraci a i pro celou ČOV (údaj zahrnuje vstupní čerpání a mezičerpání).

Parametr	Rozměr	AS	CEPT	HRAS	ČOVWien (HRAS, 2023))
specifická produkce org. sušiny na 1 PE	kg/PE.rok	19,4	21,1	23,9	23,4
specifická výroba elektrické energie	kWh/PE.rok	17,15	21,22	22,78	20,81
specifická spotřeba elektrické energie	kWh/PE.rok	45,82	31,29	24,72	17,94
elektrická soběstačnost ČOV	%	37,4%	67,8%	92,2%	116,0%

Výkonové údaje srovnávaných procesů AC, CEPT a HRAS

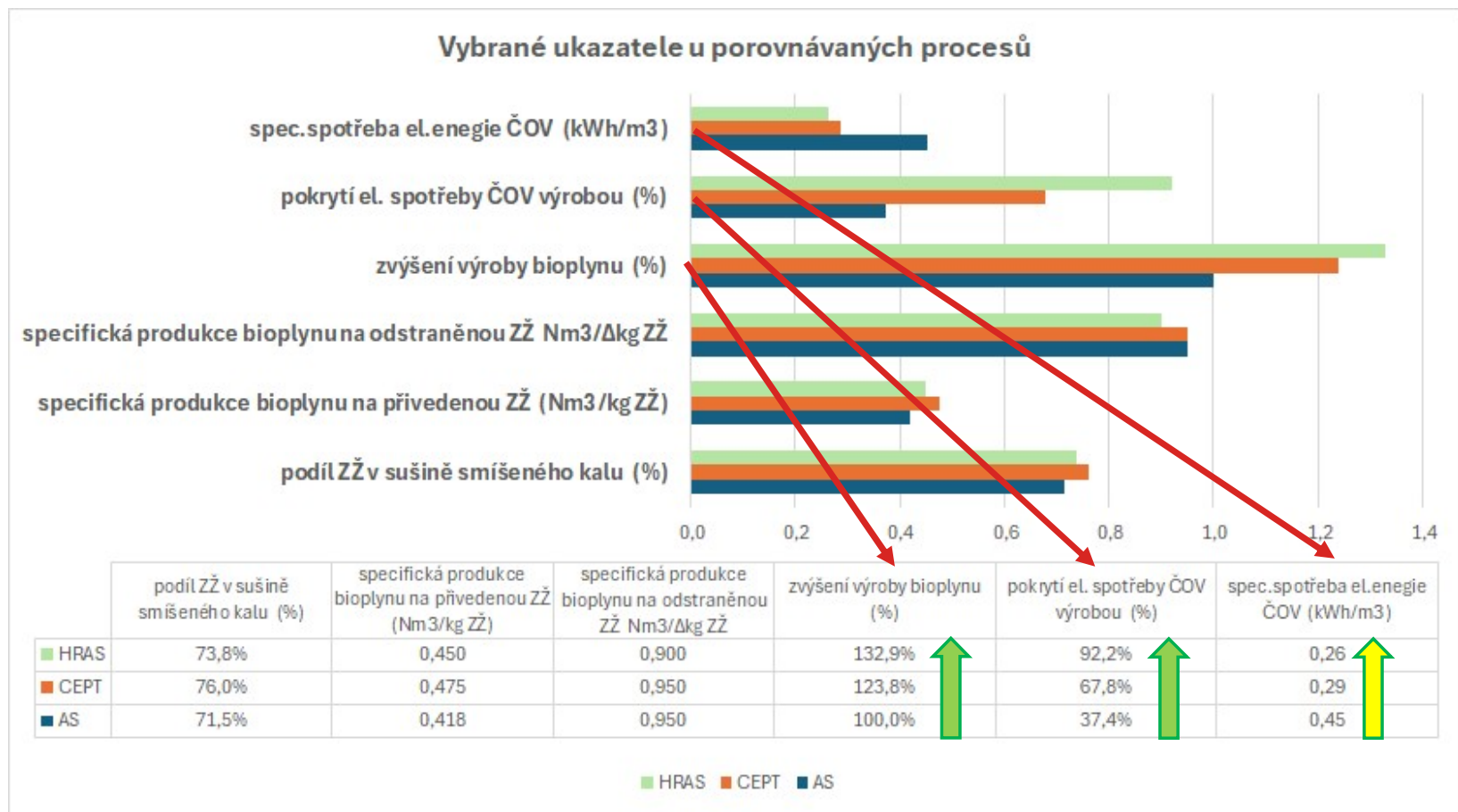


Je vidět, že **produkce organického podílu sušiny surových smíšených kalů** vzrostla z 13,3 t/d na 14,4 t/d u CEPT a na 16,4 t/d u HRAS systému.

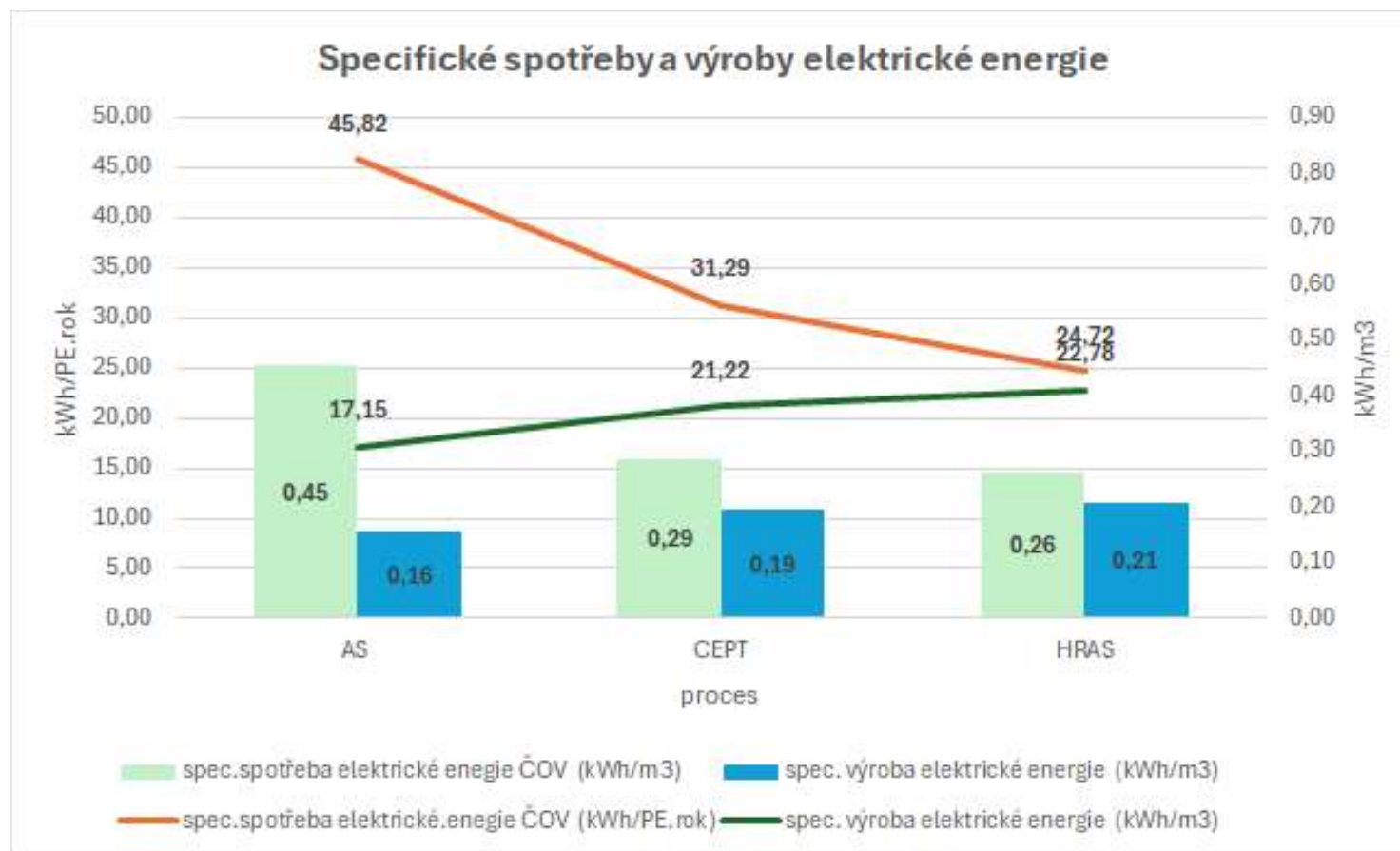
Na návaznosti na to, vzrostla současná produkce bioplynu **z 5 541 Nm³/d na 6 858 Nm³/d (CEPT) a 7 362 Nm³/d (HRAS)**, kde tento nárůst představoval zvýšení na 132,9 %.

Na základě energetické bilance tak systém HRAS převede z energie v přítoku na ČOV cca 36% do energie obsažené ve vyprodukovaném bioplynu, zatímco dnes provozovaný systém AS pouze 27 %.

Vybrané výkonové údaje srovnávaných procesů AC, CEPT a HRAS



Specifická spotřeba a výroba elektrické energie srovnávaných procesů AC, CEPT a HRAS



Souhrn 1



1) **Klasické procesy biologického odstraňování živin** (terciární čištění) **vedou k oxidaci velkých frakcí organického uhlíku** v odpadní vodě v důsledku vysokého stáří kalu (SRT), což má za následek snížení rozložitelnosti vyprodukovaného kalu, potenciálu produkce bioplynu a velkou spotřebu kyslíku pro nitrifikaci a CHSK pro denitrifikaci, **nesmyslně velké recirkulační poměry**.

2) **Filozofie zachycování uhlíku** před jeho oxidací **vychází ze skladby organického znečištění**. Organické substráty v surové městské odpadní vodě jsou vysoce diferencované, do ČOV přitékají v rozpuštěné nebo **suspendované formě**.

3) Hledá se strategie, která ve srovnání s primární sedimentací bude schopna zachytit více uhlíku před biologickým stupněm a takto zachycený uhlík přesměrovat do vyhnívacích nádrží. Technologie přesměrování uhlíku (Carbon Capture Technology a Redirection Technology nebo také technologie „**předkoncentrace**“) jsou schopny odstraňovat částice, koloidní a rozpustné organické látky z přítoku odpadních vod a **produkovat tak velké množství kalu se zvýšeným organickým podílem**.

4) Ukazuje se, že technologie CEPT a hlavně HRAS jsou **přijatelnými technologiemi pro přesměrování uhlíku v ČOV** (kolem 55 % resp. 85 % podle CHSK). Ve srovnání s AS je možné dosáhnout vyšší produkce kalu bohatého na uhlík, který dále slouží jako cenný zdroj pro produkci bioplynu a následně energie. **Navíc se sníží energetické nároky na aeraci (což představuje o 20–40 % nižší energetické nároky aktivního stupně)**.

Souhrn 2



6) Na modelovém propočtu bylo ukázáno, že na modelové ČOV lze zvýšit úroveň elektrické soběstačnosti z 37 % na cca 68 % (CEPT) a až na 92 % (HRAS). Reálná data z ČOV Wien potvrzují filosofii a výkon systému HRAS.

7) Významně jednodušší je zavedení procesu CEPT, ale ani zavedení procesu HRAS nemusí být při využití stávajících nádrží významně náročnější.

U procesu HRAS účinnost **biosorpce souvisí s bioflokulací**, vlastnostmi kalu (jako je typ a podíl extracelulárních polymerních látek; EPS), stářím kalu, hydraulickou dobou kontaktu a koncentrací rozpuštěného kyslíku v reaktoru HRAS.

8) Při hledání způsobů dosažení energetické neutrality ČOV mohou **oba procesy významně promluvit do koncepcí úprav čistíren odpadních vod**.

Je to změna paradigmatu současné skladby ČOV.

Kontakt

Ing.
Miroslav Kos

STRABAG Water s.r.o.,
Kačírkova 982/4,
158 00 Praha 5 -Jinonice
mobil +420 602 363 968
email:
miroslav.kos@strabag.com

Děkuji za pozornost!

STRABAG

www.strabag.com

WATERTEAM

Srovnání

Table 6.6 Energy consumption and energy production calculated in Mega Watt-hour/year (MWh/yr) and area footprint (m²)

calculation for different treatment stages in a full-scale WWTP with advanced technology addition

Components of WWTP	CAS	CAS+DEM _{side}	A+SCN _{main}	A+SCN _{main} +DEM _{side}	CS+SCN _{main}	CS+SCN _{main} +DEM _{side}
Energy consumption for COD removal in PT, A-stage or CS	0.00	0.00	4.90	4.90	4.46	4.46
Energy consumption for COD Removal in B-stage via oxidation	18.02	18.02	7.66	7.66	9.01	9.01
Energy savings for COD removal due to denitrification or denitritation	6.24	5.23	3.81	2.93	3.91	3.23
Energy Consumption for Nitrogen removal in CAS or short-cut nitrogen removal as mainstream process	10.84	9.12	8.72	6.96	8.92	7.57
Energy Consumption for Nitrogen removal in Deammonification as sidestream process	0.00	0.72	0.00	1.04	0.00	0.80
Energy consumption for electrical pumping and mixing	6.18	6.18	4.88	4.92	5.15	5.18
Energy consumption for sludge dewatering	2.11	2.11	2.04	2.04	2.12	2.12
Total energy consumption, EC	30.90	30.91	24.39	24.59	25.74	25.90
Energy production from anaerobic digestion, EP	16.65	16.65	24.14	24.14	24.16	24.16
Net energy gain	-14.25	-14.26	-0.26	-0.46	-1.58	-1.74
Energy neutrality index (EP/EC)	0.539	0.539	0.989	0.981	0.939	0.933

CAS: conventional activated sludge treatment; DEM_{side}:deammonification in sidestream processes treating digested liquid returned from anaerobic digestion; SCT: Short-cut nitrogen removal (nitrification-denitrification) in mainstream processes; PT-primary treatment or clarifier, CS-Contact-stabilization, A-Adsorption stage of AB process