ASOCIÁCIA ČISTIARENSKÝCH
EXPERTOV SR
Oddelenie environmentálneho inžinierstva
FCHPT STU Bratislava

Odborný webinár Energetická neutralita na ČOV

CHSK a jej význam pri bilancovaní energií na čistiarni

Ing. Miroslav Kos, CSc. MBA

STRABAG Water s.r.o., Praha

STREDA 11. NOVEMBRA 2026



CHSK v odpadních vodách jako omezený zdroj

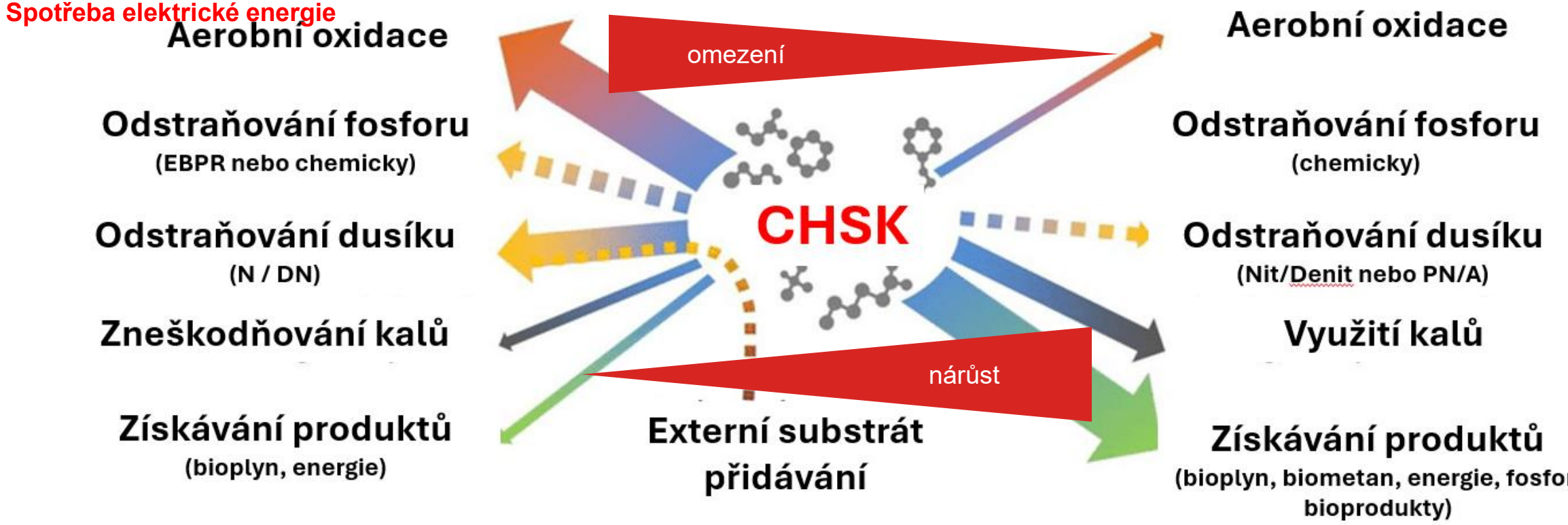
Wastewater Treatment Plant (WWTP)

Klasické biologické čištění – tradiční přístup

Wastewater Resource Recovery Facility (WRRF)

ČOV jako zdroj obnovitelných zdrojů – nový přístup

! Spotřeba elektrické energie



Meerburg, F. A. (2016). High-rate activated sludge systems to maximize recovery of energy from wastewater: Microbial ecology and novel operational strategies. PhD thesis, Center for Microbial Ecology and Technology (CMET), Ghent University, Belgium. Modifikováno – M.Kos, 2026

WATERTEAM

STRABAG WORK ON PROGRESS

Základní složky bilance CHSK na ČOV

Vstupy (CHSK příchozí):

• Surová nebo přítoková odpadní voda (rozpuštěná, koloidní a částicová CHSK)
• Vratné toky (např. kalové vody ze zahuštění a odvodnění kalu, interní recyklační toky)
• Dávkované zdroje uhlíku (např. methanol nebo acetát přidaný pro denitrifikaci)

Výstupy (CHSK výstup):

Z vodní linky

- CHSK vyčištěné odpadní vody - rozpuštěná a zbytková částicová organická hmota vypouštěná do recipientu
- Respirace / Oxidace: CHSK oxidovaná na CO_2 a H_2O aerobními biologickými procesy, měřeno jako respirační rychlost absorpce kyslíku (OUR)
- Produkce kalu (primární kal, přebytečný aktivovaný kal), jako CHSK začleněná do biomasy, která je odstraněna do kalového hospodářství

Z kalové linky

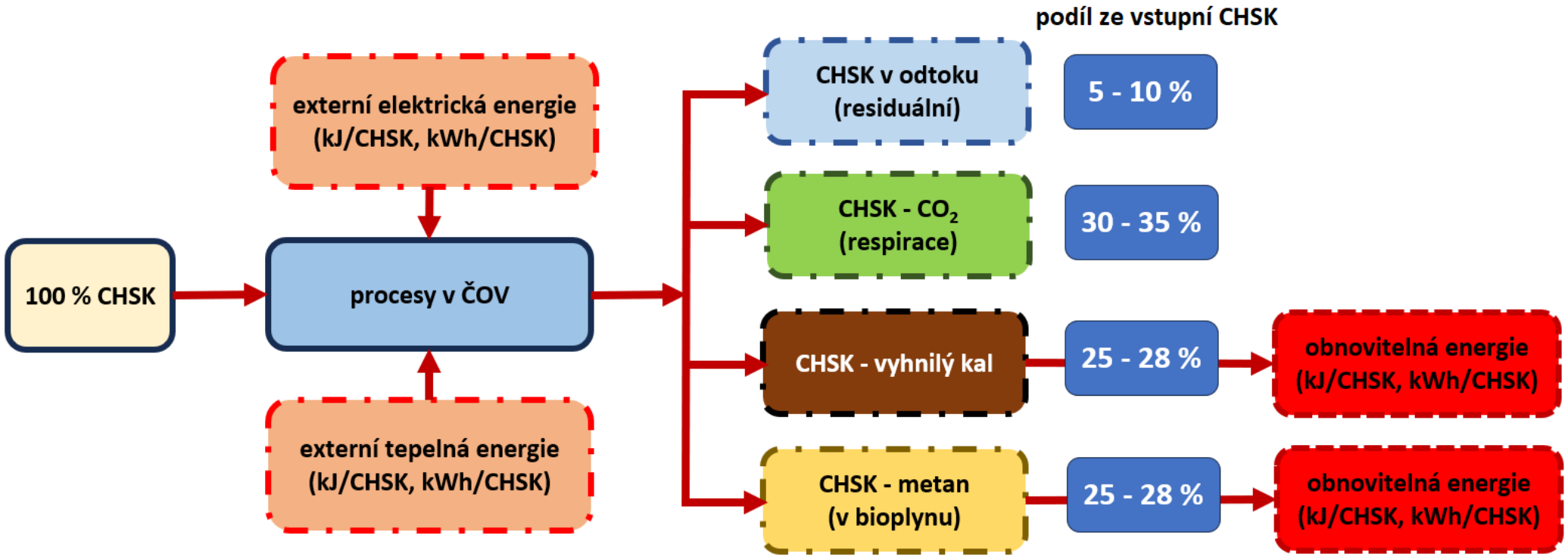
- Produkce bioplynu: V anaerobních digescích nebo vysokorychlostních systémech se organická CHSK přeměňuje na metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2),
- Produkce vyhnilého (aerobně stabilizovaného) kalu jak odvodněný kal

Akumulace a ztráty:

• Přechodné změny v zásobách biomasy v biologickém reaktoru.
• Zjevné „ztráty“ CHSK, často pozorované v anaerobních nebo biologických zónách odstraňování přebytečného fosforu (EBPR) v důsledku stripování, produkce plynu nebo dalších procesů

WATERTEAM
STRABAG
WORK ON PROGRESS

Znázornění hmotnostní toků CHSK na komunální ČOV s anaerobní stabilizací kalu a orientační průměrné podíly na celkovém vstupu CHSK do ČOV



WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Proč bilance CHSK

V environmentálním inženýrství a biologii vyjadřuje **CHSK** (chemická spotřeba kyslíku) množství kyslíku potřebné k oxidaci organických látek ve vodě, což souvisí se získáváním chemické energie nebo výrobou bioplynu prostřednictvím anaerobního rozkladu. **Dále CHSK mnohem lépe vystihuje relaci organická látka x energie. Je dobře využitelné při analýze kalů. Proto je základem bilancí energie v ČOV.**

Důvody použití CHSK pro energetické bilance – **možný a spolehlivý přepočet CHSK a energie, spolehlivý přepočet CHSK a produkce CH_4.**
Odhad energetického obsahu kalu: V environmentálním inženýrství se **čistá biomasa (VLSS, ZŽ, VSS) často převádí na ekvivalent CHSK**. Teoretický faktor **konverze čisté biomasy ($C_5H_7NO_2$) na COD je přibližně 1,42 mg CHSK/mg VLSS.** Sledování energetické náročnosti je již v EU zavedeno na základě specifické produkce CHSK. **Tento směr bohužel nezachytilo znění směrnice 2024/3019, je stále používán ukazatel BSK_5**, ale vzájemný přepočet u specifických hodnot je možný.



Chemical Oxygen Demand

Pro kontrolu transformace CHSK na energii je sledován poměr CHSK/VLZŽ v kalech. Pokud tento poměr není dostupný z přímých rozborů, jsou použity defaultní hodnoty na základě literárních údajů. Tyto informace doporučujeme v průběhu řešení této studie jednorázově doplnit přímými rozbory, do výhledu bude nutné tento poměr vyhodnocovat častěji.

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Základní přepočtové vztahy CHSK při energetických bilancích

Toky energie jsou sledovány v GJ (MJ)/rok a MWh/rok. (přepočet MWh na MJ: **MJ = MWh × 3 600)**
Odpadní voda je zdrojem energie ve formě organického materiálu a jako teplo.
CHSK odpadní vody nebo kalu lze interpretovat jako reprezentativní ukazatel obsahu energie (J, kWh) vzhledem k tomu, že požadavek na úplnou oxidaci organického znečištění přímo souvisí s obsahem energie.
Téměř všechny organické sloučeniny obsažené v odpadních vodách mají výhřevnost mezi **13 a 15 kJ/g CHSK**. V bilancích ČOV se spožívá střední hodnota **14 MJ/kg CHSK**, se kterou např. jsou zpracovávány energetické bilance např. v Rakousku a Německu, které jsou leaderem v bilancování energie na ČOV.

Definování specifické spotřeby energie na základě taxonomického kritéria kWh/EO_{120}.rok je opět vztaženo na počet EO podle CHSK (v bilancích založených na CHSK!).

Předpoklady:

Specifická produkce chemické spotřeby kyslíku	**120 g CHSK /(EO.d)**
Energetický obsah CHSK	**14 kJ/g CHSK**
Přepočty CHSK na organický podíl kalu	**1,0 až 2,8 podle typu kalu a profilu (viz dále)**
Specifická objemová produkce metanu	**350 l CH_4 / kg CHSK**

Je nezbytné zohlednit tyto skutečnosti:

- V anaerobních čistících systémech se přeměna CHSK na metan řídí dobře definovaným stechiometrickým vztahem. Teoreticky 1 kg odstraněné CHSK produkuje 0,25 kg CH_4 nebo 0,35 Nm^3 CH_4, což odpovídá 12,6 MJ energie na základě výhřevnosti metanu (35,9 MJ/Nm^3).
- V praktických podmínkách se však na metan efektivně přemění pouze přibližně 80 % biologicky odbouratelné CHSK (např. těkavé mastné kyseliny), což vede ke skutečnému výtěžku 0,20 kg CH_4/kg CHSK nebo **0,28 Nm^3 CH_4/kg CHSK** s energetickým výstupem cca 10,08 MJ/kg CHSK.

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Statistické hodnoty poměru CHSK : org.podíl v kalu podle typu kalu a profilu

Table 6 | Statistical data of different COD/VS ratios from literature survey

		CODt/ VS	CODt/ VSS	CODp/ VS	CODp/ VSS		CODt/ VS	CODt/ VSS	CODp/ VS	CODp/ VSS
PS	N	58	58	41	44	WAS	120	96	81	82
	Mean	1.77	1.79	1.68	1.66		1.53	1.52	1.49	1.48
	median	1.74	1.73	1.63	1.58		1.50	1.49	1.44	1.45
	SD	0.29	0.30	0.27	0.30		0.22	0.19	0.21	0.19
	RSD	16.4%	16.8%	16.1%	18.1%		14.4%	12.5%	14.1%	12.8%
	Max	2.50	2.94	2.39	2.81		2.55	2.29	2.50	2.24
	Min	1.09	1.39	1.16	1.28		1.11	1.11	1.08	1.08
PS+WAS	N	89	37	49	37	ADS	75	58	44	54
	Mean	1.75	1.91	1.56	1.76		1.66	1.55	1.54	1.48
	Median	1.74	1.81	1.52	1.74		1.60	1.55	1.46	1.48
	SD	0.25	0.31	0.21	0.25		0.26	0.22	0.28	0.23
	RSD	14.3%	16.2%	13.5%	14.2%		15.7%	14.2%	18.2%	15.5%
	Max	2.33	2.62	2.15	2.52		2.40	2.40	2.36	2.39
	Min	1.25	1.41	1.15	1.22		1.26	1.13	1.08	1.10

Teorie

Reálné rozmezí (1,2 až 1,6): V závislosti na stáří kalu, typu odpadní vody a provozních podmínkách se tento poměr v reálných čistírnách pohybuje mezi **1,2 a 1,6 mg COD / mg VSS**.

Anaerobní vyhnívání (stabilizace kalu): Jak kal prochází vyhnívací nádrží (anaerobní stabilizací), dochází k degradaci buněk a poměr postupně klesá z počátečních cca 1,42–1,6 až na **1,2 g COD / g VSS** u dobře stabilizovaného kalu

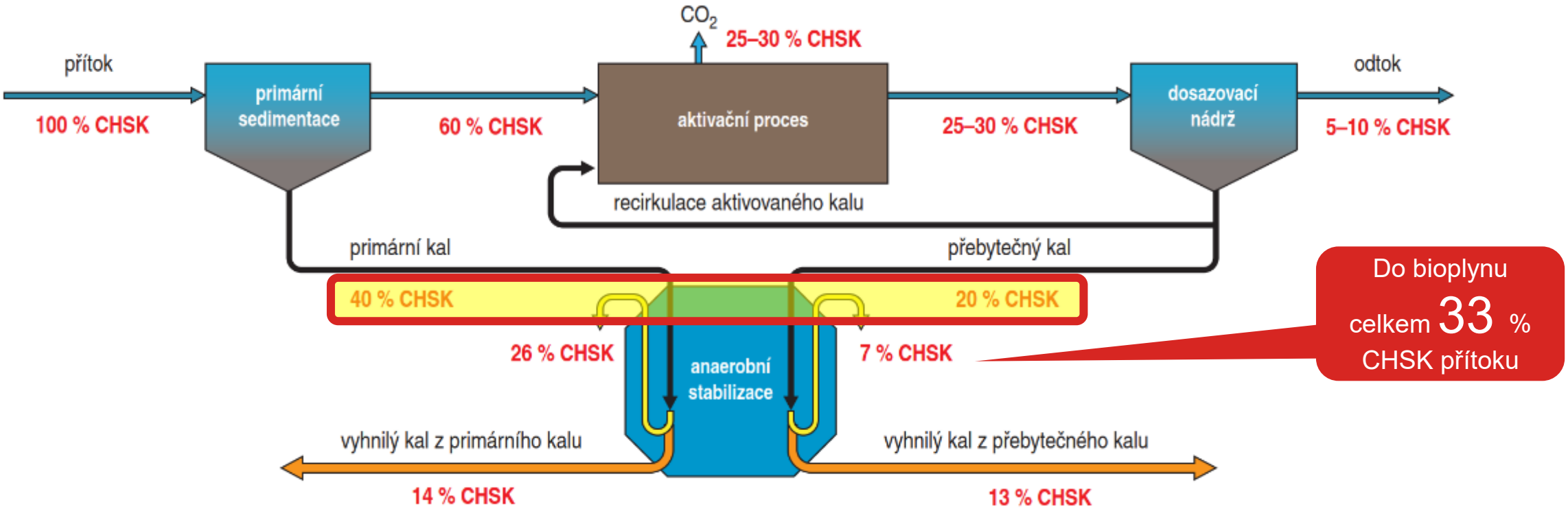
Zdroj:
Ahnert M., Schalk T., Brückner H., Effenberger J., Kuehn V. and Krebs P. Organic matter parameters in WWTP – a critical review and recommendations for application in activated sludge modelling, Water Science & Technology Vol 84 No 9, 2023 doi: 10.2166/wst.2021.419

PS – primární kal, WAS – přebytečný kal, PS+WAS – směsný surový kal, ADS – vyhnilý kal

WATERTEAM
STRABAG
WORK ON PROGRESS

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

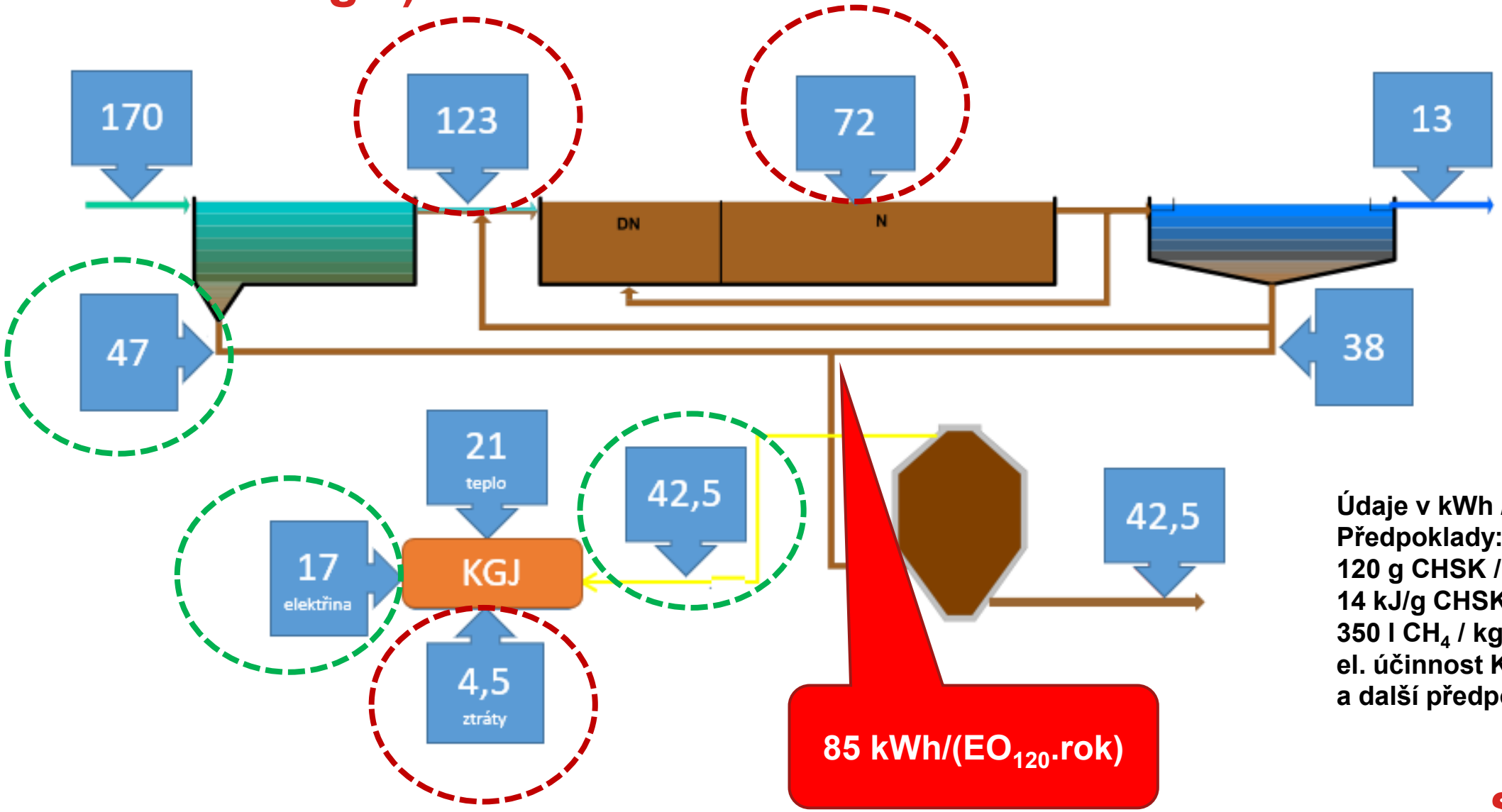
*) Wan J., et al. (2016) COD capture: a feasible option towards energy self-sufficient domestic wastewater treatment. Sci. Rep. 6, 25054; doi: 10.1038/srep25054

WATERTEAM

STRABAG WORK ON PROGRESS

Energetická bilance ČOV na základě bilance CHSK (kWh/(EO_{120}.rok)) (chemická energie)

Krampe J. - modified from Hartwig and Rosenwinkel, 2011



Údaje v kWh / (EO_{120}.rok)
Předpoklady:
120 g CHSK /(EO.d)
14 kJ/g CHSK
350 l CH_4 / kg CHSK
el. účinnost KGJ 40 %
a další předpoklady

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Hmotové a energetické bilance

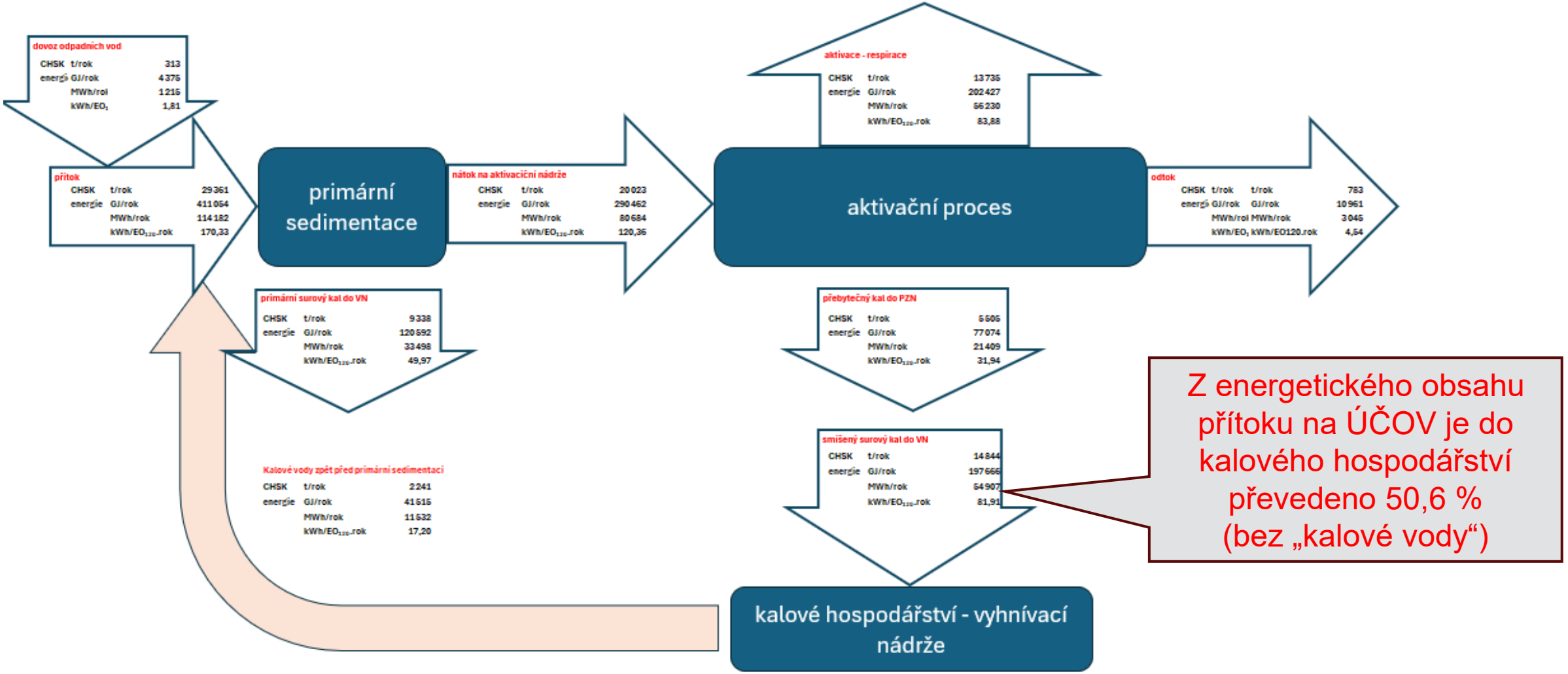
Hmotové bilance jsou založeny na bilancování ročních (průměrných) hmotnostních toků veškerých látek (VL), organického podílu veškerých látek (ztráta žíháním, VLZŽ) a CHSK.

Toky CHSK jsou sledovány v t/rok, toky energie jsou sledovány v GJ (MJ)/rok a MWh/rok.
Ve studiích je obvykle používána hodnota 14 MJ/kg CHSK, se kterou např. jsou zpracovávány energetické bilance např. v Rakousku a Německu, které jsou leaderem v bilancování energie na ČOV.
Definování specifické spotřeby energie na základě taxonomického kritéria kWh/EO_{120}.rok je opět vztaženo na počet EO podle CHSK.

Pro přepočty na ekvivalentní obyvatele (EO) je jako základní použita definice EO za základě CHSK (120 g/EO.d, označení EO_{120}). Sekundárně je použit výpočet EO podle BSK_5, který se však při energetických bilancích nepoužívá. Nicméně směrnice ponechala tento zastaralý ukazatel a označuje ho jako populační ekvivalent (PE) při zahrnutí maximální týdenní nerovnoměrnosti produkce znečištění v BSK_5. (problém!!)

WATERTEAM
STRABAG
WORK ON PROGRESS

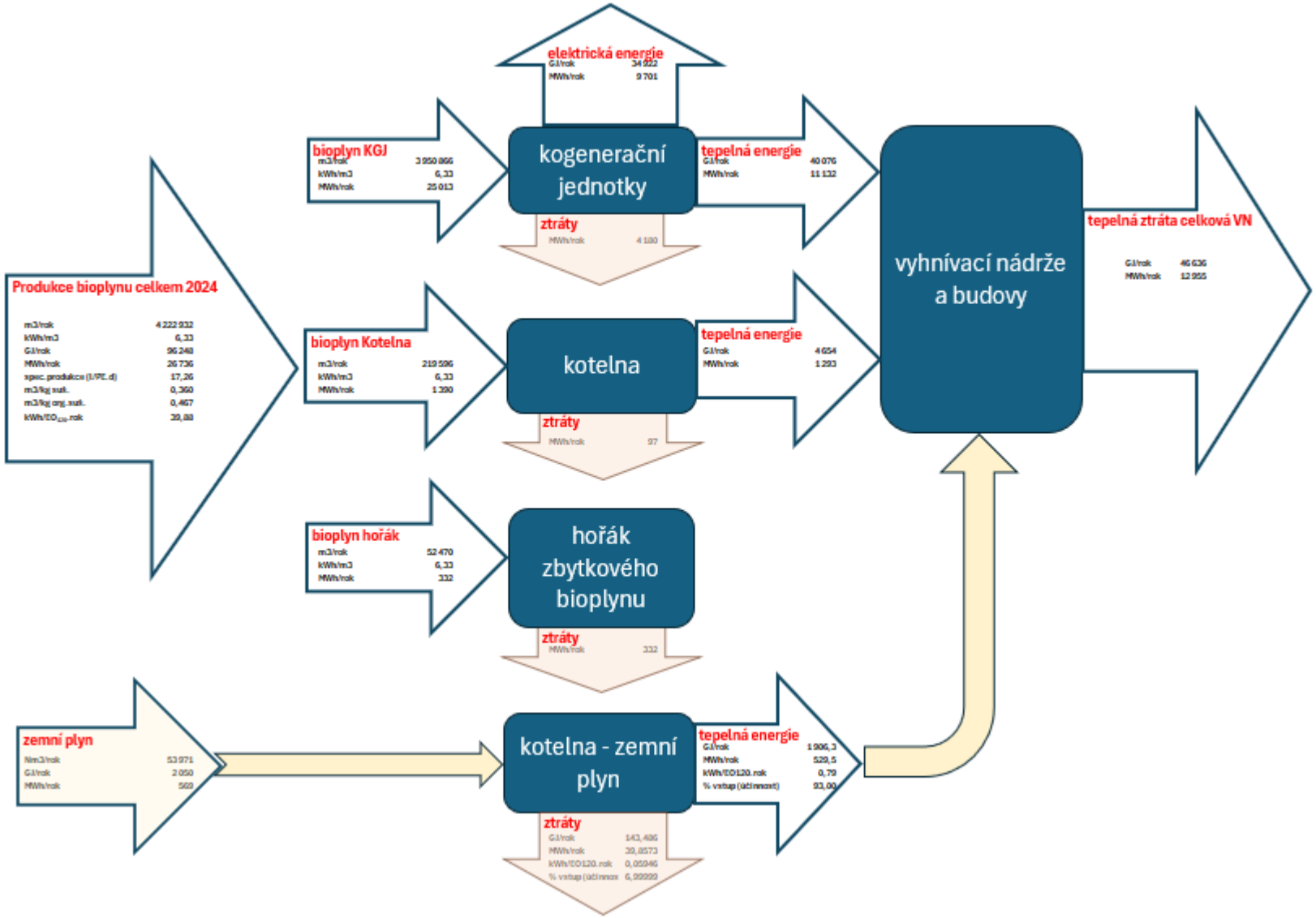
Příklad - základní bilance ČOV – korekce na kalovou vodu



WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Příklad - bilance produkce a využití bioplynu, výroba tepla

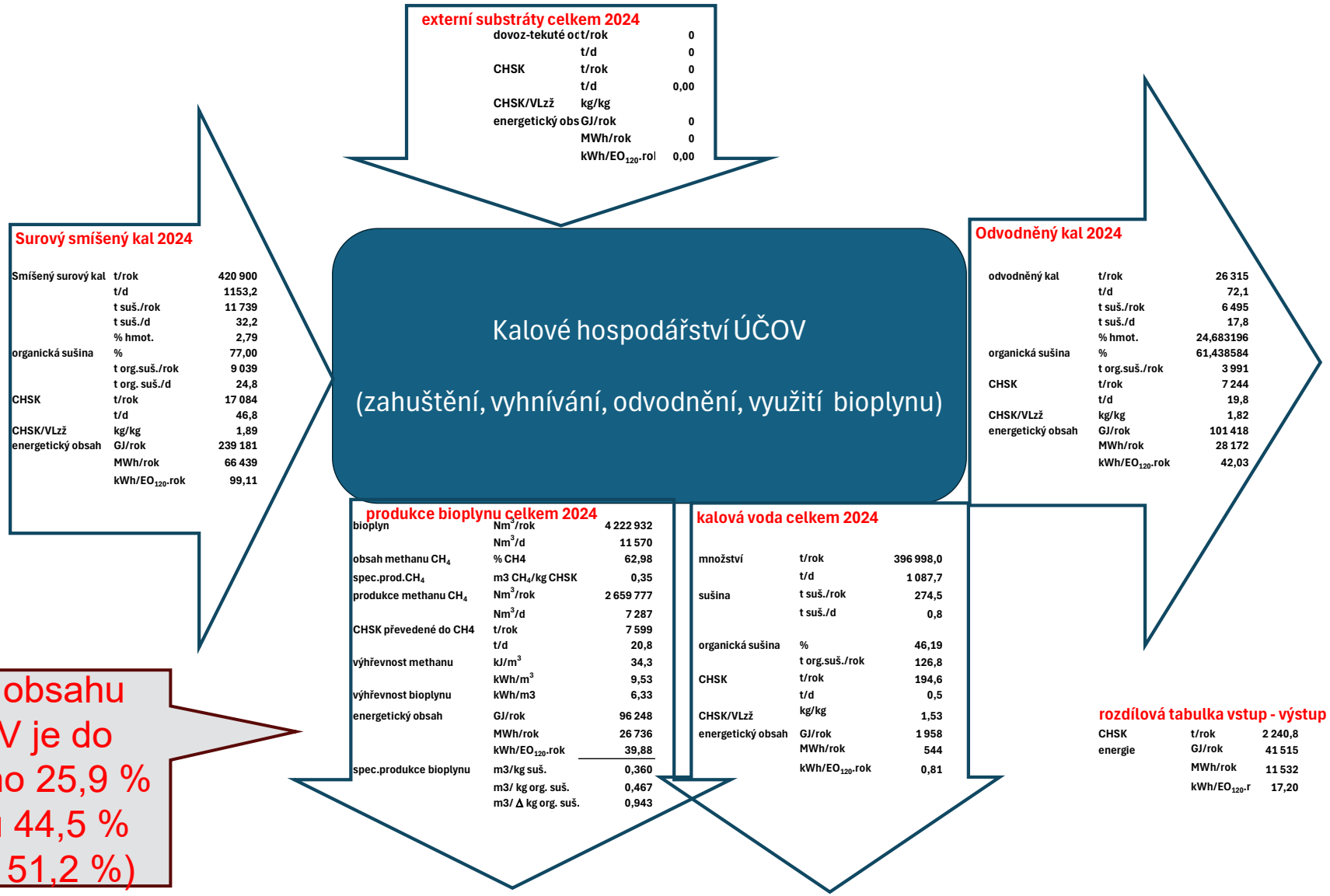


Or	m³/rok	45 766 303,1
Q24	m³/d	125 387,1
CHSK	t/rok	29 361,0
	t/d	80,4
	mg/l	641,5
BSK5	t/rok	11 580,3
	t/d	31,7
	mg/l	253,0
NL	t/rok	13 912,0
	t/d	38,1
	mg/l	304,0
surový směsný kal do VN	t/rok	420 900,0
	t/d	1 153,2
	t suš./rok	11 738,9
	t suš./d	32,2
	% hmot.	2,79
organická sušina	%	77,0
	t org.suš./rok	9 039,3
CHSK	t/rok	17 084,3
	t/d	46,8
CHSK/VLzž	kg/kg	1,89
energetický obsah	GJ/rok	239 181
	MWh/rok	66 439
	$kWh/EO_{120}.rok$	99,11
bioplyn	Nm³/rok	4 222 932
	Nm³/d	11 569,7

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Příklad - hmotová a energetická bilance kalového hospodářství ČOV

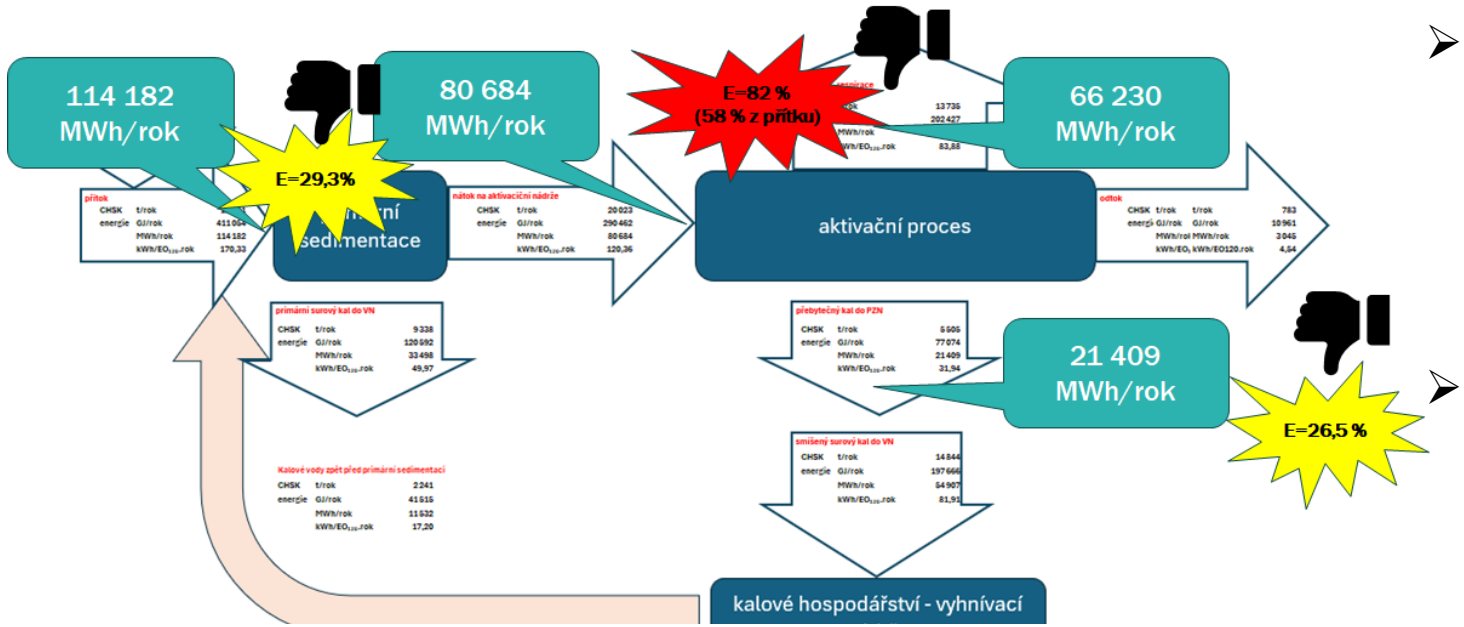


Z energetického obsahu přítoku na ÚČOV je do bioplynu převedeno 25,9 % ze surového kalu 44,5 % (bez kalové vody 51,2 %)

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Zhodnocení příkladů přechozích bilancí ČOV



Nízká účinnost primární sedimentace

Nezbytný velmi vysoký podíl respirace – náročnost na aeraci

Celkově nižší produkce kalů do kalového hospodářství – možnost zvýšení produkce kalu a tím produkce bioplynu

- Primární sedimentace vykazuje nízkou účinnost záchytu organického znečištění a následně energie, z přítoku 114 182 MWh/rok odchází do biologického stupně 80 686 MWh/rok, tj. u činnost cca 29,3 % (obvyklá účinnost je kolem 40 %, pomocí srážení je lze zvyšovat)
- Vysoký odtok do biologického stupně rezultuje ve vysokou transformaci uhlíku aktivačním procesem na CO_2, což představuje vysokou potřebu na aeraci a z obecného pohledu jde o ztrátu uhlíku, který by mohl být transformován v kalovém hospodářství na bioplyn

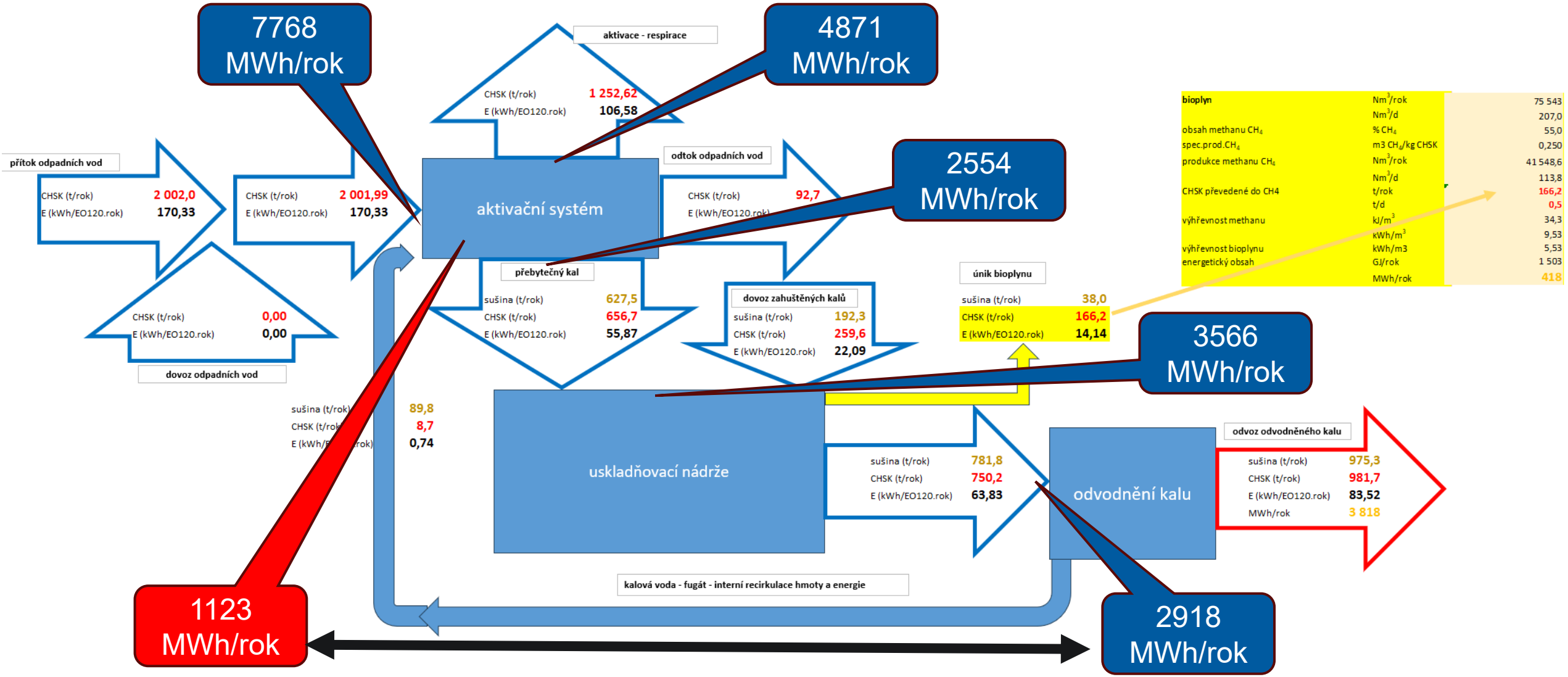
Na CO_2 je tak převáděno 58 % energie z přítoku na ČOV, tj. cca 82 % vstupu do aktivačního procesu

Produkce přebytečného kalu je v důsledku této oxidace snížená a představuje pouze 26,5 % ze zatížení aktivačního procesu (v energetických hodnotách).

WATERTEAM

STRABAG WORK ON PROGRESS

Příklad - základní bilance ČOV – bez primární stabilizace a s „aerobní“ stabilizací kalu



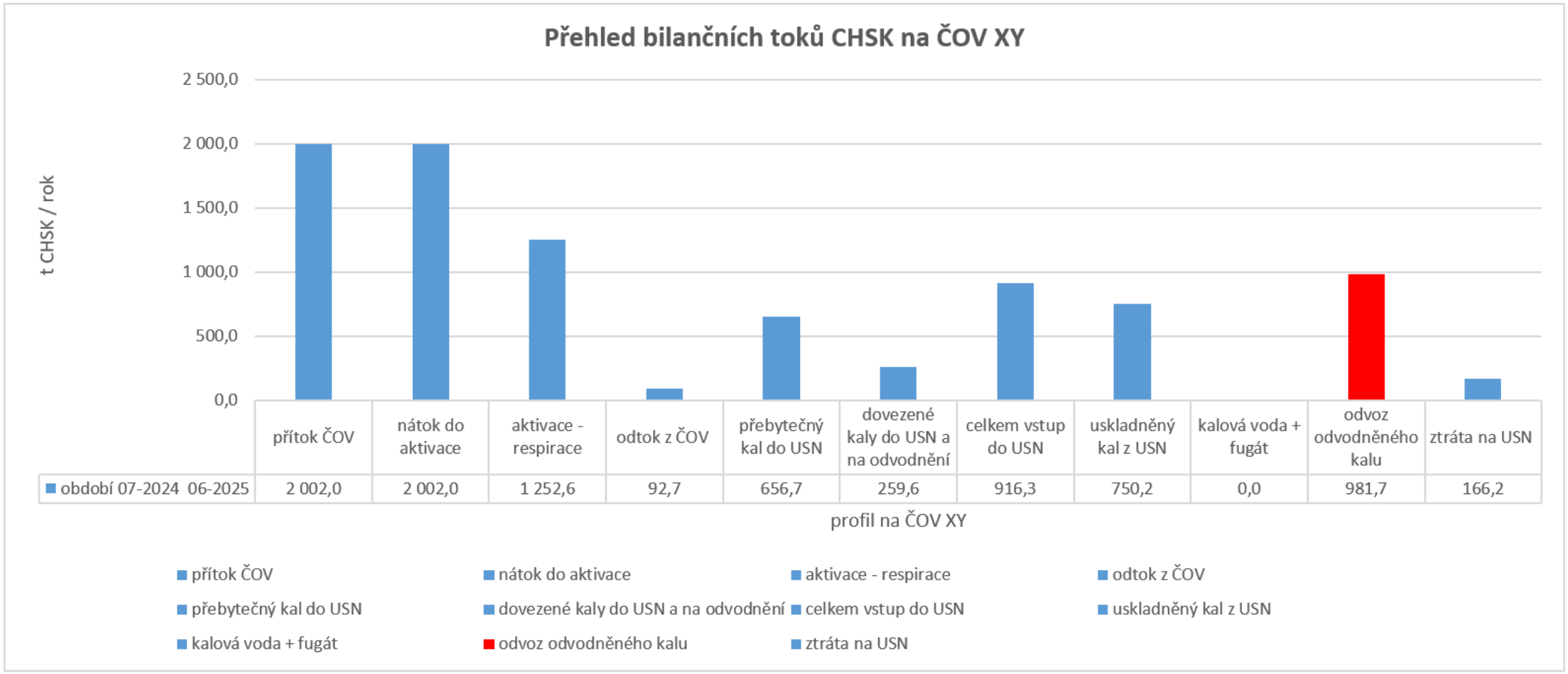
Spotřeba elektrické energie

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Profil CHSK na ČOV XY

Rozdílová bilance (přítok – odtok)	Rozměr	přítok	odtok
CHSK	t/rok	2 002,0	92,7
energetický obsah	GJ/rok	28 028	1 298
	MWh/rok	7 786	360



WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Zhodnocení ČOV na základě bilancí ČOV – předchozí příklad

spec.spotřeba el.enegie	kWh/m^3	0,44
elektrická náročnost	kWh/EO.rok	36,15
elektrická soběstačnost	%	0,00
energetická soběstačnost	%	0,00
požadavek taxonomie	kWh/EO.rok	25,00

- Velmi úsporně provozovaná ČOV z hlediska energie
- Je nezbytné řešit nekonzistentní data odvodněných kalů
- ČOV logicky dosahuje nulové energetické soběstačnosti (energie je pouze spotřebována)
- Jediným energetickým výstupem je výhřevnost odvodněných kalů
- ČOV beze změny konfigurace vodní a kalové linky není schopna výhledově plnit požadavek EU směrnice 2024/3019 na dosažení energetické neutrality plnění taxonomických kritérií provozováním ČOV – **návrh na doplnění anaerobní stabilizace kalu s využíváním bioplynu** (kapacita ČOV je již nyní 45 000 EO).

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Souhrn

- ✓ Bilance CHSK musí být podkladem pro energetické bilance ČOV, cílem je zmapovat toky CHSK = energie v technologických celcích ČOV
- ✓ Bude to podklad pro energetický audit, řada provozních společností ČOV začala tyto bilance zpracovávat
- ✓ Sestavení bilance obvykle odhalí „diskrepance“ ve sledování technologických procesů
- ✓ Porovnání teoretických poměrů CHSK/org. podíl sušiny kalu je vhodné ověřit přímým stanovení v rozhodujících profilech, použití defaultního poměrů je použitelné pro první bilance
- ✓ Cílem je zredukovat toky CHSK oxidované v ČOV (dvojnásobná ztráta energie) a směřovat CHSK k technologiím zachycování uhlíku (CHSK) před aerobními procesy (viz slída č.2)
- ✓

Spotřeba energie, stejně jako např. daně, je nevyhnutelnou součástí života. Přesto je rozumné a proveditelné, využít naše vynalézavosti k jejímu snížení v co největší míře. To platí i pro čištění odpadních vod!

WATERTEAM

STRABAG
WORK ON PROGRESS

Kontakt

Ing. Miroslav Kos, CSc. MBA

STRABAG Water s.r.o.,

Kačírkova 982/4,

158 00 Praha 5 -Jinonice

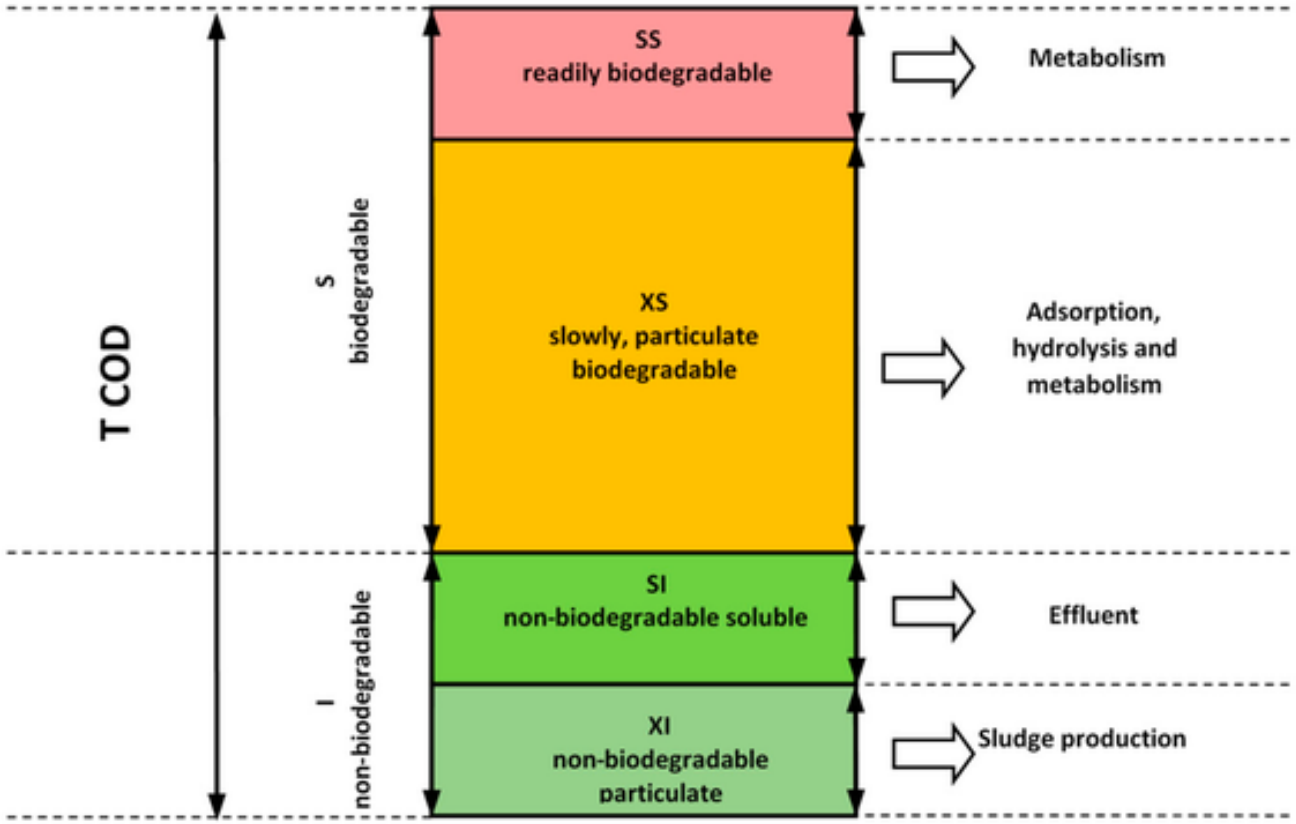
mobil +420 602 363 968

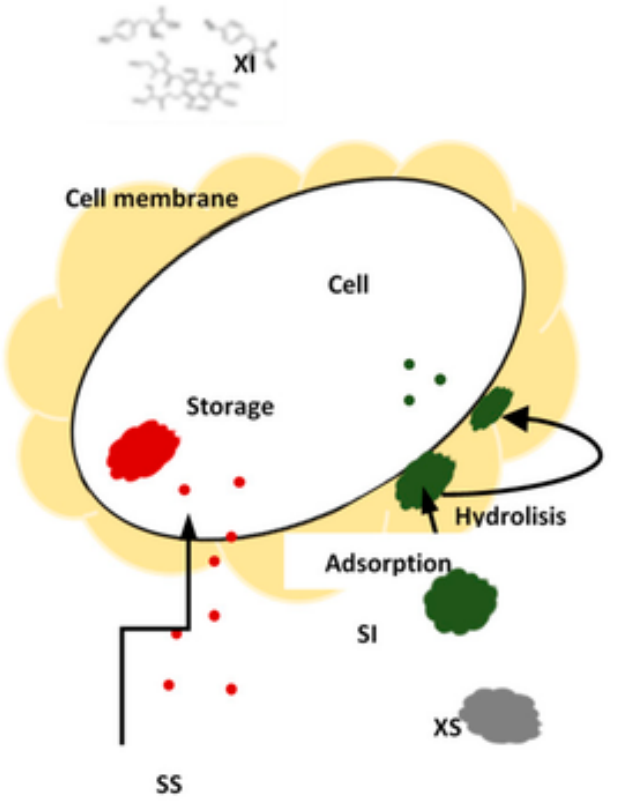
email:
miroslav.kos@strabag.com

Děkuji za pozornost!

www.strabag.com

WATERTEAM





STRABAG
WORK ON PROGRESS

STRABAG
WORK ON PROGRESS