

Materiálová transformace čistírenského kalu z energetického hlediska

Lukáš Frýba

Miroslav Kos



1. Proč materiálová transformace
2. Základní využitelné procesy
3. Poznámky k některým sestavám kalového hospodářství ČOV
4. Metodika zpracování energetických bilancí
5. Vyhodnocení sestav kalového hospodářství ČOV z energetického hlediska
6. Souhrn



MAS – mezofilní anaerobní stabilizace kalu

TAS – termofilní anaerobní stabilizace kalu

KGJ – kogenerační spalování kalového plynu s výrobou elektřiny a tepla

NTS – nízkoteplotní sušení kalu

THP FULL – termická hydrolýza smíšeného surového kalu

THP WAS – termická hydrolýza přebytečného kalu

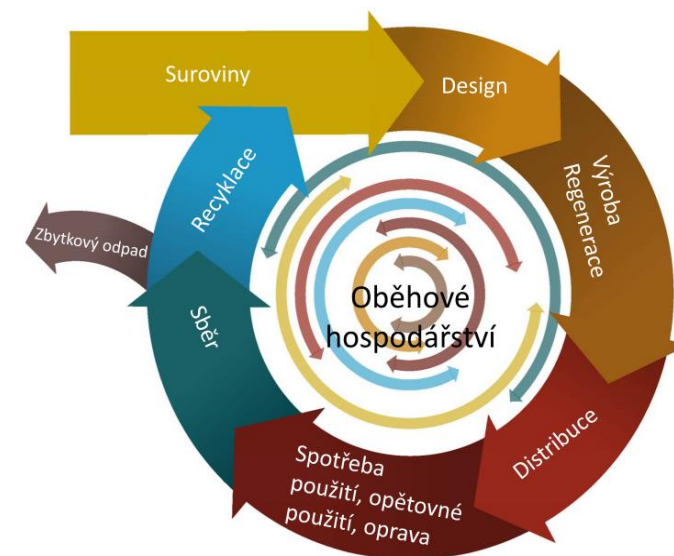
PAD THP – termická hydrolýza odvodněného vyhnílého kalu

PYRO – pomalá pyrolýza sušeného kalu

MSK – monospalování sušeného kalu

Nová legislativa EU i jednotlivých členských států v poslední době razantně reaguje na nové poznatky o složení kalů. Tyto skutečnosti spolu s ekonomickými důvody podnítily rozvoj a uplatnění moderních procesů anaerobní stabilizace kalů nebo doplnění existujících kalových linek ČOV o nové procesy zpracovatelské linky.

- Kombinuje se využití energie z čistírenských kalů s jejich materiálovou transformací do formy opět využitelné jako hnojivo nebo se zájmem na získání fosforu jako výhledově kritického materiálu EU.
- Anaerobní stabilizace vyhníváním, termická hydrolýza, nízkoteplotní sušení a pyrolýza patří k nejslibnějším procesům, které se používají při přeměně čistírenských kalů na energii a hnojivo.
- Anaerobní stabilizace kalů je soubor navazujících biologických procesů, které však mají omezení z hlediska účinnosti, protože nezvládají dostatečně extrahovat energii z čistírenských kalů. Vyhnílý kal stále obsahuje značný organický podíl v sušině, který je ale obtížně biologicky rozložitelný.
- Aby byla využita i tato obtížně biologicky využitelná část vyhnílého kalu, aplikují se postupně různé procesy k posílení anaerobního rozkladu organické hmoty nebo procesy úpravy kalu a následné energetické přeměny.



- Směrnice AbfKlärV vstoupila v platnost ihned po vyhlášení (3.10.2017)
- Po uplynutí přechodných období (12 a 15 let):
 - Vyžadováno získávání P pomocí srážení nebo zpracování popela pro čistírny odpadních vod $\geq 50\ 000/100\ 000$ EO v případě obsahu fosforu v sušině vyšším než ≥ 20 g/kg
 - "pozdější" zpracování získaného popela (po přechodném skladování) je povoleno
 - Zákaz recyklace odpadních kalů na půdu pro čistírny odpadních vod větší než $\geq 50\ 000/100\ 000$ EO
 - Využití kalů na půdu je možné pro čistírny odpadních vod $\leq 50\ 000$ EO, při zajištění požadované kvality kalů



Anaerobní stabilizace

- Úprava kalu zvyšující produkci energie ve anaerobní stabilizaci

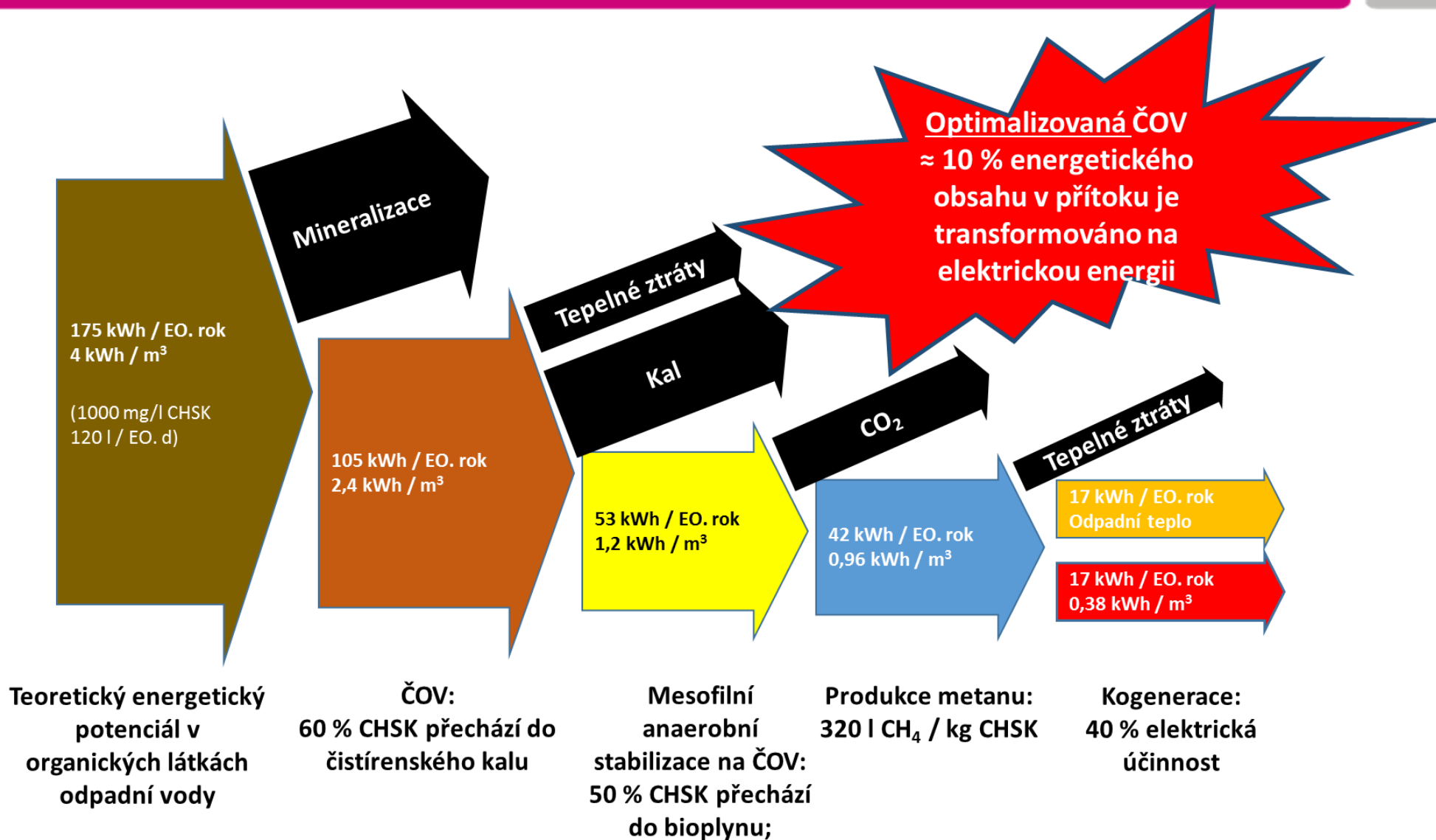
Energie

- Přímé využití odvodněného kalu jako paliva
- Transformace kombinující získání tepla (energie) a produktu pro výrobu hnojiva

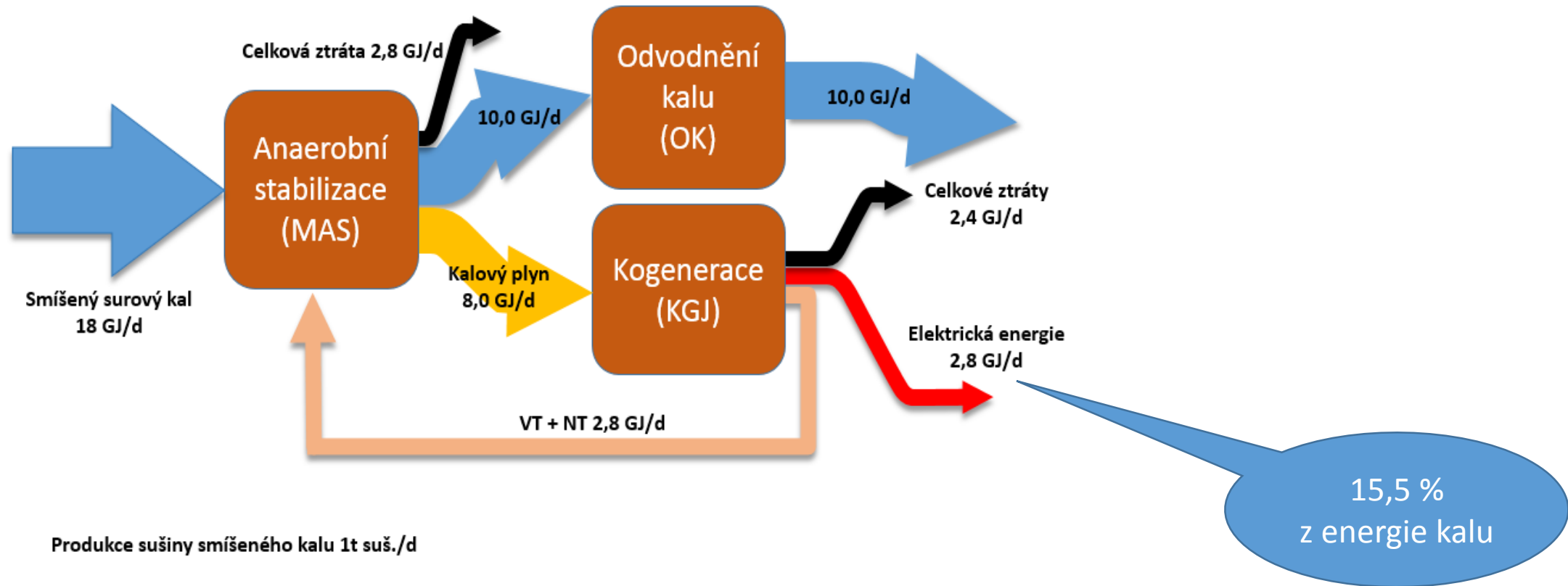
Hnojivo

- Výroba hnojiva po předchozím energetickém využití
- Přímou využitelný produkt v rámci energetickém využití

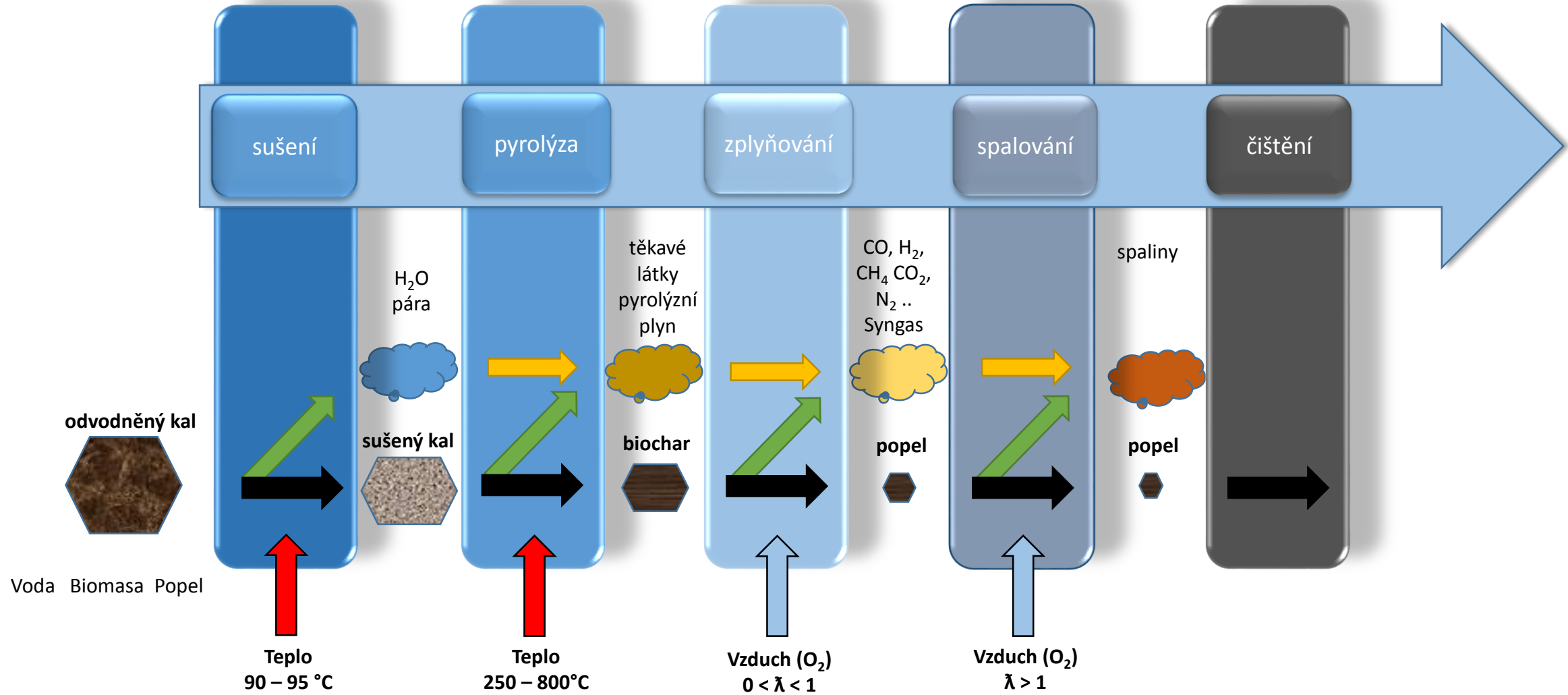
Současný energetický potenciál ČOV jako zdroje energie



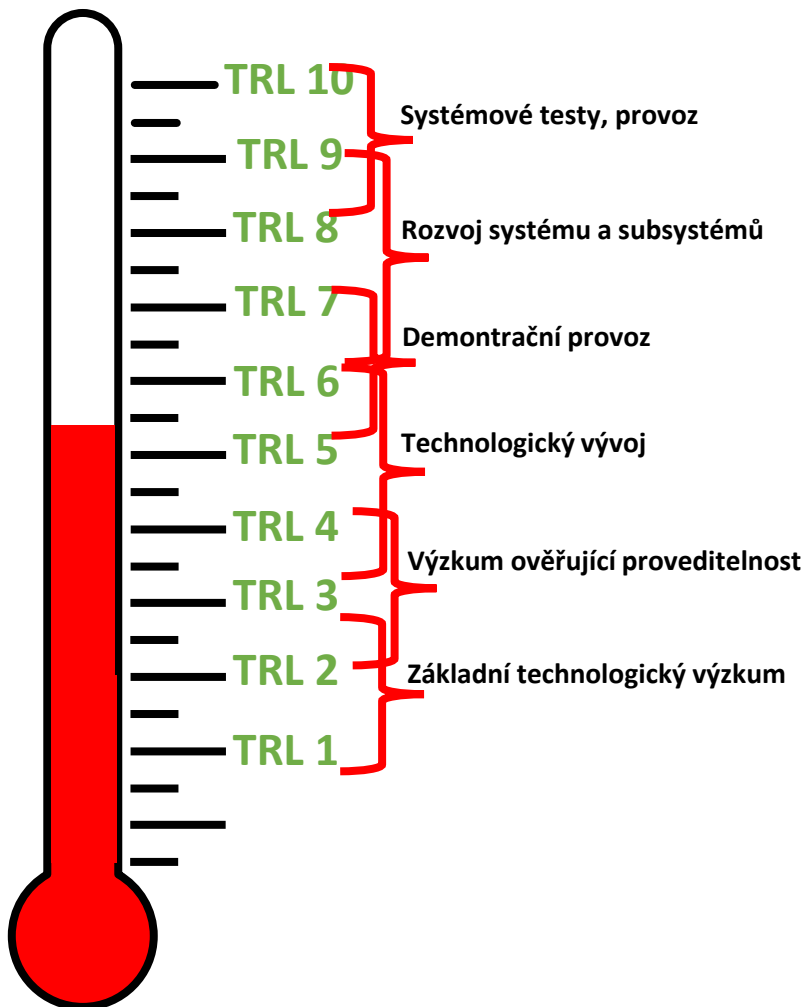
Bilanční energetické schéma mezofilní anaerobní stabilizace kalu (MAS) s kogenerací (KGJ)



Termické zpracování kalů – procesy a podmínky



Úroveň připravenosti technologie (Technology Readiness Level – TRL)



TRL 9 – intenzivní provozní měření, veškerá výrobní dokumentace

TRL 8 – malosérie integrovaného zařízení v provozních podmínkách

TRL 7 - prototyp integrovaný do standardního provozu, výrobní dokumentace

TRL 6 – dokumentace a výroba poloprovozního prototypu bez integrace

TRL 5 – postavení modelového zařízení, není integrováno do ucelného systému

TRL 4 – výzkumné práce na zařízení v laboratoři

TRL 3 – prověření funkce testem, ale není integrováno do zařízení

TRL 2 - rozpracování principu, ideová dokumentace

TRL 1 - popis principu, základní pozorování, základní propočet procesu

Hodnocení procesů materiálové transformace pro získávání fosforu (podle stupně Technology Readiness Level – TRL)

Odpadní voda Kalová voda

- **Air-Prex** 9
- **OSTARA Pearl** 9
- Parforce 6
- P-ROC 6

Čistírenský kal

- ExtraPhos 5
- Mepherc 5
- **PYREG** 8
- Stuttgarter Verfahren 7
- TerraNova Ultra 4-5
- EuPhoRe 7
- ENERKAL Hedviga 7

Popel z monospalování kalu

- AshDec 6
- PASCH 4
- TetraPhos 6

Hodnocení procesů materiálové transformace pro získávání energie (podle stupně Technology Readiness Level – TRL)

Zahuštěné kaly

- THP Full 9
- THP WAS 9
- PONDUS 7
- Mechanická lyzace 7
- MONSAL 8
- Ultrazvuk 7

Odvodněné kaly

- Sušení 9
- PAD THP 7
- Spalování 8
- EuPhoRe 7

Sušené kaly

- Monospalování 9
- Sülzle –Kopf Syngas 7
- PYREG 8
- Pyrolýza 3 fáze 6
- Zplyňování 6

Maturita materiálové transformace na energii je vyšší než transformace na produkt (hnojivo)

Přehled hodnocených variant technologií kalového hospodářství (9 procesů – 12 technologických variant)

Var.č.	Typ technologie kalového hospodářství								
	MAS	TAS	KGJ	NTS	THP FULL	THP WAS	PAD THP	PYRO	MSK
1	+		+						
2	+		+	+					
3	+		+		+				
4	+		+			+			
5	+		+	+		+			
6	+		+	+		+		+	
7	+		+	+				+	
8	+		+	+					+
9		+	+						
10		+	+				+		
11		+	+	+			+		
12		+	+	+			+	+	

MAS – mezofilní anaerobní stabilizace kalu

TAS – termofilní anaerobní stabilizace kalu

KGJ – kogenerační spalování kalového plynu s výrobou elektřiny a tepla

NTS – nízkoteplotní sušení kalu

THP FULL – termická hydrolýza smíšeného surového kalu

THP WAS – termická hydrolýza přebytečného kalu

PAD THP – termická hydrolýza odvodněného vyhnilého kalu

PYRO – pomalá pyrolýza sušeného kalu

MSK – monospalování sušeného kalu

- ⇒ stále častější používání termické hydrolýzy (THP-Thermal Hydrolysis Process) v různých modifikacích, kdy je tento proces aplikován na kal před vyhnívacími nádržemi, případně mezi prvním a druhým stupněm vyhnívání, nebo pouze na přebytečný kal nebo na kal za vyhnívacími nádržemi, jako zdroj tepla pro THP je využíváno odpadní teplo produkované kogeneračním zpracováním bioplynu (teplo ze spalínového výměníku, tzv. vysoké teplo)
- ⇒ nízkoteplotní sušení (NTS) jako hygienizační stupeň v případě požadavku na zajištění pouze hygienizace, nebo jako předstupeň před dalším energetickým nebo materiálovým využitím
- ⇒ monospalování kalu (MSK) se získáváním energie a využitím popele jako zdroje pro získávání fosforu, pouze pro větší ČOV nebo kalová centra
- ⇒ termochemická transformace sušeného kalu se získáváním energie (pyrolýzní plyn, syngas) a získáváním biocharu s agrochemicky využitelným fosforem (využití jako hnojivo či hnojivá komponenta).

Ambice:

Na základě údajů o výhřevnosti sušiny kalů, tepelné účinnosti jednotlivých zařízení a rekuperačních jednotek sestavit vedle hmotové bilance i bilanci tepelnou, kombinovanou s bilancí energetickou.

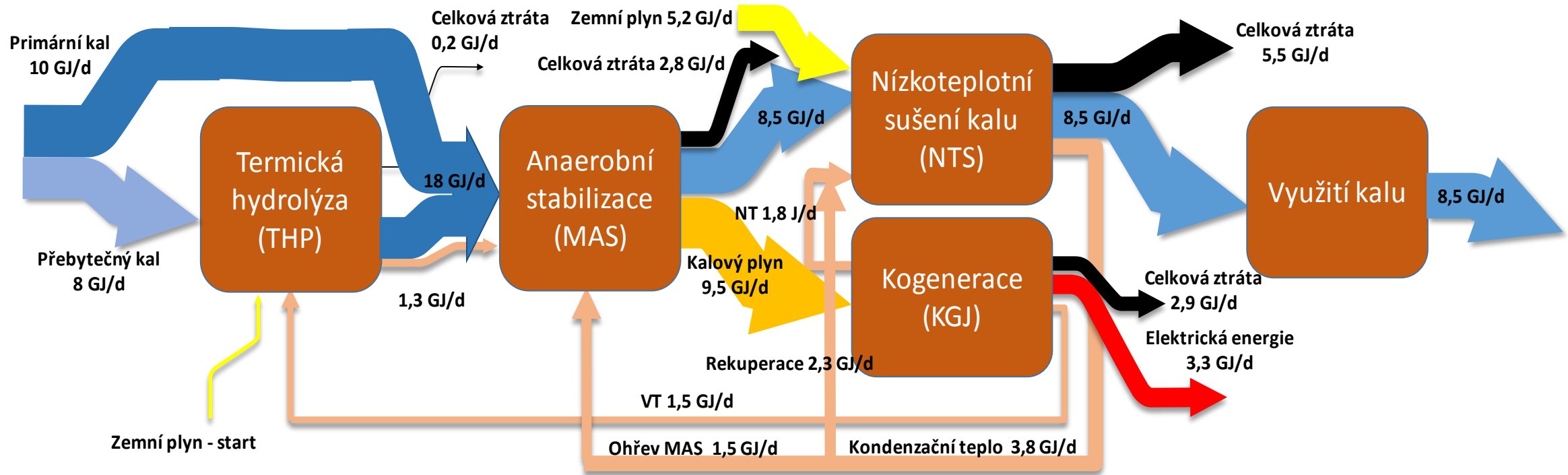
Zásady:

- Jednotný hmotový vstup smíšeného kalu 1000 kg sušiny/d
- Předpoklad výhřevnosti 18 MJ/kg sušiny
- Bilancován je tedy vstup 18 GJ/d vstupující do anaerobní stabilizace ka
- Výpočty je sledována transformace tohoto energetického vstupu a jeho přeměna v průběhu zpracování
- Zahrnuto je využití odpadního tepla z procesů, případně i nutnost použití externího zdroje tepelné energie
- Protože jsou převážně bilancovány energetické obsahy v kalu, je použito jednotek GJ/d.
- Bilance jsou zpracovány ve formě Sankey diagramů, prezentujeme je ve zjednodušené formě.



Termická hydrolýza a anaerobní stabilizace

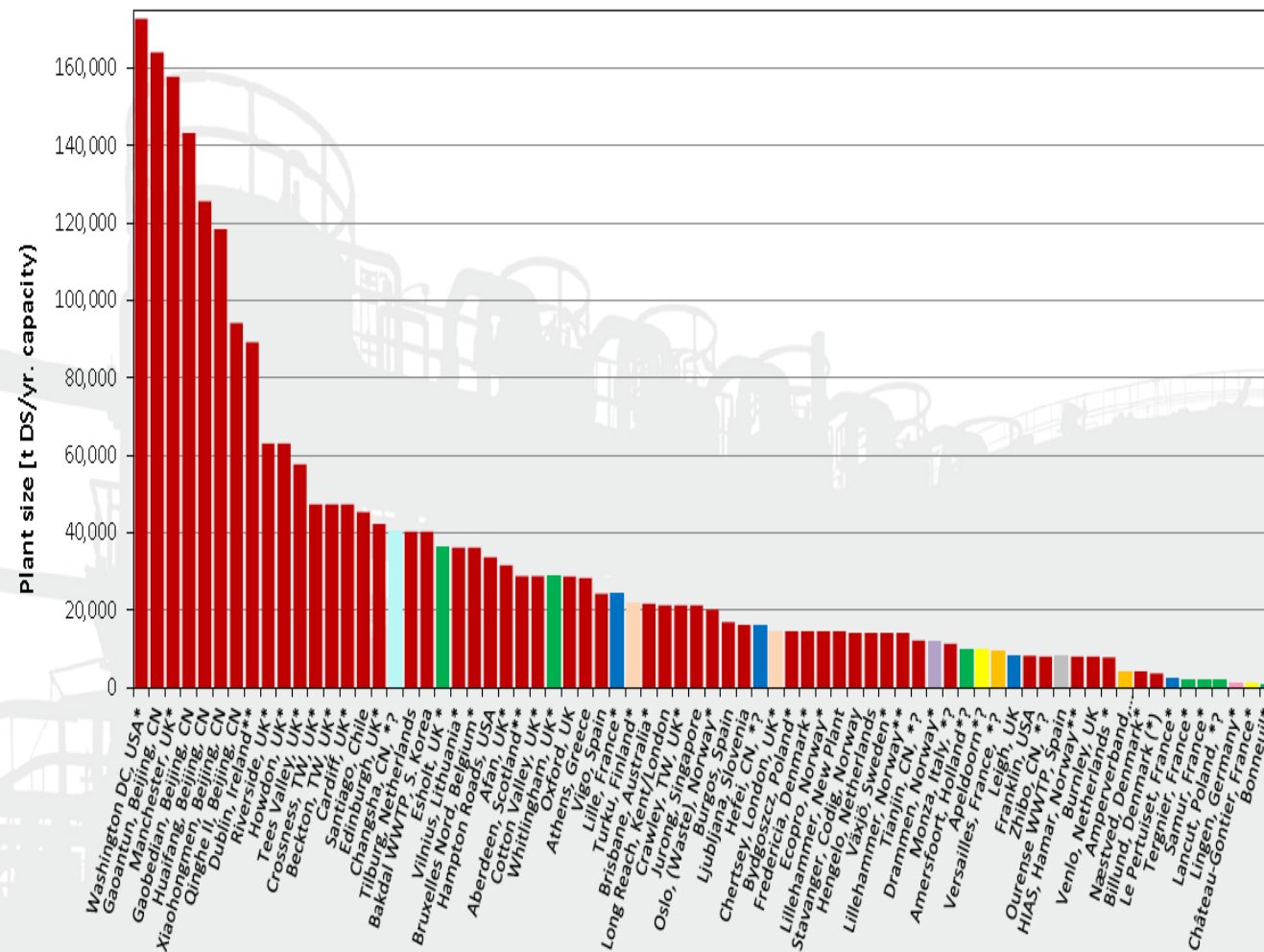
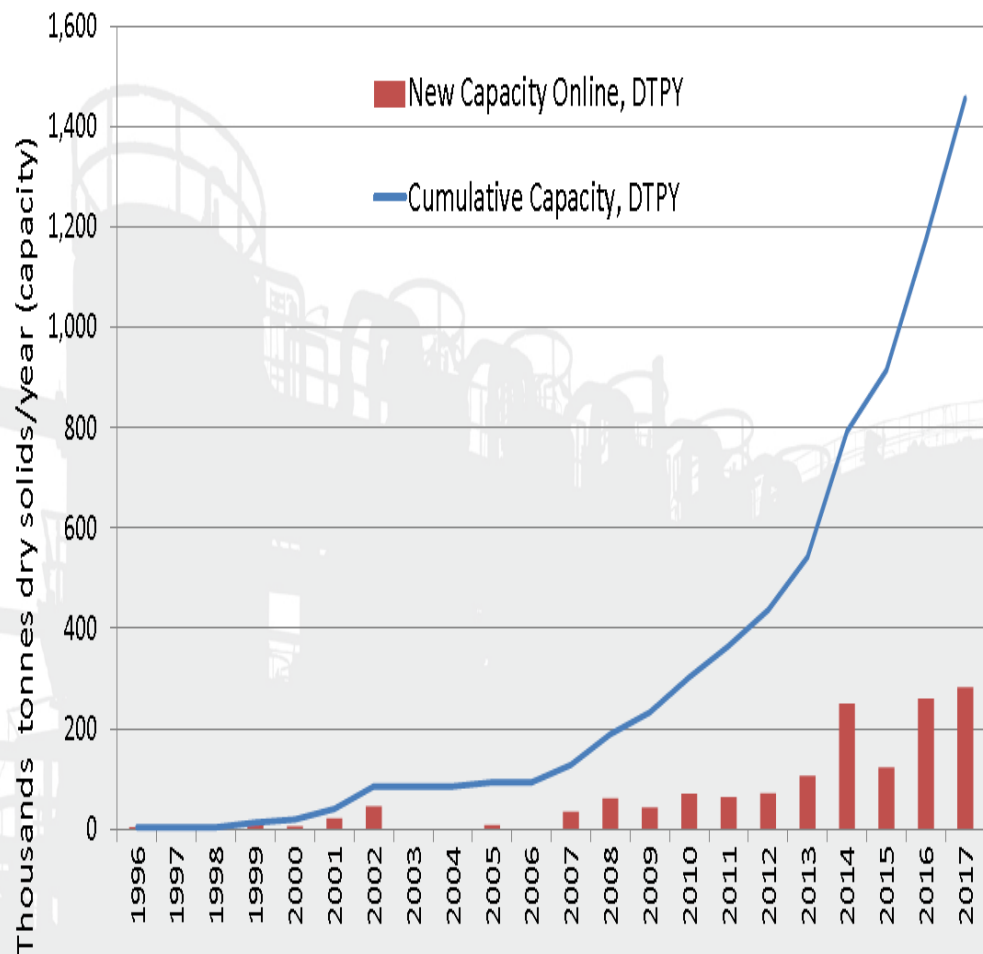
Použití THP v kterémkoliv uspořádání v kombinaci s anaerobní stabilizací kalu zlepšuje efektivnost využití energetického obsahu kalů ve srovnání s klasickou MAS a TAS. Předodvodnění před THP je nezbytné z důvodu redukce ohřívaného množství kalu. Finálně pak použití THP zvyšuje produkci bioplynu a následně pak i produkci elektrické energie a tepla. K výrobě páry pro THP se používá teplo ze spalínového výměníku kogenerace.



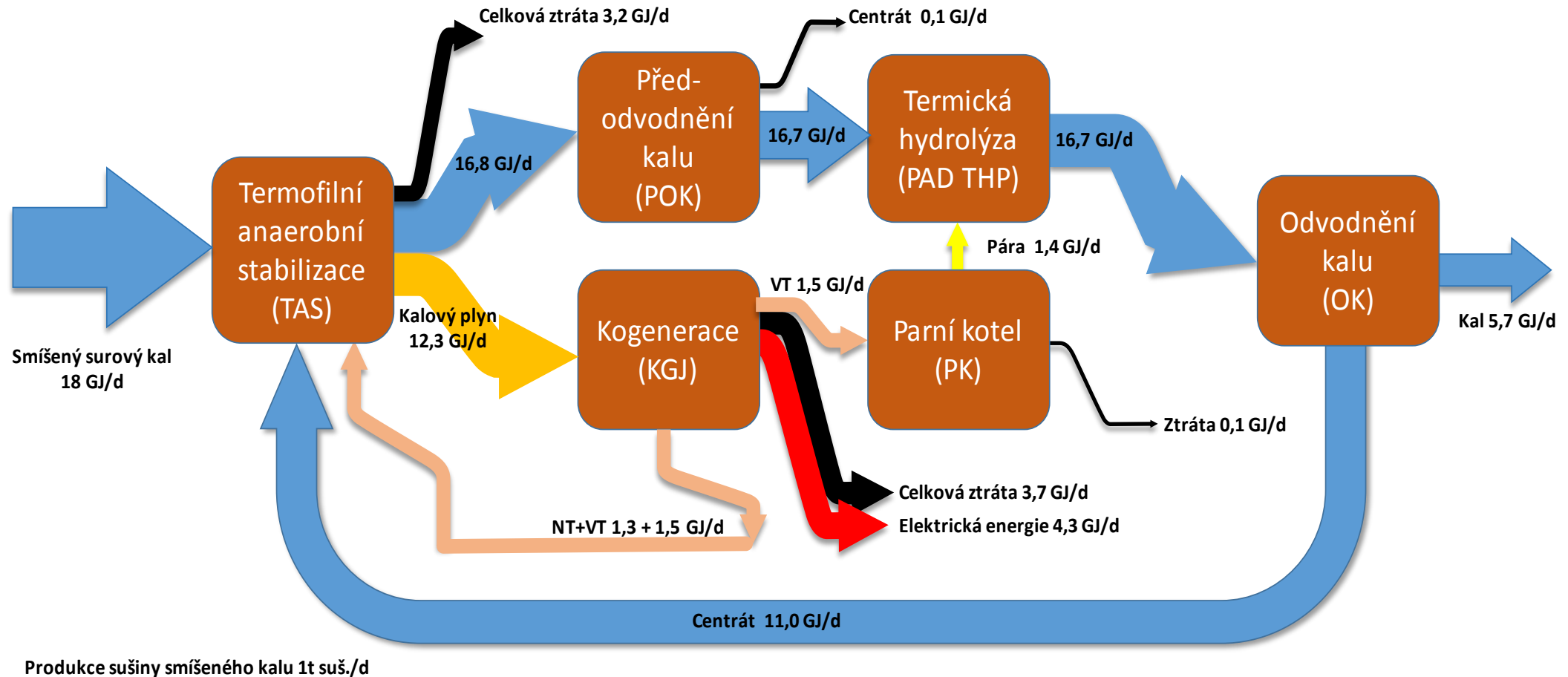
Produkce sušiny smíšeného kalu 1t suš./d

sestava s THP WAS pro nové kalové hospodářství ČOV Brno

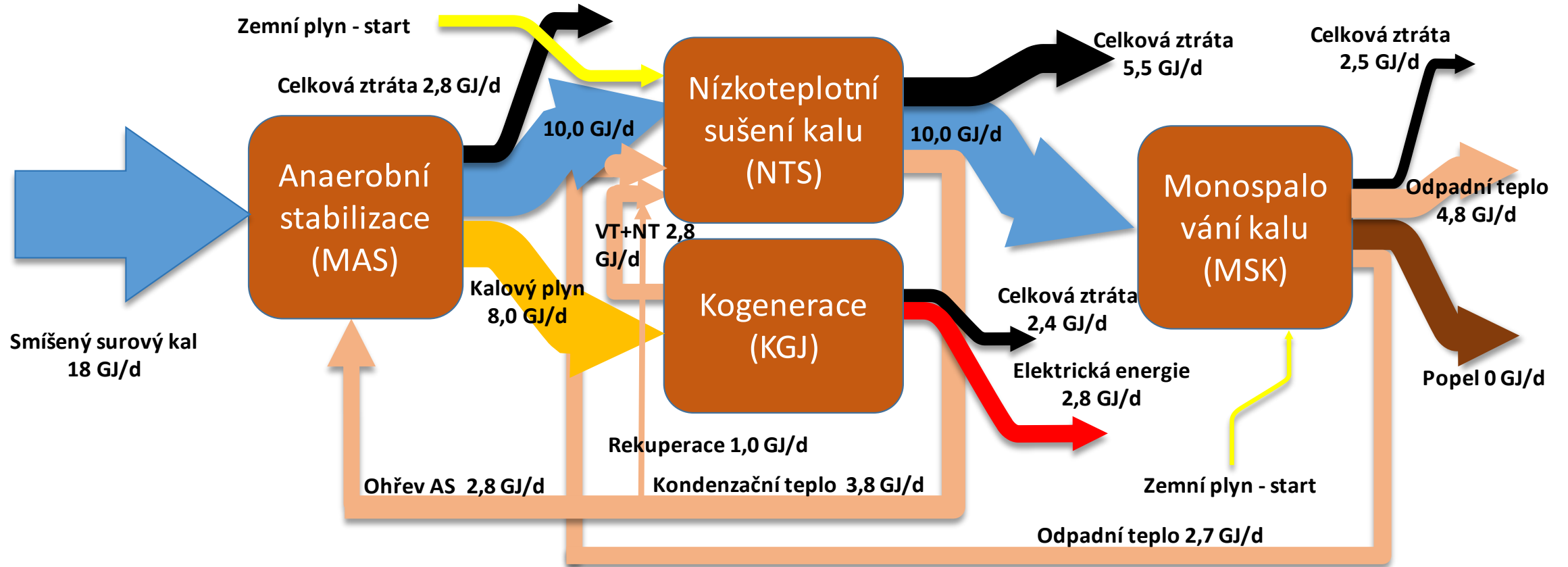
Termická hydrolýza – kapacity ve světě – konec roku 2016



Termická hydrolýza a anaerobní stabilizace



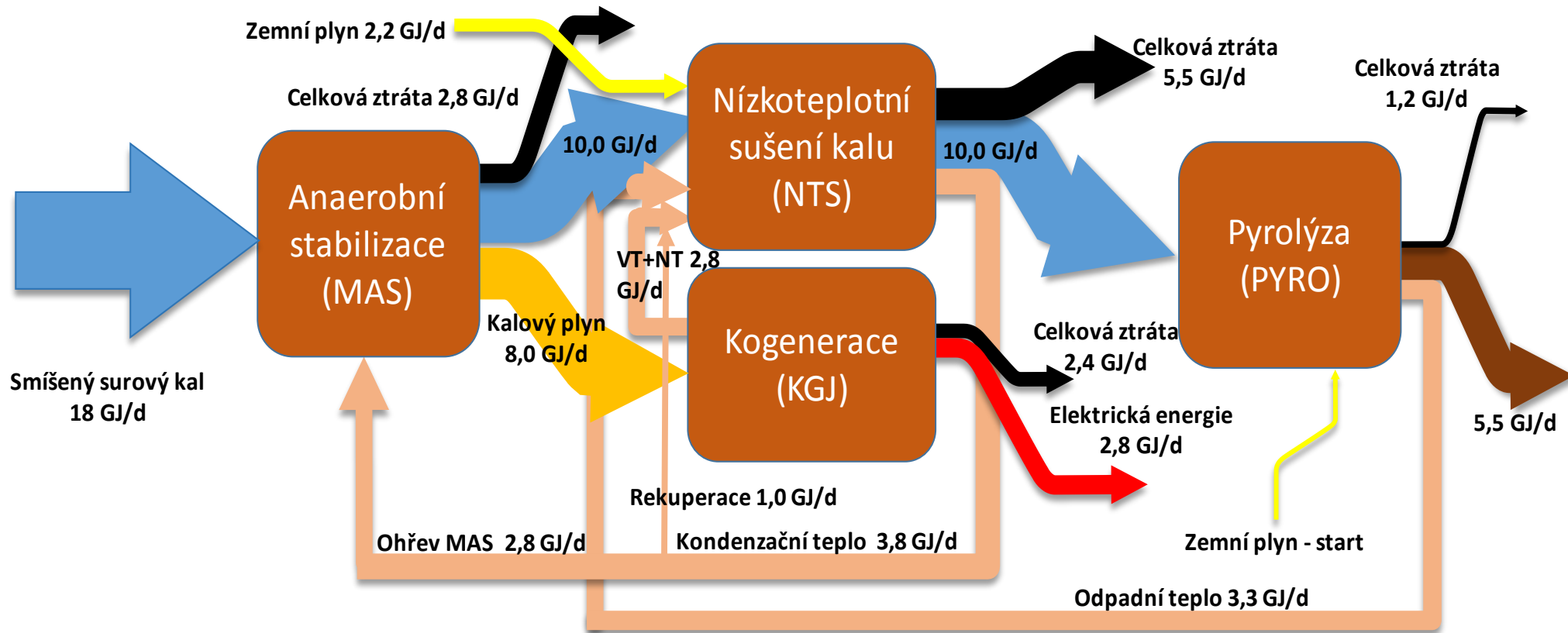
Bilanční energetické schéma pro sestavu s termofilní anaerobní stabilizací (TAS), hydrolýzou vyhnílého kalu (PAD-THP) a kogenerací (KGJ)



Produkce sušiny smíšeného kalu 1t suš./d

Bilanční energetické schéma pro sestavu s mezofilní anaerobní stabilizací (MAS), nízkoteplotním sušením (NTS), kogenerací (KGJ) a spalováním kalu (MSK)

Nízkoteplotní sušení a pyrolýza kalu – řešení pro střední velikosti ČOV a regionální kalová centra



Produkce sušiny smíšeného kalu 1t suš./d

sestava využita v projektech ČOV Trutnov, Cheb, Přerov atd.

Bilanční energetické schéma pro sestavu s mezofilní anaerobní stabilizací (MAS), nízkoteplotním sušením (NTS), kogenerací (KGJ) a pyrolýzou kalu (PYRO)

Vyhodnocení porovnávaných sestav kalového hospodářství ČOV

Nasazení THP FULL

Nasazení THP WAS

Nasazení PAD THP

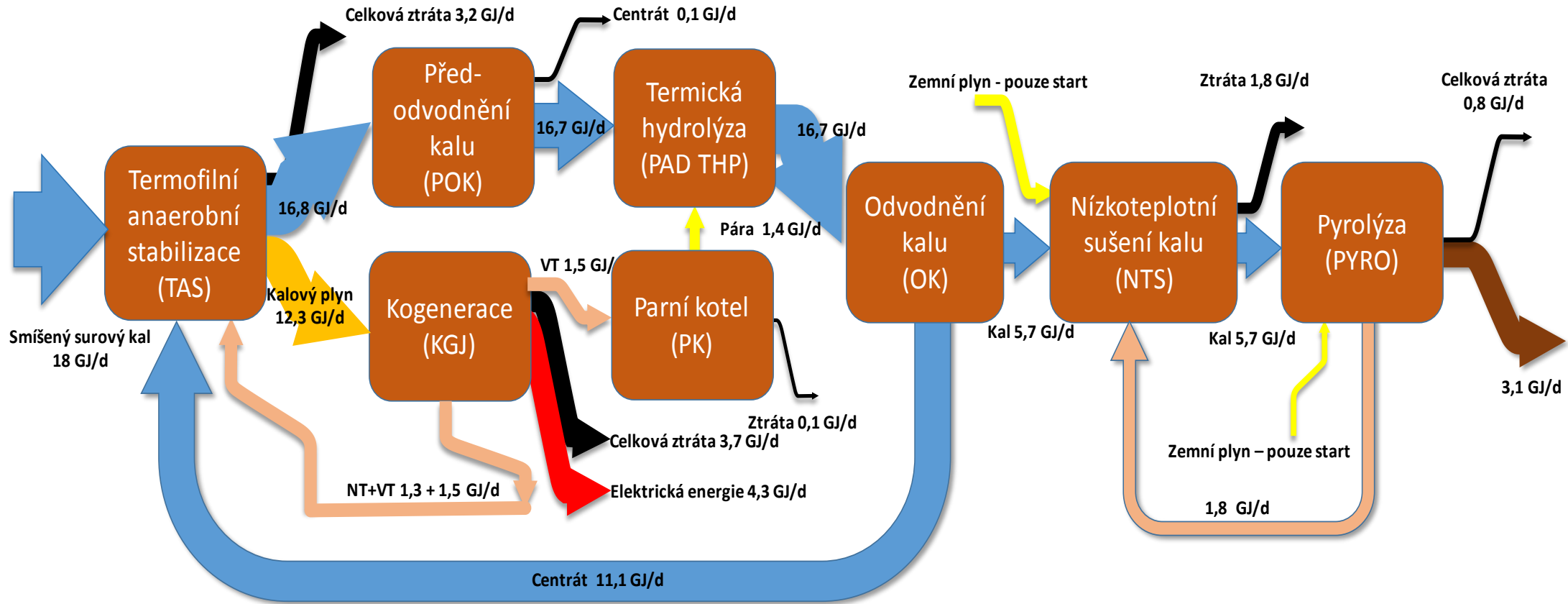
Nasazení PYRO

Monospalování

Vítěz

Var. č.	Energie v kalu na vstupu do kalového hospodářství	Energie v produkovaném bioplynu	Výroba elektrické energie	Energie v kalu na výstupu	Celková ztráta	Spotřeba externí energie	Bilance energie (vstup - výstup)	Celková bilance energie (vstup - výstup - externí)	Množství kalu		Forma výstupu (kal)	Hygienizace kalu
									výstup	výstup sušina		
GJ/d									kg/d		-	-
1	18,0	8,0	2,8	10,0	5,2	0,0	8,0	8,0	2 600	650	odvodněný	ne
2	18,0	8,0	2,8	10,0	5,2	5,5	8,0	2,5	722	650	sušený	ano
3	18,0	10,5	3,7	8,5	6,8	0,3	10,5	10,2	1 833	550	odvodněný	ano
4	18,0	9,5	3,3	8,5	6,2	0,0	9,5	9,5	2 071	580	odvodněný	ne
5	18,0	9,5	3,3	8,5	6,2	5,2	9,5	4,3	644	580	sušený	ano
6	18,0	9,5	3,3	5,0	9,7	2,6	13,0	10,4	474	450	mineralizovaný	ano
7	18,0	8,0	2,8	5,5	9,7	2,2	12,5	10,3	474	450	mineralizovaný	ano
8	18,0	8,0	2,8	4,8	10,4	0,0	13,2	13,2	439	430	popel	ano
9	18,0	9,0	3,2	8,0	6,8	0,0	10,0	10,0	2 400	600	odvodněný	ne
10	18,0	12,3	4,3	5,7	8,0	0,0	12,3	12,3	1 250	500	odvodněný	ano
11	18,0	12,3	4,3	5,7	8,0	1,7	12,3	10,6	560	500	sušený	ano
12	18,0	12,3	4,3	3,1	10,6	0,0	14,9	14,9	474	450	mineralizovaný	ano

Nejvyšší výtěžnosti energie kalu z posuzovaných variant dosahuje varianta 12 (TAS+KGJ+NTS+PAD-THP+PYRO),



Produkce sušiny smíšeného kalu 1t suš./d

Bilanční energetické schéma pro sestavu s termofilní anaerobní stabilizací (TAS), hydrolyzou vyhnílého kalu (PAD-THP), sušením kalu (NTS), kogenerací (KGJ) a pyrolýzou (PYRO)

„nejvyšší výnos v elektrické energii, ale i nejvyšší celková ztráta“ (3 termické procesy)

- ✓ Základem zůstává mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizace úzce provázaná s energetickým využitím kalového plynu v moderních kogeneračních jednotkách s vysokou elektrickou účinností.
- ✓ Tento základ je účelné doplnit procesem termické hydrolýzy, která může být umístěna před, mezi nebo za vyhnívacími nádržemi.
- ✓ Cestu k úplnému vytěžení energetického obsahu pak otevírá proces nízkoteplotního sušení, na který mohou navazovat podle velikosti ČOV procesy termochemické transformace sušeného kalu získáváním energie ve formě plynu (pyrolýzní plyn, syngas) a získáváním mineralizovaného uhlíkatého zbytku (karbonizát, biochar, popel) s agrochemicky využitelným fosforem (využití jako hnojivo či hnojivá komponenta).
- ✓ Pro velké kapacity je pak vhodnější použití monospalování s výhledovým získáváním fosforu, tedy cestou, kterou se vydává Německo, Švýcarsko a Rakousko

- ✓ Z hodnocených sestav termické hydrolýzy vychází jako velmi perspektivní a nejvíce účinná modifikace označovaná jako PAD-THP. Jde o řešení kombinující termickou hydrolýzu a termickou kondicionizaci kalu, které má ukončený vývoj a je na počátku aplikací do praxe, provozní experimentální jednotka je instalována v Mnichově na ČOV AmperVerband.
- ✓ Z hodnocených sestav dosahuje nejvyššího výtěžku energie z kalu sestava č. 12 - s termofilní anaerobní stabilizací (TAS), hydrolýzou vyhnílého kalu (PAD-THP), sušením kalu (NTS), kogenerací (KGJ) a pyrolýzou (PYRO)
- ✓ Energetické aspekty a využitelnost konečného produktu budou hrát klíčovou roli v rozhodovacím procesu jak dále, ale jak již bylo řečeno, potřeba řešení materiálové transformace čistírenských kalů je „ante portas“.

Děkuji za pozornost !

