



SMT
SMP CZ

1. ročník semináře
KALOVÝ DEN

Miroslav Kos

Procesní požadavky termických technologií zpracování kalů



Oběhové hospodářství – čištění odpadních vod a zpracování čistírenského kalu



Motivace

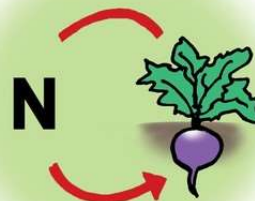
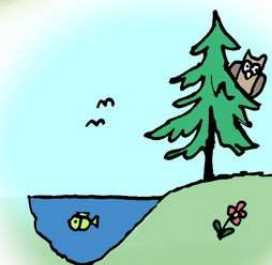
- ✓ Ochrana zdraví
- ✓ Ochrana prostředí
- ✓ Nutrienty (N,P)
- ✓ Obnovitelná energie
- ✓ Opětné použití vody



Ochrana zdraví



Ochrana životního prostředí



Recyklace
Nutrientů



Recyklace
Energie



Recyklace
Vody

Změny nakládání s čistírenským kalem – pokračování využívání jinou bezpečnější cestou

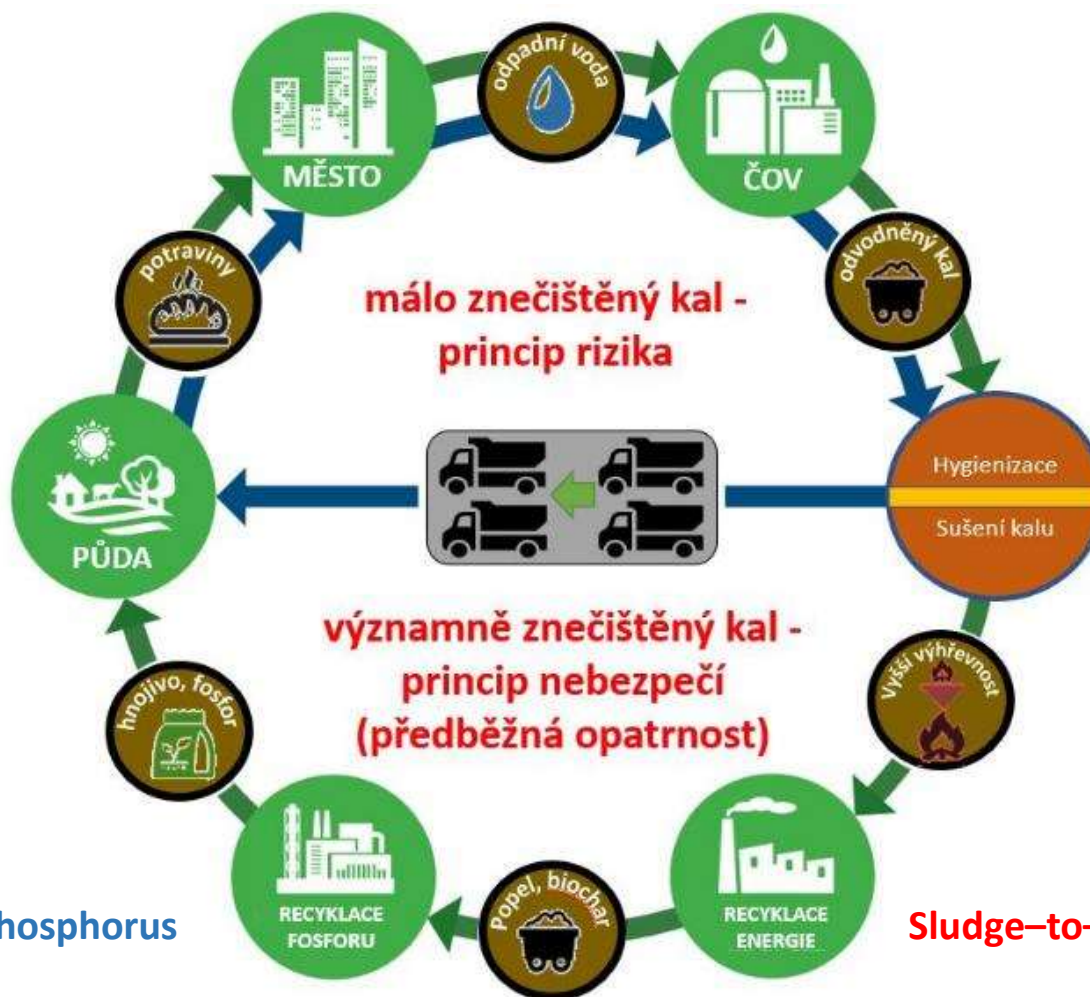


Hledají se nové životaschopné alternativy k aplikaci čistírenských kalů na zemědělskou půdu.

Lze očekávat změny nakládání s čistírenskými kaly s ohledem na zjištěné vysoké obsahy mikropolutantů (endokrinní disruptory, zbytky léků, těžké kovy, mikroplasty, drogy, biocidy, hormony, antibiotickou rezistenci, látky narušující činnost žláz s vnitřní sekrecí atd.).

V řadě zemí EU je nebo bude nastaven směr k energetickému nebo materiálovému (zdroj fosforu a strukturovaného uhlíku) využití čistírenských kalů v rámci oběhového hospodářství,

Současně použité procesy musí zajistit odstranění organických polutantů.



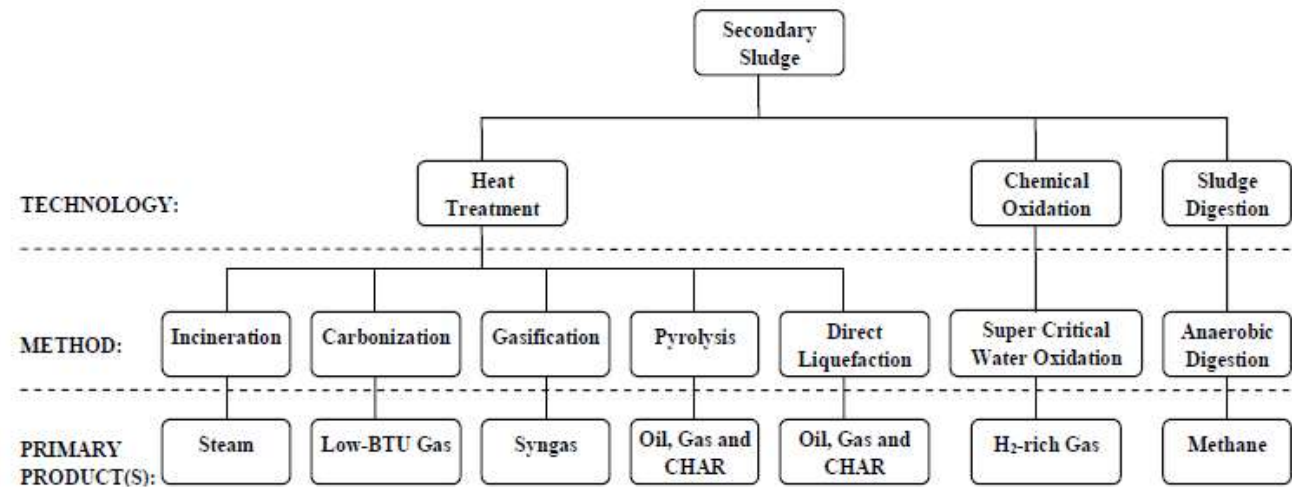
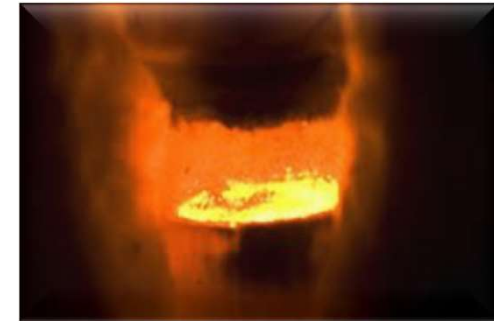
Sludge-to-Phosphorus

Sludge-to-Energy



Důvody pro intenzivní využívání tepla pro zpracování čistírenských kalů

- ✓ Snižování hmotnosti = odstranění vody
- ✓ Hygienizace kalu
- ✓ Zvýšení produkce kalového plynu (bioplynu)
- ✓ Likvidace organických polutantů
- ✓ Získávání energie
- ✓ Získávání fosforu



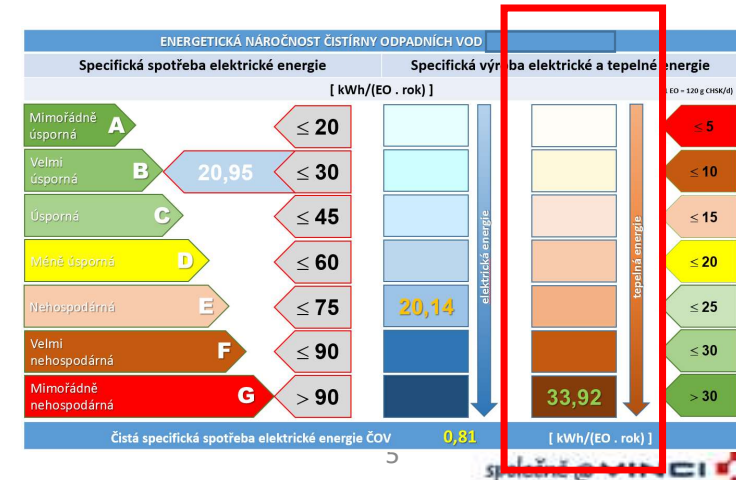
Tepelná bilance kalového hospodářství– základ řešení termických procesů



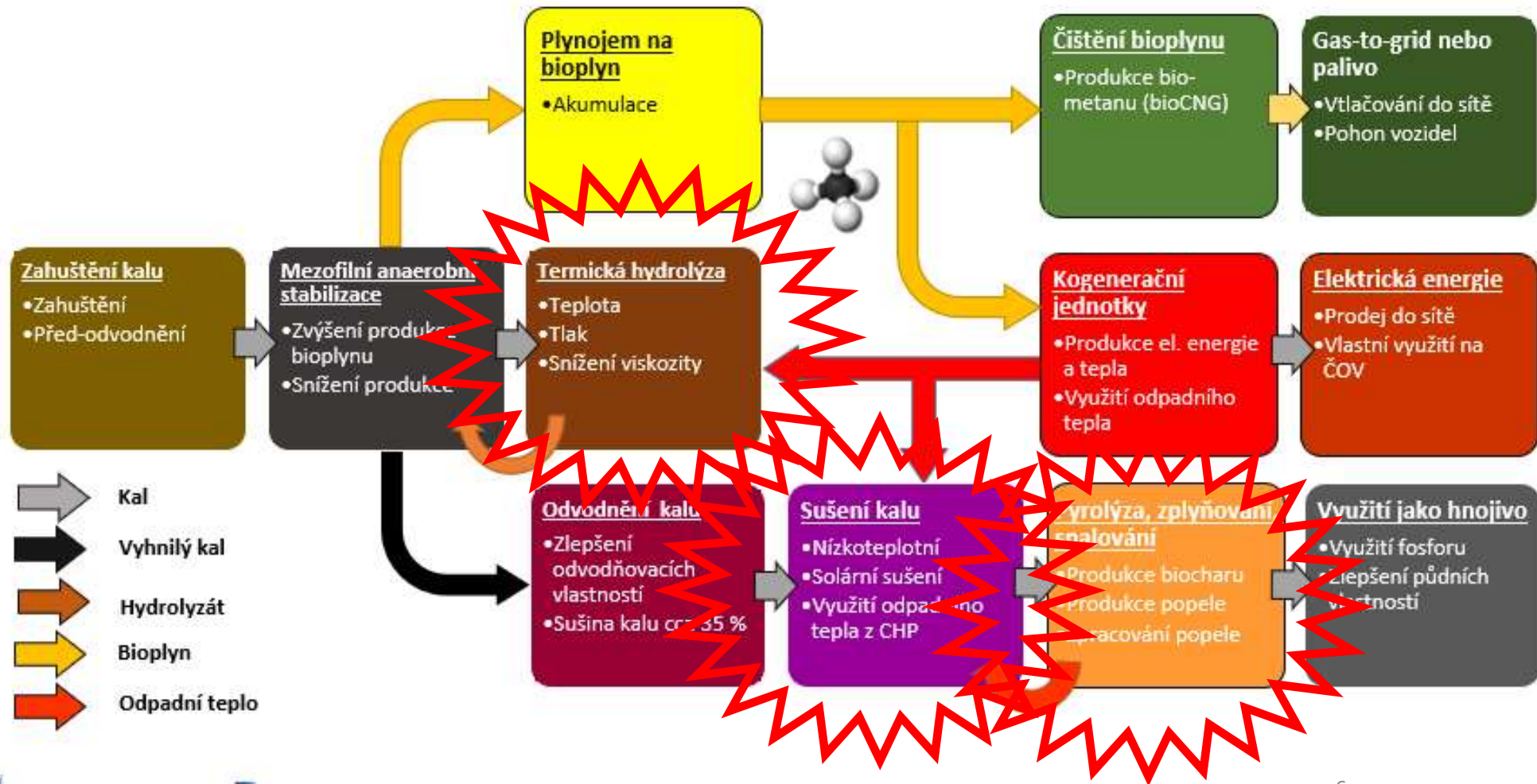
- Doposud na ČOV nesestavujeme tepelné bilance hospodaření s teplem
- Jediným cílem provozovatele je zajistit vytápění vyhnívacích nádrží a budov, obvykle zde chybí ekonomický pohled, chybějící teplo se doplní nákupem zemního plynu
- Nedávno zavedené Energetické hodnocení ČOV se rovněž zabývá tepelnou náročností ČOV
- Minulý týden přednáška prof Krampeho, kritérium výše externí dodávky tepla v kWh/EO.rok, cílová hodnota = 0, řídicí hodnota 3 kWh/EO.rok.
- Certifikovaná metodika Smart Regions Energetické hodnocení ČOV pracuje s BAT (řídicí hodnota). pracuje s celkovou specifickou spotřebou tepelné energie 27 kWh/EO.rok a externí spotřebou tepelné energie 5 kWh/EO.rok
- Jiný objektivní ukazatel – specifická spotřeba tepla v GJ na t sušiny odvodněného kalu, obvyklé hodnoty jsou v oblasti 1,5 až 2,5 GJ/t, vyšší hodnoty znamenají nadspotřebu z různých důvodů
- **Typický stav českých ČOV – významně vyšší spotřeby tepla než by mělo být v souladu s dobrou praxí**

Tabulka 1: Vyhodnocované specifické ukazatele v rámci EH a navržené hodnoty BAT

Parametr	Rozměr	Hodnota BAT
celková specifická spotřeba elektrické energie na 1 EO za rok	kWh/(EO · rok)	20
specifická spotřeba elektrické energie na aeraci na 1 EO za rok	kWh/(EO · rok)	12
specifická produkce kalového plynu na 1 EO (normální podmínky)	m ³ /(EO · rok)	9,1
	m ³ /(EO · d)	0,025
specifická produkce kalového plynu na 1 kg organických látek přivedených do vyhnívací nádrže	m ³ /kg org. suš.	0,480
specifická produkce kalového plynu na 1 kg odstraněných organických látek ve vyhnívací nádrži	m ³ /kg Δ org. suš.	0,900
stupeň využití kalového plynu v kogenerační jednotce z celkové vyprodukovaného bioplynu	%	98
stupeň konverze kalového plynu na elektrickou energii v kogenerační jednotce (elektrická účinnost)	%	40
stupeň nezávislosti na dodávce elektrické energie (podíl vyrobené elektrické energie v kogenerační jednotce na celkové spotřebě ČOV)	%	65
specifická výroba elektrické energie na 1 EO za rok	kWh/(EO · rok)	17
specifická výroba tepelné energie na 1 EO za rok	kWh/(EO · rok)	27
specifická spotřeba externí tepelné energie	kWh/(EO · rok)	5
specifická spotřeba elektrické energie čerpatel stanice	Wh/(m ³ · m)	5



Termické procesy v technologiích kalového hospodářství (Sludge-to-Energy nebo Sludge-to-Phosphorus)

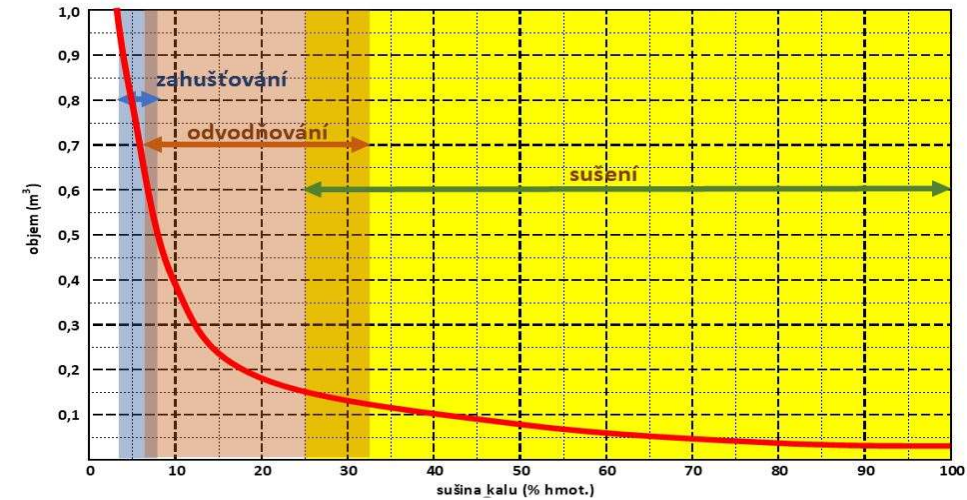


Proč sušení kalu?

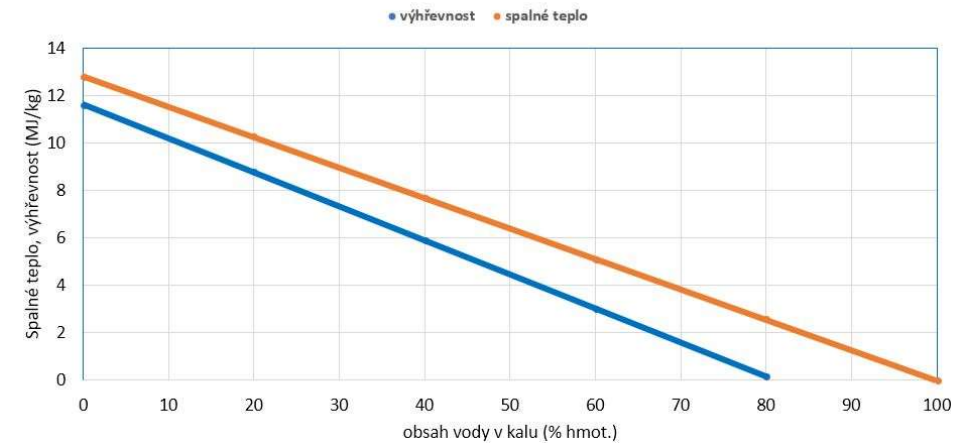


Usušením kalu se odstraní významná část vody, což způsobí:

- Významně se sníží náklady na odvoz kalu,
- Sušený kal se stává velmi dobře skladovatelný (i dlouhodobě),
- V závislosti na způsobu sušení dochází k hygienizaci kalu,
- Vzroste kalorický obsah kalu, sušený kal je již spalitelný či termochemicky zpracovatelný,
- Sušením je vytvořen nový „produkt“ – sušený kal, který obecně poskytuje rozsáhlé možnosti finálního využití kalů.



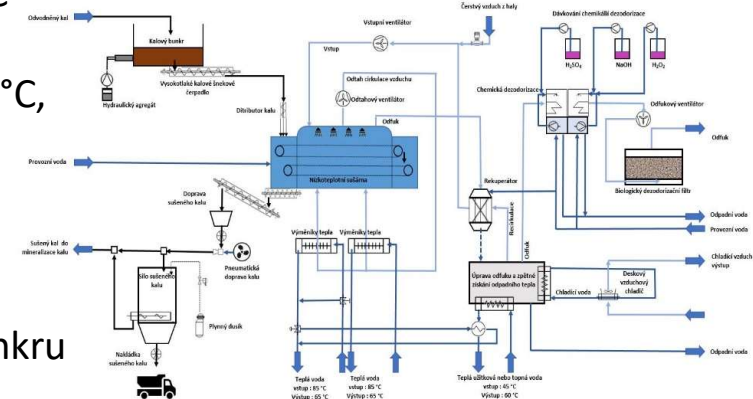
Závislost kalorického obsahu na obsahu vody ve vyhnílem kalu



Nízkoteplotní sušení – procesní požadavky



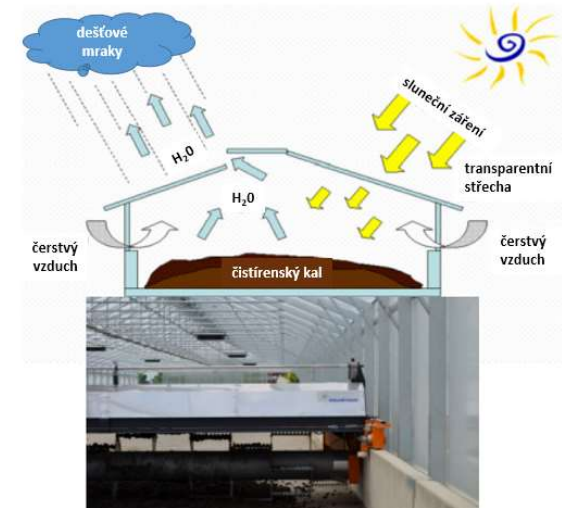
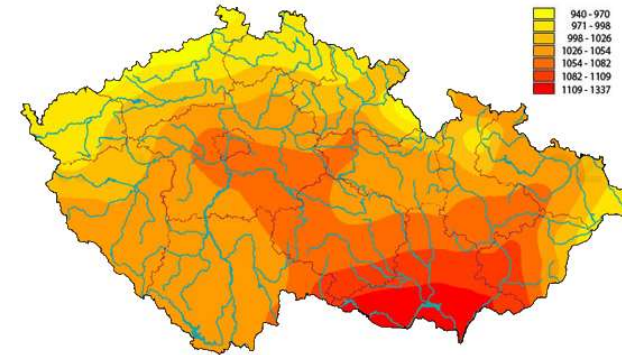
- Suší se odvodněný kal v oblastí sušiny 20 % hmot. a výše
- Sušení kalu pod 18 % je značně neekonomické a sušárny nejsou na málo odvodněné kaly konstruovány (nelze provést distribuci kalu na pás), pomoc – backmixing
- Limitujícím faktorem je existence Sticky phase na konci horního sušícího pasu
- Odpařovací výkon z plochy sušícího pásu (kg H₂O/m².h) je technicky limitován, hodnota závisí na teplotě sušení (pozor klíčová hodnota pro návrh nebo kontrolu dimenzování sušárny, know – how dodavatelů sušáren) a specifickém povrchu kalu po extrudaci na pás (nudle o 30 % vyšší odpařovací výkon než granule, kousky)
- Není ekonomicky ani technicky výhodné sušit nad 92 % sušiny
- Sušárny jsou řešeny pro sušení na mírného podtlaku
- Nízkoteplotní sušení – topná voda obvykle 95 (90)°C, pozor při teplotě cca 140 °C samovznícení kalu (!)
- Výstupní teplota sušeného kalu je u sušáren bez integrované kondenzace cca 45 °C, u sušáren s integrovanou kondenzací cca 60 °C,
- Sušený kal je skladován v kontejnerech, výška plnění podle teploty max. 1,5 m, pokud je skladován v silu (pro větší kapacity nebo při navazujícím spalování) je nezbytná inertizace sila dusíkem, obsah kyslíku se snižuje pod 8 %
- Kalový bunkr – kapacita pro překrytí víkendy je typické dimenzování velikosti bunkru
- Součástí návrhu je bilance dusíku pro dimenzování chemické dezodorizace
- Biofiltr pracuje v oblasti 100 až 300 m³/m².h



Solární sušení – procesní požadavky

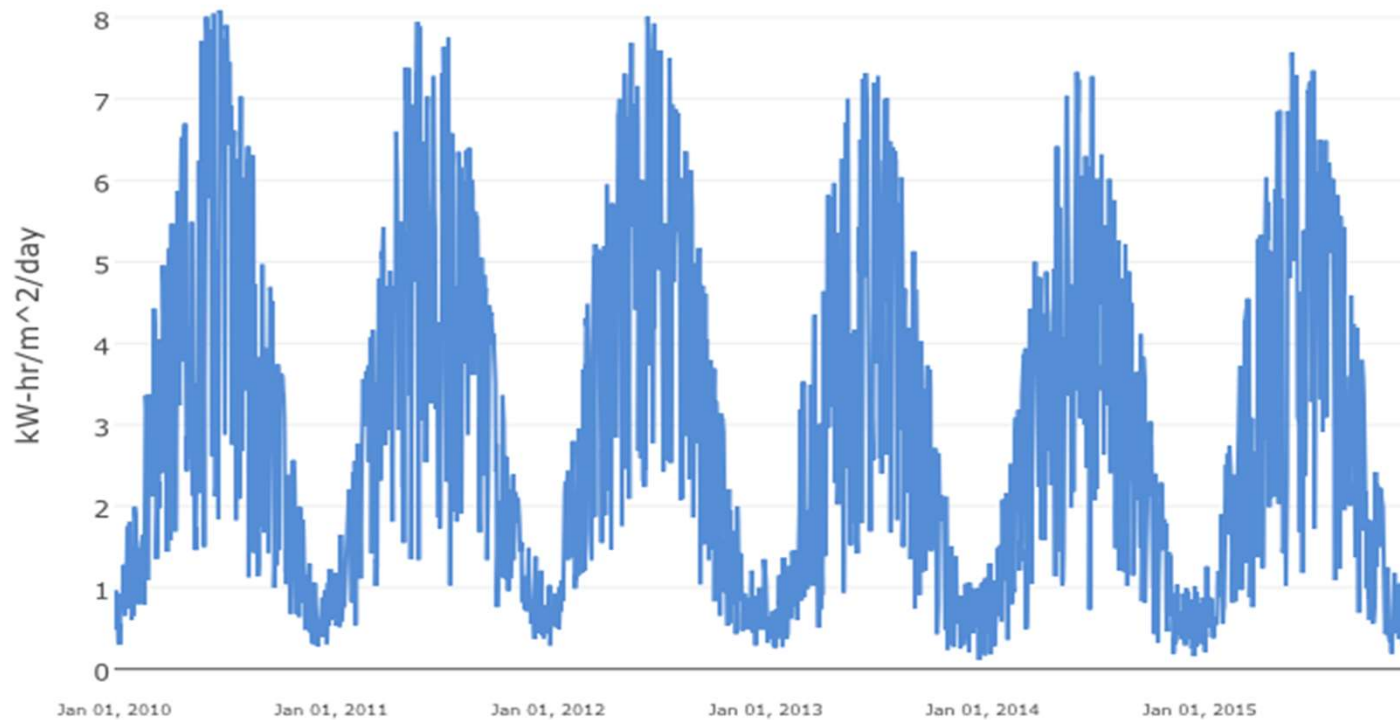


- Průměrný roční úhrn globálního záření od 945 do 1 140 kWh/m², vždy musí být přesně určen pro místo umístění solární sušárny, průměrná doba slunečního svitu u nás je 1 600 až 2 200 h/rok
- Solární sušárna se vždy dimenzuje na celoroční produkci kalů (výkon v t/rok)
- Odvodněný kal na vstupu by měl mít sušinu nad 18 %, důvodem je jeho distribuce kypřícím zařízením
- Výpar (evaporace, evapotranspirace) je funkcí čtyř základních meteorologických faktorů: 1. tepelné bilance vypařujícího povrchu 2. teploty vzduchu 3. vlhkosti vzduchu 4. koeficientu intenzity výměny (vnější difuze), podstatou sušení je rozdíl vlhkostí vstupujícího vzduchu a vzduchu uvnitř sušárny
- Plocha solární sušárny závisí na vstupní a požadované výstupní sušině kalu, obvyklé hodnoty výstupní sušiny jsou v oblasti 70 až 85% sušiny.
- Spotřeba elektrické energie je u solárních sušáren 20 až 30 kWh na 1 tunu odpařené vody, záleží na typu ventilace (přirozená, s ventilátory)
- Plocha vypočtená z tepelné bilance se ještě doplňuje o plochu na uskladnění sušeného kalu podle způsobu jeho odvozu
- Při započtení potřebné plochy pro návoz kalu a jeho běžné uskladnění vyžaduje instalace solární sušárny ve střední Evropě cca 1,0 až 1,5 m² na tunu roční kalové produkce (1,0 až 1,5 m²/(t/rok)).



Solární sušení – procesní požadavky

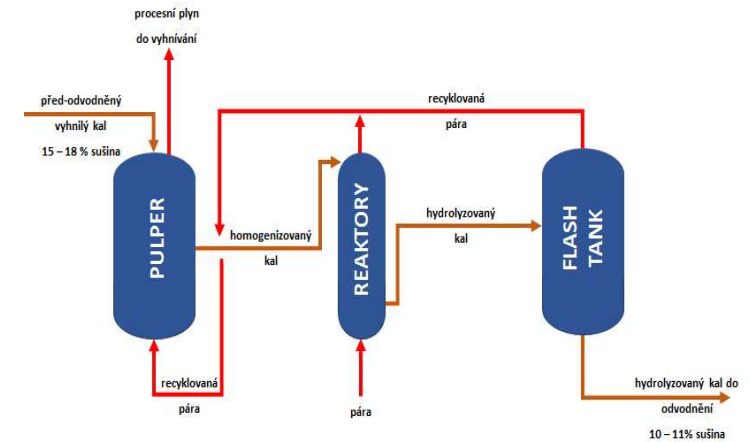
Příklad podkladu o slunečním záření ke konkrétní lokalitě (power.larc.nasa.gov)



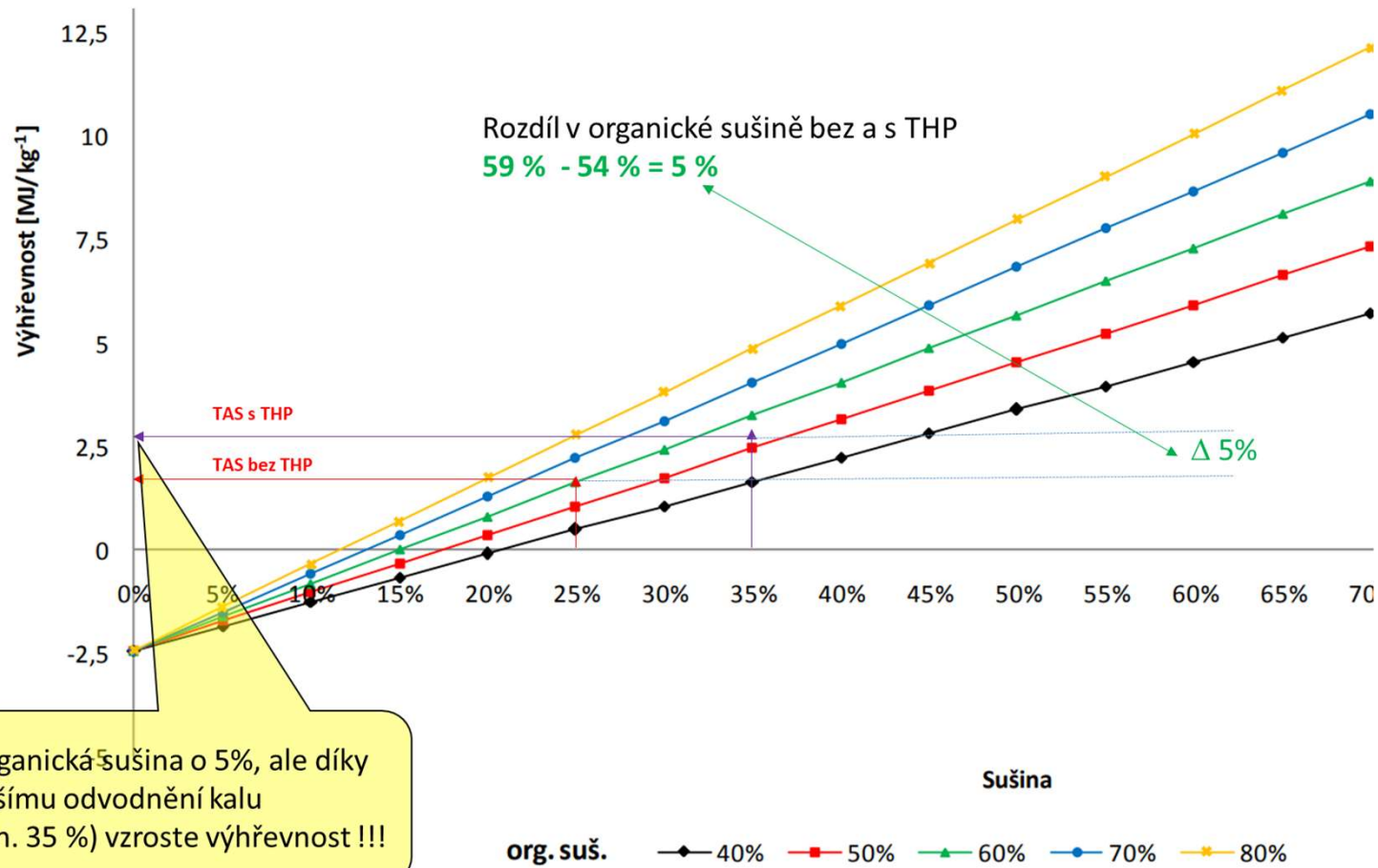
Termická hydrolýza – procesní požadavky



- Vstupní koncentrace do termické hydrolýzy by měla být 16 až 18 % sušiny, výjimečně až 22 %
- Organický podíl sušiny vstupujícího kalu by měl být nad 60 %
- Produkce kalu by měla být nad 100 00 EO (ekonomické důvody)
- Termická hydrolýza je obvykle realizována jako dvoustupňový proces:
 - 1. Kal se zahřívá parou za vysokého tlaku 6-8 bar na teploty kolem 160-180 °C po cca 20-30 minut
 - 2. Vyvinutý vysoký tlak je pak prudce snížen.
- Spotřeba páry je v oblasti 0,90 až 1,2 t páry / t sušiny kalu, spotřeba el. energie cca 20 až 30 kWh/t sušiny
- Snížení organického podílu anaerobní stabilizací se zvyšuje o cca 5 až 8 % bodů
- Zvýšení odvodnění kalu po THP v oblasti 8 až 14 procentních bodů (jeví se aktuálně jako hlavní cíl nasazení THP)
- Zvýšení produkce bioplynu až o 10 až 25 %
- Dochází ke zvýšení výhřevnosti odvodněného kalu (paradox!)

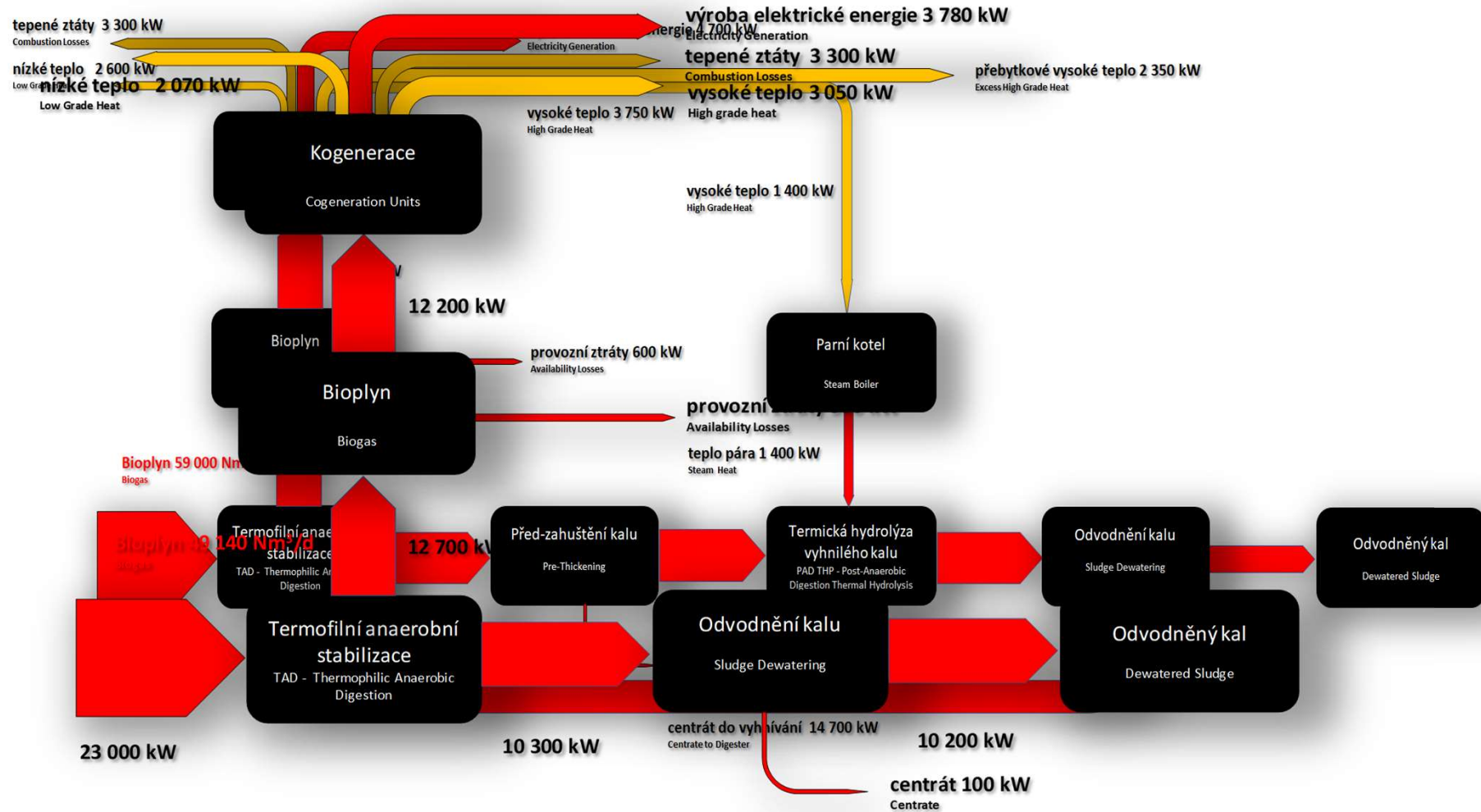


Termická hydrolýza – vliv na výhřevnost kalu



Poklesne organická sušina o 5%, ale díky vyššímu odvodnění kalu (z 25% na min. 35%) vzroste výhřevnost !!!

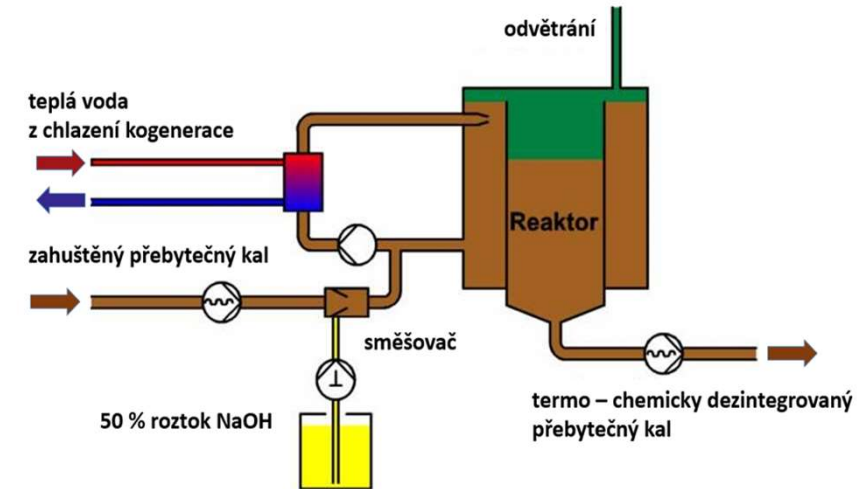
Energetická bilance – příklad TAD a TAD + PAD THP



Termochemická hydrolýza kalu PONDUS®



- Termochemická hydrolýza (Thermo-Chemical Hydrolysis Process, dále TCHP) vychází ze skutečnosti, že po přidání alkálie nebo kyseliny do kalu zvyšuje rychlost hydrolýzy, která je úměrná koncentraci iontů H^+ a OH^- .
- Vyšší teploty při zpracování, které jsou používány současně s chemickou hydrolýzou, vytvářejí účinky podobné termické hydrolýze a urychlují chemické štěpení, což umožňuje kratší kontaktní časy.
- V důsledku toho se v provozních aplikacích nejvíce používá NaOH, kde dochází postupně k provoznímu využívání procesu PONDUS®.
- Proces termochemické hydrolýzy lze především použít na přebytečný kal, je však v USA používán i na vyhnílý kal.
- Procesní parametry:
 - Vstupní koncentrace sušiny kalu - 4-8 % sušiny
 - Teplota - konstantní reakční teplota 65-70 °C
 - Přídavek NaOH - 2 litry NaOH (50 % roztok) na 1 m³ ohřátého kalu,
 - Celková doba hydrolýzy je asi 2 hodiny
 - Hlavní výhodou je, že není potřeba chlazení kalu po jeho hydrolýze, hydrolyzovaný kal se přidává přímo do vyhnívacích nádrží, není potřeba pára (používá se chladící voda z kogenerace), hydrolýza probíhá za atmosférického tlaku,



Spalování kalu – legislativní podmínky určují procesní požadavky



Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší ze dne 2. května 2012 ve znění zákona č. 64/2014 Sb., zákona č. 87/2014 Sb., zákona č. 382/2015 Sb., zákona č. 369/2016 Sb., zákona č. 369/2016 Sb.

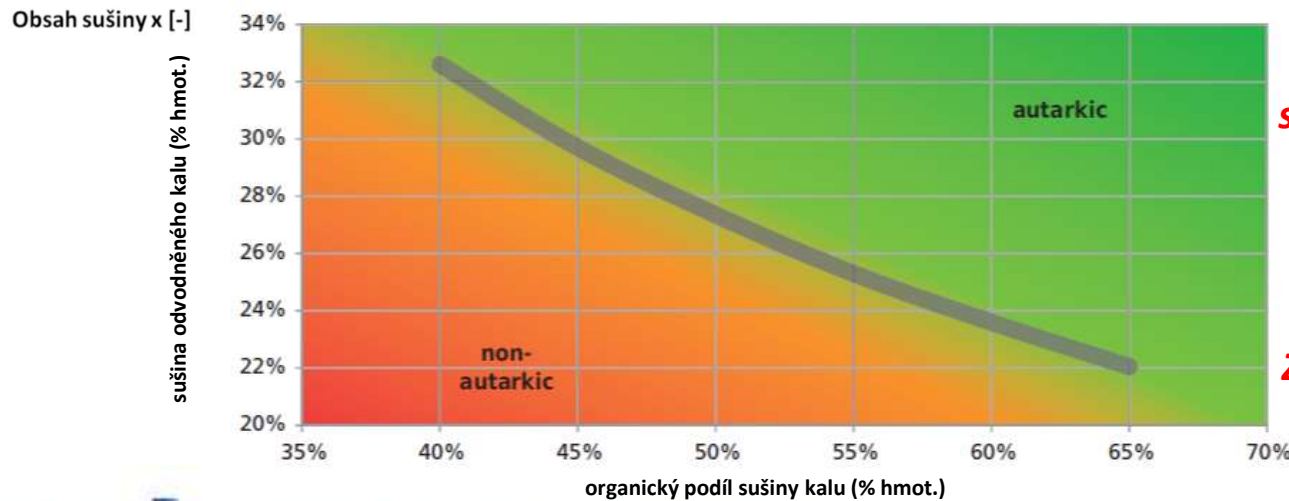
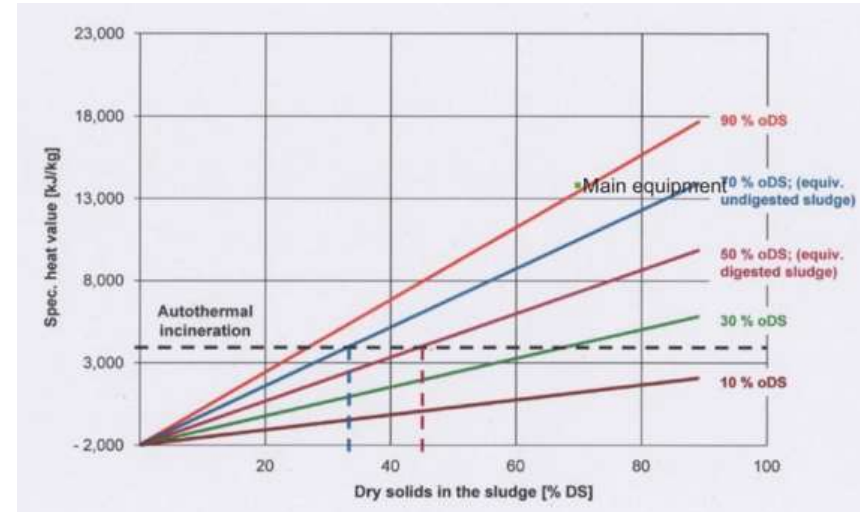
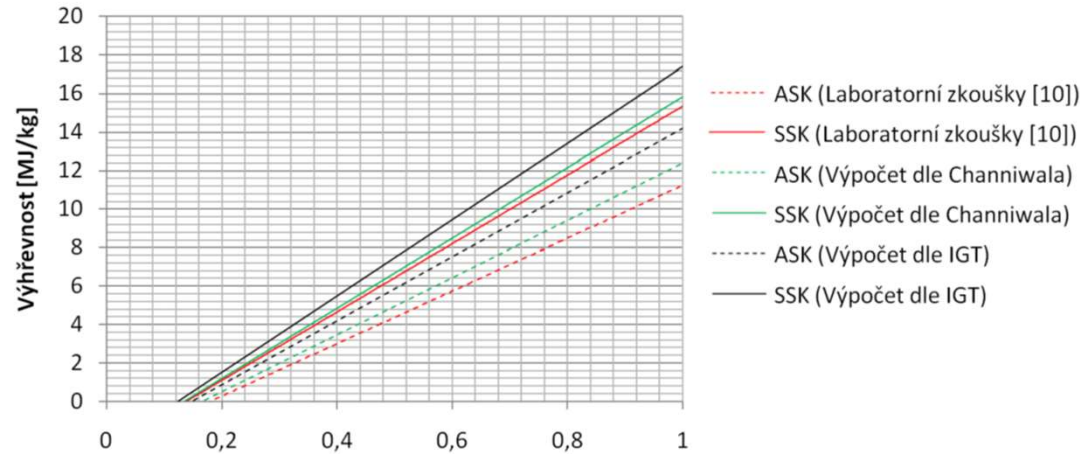
Vyhláška č 415 Sb. ze dne 21. listopadu 2012 o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší

Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/1/ES ze dne 15. ledna 2008 o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC),

Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci), ve znění pozdějších předpisů.

- **Teplota spalin přesahující 850 °C po dobu alespoň 2 sekundy za posledním přívodem spalovacího vzduchu**
- **A současně dosažení energetické účinnosti minimálně 65% pro výrobu tepla (pro výrobu elektřiny 75%)**
- **Se vzrůstajícím podílem popelovin významně roste v kotli ztráta mechanickým nedopalem a dochází k nárůstu podílu nespáleného uhlíku v tuhých zbytcích. Při ideálních podmínkách by z jednoho kilogramu odpadu vzniklo 0,5 kg popela. Ztrátu je potřeba pokrýt ve zdroji.**
- **Nestačí aby hořelo, ale aby i pokrylo ztráty a splnilo povolené podmínky**

Spalování kalu - procesní podmínky



Pro dosažení autarkního průběhu spalování při adiabatické spalovací teplotě 850° C je nutná minimální hodnota efektivní výhřevnosti vlhkého kalu $H_{uef} = 4,2 \text{ MJ/kg} !!$

Z grafu výše pak vyplývá, že sušina odvodněného kalu musí být cca 45 % sušiny a vyšší

Spalování kalu – legislativní podmínky určují procesní požadavky

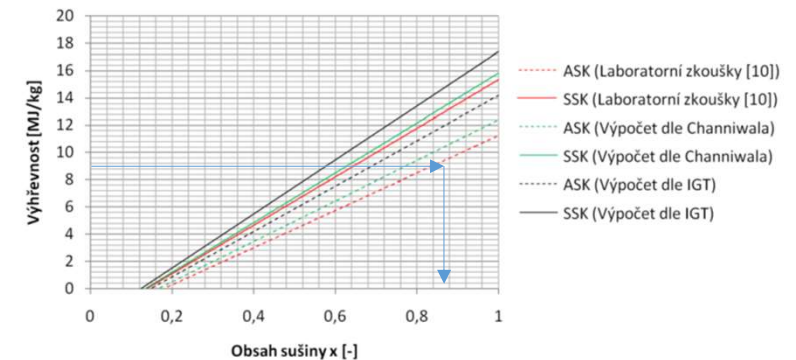


- K dosažení požadované teploty 850 °C a současně energetické účinnosti limitně dané hodnotou **0,65** (výroba pouze tepla) je třeba přivést kal o výhřevnosti výhřevnost původního vzorku Q_{ir} 8,5 MJ/kg (v sušině **10 MJ/kg**), viz. tab. 1, V4.
- **Uvedené hodnoty jsou limitní respektive minimální pro zajištění požadovaných parametrů.**
- Se vzrůstajícím podílem popelovin významně roste v kotli ztráta mechanickým nedopalem a dochází k nárůstu podílu nespáleného uhlíku v tuhých zbytcích. Při ideálních podmínkách by z jednoho kilogramu odpadu vzniklo 0,56 kg popela.

tab. 1 Stanovení „účinnosti“ dle přílohy č. 12 k zákonu č. 185/2001 Sb.

		V1	V2	V3	V4
W^r	[%]	15	15	15	15
A^d	[%]	65,46	65,46	53,30	47,8
Q_i^r	[MJ/kg]	5,53	5,53	7,60	8,54
Q_i^d	[MJ/kg]	6,50	6,50	8,94	10,05
t_{np}	[°C]	643	850	852	915
X_{zp}	[Nm ³ /kg]	0	0,2195	0	0
Q_i směs	[MJ/kg]	-	12,88	-	-
η_k	[%]	56,1	67,1	63,3	68,01
η^1	[-]	-	0,169	0,600	0,650
η^2	[-]	-	0,262	0,682	0,739

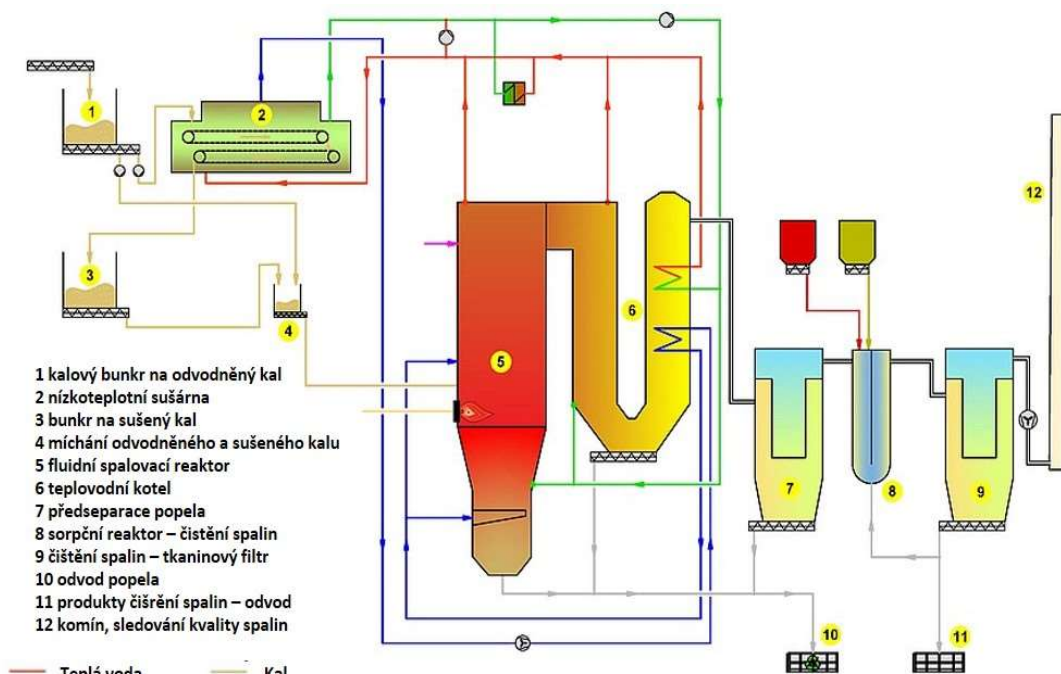
1 - výroba pouze tepla, 2 - výroba tepla a elektřiny



➤ **Potřebuji minimálně sušinu 85%**

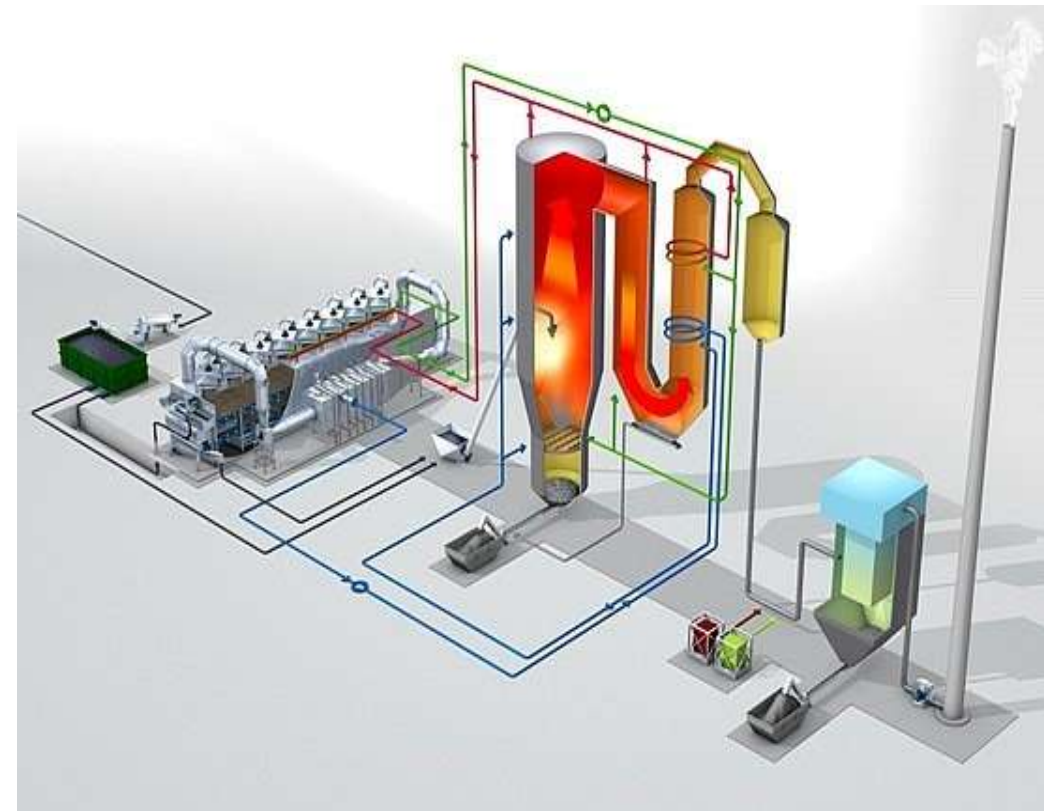
➤ **Potřebuji výhřevnost minimálně 10 MJ/kg suš.**

Blokové technologické schéma sušení kalu a jeho spalování



- 1 kalový bunkr na odvodněný kal
- 2 nízkoteplotní sušárna
- 3 bunkr na sušený kal
- 4 míchání odvodněného a sušeného kalu
- 5 fluidní spalovací reaktor
- 6 teplovodní kotel
- 7 předseparace popela
- 8 sorpční reaktor – čištění spalin
- 9 čištění spalin – tkaninový filtr
- 10 odvod popela
- 11 produkty čištění spalin – odvod
- 12 komín, sledování kvality spalin

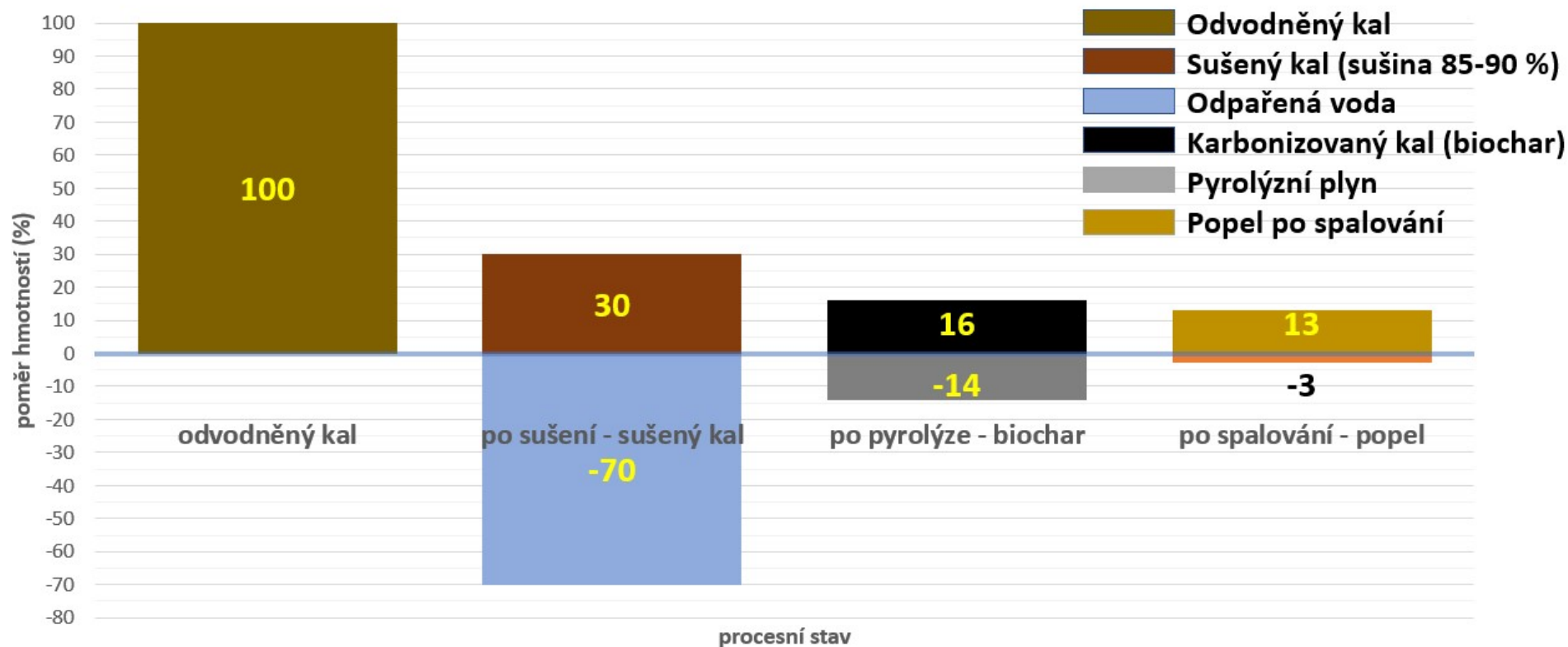
- Teplá voda
- Provozní voda
- Spalovací vzduch
- Spaliny
- Zemní plyn
- Kal
- Popel
- Aktivní uhlí
- Hydrogenuhlíčitá sodný
- Čpavková voda



Snižování hmotnosti produkovaného kalu při termickém zpracování = redukce dopravních nákladů



Snížení hmotnosti při termickém zpracování kalů





- ✓ Nacházíme se na počátku období, kdy termické technologie významně vstupují do sestav kalového hospodářství ČOV
- ✓ Snahy odstranit zdravotní a ekologická rizika v rámci filosofie oběhové ekonomiky vedou ke hledání nových životaschopných alternativ využití čistírenských kalů, od přímých aplikací na zemědělskou půdu k získávání nutrientů a využití energetického potenciálu čistírenských kalů v kombinaci s likvidací polutantů v kalech.
- ✓ Termické metody zpracování toto riziko odstraňují.
- ✓ Základem řešení je optimalizace provozních parametrů stávajícího kalového hospodářství a kombinace jeho provozu s technologiemi termického zpracování kalů
- ✓ Termické technologie vyžadují při jejich dimenzování celou řadu informací, které nejsou běžně k dispozici, je proto nezbytné provést analýzy kalů a modelové pokusy
- ✓ Projektové organizace velmi často musí spoléhat na technologické firmy a s nimi společně připravit návrhy technologií, které jsou do značné míry individuální a technologicky orientované na určité provedení procesu (proto je nezbytné aplikovat princip přípravy Design – Build)
- ✓ Je potřeba rozšířit výuku na VŠ o nové technologie v kalovém hospodářství



SMP
SMP CZ

Děkuji za pozornost !

© SMP CZ, a.s.

Tato prezentace je duševním vlastnictvím akciových společností SMP CZ, a.s. a ARKO Technology a.s. Fyzické nebo právnické osoby nejsou bez předchozího výslovného souhlasu obou společností (autorů) oprávněny tuto prezentaci ani její části jakkoli využívat, kopírovat nebo zpřístupnit dalším osobám.



21

společně @ VINCI 

