



Solární sušárna odvodněných čistírenských kalů na ČOV Mariánské Lázně

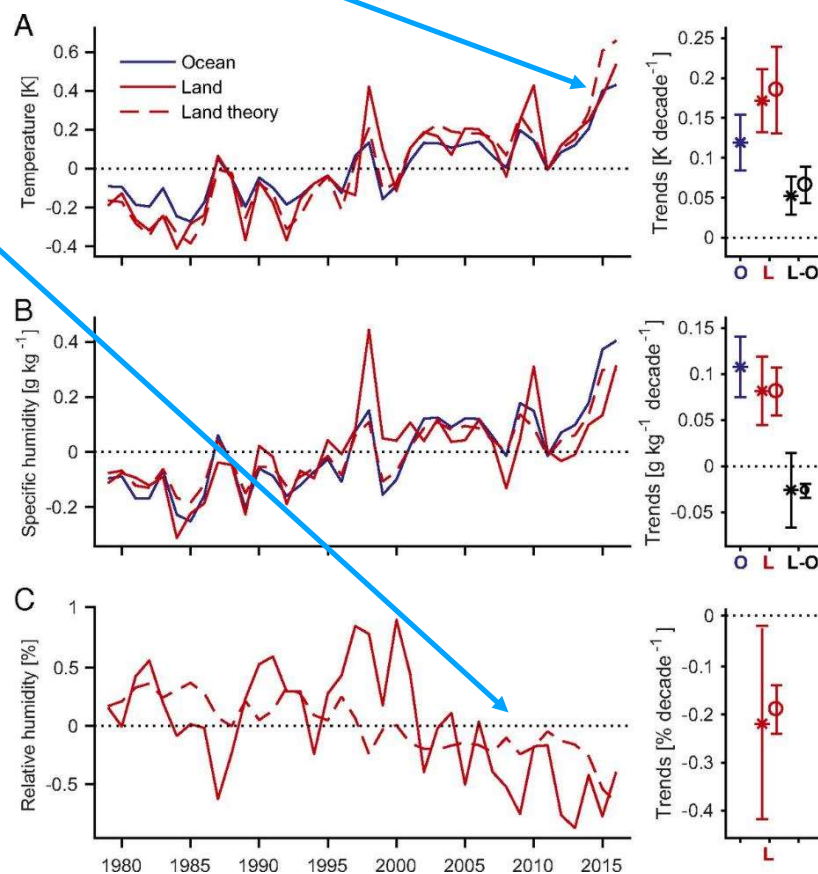
Tomáš Chvojka
Miroslav Kos

- Čistírenské kaly mají stále větší problém při přímé aplikaci na zemědělskou půdu z důvodu značných obsahů mikropolutantů, z nich klíčovou roli sehrají tzv. „věčné chemikálie“ (forever chemicals), z nich pak per- a polyfluorované alkylové látky (PFAS). Ale ne všechny kaly jsou takto zasaženy.
- Nastupující období vysokých cen energie vede k potřebě hledat nízkoenergetická řešení – lidstvo upírá v mnoha oborech pozornost na solární energii 
- Nové strategie EU v rámci programu Green Deal vyvolávají tlak na dosažení uhlíkové neutrality a cirkulární ekonomiky.
- Globální klimatická změna se mimo jiné projevuje snížením relativních vlhkostí vzduchu a vyšší teploty ovzduší 
- Projevů globálního oteplování může využít solární sušení kalů. Jde o nízkoenergetickou, zelenou technologii, která současně zabezpečuje požadavky na hygienizaci kalů, otevírá možnosti zpracování kalů směrem k energetickému využití nebo k získávání kritického materiálu fosforu.
- S výhodou lze v našich klimatických podmínkách kombinovat solární energii a energii kalu uvolněnou termochemickým procesem při transformaci kalu na zdroj



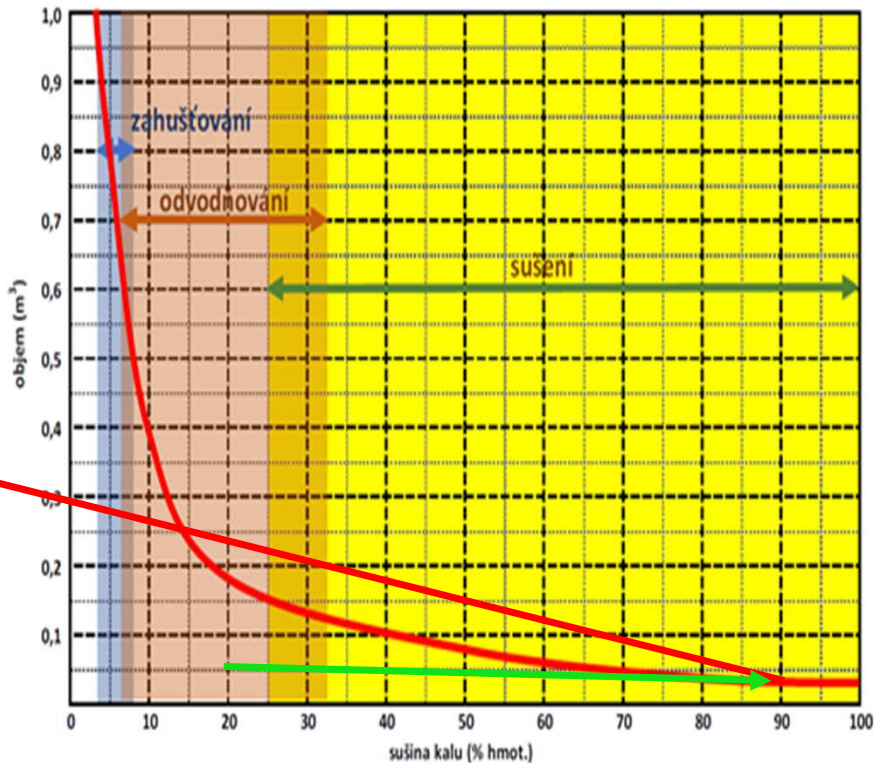
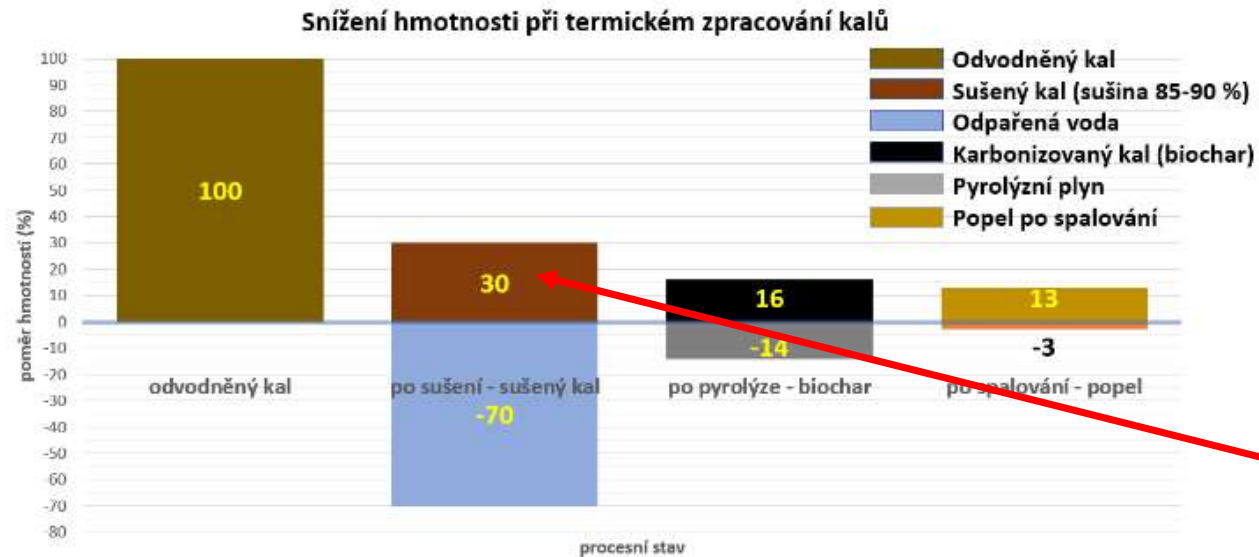
- Růst teploty vzduchu
- Pokles relativní vlhkosti vzduchu

- Velmi výhodné pro odpařování vody
- Velmi výhodné pro odpařování vody



Byrne, M.P., Gorman P.A. (2017) Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming, <https://www.pnas.org/content/pnas/115/19/4863.full.pdf>

Snížení hmotnosti při termickém zpracování = redukce dopravních nákladů a plateb na zpracování kalu



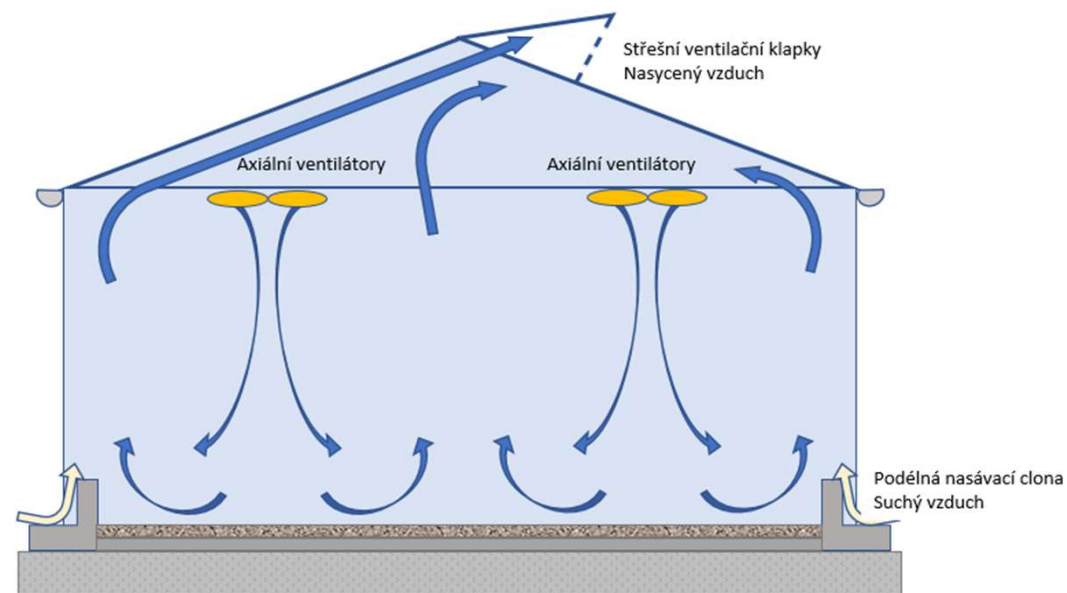
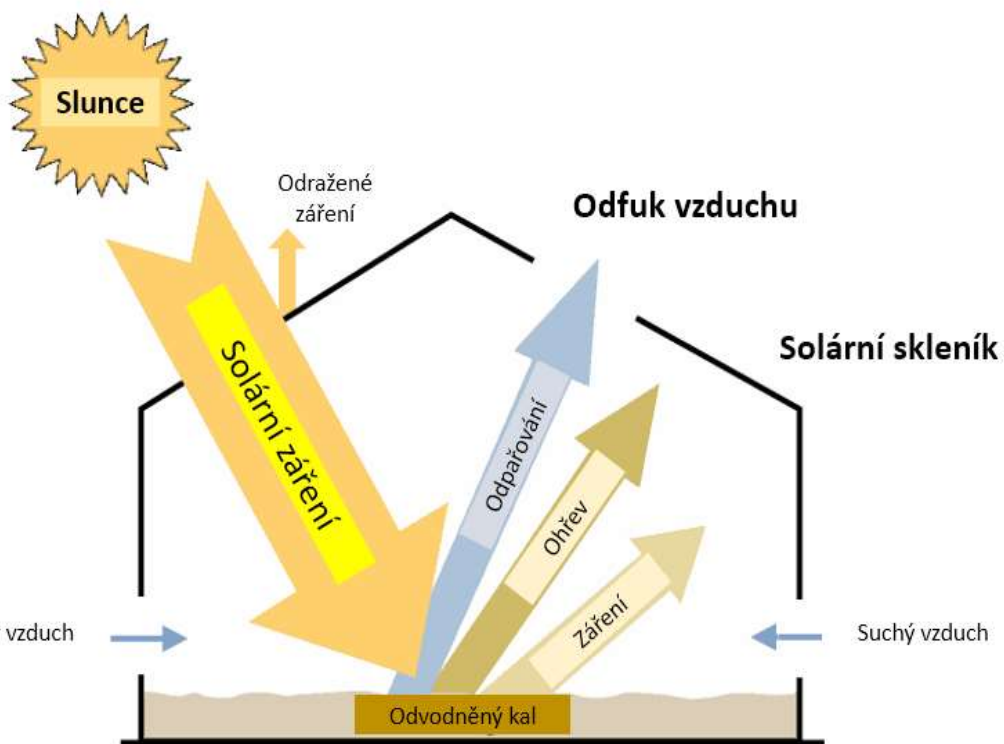
- Snížení hmotnosti
- Skladovatelnost
- Hygienizace kalu
- Zvýšení kalorického obsahu kalu

Co je to solární sušárna kalů

- ✓ Solární sušárna je ventilovaný skleník
- ✓ Solární sušárna pracuje s řízeným využitím slunečního záření, které ohřívá vzduch až na teplotu 50 °C. Většina sluneční energie však není využita pro ohřev vzduchu, ale jako entalpie odpařování.
- ✓ Vzduch ve skleníku je současně vyhříván slunečním zářením a ochlazován odpařováním vody, oba procesy jsou v rovnováze.
- ✓ Součástí vnitřního vybavení je také systém pro prohrabávání, převracení a posun kalu od jedné strany ke druhé. Provoz větracího systému a zařízení na prohrádku a posun kalu je řízen automatickým ovládacím systémem.
- ✓ Usušený kal se hromadí v koncové části solární sušárny
- ✓ Solární sušárna s dotací vytápění z externího zdroje tepla (tzv. hybridní solární sušárna) je velmi zajímavou variantou pro naše klimatické podmínky. Dochází tak ke stabilizaci provozu a redukci potřebné plochy solární sušárny.



Princip funkce solární sušárny a její řešení

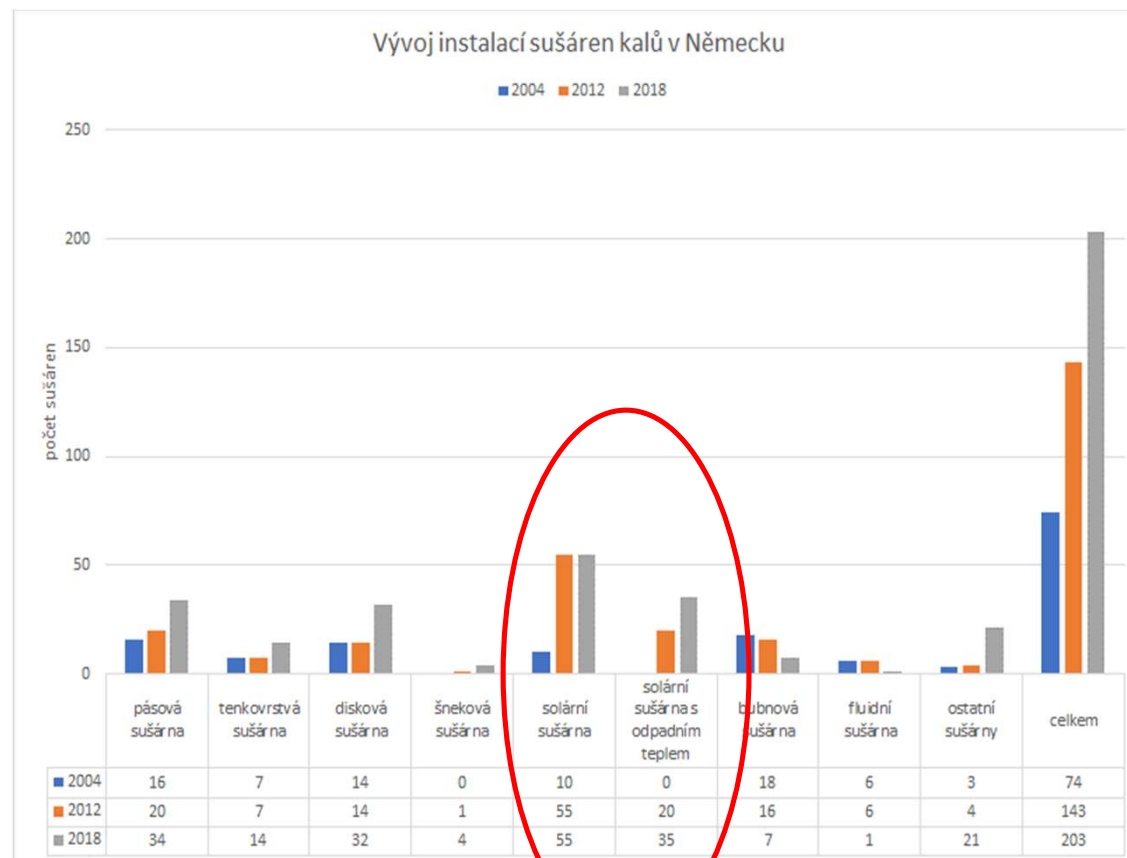
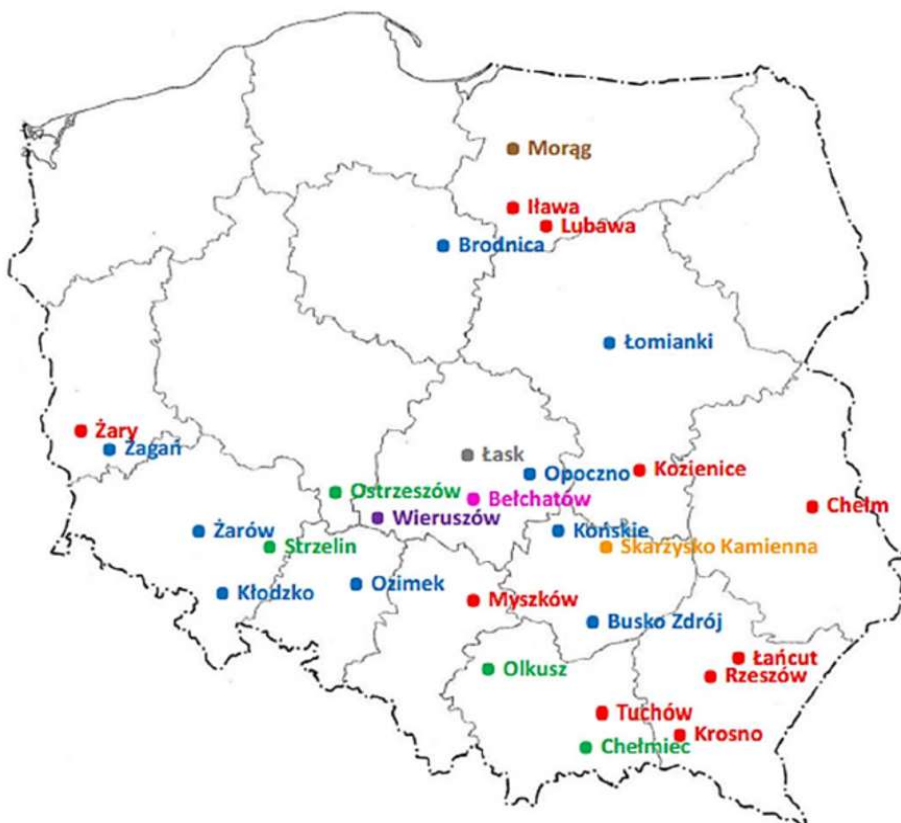


Nabízené výhody



- Řešení je zatím v ČR zcela nové, realizace jsou pouze v zahraničí. Sušárna Mariánské Lázně bude první provozní solární sušárnou v ČR.
- Nespornou výhodou solárního sušení je využití energie ze slunce a tím velmi nízké provozní náklady. Solární sušárny mají nízkou spotřebu elektrické energie než nízkoteplotní sušárny (0,020-0,030 proti 0,070–0,090 kWh/kg odpařené vody).
- Nevýhodou jsou velké nároky na zastavěnou plochu
- V úhrnu však jsou investiční náklady obdobné s nízkoteplotním sušením, avšak provozní náklady jsou u solární sušárny mnohonásobně nižší.
- Předpokládáme využití prefabrikace k realizaci základny haly a pojezdu prohrabovacího mechanismu. Solární sušárny s dotací vytápění z externího zdroje tepla je velmi zajímavou variantou pro naše klimatické podmínky.
- Na řadě lokalit je k dispozici odpadní teplo (přebytkový bioplyn, odpadní teplo z kogenerace), které může být použito k podpoře provozu solární sušárny a stabilizaci výkonu v málo slunných dnech.
- Jiným případem je kombinace solární sušárny s další technologií, která využije energetický obsah ve vysušeném kalu jako např. spalování kalu, nebo pyrolýza kalu. Lze také využít tepla získaného z tepelných čerpadel.

Solární sušení je běžné i severněji od Česka V Německu nejrychleji rostoucí segment kalového hospodářství



Porovnání různých typů sušáren kalů

Typ sušárny	Výhody	Nevýhody
Bubnová sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Robustní konstrukce Vhodná pro velké objemy Dobrá nastavitelnost kvality produktu 	<ul style="list-style-type: none"> Nutná inertizace provozního prostředí Nízký koeficient přenosu tepla Potřeba zpětného míchání (backmixing)
Pásová sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Bezproblémový přechod z lepkavé fáze na sušící fázi, Nízké opotřebení pásu, Dobrá nastavitelnost kvality produktu Nízká energetická náročnost pro nízkoteplotní sušení Možnost využití odpadního tepla 	<ul style="list-style-type: none"> Potřeba větší plochy než kontaktní sušárna Nutno dezintegrovat kal při vnášení do sušárny (nudle, hrudky) U středo-teplotního sušení riziko lokálního přehřátí, potřeba skrápění pro případ čištění, Potřeba dobrého odvodnění kalu na vstupu do sušárny Ve srovnání s kontaktními sušičkami vyšší objemy odpadního vzduchu
Tenkvrstvá sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Robustní konstrukce sušárny Nepříjemné řešení při kolísání sušiny kalu na vstupu pro úplné sušení (90 %) Žádné problémy s lepkavou fází sušení Problématické chování při spouštění a vypínání v důsledku malé hmotnosti kalu v sušičce Dobře se hodí pro částečné sušení 	<ul style="list-style-type: none"> Energeticky nevhodná pro úplné sušení (90 % suš.), obvykle vyžaduje druhou fázi sušení Konstrukčně velmi komplikovaná Náchylnost k opotřebení
Disková sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Dobry přenos tepla, Kompaktní provedení Velmi vhodná pro velké objemy kalů Vhodná pro částečné sušení 	<ul style="list-style-type: none"> Pro úplné sušení (90 % suš.): Požadavek opětovného míchání (backmixing) Problémy s vysokým obsahem vlákniny Tvorba prachu Náchylná k opotřebení Vhodná pro částečné sušení pouze do lepkavé fáze
Pádlová sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Kompaktní provedení Dobře se hodí pro částečné sušení 	<ul style="list-style-type: none"> Problémy s vysokým obsahem vlákniny Vysoká tvorba prachu Sušárna je náchylná k opotřebení, když je produkován vysoce sušený kal
Šneková sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Snadná montáž Kompaktní provedení 	<ul style="list-style-type: none"> Požadované teploty média pro přenos tepla > 200 °C Riziko lokálního přehřátí (zápach, produkty pyrolyzy v kondenzátu) Vysoké riziko opotřebení
Sušárna s fluidní vrstvou	<ul style="list-style-type: none"> Žádné pohyblivé části v sušárně Téměř žádné opotřebení sušícího prostoru, konstantní struktura produktu Žádné problémy s lepkavou fází sušení 	<ul style="list-style-type: none"> Velká tlaková ztráta Aplikace pouze od určité velikosti výkonu Energeticky náročný proces sušení – vysoká spotřeba elektrické energie
Solární sušárna	<ul style="list-style-type: none"> Velmi nízká specifická spotřeba elektrické energie, Jednoduchá technologie, provozně nenáročná Plně zvládá nerovnoměrnou produkci kalu Dimenzování na roční produkci Možnost využití odpadního tepla 	<ul style="list-style-type: none"> Velké prostorové nároky Odpařování vody v závislosti na počasí Dlouhé doby sušení s čistě solárním sušením Sezónnost produkce sušeného kalu Nerovnoměrná struktura a vlhkost výrobku

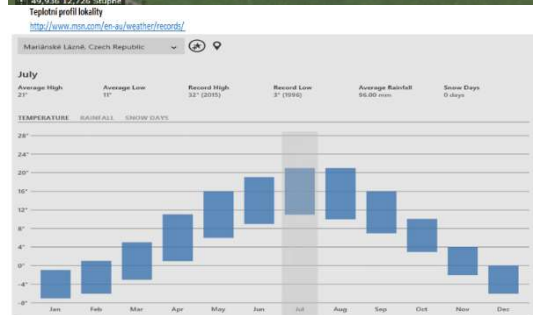
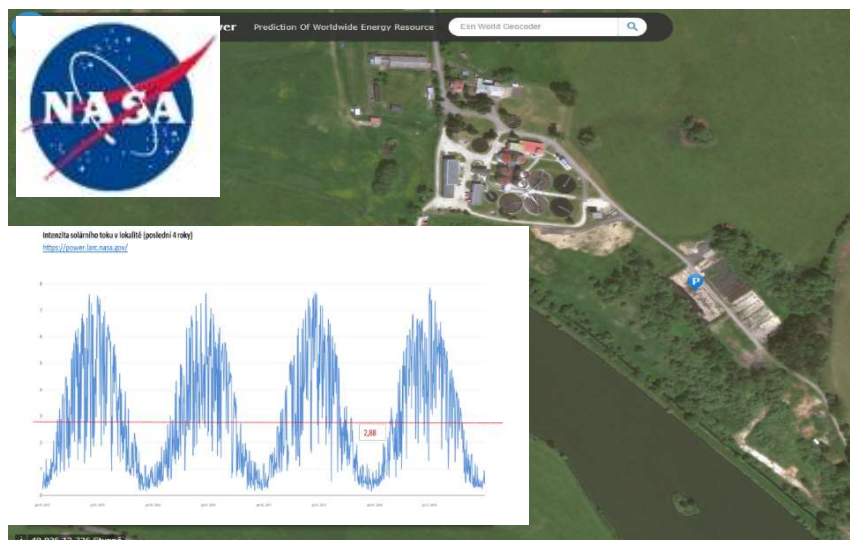
	Disková	Bubnová	Tenkvrstvá	Fluidní	Pásová	Solární
Vytápění	zemní plyn, bioplyn, pára < 11 bar, spaliny > 160 °C	zemní plyn, bioplyn, spaliny > 350 °C	zemní plyn, bioplyn, pára < 11 bar, spaliny > 160 °C	zemní plyn, bioplyn, pára > 5 bar, spaliny > 160 °C	zemní plyn, bioplyn, pára, spaliny teplá voda 90 °C	sluneční záření, teplá voda z externího zdroje
Nosič tepla	pára < 11 bar, topný olej	spaliny 350 – 600 °C	pára < 11 bar, topný olej	pára 6 - 40 bar, topný olej 130 - 250 °C	vzduch středoteplotní < 130 °C nízkoteplotní < 85 °C	vzduch ohřátý slunečním zářením, topná voda z ex. zdroje
Odpařovací výkon Sušící teplota	1000 – 6000 kg/h 110 °C	1000 – 11000 kg/h 90 °C	1000 – 4000 kg/h 110 °C	1000 – 11000 kg/h 85 – 115 °C	500 – 10000 kg/h 60 - 85 °C	< 40 °C
Spotřeba tepla	850 kWh/t H ₂ O	850 kWh/t H ₂ O	850 kWh/t H ₂ O	810 kWh/t H ₂ O	850 kWh/t H ₂ O	0 kWh/t H ₂ O
Spotřeba el.energie	60 kWh _e /t H ₂ O	60 kWh _e /t H ₂ O	60 kWh _e /t H ₂ O	70 kWh _e /t H ₂ O	80 kWh _e /t H ₂ O	30 kWh _e /t H ₂ O
Množství odpadního vzduchu	200 m ³ /h	3000 – 5000 m ³ /h	200 m ³ /h	150 m ³ /h	5000 – 80000 m ³ /h	vysoce
Výstupní sušina						
Částečné sušení < 85 % suš.	přímý výstup < 45 % suš.	ne	přímý výstup < 45 % suš.	ne	přímý výstup < 85 % suš.	70 - 85 % suš.
Úplné sušení > 85 % suš.	nezbytný backmixing	nezbytný backmixing	musí být další stupeň sušení	přímý výstup nebo backmixing	přímý výstup nebo backmixing	možné při dlouhých dobách sušení
Kvalita usušeného kalu	> 90 % suš. vysoký podíl prachu	granulát 2 – 4 mm, > 90 % suš.	pouze částečné sušení	granulát 1 – 4 mm, > 90 % suš.	nudle 75 – 85 % suš., granulát 90 % suš.	50 – 85 % suš. Granule 10 až 30 mm

Zadání solární sušárny kalů Mariánské Lázně

Parametr	Rozměr	Hodnota
Vstup do procesu solárního sušení		
Produkce odvodněného kalu	t/rok	2 000
Sušina odvodněného kalu	% hmot.	20,0
Sušina v odvodněném kalu	t/rok	400,0
Výstup ze solárního sušení		
Sušina sušeného kalu (průměr)	% hmot.	85
Produkce sušeného kalu	t/rok	470,6
Lokalizační data sušárny (cca)		
	Latitude	50.514N
	Longitude	13.496E



Dimenzování solární sušárny Mariánské Lázně SMP CZ má plně zvládnuté know-how navrhování solárních sušáren

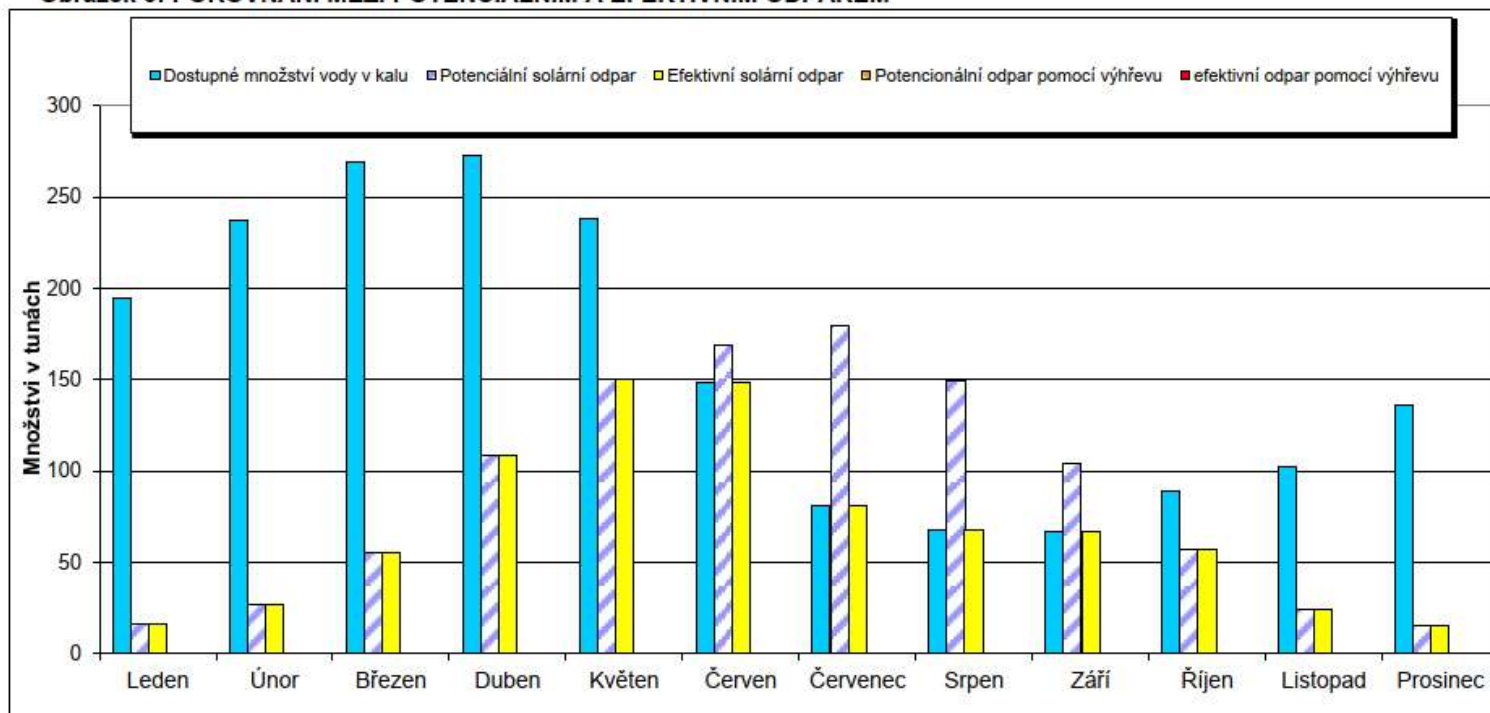


Vstupní údaje	rozměr	hodnota	Výstupní údaje	rozměr	hodnota
množství odvodněného kalu k sušení	t/rok	2 000,0	množství usušeného kalu	t/rok	470,6
	t/měsíc	166,7		t/měsíc	39,2
	t/d	5,5		t/d	1,3
sušina odvodněného kalu v %	%	20,0	sušina usušeného kalu	%	85,0
sušina v odvodněném kalu	t/rok	400,0	sušina v usušeném kalu	t/rok	400,0
množství vody v odvodněném kalu	t/rok	1 600,0	množství vody v usušeném kalu	t/rok	70,6
	t/měsíc	133,3		t/měsíc	5,9
	t/d	4,4		t/d	0,2
			množství odpařené vody - požadavek	t/rok	1 529,4
				t/měsíc	127,5
				kg/d	4 190,2
Průměrná hodnota slunečního záření na lokalitě	kWh/m².d	2,88	množství externího tepla	kWh/d	3 600,0
Průměrná hodnota odparu vody na 1 m² v lokalitě	kg/m².rok	735,8	využitelnost tepla	kWh/d	1 080,0
Potřebná plocha solární sušárny podle odparu	m²	2 078	množství odpařené vody externím teplem	kg/d	900,0
			redukována plocha solární sušárny	m²	1 632

Parametr	Rozměr	Hodnota
Potřebná celková efektivní plocha haly	m²	2 078,5
Efektivní šířka solární haly	m	10,0
Počet solárních hal	ks	2,0
Potřebná efektivní délka jedné haly	m	103,9
Zvolená délka haly	m	110,0
Zvolená šířka haly	n	10,7
Celková plocha solárních hal	m²	2 354,0
Snížená délka haly (uskladnění kalu)	m	5,0
Snížení haly (uskladnění kalu, max. plnění)	m	0,8
Plocha snížené plochy (uskladnění kalu) celkem	m²	107,0
Rezerva ve velikosti hal (skutečnost - výpočet)	m²	275,5
Max. objem pro uskladnění kalu při max. plnění	m³	85,6
Teoretická doba uskladnění usušeného kalu	měsíc	1,3

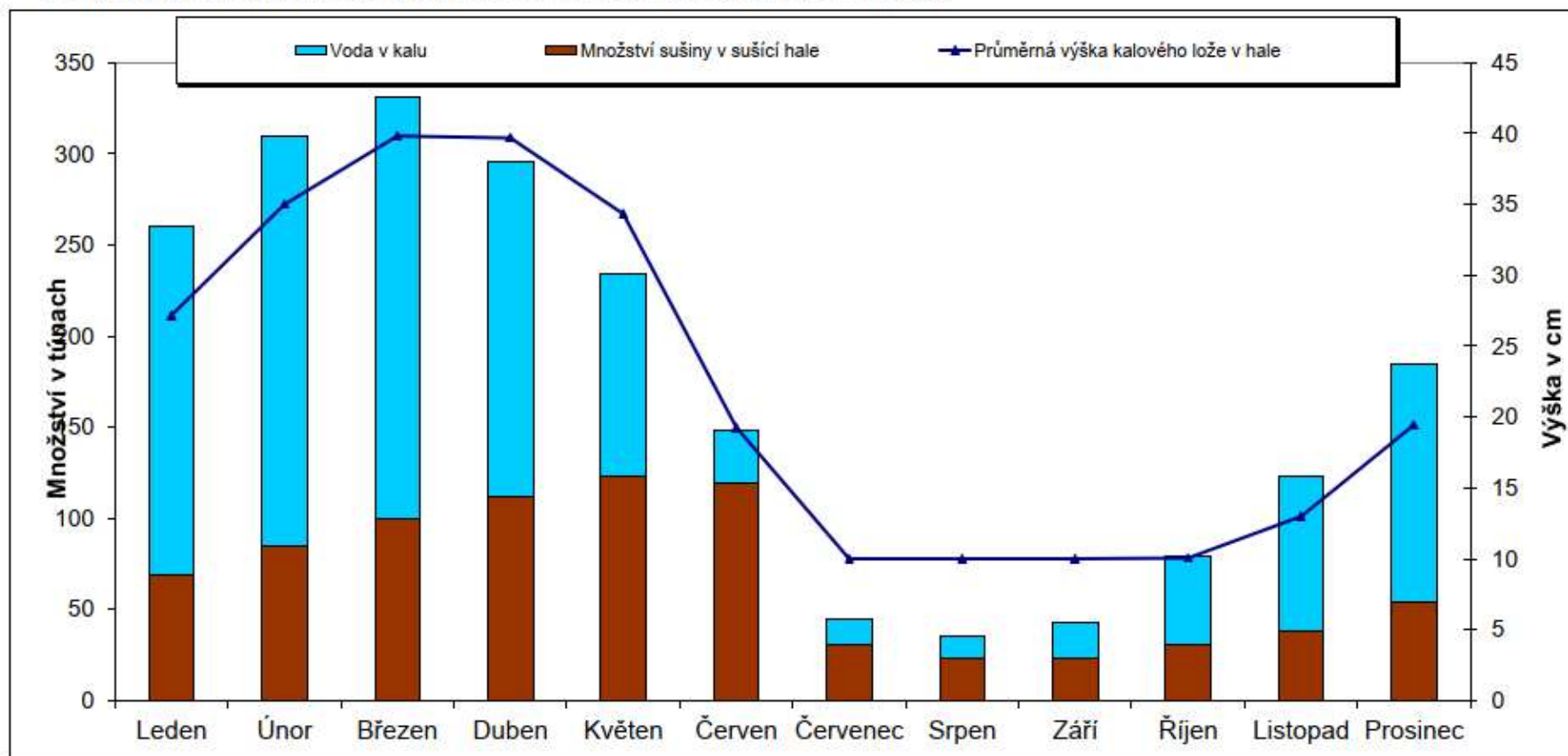
Parametr	Rozměr	Hodnota
Efektivní hodnota výparu vody	kg H ₂ O/m².rok	735,8
Množství odpařené vody	t/rok	1 529,4
Množství usušeného kalu	t/rok	470,6
Redukce hmotnosti kalu	%	76,5%
Průměrná sušina kalu po sušení	%	85,0
Specifická spotřeba elektrické energie	kWh/t H ₂ O	35,0

Obrázek 3: POROVNÁNÍ MEZI POTENCIÁLNÍM A EFEKTIVNÍM ODPAREM

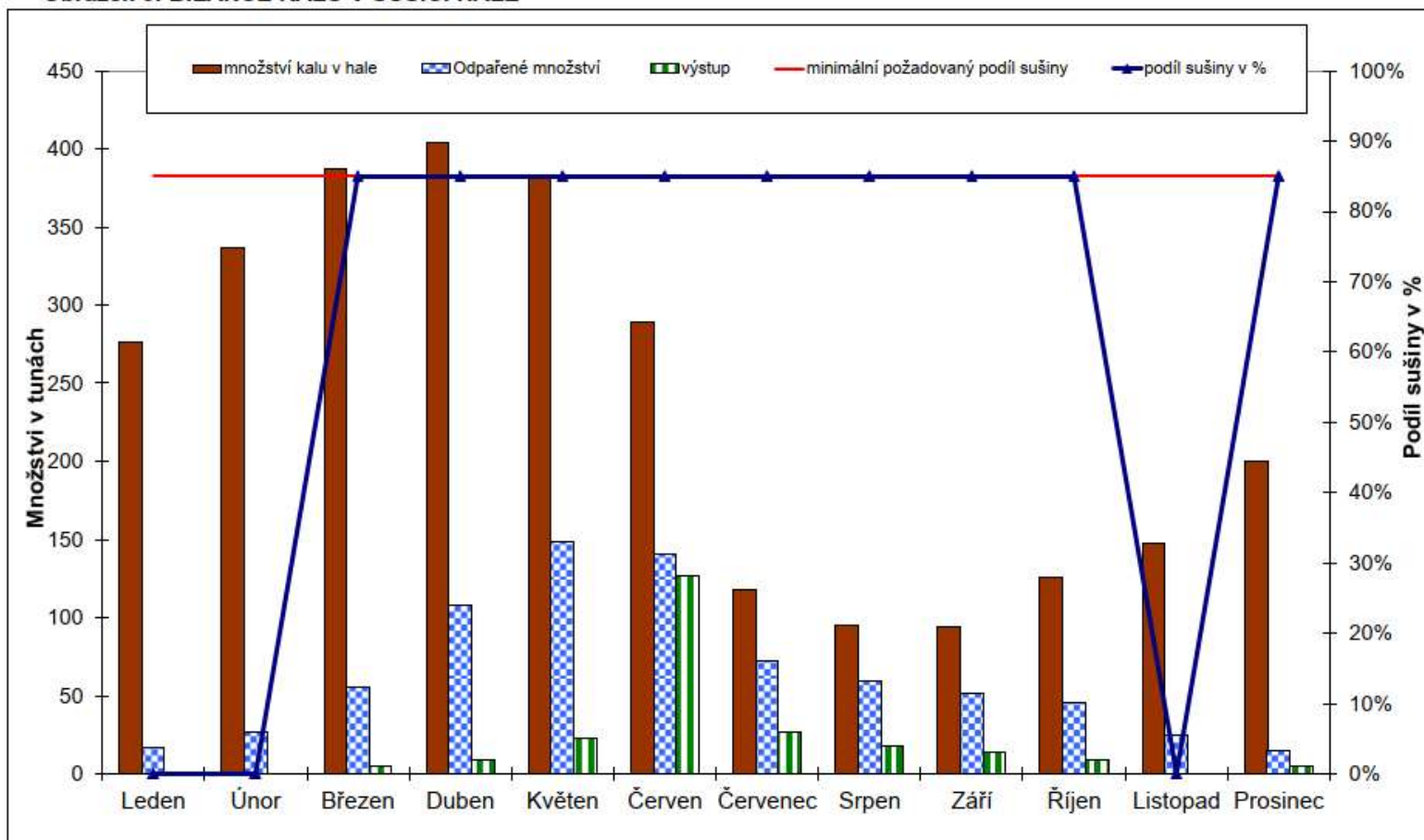


Potencionální solární odpar je stanoven na základě povětrnostních dat. Příslušné odpažené množství může být dosaženo pouze, pokud je v kalu dostupné množství vody (odpovídající množství). Maximální přirozený obsah sušiny je obvykle přibližně 90 %, ve výpočtech tuto hodnotu nastavujeme na 85 %
 Graf ukazuje, from June to September že může být odpaženo více vody. Proto je účinný odpar snížen na dostupné množství vody.

Obrázek 4: MĚSÍČNÍ KOLÍSÁNÍ VÝŠKY KALOVÉHO LOŽE V SUŠÍCI HALE



Obrázek 5: BILANCE KALU V SUŠÍČÍ HALE



Průběh sušení v solární sušárně – bilance vody

	počet dnů v měsíci	Vstup odvodněného kalu			Výstup sušeného granulátu		
		tuny	% suš.	tuny suš.	tuny	% suš.	tuny suš.
Leden	31	169,9	20,0%	34,0	0,0	0,0%	0,0
Únor	28	153,4	20,0%	30,7	0,0	0,0%	0,0
Březen	31	169,9	20,0%	34,0	9,0	85,0%	7,7
Duben	30	164,4	20,0%	32,9	18,1	85,0%	15,4
Květen	31	169,9	20,0%	34,0	45,2	85,0%	38,5
Červen	30	164,4	20,0%	32,9	253,4	85,0%	215,4
Červenec	31	169,9	20,0%	34,0	54,3	85,0%	46,2
Srpen	31	169,9	20,0%	34,0	36,2	85,0%	30,8
Září	30	164,4	20,0%	32,9	27,1	85,0%	23,1
Říjen	31	169,9	20,0%	34,0	18,1	85,0%	15,4
Listopad	30	164,4	20,0%	32,9	0,0	0,0%	0,0
Prosinec	31	169,9	20,0%	34,0	9,0	85,0%	7,7
Součet	365	2.000,0	20,0%	400,0	470,6	85,0%	400,0

Solární sušárna se vždy dimenzuje na celoroční produkci odvodněného kalu jako vstupu do sušárny !!!

Stavební část solární sušárny kalů

SMP CZ má plně zvládnuté variantní technické řešení solárních sušáren



Stavební část:



- ✓ Sušící plocha je řešena jako drátkobeton nebo asfaltová plocha.
- ✓ Boční stěny, které jsou vyrobeny jako speciální prefabrikáty mají několik funkcí:
 - tvoří boční stěnu sušící plochy
 - tvoří základ pro montáž konstrukce haly solární sušárny
 - tvoří pojezdovou dráhu pro zařízení



- ✓ Galvanizovaná konstrukce haly je upevněna na prefabrikáty.
- ✓ Ocelová konstrukce haly je pokryta transparentním materiálem (speciální profukovaná fólie nebo sklo) podobně jako u skleníku, přičemž chrání před deštěm a úniky tepla.
- ✓ Hala je vybavena odvodněním dešťových vod.



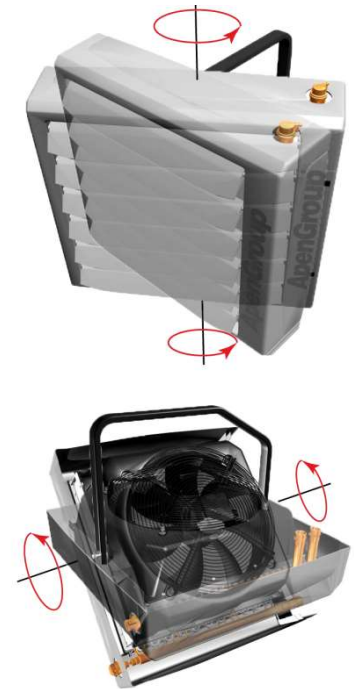
Technologická část solární sušárny kalů

SMP CZ má nastaveny vztahy s dodavateli technologie solárních sušáren

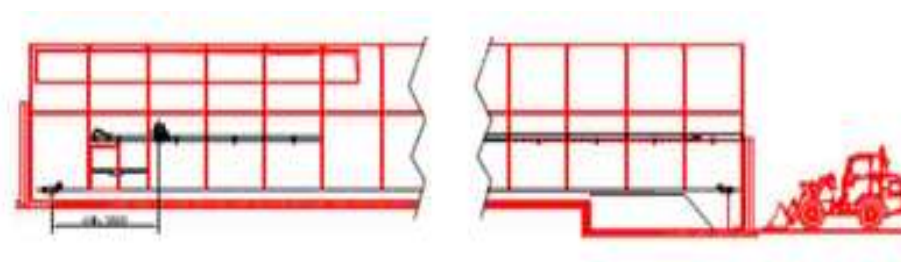


Technologická část:

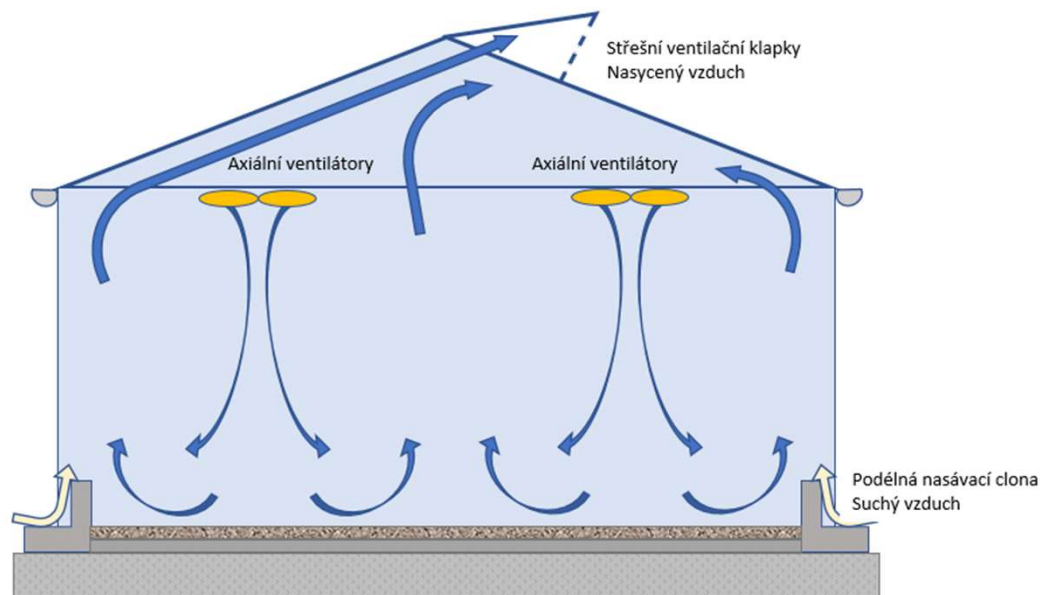
- ✓ Zařízení WendeWolf® nebo SolarTiger® pro prohrádku, provzdušnění, posun sušeného kalu v solární sušárně se řízeným pojezdem
- ✓ Řídicí systém provozu solární sušárny sledující teploty a vlhkost uvnitř a vně solární sušárny
- ✓ Axiální ventilátory pro zabezpečení interní cirkulace vzduchu
- ✓ Ventilátory pro profukování střešní dvouvrstvé fólie
- ✓ Alt. interní topný systém (vzduchový nebo podlahový využívající teplou vodu z externího zdroje odpadního tepla)



Plnění a vyprazdňování solární sušárny

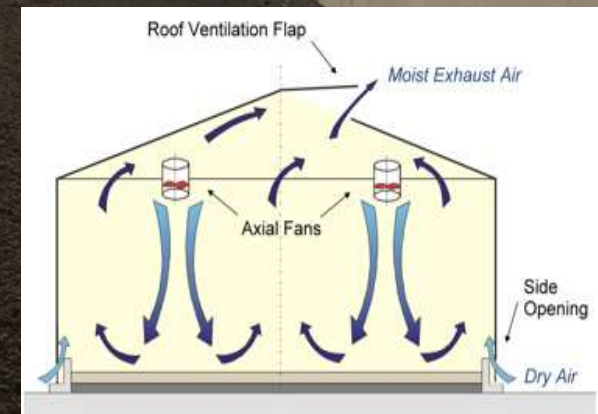
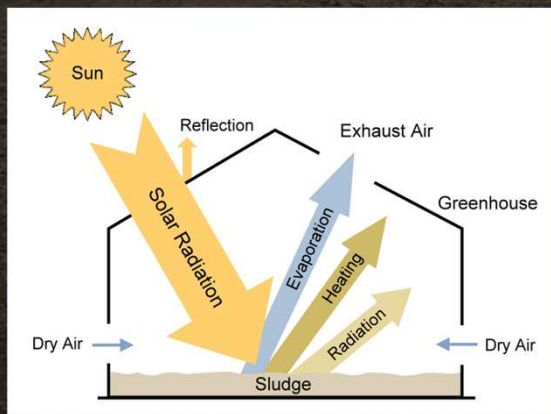


V ČR bude plnění a vyprazdňování solárních sušáren převážně nakladači.



Větrání

Solární hala je vybavena střešní elektricky ovládanou ventilační klapkou, jejíž ovládání je napojeno na řídicí systém solární sušárny. Hala má podél celé délky oboustranně umístěný ventilační otvor, který spolu s klapkou zabezpečuje systém účinného větrání založeném na přirozeném proudění vzduchu na principu rozdílných teplot. Intenzita výměny vzduchu je řízena přivíráním a otevíráním střešní klapky. Na podporu interní cirkulace vzduchu v solární hale budou nad kalovou vrstvou umístěny vysoce výkonné procesní ventilátory, jejichž chod bude automaticky řízen řídicím systémem.



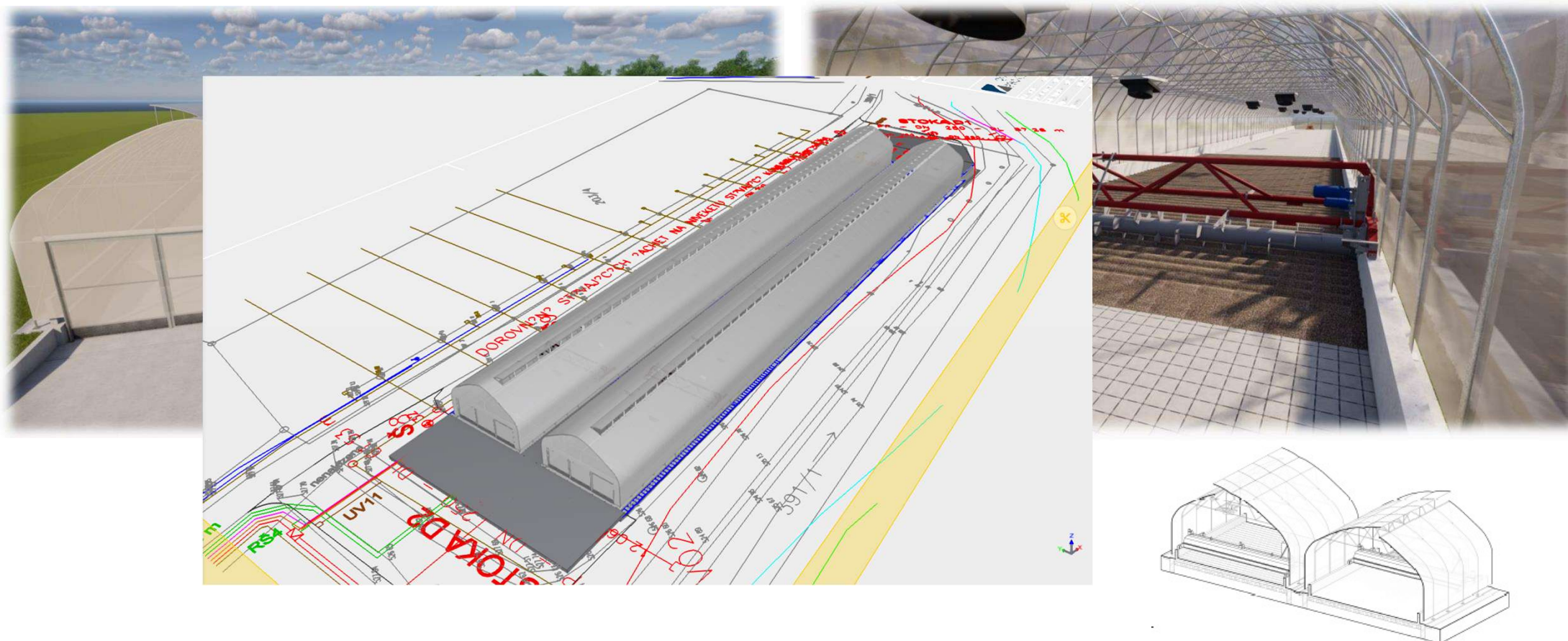
Solární sušárna čistírenských kalů

Hlavní přednosti solárního sušení kalů

1. Nízká spotřeba energie (cca 20-25 kWh elektrické energie na tunu odpařené vody)
2. Jde o plně řízený proces pomocí regulace prohrabovacího stroje frekvenčním měničem a ventilace pomocí měření a řízení chodu stroje
3. Je možný šaržovitý provoz zařízení, dimenzování je na roční kapacitu
4. Během sušení je kal zpracováván po celé šířce sušení v podélném směru
5. Nízká potřeba pracovníků pro provoz, údržbu a servis (předpoklad 20-30 minut denně)
6. Velmi vysoká úroveň bezpečnosti práce
7. Prevence nepříjemných zápachů celkovým provzdušněním odvodněných sušených kalů v jednom pracovní kroku, záběr zařízení na celou šířku sušicí oblasti.
8. Na řadě lokalit je k dispozici odpadní teplo (přebytkový bioplyn, odpadní teplo z kogenerace), které může být použito k podpoře provozu solární sušárny a stabilizaci výkonu v málo slunných dnech.
9. Jiným případem je kombinace solární sušárny s další technologií, která využije energetický obsah ve vysušeném kalu jako např. spalování kalu, nebo pyrolýza kalu. Lze také využít tepla získaného z tepelných čerpadel



Solární sušárna Mariánské Lázně – projektováno ve 3D



Založení stavby



Prefabrikáty a betonáže







Stav na stavbě – listopad 2021– montáž solární haly AGROSUR



Stav na stavbě – montáž dvojité folie



Stav na stavbě – 5.12. – první sníh







Kalorifery pro ohřev v solární sušárně odpadní teplem a distributor teplé vody



Celkový pohled na solární haly 10 x 110 m





Děkujeme za pozornost!