

Solární sušárna odvodněných čistírenských kalů na ČOV Mariánské Lázně

Tomáš Chvojka, Miroslav Kos

Odvodněné kaly produkované a svážené na ČOV Mariánské Lázně jsou od května 2022 ekologicky sušeny pomocí první provozní solární sušárny čistírenských kalů v ČR. Investorem je společnost CHEVAK Cheb, a. s., zhotovitelem společnost SMP CZ, a. s.

Příprava projektu

Projekt byl investorem připraven pro realizaci zadáním typu Design – Build, který je pro tento typ projektů se specifickým technologickým zařízením vhodný. V červnu 2020 byla zveřejněna výzva k podání nabídky pod názvem Dovybavení kalové koncovky ČOV Mariánské Lázně. Nabídky byly předloženy v červenci 2020 a v září 2020 byla na základě vyhodnocení soutěže vítězem vyhlášena společnost SMP CZ, a. s. Dne 6. 11. 2020 byl vydán pokyn k zahájení projekčních prací. Dokumentace pro stavební povolení byla vypracována v období 11/2020–01/2021, stavební povolení bylo vydáno 10. 5. 2021. V době stavebního řízení se současně pracovalo na realizační dokumentaci, v červnu 2021 byly zahájeny práce na založení stavby. Realizační dokumentace byla investorem schválena v červenci 2021 a ihned byly zahájeny stavební práce. Je třeba zdůraznit, že jak příprava projektu, tak i realizační fáze byly významně ovlivněny epidemickou situací a jí vyvolaným prudkým růstem cen stavebních materiálů a jejich nedostatkem v období realizace stavby (především oceli v průběhu roku 2021).

Princip solární sušárny kalů

Solární sušárna je ventilovaný skleník, který je primárně vyhříván slunečním zářením, nicméně může být použit i externí zdroj tepla přiváděného do solární sušárny, pak se jedná o tzv. hybridní solární sušárnu (s přívodem externího tepla). 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 zá-

řením a ochlazován odpařováním vody, oba procesy jsou v rovnováze. Principem solárního sušení je předávání vlhkosti ze sušeného kalu do vstupujícího vzduchu, vzduch vystupující ze solární sušárny má zvýšenou relativní vlhkost oproti vzduchu vstupujícímu. Sušení probíhá i během chladného, ale slunečného zimního dne.

Základem provozu solární sušárny je efektivní systém větrání a prohrábky kalu. Aby solární sušárna účinně fungovala a produkovala požadované výsledky, musí být zajištěny tyto její vlastnosti:

- Podstatou funkce solární sušárny je odvětrávání odpařené vlhkosti (vody) z kalu. Odvod vlhkosti je zabezpečen velmi intenzivním provětráváním celé solární haly přirozeným „komínovým tahem“, který je vyvoláván rozdílem teplot uvnitř a vně haly. Proudění vzniká přívodem vzduchu s nižší relativní vlhkostí a teplotou nad sušený kal, oteplený vzduch je odváděn na vrcholu solární sušárny. Toto je řešení použité pro solární sušárnu Mariánské Lázně, nicméně existují i jiné systémy větrání solární sušárny. Variantou je např. systém, kdy čerstvý vzduch vstupuje do solární sušárny z jednoho čela (v místě vstupu odvodněného kalu do haly sušárny) a na druhé straně jsou v čele haly instalovány odsávací ventilátory, které odvádějí vlhký vzduch ze solární sušárny.
- Pokud je teplotní rozdíl mezi vzduchem mimo sušárnu a uvnitř sušárny minimální, řídicí systém uzavře halu (uzavírá se střešní klapka) a celá solární hala je dočasně uzavřena. Obdobně řídicí systém zasahuje, pokud se zvýší vnější relativní vlhkost (např. za deště), v takovém případě uzavírá střešní klapku, aby nebyl nasávan vzduch o vyšší relativní vlhkosti, než je uvnitř solární haly.



Obr. 1: Umístění a staveniště solární sušárny Mariánské Lázně

- Intenzivní větrání haly podporuje systém procesních ventilátorů, které zabezpečují intenzivní cirkulaci vzduchu uvnitř haly a urychlují odpařování vody ze sušeného kalu.
- Vrstva sušeného kalu musí být udržována v aerobních podmínkách, což zabezpečuje prohrabávací zařízení instalované uvnitř sušárny. Prohrábka zabraňuje kultivaci patogenních organismů, provětrávání brání vzniku zápachu a současně je zajištěna „obměna“ povrchu sušeného kalu, a tím zvýšený odpar vody. Zařízení zároveň postupně posunuje sušený kal od vstupu k výstupu ze solární haly. Pojezd prohrabávacího zařízení po pojezdových drahách a také výška zařízení a hloubka záběru se řídí podle provozního stavu v solární hale a situace při návozu odvodněného kalu (v té chvíli je preferováno rozhrabání do šířky).
- Stupeň sušení musí být kontrolován, aby nedocházelo k nerovnoměrnému sušení (nevysušení části kalu, nebo naopak nadměrnému vysušení); usušení nad 85 % sušiny může způsobit tvorbu prachu, proto se výstupní sušina solárně usušeného kalu dimenzováním sušárny nastavuje na vysušení maximálně na tuto hodnotu (průměrná roční hodnota).
- Celkový provoz zařízení uvnitř solární sušárny je automaticky řízen a kontrolován, aby nebyl nutný častý vstup obsluhy s výjimkou občasné údržby. Ventilátory a pojezdový kalový „vertikutátor“ pracují koordinovaně a přerušovaně podle podmínek pro sušení vyhodnocených řídicím systémem.
- Protože dimenzování solární sušárny je provedeno na celoroční výkon, je možný poměrně nerovnoměrný návoz odvodněného kalu v jednotlivých dnech.
- Odběr vysušeného kalu ze solární sušárny je prováděn po dosažení projektované sušiny v usušeném kalu, obvykle se jedná o období duben–říjen. Po zbytek roku se kal v sušárně akumuluje a suší se s nižší intenzitou. Je ho možné odebírat, ale s nižší než projektovanou sušinou.

Základní údaje solární sušárny kalů na ČOV Mariánské Lázně

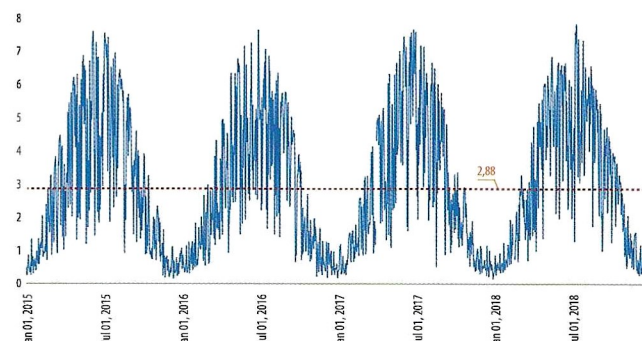
Investor CHEVAK Cheb, a. s., se rozhodl pro vybudování solární sušárny kalů s cílem postupně naplnit výhledovou koncepci nakládání s čistírenskými kaly s kalovým centrem na ČOV Cheb. Solární sušení na ČOV Mariánské Lázně by mělo zajistit redukci hmotnosti odvodněného kalu, který je v současnosti předáván ke zpracování externímu zpracovateli, ve výhledu pak redukovat dopravní náklady na dovoz kalu k termickému zpracování v kalovém centru v Chebu. Bylo rozhodnuto umístit solární sušárnu na sezónně využívanou část kalových polí, které jsou na ČOV k dispozici ve vzdálenosti cca 300 m (obr. 1). Odvodněné kaly budou do solární sušárny odváženy dopravním mechanismem a plněny nakladačem. Stejný nakladač zajistí nakládku

usušeného kalu na dopravní prostředek. Veřejná zakázka zadaná formou Design – Build stanovila hlavní parametry pro návrh sušárny uvedené v tabulce 1.

Vítězem sektorové veřejné zakázky „Dovybavení kalové koncovky ČOV Mariánské Lázně“ se stala společnost SMP CZ, a. s., se svými subdodavateli, pro zpracování projektové dokumentace AQUA PROCON s. r. o., divize Praha, dodavatel technologické části K&K TECHNOLOGY a. s.

Tabulka 1: Zadávací parametry pro dimenzování solární sušárny Mariánské Lázně

Parametr	Rozměr	Hodnota
Vstup do procesu solárního sušení		
produkce odvodněného kalu	t/rok	2000,0
sušina odvodněného kalu	% hmot.	20,0
sušina v odvodněném kalu	t/rok	400,0
organický podíl odvodněného kalu	% hmot.	65,0
Požadovaný výstup ze solárního sušení		
sušina sušeného kalu (průměr)	% hmot.	85,0
produkce sušeného kalu	t/rok	470,6
tepelný výkon požadovaný přivést do solární sušárny z externího zdroje (teplá voda, max.)	kW _t	150
Lokalizační data sušárny (cca)		
zeměpisná šířka	stupeň	50.514N
zeměpisná délka	stupeň	13.496E



Obr. 2: Intenzita solárního toku v místě solární sušárny Mariánské Lázně (zdroj: <https://power.larc.nasa.gov/>)

Tabulka 2: Hmotová bilance solární sušárny Mariánské Lázně

Vstupní údaje	Rozměr	Hodnota	Výstupní údaje	Rozměr	Hodnota
množství odvodněného kalu	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	t/rok	1 529,4
				t/měsíc	127,5
				kg/d	4 190,2

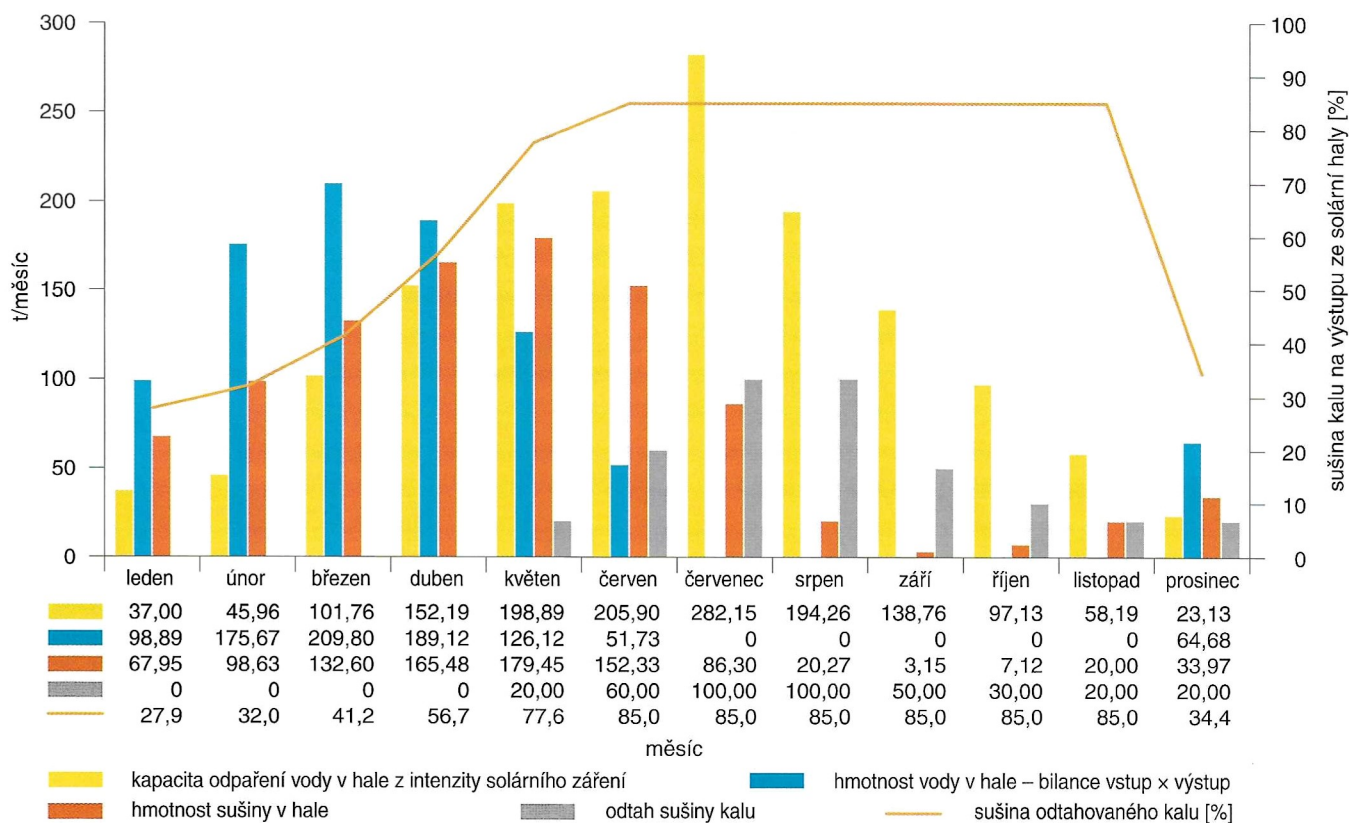
Dimenzování solární sušárny

SMP CZ má plně zvládnuté know-how navrhování solárních sušáren, metodika využívá podkladů o intenzitě solárního toku přesně v lokalitě navrhované solární sušárny, a to vyhodnocením minimálně čtyř let zpětně. Data jsou dostupná na serveru NASA (<https://power.larc.nasa.gov/>). Teplotní průběhy jsou pak vyhodnoceny z databáze dostupné na www.msn.com/en-au/weather/records/.

Průměrná hodnota slunečního záření na lokalitě solární sušárny je $2,88 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$, což představuje pro použité řešení solární sušárny průměrnou hodnotu odparu vody na 1 m^2 plochy sušárny $735,8 \text{ kg H}_2\text{O/m}^2 \cdot \text{rok}$. Pro tyto hodnoty bylo provedeno dimenzování solární sušárny do nabídkového řízení. Propočít byl následně potvrzen i propočtem výrobce zvoleného kypřicího zařízení, německé společnosti IST Anlagenbau GmbH, pro realizační dokumentaci.

Tabulka 3: Výstupní hodnoty návrhového programu solární sušárny Mariánské Lázně

Parametr	Rozměr	Hodnota
efektivní hodnota výparu vody	$\text{kg H}_2\text{O/m}^2 \cdot \text{rok}$	735,8
množství odpařené vody	t/rok	1 529,4
množství sušeného kalu	t/rok	470,6
redukce hmotnosti kalu	%	76,5 %
průměrná sušina kalu po sušení	%	85,0
specifická spotřeba elektrické energie	$\text{kWh/t H}_2\text{O}$	35,0
potřebná celková efektivní plocha haly	m^2	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



Obr. 3: Solární sušárna Mariánské Lázně (2 000 t/rok, vstup 20 %, výstup 85 %) – průběh měsíčních bilancí sušení při rovnoměrném měsíčním vstupu odvodněných kalů (SMP CZ, a. s.)



Obr. 4: Vizualizace solární sušárny Mariánské Lázně z projektové dokumentace (AQUA PROCON, s. r. o.)



Obr. 5: Pohled do solární sušárny Mariánské Lázně se zařízením WendeWolf

Pro průběh sušení je nezbytné vypracovat hmotnostní bilanci vstupů a výstupů do solární sušárny v průběhu kalendářního roku. Na obr. 3 je znázorněno, jak se mění množství odpařené vody a množství vody v kalu uvnitř solární sušárny v měsíčním kroku. Bilance slouží také ke stanovení režimu odběru usušeného kalu o cílové hodnotě sušiny. Z průběhu je vidět, že sušený kal bude možné odtahovat ze solární sušárny o cílové sušiny 85 % v období květen až listopad.

Technické řešení solární sušárny

Stavební řešení solárních hal vychází z technologického návrhu, ze kterého vyplynula efektivní šířka solární haly 10 m a délka jedné solární haly 110 m, celkem byly použity dvě stejné solární haly. Odvodněný kal se naváží do solární sušárny ze strany jednoho čela haly a odvoz sušeného kalu je z druhé strany haly, před oběma čely haly jsou umístěny manipulační plochy pro kolový nakladač. Obě čela haly jsou vybavena posuvnými trojdielnými vraty. Konec sušící plochy každé solární haly je v délce 5,0 m zahloben o 0,8 m, aby vznikl akumulací prostor pro usušený kal. Snížení konce hal rovněž umožňuje lepší odběr sušeného kalu pomocí kolového nakladače. Založení haly bylo poměrně komplikované vzhledem ke složitým základacím podmínkám.

Konstrukce solární haly (skleníku) byla sestavena z pozinkovaných ocelových profilů s ochranou proti korozi. Rovněž všechny pomocné konstrukce haly jsou provedeny z pozinkovaných ocelových trubek. Konstrukční prvky jsou spojeny speciálními spojkami a šroubováním. K upevnění plastové fólie se používají ocelové pozinkované pásy (s plastovou vložkou), které navíc slouží jako podélná podpěra na koncích oblouků. Ocelová konstrukce haly je ukotvena vně do speciálních prefabrikovaných L-profilů sloužících pro pojezd prohrabávacího stroje. Jednotlivé oblouky haly jsou upevněny k betonovým základům kotevními šrouby s povrchovou ochranou. Díky tvarovému řešení haly není potřeba použít okapové prvky a srážková voda je odváděna po opláštění haly přímo do odvodu srážkových vod z okolí hal. Solární haly jsou vybaveny průmyslovým osvětlením.

Zakrytí haly bylo provedeno pomocí dvou vrstev certifikované fólie (materiál m-LLDE, PE) s antikondenzačními vlastnostmi, odolné vůči ultrafialovému záření, s odpovídajícími mechanickými vlastnostmi. Mezi vrstvami fólie je automaticky udržován odpovídající tlak vzduchu pomocí malého dmýchadla, jednotlivé meziprostory opláštění jsou propojeny pomocí propojovacích hadic. Opláštění zajišťuje vynikající tepelnou izolaci, odolnost proti kroupám a konstantní napětí pláště, současně spolu s tvarem solární haly zabraňuje, aby se na opláštění udržel sníh, zajišťuje dobrou odolnost proti větru, což bylo během počátku roku 2022 přímo ověřeno. Současně je tak zajištěna protikondenzační funkce a zajištěna vysoká tepelná účinnost opláštění solární haly. Takto řešené haly vyžadují minimální množství energie pro zajištění optimálního prostředí pro sušení kalu. Mezi železobetonovou spodní konstrukcí pojezdové dráhy a spodním okrajem fólie je u země mezi opláštěním haly sušárny a L-profilem pojezdové dráhy vytvořena šterbinová nasávací clona. Její dimenzování je velmi významné, neboť zabezpečuje, že kdykoli se otevřou střešní klapky, dochází k přirozenému, přiměřenému tahu a čerstvý, suchý (s nižší relativní vlhkostí) vzduch vstupuje do solární haly.

Solární hala je po celé délce vybavena střešní elektricky ovládanou ventilační klapkou, jejíž ovládání je napojeno na řídicí systém solární sušárny. Systém podélné nasávací šterbiny a střešní klapky zabezpečuje účinné větrání založené na přirozeném proudění vzduchu na principu rozdílných teplot. Intenzita výměny vzduchu je řízena přivíráním a otevíráním střešní klapky.

Řídicí systém solární sušárny kontinuálně vyhodnocuje teplotu a relativní vlhkost, které jsou sledovány venku a uvnitř kaž-



Obr. 6: Solární sušárna Mariánské Lázně – ventilační klapka otevřena



Obr. 7: Čelní pohled na solární sušárny ze strany vstupu odvodněného kalu

dé haly. Z naměřených hodnot se vypočítává teplotní rozdíl a absolutní obsah vody uvnitř i vně každé haly zvlášť. Příslušné prahové hodnoty mohou být nastaveny podle klimatických podmínek či obsluhou. Axiální procesní ventilátory jsou zapínány, když je vnitřní teplota o cca pět stupňů vyšší než venkovní teplota. Jakmile teplotní rozdíl poklesne, ventilace se vypíná (tzn. chod ventilátorů je intervalový). Střešní klapky se otevírají, když absolutní vlhkost uvnitř haly překročí prahovou hodnotu.

Na podporu interní cirkulace vzduchu jsou v solární hale nad kalovou vrstvou umístěny vysoce výkonné axiální procesní ventilátory, jejichž chod je automaticky řízen řídicím systémem. Úkolem procesních ventilátorů je vyvolat nad celou sušící plochou vzdušnou turbulenci, a tak rozrušovat vlhké rozhraní (vrstvu nasyceného vzduchu) nad povrchem kalu. Jde o důležitý prvek procesu solárního sušení, protože zabraňuje stratifikaci teploty nebo vlhkosti.

Technologické vybavení solární sušárny Mariánské Lázně bylo plně přizpůsobeno zadání investora. Odvodněný kal je dopravován do solární sušárny pomocí nakladače na začátek jednotlivých hal solární sušárny. Hlavním technologickým zařízením je zařízení pro prohrabávání, převrácení a podélný posun kalu od jedné strany haly ke druhé. Provoz větracího systému a zařízení na prohrábku a posun kalu je řízen automatickým řídicím systémem. Bylo použito kypřicí (provzdušňovací, obracecí) zařízení značky WendeWolf typ SW 10,7 německé firmy ist Anlagenbau GmbH. Šířka sušícího lože je 10 m, rozchod kol dráhy je 10,45 m, zařízení pojíždí po prefabrikovaných L-profilech stavební části solární haly. Každý stroj je vybaven 6 ks elektromotorů o celkovém příkonu cca 15,4 kW, které zajišťují pohyby a funkce stroje. Napájení stroje je kabelovým pantografem (shrnovací řetězové články na kolejnici) s napájecím a datovým ka-



Obr. 8: Celkový pohled na solární sušárnu odvodněných kalů a ČOV Mariánské Lázně

belem. Bezpečnost provozu je zajištěna bezpečnostními prvky – bezpečnostní lanka se spínači pro odstavení z provozu v případě překážky, nebo pro jiný případ možnosti odstavení, zařízení má ochranný kryt kypřicího rotačního nástroje. Změna otáček se provádí pomocí frekvenčního měniče při pohybu vpřed i vzad. V každé solární hale je umístěno 12 ks procesních ventilátorů o výkonu cca 8 000 m³/hod/kus, výkon cca 0,41 kW. V jedné hale je umístěn řídicí rozvaděč s dotykovým panelem. Vybavení solární sušárny zabezpečuje komunikaci s nadřazeným řídicím systémem a má modem pro externí komunikaci. Solární sušárna je vybavena hygro-thermo senzory a klimatickými čidly (vítr, déšť, teplota, vlhkost, záření). Dmychadlo tlakování dvouvrstvé střechy je začleněno do řídicího systému. Součástí zadání veřejné soutěže byl i doplňkový topný systém z externího zdroje tepla, realizovaná sušárna je tak de facto hybridní solární sušárna, nicméně dimenzování solární sušárny bylo provedeno tak, že požadovaného výkonu je schopna dosáhnout i bez tohoto doplňkového zdroje tepla. Projektová dokumentace obsahuje vyčíslení případného přínosu, pokud by sušárna byla provozována v hybridním režimu. Výkon topného systému je 150 kWt, bylo zvoleno jednoduché řešení spočívající v umístění teplovodních elementů (kalorifery) umístěných v každé solární hale v úrovni procesních ventilátorů. Topný systém je tvořen teplovodním rozdělovačem v čele haly, oběhovými čerpadly, izolovaným potrubím a kalorifery. Délka přívodu teplé vody z kotelny ČOV do solární sušárny je cca 300 m.

Souhrn

Na ČOV Mariánské Lázně byla postavena a zprovozněna první solární sušárna v ČR. Tato technologie úpravy čistírenských kalů byla u nás nepochopitelně opomíjena, přitom je možnou va-

riantou i v podmínkách ČR, což ukazuje realizace v okolních státech s výjimkou Slovenska. Sušení kalů je nezbytnou úpravou čistírenských kalů před jejich materiálovou transformací. Je téměř symbolické, že první solární sušárna je realizována jako hybridní. Solární sušárna s dotací tepla z externího zdroje tepla je velmi zajímavou variantou pro naše klimatické podmínky. Dochází tak ke stabilizaci provozu a redukci potřebné plochy solární sušárny. Na řadě čistíren odpadních vod je k dispozici odpadní teplo, které může být použito k podpoře provozu solární sušárny a stabilizaci výkonu v málo slunných dnech.

Nastupující období vysokých cen energií vede k potřebě hledat nízkoenergetická řešení, proto se s nadějí (nutností) postupně upínáme na technologie využívající solární energii. Solární sušení je nízkoenergetickou, zelenou technologií, která umožňuje významně redukovat hmotnost produkovaných kalů, současně v případě odpovídajícího dimenzování zabezpečuje požadavky na hygienizaci kalů, otevírá možnosti zpracování kalů směrem k energetickému využití nebo k získávání kritického materiálu fosforu.

Literatura

1. SMP CZ, a. s., AQUA PROCON, s. r. o., Sušárna kalů CHEVAK – ČOV Mariánské Lázně, realizační dokumentace stavby, z. č. 1556820-50, duben 2021.
2. Kos M. Solární sušárna Mariánské Lázně, přednáška, 2. ročník semináře Kalový den 2021, 2. 12. 2021 (proběhlo online)-

Fotografie: www.no-limit-studio.cz

Ing. Tomáš Chvojka, Ing. Miroslav Kos, CSc., MBA
SMP CZ, a. s., divize 5



K&K TECHNOLOGY a.s.

Koldinova 672, 339 01 Klatovy
tel.: +420 376 356 111
e-mail: kk@kk-technology.cz
web: www.kk-technology.cz

TECHNOLOGIE PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Městské a průmyslové čistírny odpadních vod, úpravy vody, zpracování a likvidace biologicky rozložitelných odpadů, likvidace čistírenských kalů sušením a spalováním, bioplynové stanice, kotelny, tepelná hospodářství.

PROJEKTY - VÝROBA - DODÁVKY - MONTÁŽE - SERVIS

Filtrační sklo VetroPure

- Úspora prací vody
- Úspora elektrické energie
- Úspora chemie
- Bez tvorby biofilmu a kanálků



www.filtrilo.com