

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

A

ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



Zpracování čistírenských kalů v důsledku měnící se
legislativy pro nakládání s kaly – příklad řešení pro kaly
produkované čistírnami v oblasti Žďárska

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Lenka Pavlíčková, Ph.D.

Diplomant: Bc. Jakub Mucha

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Mucha

Krajinné inženýrství

Voda v krajině

Název práce

Zpracování čistírenských kalů v důsledku měnící se legislativy pro nakládání s kaly – příklad řešení pro kaly produkované čistírnami v oblasti Žďárska

Název anglicky

Treatment of sewage sludge due to changing legislation on sludge management – an example of sludge treatment solutions in the Žďársko

Cíle práce

Zpracovat koncepční technický návrh zpracování čistírenských kalů z mechanicko biologických čistíren definované oblasti v důsledku změn v platné legislativě pro tento obor. Zpřísnění legislativy pro nakládání s čistírenskými kaly vede odpovědné subjekty (správci a provozovatelé čistíren odpadních vod) k řešení nově vzniklé situace tak, aby s kaly nakládali v souladu s budoucí legislativou, a současně za technicky a především investičně a provozně optimálních podmínek.

Cíle práce je postihnout tyto změny, v čem spočívají, zhodnotit jejich význam a důsledky, postihnout základní možnosti technického řešení pro naplnění legislativy a provést jednoduchý koncepční návrh pro vybranou lokalitu. Návrh se bude zabývat možnostmi zřízení regionálního centra nízkenergetické transformace kalů na fosforečné hnojivo.

Metodika

Práce nejdříve specifikuje, jaké jsou produkty čištění odpadních vod, včetně čistírenských kalů, co jsou to kaly, jejich charakteristika, vlastnosti, druhy. V rámci práce bude nejdříve provedena rešerše stávající legislativy pro nakládání s čistírenskými kaly a postíženy rozhodující již platné i případně očekávané změny. Následně bude provedena rešerše možných technických řešení nakládání s kaly pro naplnění legislativy.

Získané teoretické znalosti budou využity pro zpracování návrhu pro lokalitu Rožná pro soz kalů z několika čistíren, a to ve 2 variantách s vyhodnocení zvolenými parametry a doporučením jedné varianty k další přípravě. Varianty budou odlišné v části sušení kalů – variantně bude posouzena solární sušárna a pásová sušárna, následný stupeň termického zpracování bude proveden pouze v základním popisu shodný pro obě varianty pro technologii pyrolýzní jednotky (resp. karbonizace kalů). Technický návrh bude obsahovat základní koncepční popis a návrh obou variant, zastavovací schémata a situace širších vztahů v lokalitě. Následně bude definovány výhody a nevýhody obou variant a provedeno porovnání a vyhodnocení.

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

Čistírenské kaly, změna legislativy, sušení kalů, zplynění kalů

Doporučené zdroje informací

Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

DOHÁNYOS, M. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2006-05-09. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655

HLAVINEK, Petr, ZWETTLER, Oto, ŠEVČÍK, Jan, RAČEK, Jakub, CHORAZY, Tomáš. Koncepční přístup návrhu pásových sušáren čistírenského kalu pro středně velké zdroje znečištění. Brno: ResearchGate, 2009, 8 SHI, Cao Ye. Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Sewage Treatment Plant. London: Intl Water Assn, 2011. ISBN 978-184-3393-825

SPERLING, Marcos von. Sludge treatment and disposal. London. IWA Publishing, : 2007. ISBN 184339166x. Zákon 185/2001 Sb. Zákon o odpadech a změně některých dalších zákonů. ASPI

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Pavlíčková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: Zpracování čistírenských kalů v důsledku měnící se legislativy pro nakládání s kaly – příklad řešení pro kaly produkované čistírnami v oblasti Žďárska vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souladu s GDPR.

V Praze dne

Poděkování:

Touto formou bych chtěl poděkovat všem, kteří mi s vypracováním mé práce pomáhali. Děkuji své vedoucí Ing. Lence Pavlíčkové za možnost konzultací a vedení práce. Dále děkuji svému otci Ing. Aleši Muchovi MBA a dalším konzultantům za technické rady a připomínky. Též děkuji své rodině a přátelům za pomoc, oporu, poskytnutí materiálů a podstatných rad. Dále děkuji Fakultě životního prostředí, zvláště oboru Voda v krajině, který mi umožnil zpracování diplomové práce na toto téma.

Zpracování čistírenských kalů v důsledku měnící se legislativy
pro nakládání s kaly – příklad řešení pro kaly produkované
čistírnami v oblasti Žďárska

Treatment of sewage sludge due to changing legislation on
sludge management - an example of sludge treatment solutions
in the Žďársko

Abstrakt:

Práce se zabývá problematikou čistírenských kalů a jejich následnou likvidací. Nejprve seznámí čtenáře s obecnou problematikou, postupem a výčtem současných metod při nakládání s čistírenskými kaly. Jaké jsou současné možnosti, využívané technologie, druhy zařízení i materiálových vstupů.

Následně přistupuje k představení aktuální legislativy ve vztahu k nakládání s kaly a její možný vývoj do budoucna. Následkem plánovaných úprav legislativy dochází k zásadním změnám v možnostech využití daných procesů likvidace kalů. Tato část čerpá z platné legislativy a též z materiálů představených k jejímu rozšíření, popřípadě změnám. Je nutno podotknout, že vývoj legislativy má jistý směr, ale přesné změny se stále vyvíjí vlivem dynamiky problematiky.

Poslední fází je vytvoření variantního řešení zpracování kalové koncovky v oblasti Žďárska. Toto řešení zahrnuje návrh dvou různých způsobů sušení čistírenského kalu, za kterým následuje pyrolýza. Závěrem práce je posouzení a následné doporučení optimální varianty zpracování čistírenských kalů v lokalitě Rožná. Z důvodu charakteru práce není podrobněji rozvinuto více variant technologických řešení.

Klíčová slova:

Čistírenské kaly, změna legislativy, sušení kalů, zplynění kalů

Abstract:

The thesis deals with the issue of sewage sludge and its subsequent disposal. First, they will acquaint the reader with general issues, procedure and listing of current methods in the treatment of sewage sludge. What are the current possibilities, used technologies, the types of equipment and material inputs.

Then it proceeds to the presentation of the current legislation in relation to the treatment of sludge and its possible development in the future. As a result of the planned modifications of legislation, there are fundamental changes in the possibilities of using the given processes of sludge disposal. This part derives on the valid legislation and also on the materials presented for its extension or changes. It should be noted that the development of legislation has a certain direction, but the exact changes are still evolving due to the dynamics of the issue.

The last stage is the creation of a variant solution for processing sludge management in the Žďár area. This solution involves the design of two different methods of drying sewage sludge, followed by pyrolysis. The conclusion of the work is the assessment and subsequent recommendation of the optimal variant of the treatment of sewage sludge in the Rožná. Due to the disposition of the work, more variants of technological solutions are not developed in more detail.

Key words:

Sewage sludge, change of legislation, sludge drying, sludge gasification

Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Představení problematiky	1
1.2	Cíle práce.....	2
2	Literární rešerše	3
2.1	Odborné termíny použité v práci.....	3
2.2	Vznik a zpracování kalů	5
2.3	Vznik kalu ve standardním technologickém procesu ČOV	5
2.4	Metody sušení kalu.....	17
3	Vývoj a očekávané změny legislativy pro likvidaci kalů	21
3.1	Kal a jeho využití v rámci oběhového hospodářství	21
3.2	Předpokládaný další vývoj	24
3.3	Vývoj a trendy legislativy čistírenských kalů v EU	26
3.4	Zákon o odpadech	27
3.5	Připravovaná novela zákona o odpadech	29
3.6	TAP – Transformace usušeného kalu na tuhé palivo	30
4	Charakteristika území	32
4.1	Odštěpený závod GEAM Rožná	32
4.2	Popis území	33
4.3	Hydrologické poměry.....	34
4.4	Vliv stavby na okolní stavby a pozemky.....	34
4.5	Klimatické podmínky	34
4.6	Geomorfologické podmínky.....	35
4.7	Inženýrské sítě.....	35
5	Variantní řešení technologie zpracování kalů pro regionální centra kalů	36
5.1	Návrhové parametry	36

5.2	Posouzení vhodné lokality.....	37
5.3	Varianty hygienizace kalu	38
5.4	Hygienizace čistírenského kalu procesem nízkoteplotního sušení kalu.....	38
5.5	Hygienizace čistírenského kalu v solární sušárně	46
5.6	Pyrolyzér	52
6	Návrh technologie regionálního centra Rožná.....	54
6.1	Nízkoteplotní pásová sušárna – varianta č. 1	55
6.2	Solární sušárna – varianta č. 2.....	57
7	Diskuse.....	60
7.1	Vývoj v oblasti kalů, legislativní rámec:.....	60
7.2	Rizika a nejistoty pro řešení „kalové koncovky“ plynoucí z této práce.....	60
7.3	Souhrnné hodnocení posuzovaných variant	61
8	Závěr	63
9	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	65
9.1	Přehled literatury	65
9.2	Zdroje obrázků	71
10	Seznam obrázků a tabulek.....	73
10.1	Seznam obrázků	73
10.2	Seznam tabulek.....	73
11	Seznam použitých zkratk a symbolů	74
12	Seznam příloh.....	75

1 Úvod

1.1 Představení problematiky

Čištění odpadních vod prodělalo v České republice v průběhu první a druhé dekády nového tisíciletí výrazný pokrok za účelem naplnění legislativních podmínek vypuštění odpadních vod. To jak v rámci legislativy EU, tak v rámci harmonizované legislativy České republiky. Především díky dotačním titulům EU byly postupně rekonstruovány a technologicky doplněny a obnoveny existující čistírny, vybudovány nově mnohé střední i větší čistírny a pokrok nastal i u likvidace nejmenších zdrojů znečištění, tj. malých obcí a lokálních zdrojů. Požadovaná kvalita vypouštěných vyčištěných odpadních vod je tak celkově v České republice na velmi pěkné úrovni, a i nadále dochází k dobudování infrastruktury tohoto zaměření, k optimalizaci stokových systémů a jejich provázání s likvidací odpadních vod.

Jednou z podstatných součástí procesu čištění odpadních vod je produkce čistírenského kalu. Čistírenský kal je definován jako velice rozmanitá směs organických a minerálních látek, jež vznikla v procesech mechanicko-biologického čištění (část v kombinaci s chemickými procesy srážení) pomocí různých sorpčních a biologických mechanismů a finálně byla separována v usazovacích a dosazovacích nádržích. Následně byl tento kal především u větších a středních čistíren aerobně či anaerobně stabilizován a odvodňován a následně likvidován dovolenými koncepcemi především jako hnojivo, byť v různých formách.

Likvidace kalů nepatřila z hlediska dotační politiky v minulých letech k prioritám. Stanovené dotační podmínky se soustředily primárně na vodní linky. Proto v zásadě koncepce konečné likvidace kalů po jejich úpravě v samotném komplexu čistírny stagnovala. To jak v rámci legislativního procesu, tak z hlediska technologie řešení likvidace kalů. Proto nejsou kalové linky ČOV na našem území schopny splnit nově nastavované požadavky.

V současné době však dochází postupně skokovému nárůstu zájmu o způsob likvidace kalů. Dynamika doby, a především změna složení kalů a tím i pohledu tento produkt se všemi jeho vlastnostmi a negativy přináší změnu přístupu k řešení „kalové koncovky“. Současné změny v náhledu na nakládání s kaly jsou vyvolány celou řadou

současných, či budoucích omezení z hlediska dříve konvenční likvidace kalů, nebo podmínek pro využívání kalů.

Tato omezení jsou ovlivněna následujícími nevyhnutelnými trendy, jako je postupné snižování dostupnosti skládek pro likvidaci biologicky rozložitelných odpadů:

- Zvýšený odpor k zemědělskému využití ze strany zainteresovaných stran pod tlakem informací o změnách složení kalů
- Zásadně odlišná složení kalů oproti minulosti, především v těžkých kovech, specifických organických mikropolutantů a hygienických parametrů
- Příprava nových evropských i národních předpisů pro využívání kalů do půdy
- Cíleně zvyšující se náklady na ukládání kalu na skládky se strategií zabránění ukládání organických látek na skládky
- Otevírající se možnost využití odvodněného kalu jako energetického potenciálu či paliva
- Tlak na uplatňování filozofie oběhového hospodářství (Cirkular Economy), čistírenský kal je a bude součástí

Informace, podklady a data použitá při návrhu a tvorbě práce jsou reálnými hodnotami v zájmové oblasti. Byli získány od místních subjektů (a z veřejně dostupných zdrojů), kterých se tato studie může dotknout. Součástí práce je i popis místních podmínek, se kterými jsem pracoval.

Toto téma jsem si vybral vzhledem k aktuálnosti a zajímavosti problematiky a jejímu významu pro životní prostředí.

1.2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je představení problematiky nakládání s čistírenskými kaly. Toto téma je v dnešní době poměrně hojně řešeno. Metody většinou využívány v dnešní době jsou již zastaralé, obecně svým způsobem rizikové pro obyvatelstvo a neodpovídají moderním trendům v oblasti nakládání s odpadními vodami. Je důležité zvážit úhel pohledu na čistírenský kal. Zda se jedná o odpad, kterého se vlivem změn v legislativě čím dál obtížněji zbavuje, nebo zda k čistírenskému kalu budeme přistupovat jako ke komoditě, jež nejen po částečné úpravě, ale i během ní může sloužit jako zdroj energie. Jedním z hlavních důvodů, proč se práce věnuje této úvaze, jsou také plánované změny v legislativě. Jelikož produkci kalů vznikajících z procesu

čištění odpadních vod na čistírnách odpadních vod nelze odbourat, je nutné nalézt a začít využívat jiné varianty nakládání s kaly a najít jejich úpravu tak, aby byly optimálně likvidovány či lépe ještě využívány jako zdroj energie.

V první části práce se pojednává o vzniku kalů v průběhu různých procesů čistírny odpadních vod a o jejich druzích. Následně je uveden výčet možných metod pro hygienizaci kalu a v neposlední řadě možnosti, jak s kalem dále nakládat.

V části zabývající se legislativou stanovující možné postupy při zpracování kalu jsou představeny dva pohledy. Jeden pojednává o aktuálních možnostech, které jsou povoleny a využívány. Druhý pohled se zabývá plánovaným vývojem vyhlášek týkajících se nakládání s kaly a též plánovanými změnami zákona o odpadech. Vlivem těchto změn dochází k výraznému omezení aktuálně využívaných metod, popřípadě k jejich úplnému zákazu.

Variantní řešení zpracování kalů v oblasti Žďárska se již zabývá konkrétním případem. Jedná se o návrh způsobu řešení zpracování čistírenských kalů, produkováných v rámci Svazu vodovodů a kanalizací Žďársko. Výběr lokality mimo areály stávajících ČOV byl zvolen z důvodu prostorových požadavků a snaze koncentrovat kaly z více lokalit do jednoho procesu zpracování. Ty jsou především hygienizace kalu solární sušárnou významné. Zvolená lokalita pro vybudování regionálního kalového centra Rožná se nachází na území, které bylo zasaženo těžbou uranu. Ta je již v dnešní době ukončena, ale pro oblast není moc jiných možností využití. Pro tento záměr se ale přímo vybízí, a to z více důvodů, které jsou popsány v na dalších stranách práce.

2 Literární rešerše

2.1 Odborné termíny použité v práci

2.1.1 Surový kal

„*Nestabilizovaný kal*“ (Hartig K., 2017).

2.1.2 Primární kal

„*Kal odstraňovaný z primárního čištění, který se nesměšuje s jinými druhy kalu*“ (Hartig K., 2017).

2.1.3 Směsný surový kal

„Kal odstraňovaný z primárního čištění, který obsahuje i jiné druhy kalu, např. přebytečný aktivovaný kal“ (Hartig K., 2017).

2.1.4 Stabilizace

„Proces, při kterém se organické látky mění na anorganické nebo pomalu rozložitelné organické sloučeniny“ (Hartig K., 2017).

2.1.5 Stupeň stabilizace

„Stupeň rozkladu dosažený stabilizací kalu. Měří se např. snížením obsahu organických látek“ (Hartig K., 2017).

2.1.6 Anaerobní stabilizace kalu

„Anaerobní proces snižování množství organických látek obsažených v kalu. To může být například anaerobní fermentace, nebo vyhnívání“ (Hartig K., 2017).

2.1.7 Aerobní stabilizace kalu

„Aerobní proces snižování množství organických látek obsažených v kalu“ (Hartig K., 2017).

2.1.8 Pasterizace

„Zvyšování teploty po přiměřenou dobu za účelem snížení počtu patogenních organismů pod určitou mez po omezenou dobu nebo na hodnotu nižší, než je infekční prahová hodnota“ (Hartig K., 2017).

2.1.9 Hygienizovaný čistírenský kal

„Kal, který prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních organismů byly sníženy na požadovanou hodnotu“ (Křištofík J., 2006).

2.1.10 Odpadní vody

„Zákon o vodách obecně definuje odpadní vody jako vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotních a jiných stavbách, zařízeních, nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a ostatní vody z nich odtékající, jestliže mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadními vodami jsou i vody z odkališť nebo ze skládek odpadů.

Za odpadní vody se nepovažují jiné látky tekutého skupenství, jako jsou silážní šťávy, močůvka, různé chemické agresivní, a toxické látky, žraviny, radioaktivní látky, ropa a ropné produkty, husté viskózní kapaliny (kaly), látky výbušné, silně koncentrované solné roztoky a další látky, které mají negativní dopad na technický stav a provoz stokové sítě a čistírny odpadních vod a ohrožující zdraví personálu. Látky, možné vypouštět do kanalizace, stanoví tzv. kanalizační řád, který schvaluje na návrh vlastníka nebo provozovatele příslušný vodoprávní úřad“ (Shammas Nk., 2011).

2.2 Vznik a zpracování kalů

Čistírenský kal vzniká při procesu čištění odpadních vod. Množství vzniklého kalu závisí na použité technologii, na typu kanalizační sítě, na množství znečištění přiváděného na ČOV a dalších faktorech (např. přivážení průmyslových odpadních vod na ČOV nebo přímo do vyhnívacích nádrží). Znečišťující látky, které jsou obsaženy v odpadní vodě, se koncentrují do kalu vznikajícího v různých stupních čištění. Jedná se o mechanický stupeň probíhající především v usazovacích nádržích a biologický stupeň odehrávající se v aktivační nádrži. Surový čistírenský kal obsahuje jak anorganické, tak i organické látky, popř. může být zdrojem patogenních mikroorganismů. Z tohoto důvodu je nutné zajistit takové zpracování kalů, které zabrání možnému poškození životního prostředí a je navíc ekonomicky únosné, neboť náklady na kalové hospodářství ČOV představují 40 až 50 % celkových investic nezbytných pro případ budování nové ČOV včetně zpracování odpadních produktů ČOV (mezi něž patří kaly rozhodující měrou) (Mucha, 2019).

2.3 Vznik kalu ve standardním technologickém procesu ČOV

Čištění odpadních vod se řídí legislativními požadavky, jež určují kvalitu vypouštěných odpadních vod. Každá ČOV je specifickou stavbou reagující na charakter dané lokality, místní kanalizační systém, množství znečištění v odpadní vodě a jiné aspekty ovlivňující dimenzování ČOV. Technologická linka ČOV je tvořena mechanickým předčištěním, biologickým stupněm čištění a u velkých ČOV také terciárním stupněm čištění, tj. odstraňováním živin, zejména dusíku a fosforu, a následně kalovým hospodářstvím. Úrovně čištění lze také dělit na primární čištění (sedimentaci), sekundární čištění (biologický proces) a terciární čištění.



Obrázek 1 - Schéma standardního technologického procesu ČOV

2.3.1 Hrubé předčištění a mechanické čištění

Hlavním cílem mechanického předčištění je odstranit nerozpuštěné a rozptýlené látky hrubšího charakteru (cca 40 až 70 %), které jsou stokovou sítí přiváděny na ČOV, čímž dochází k ochraně dalších technologických stupňů čištění a zamezí se zvýšené tvorbě kalu v rámci následného čištění a výsledně i u výpustí odpadních vod do vodních toků. Prvním zařízením na ČOV je lapák šterku. Jedná se o rozšířený a prohloubený přítokový žlab, v němž dochází ke snížení rychlosti proudění, čímž se docílí sedimentace hrubých nerozpuštěných částic na dno žlabu. Sediment je ze dna žlabu vytěžen a dopraven do pračky šterku, která dokáže oddělit šterk, tj. částice nad 35 mm, od organického podílu. Organický podíl je vrácen zpět do čistícího procesu. Za lapákem šterku následují hrubé a jemné česle určené pro zachycení plovoucích nečistot, které jsou po odstranění z odpadní vody nazývány „shrabky“. Shrabky mohou být zpracovávány na lisu shrabků, jehož další funkcí může být propírání shrabků. Tímto procesem se snižuje organický podíl ve shrabkách (Kos, 2015).

Lapáky písku jsou obvykle instalovány za česlemi. Toto zařízení umožňuje odstranit nerozpuštěné částice o velikosti 0,2 až 0,25 mm, které se pak dále z lapáku písku těží a propírají se tlakovou vodou v separátoru nebo pračce písku. Za lapákem písku se nachází usazovací nádrže, objekty určené k tzv. primární sedimentaci nerozpuštěných anorganických i organických částic o velikosti menší než 0,2 mm. Se sedimentací současně probíhá i stírání plovoucích nečistot z hladiny usazovací nádrže nebo pak samostatně v lapácích tuků. V rámci tohoto stupně vzniká tzv. primární kal (Kos, 2015).

2.3.1.1 Primární kal

Sediment a plovoucí nečistoty tvoří tzv. primární kal. Sušina tohoto kalu je tvořena nerozpuštěnými organickými (75 %) a anorganickými látkami (25 %). Z procentuálního množství anorganických látek je 5 % tvořeno dusíkem a 1 % fosforem (souhrnně nazýváno nutrienty). Vysoké procento organických látek způsobuje, že

primární kal je vysoce reaktivní a podléhá rychlému zahánivání způsobenému acidogenními procesy. Tato vlastnost způsobuje problémy při jeho zpracování. Primární kal je vedle přebytečného kalu základní surovinou pro výrobu bioplynu na ČOV (Mucha, 2019).

Základní vlastnosti primárního kalu jsou:

- vysoká reaktivita
- anaerobní prostředí
- dobré sedimentační vlastnosti
- septické vlastnosti, tj. vysoký obsah patogenů

2.3.2 Biologické čištění

Odpadní voda zbavená nerozpuštěných látek v primárním stupni čištění je přiváděna do dalšího stupně čištění. Biologické neboli sekundární čištění probíhá většinou v aerobních podmínkách. Odpadní voda obsahuje ještě zbytek nerozpuštěných látek jemnějšího charakteru a zejména rozpuštěné organické látky představující organické znečištění, které se odstraňuje prostřednictvím mikroorganismů. Při jejich činnosti dochází ke vzniku biochemických procesů vedoucích k rozkladu organického znečištění.

Celý proces biologického čištění probíhá v aktivačním systému. V aktivační nádrži se udržuje určitá koncentrace kalu tvořeného mikroorganismy, které pomocí svého metabolismu za aerobních podmínek rozkládají organické látky na oxid uhličitý a vodu. Tímto způsobem získávají energii potřebnou pro svůj růst, což je příčinou zvyšování jejich koncentrace v systému. Mikroorganismy se spojují do větších celků, tzv. vloček, které jsou schopny sedimentovat, přičemž vločky vytváří kal. Aby proces správně fungoval, je nutné pravidelně z aktivačního systému kal odebírat. Tímto způsobem je zajištěna požadovaná koncentrace kalu. Odebíraný kal je nazýván přebytečným (sekundárním) kalem a dále se zpracovává v kalovém hospodářství.

K provozně nejdůležitějším objektům ČOV patří dosazovací nádrže. V nich dochází k separaci vyčištěné odpadní vody od aktivovaného kalu. Další důležitou funkcí dosazovací nádrže je zahušťování odsazeného kalu na požadovanou koncentraci pro jeho další efektivní zpracování. A v případě, že dojde v aktivaci ke zvýšenému průtoku, zajišťuje dosazovací nádrž akumulaci aktivovaného kalu takovým způsobem,

aby nedocházelo k jeho vyplavování ze systému. Požadovaná koncentrace kalu v aktivační nádrži se zajišťuje pomocí recirkulace kalu z dosazovací do aktivační nádrže tzv. vratný kal (Kos, 2015).

2.3.2.1 Sekundární (biologický) kal

Produkce sekundárního kalu se pohybuje kolem 25 až 40 g sušiny za den na EO. Mezi faktory, které ovlivňují produkci tohoto kalu patří (Kos, 2015):

- přítomnost primární sedimentace
- technologická koncepce biologického stupně
- stáří kalu
- teplota vody
- zatížení kalu
- chemické srážení fosforu
- účinnost dosazovací nádrže

2.3.3 Terciální čištění

Chemické složení sekundárního kalu se od primárního liší. Je to dáno tím, že jeho složení je závislé na stáří kalu, na obsahu veškerých organických látek. Sekundární kal je na rozdíl od primárního méně reaktivní a má horší sedimentační vlastnosti.

Po mechanicko-biologickém čištění následuje u některých ČOV terciální čištění. Z hlediska terminologie je pojem terciální čištění chápán jako dočištění odpadních vod za dosazovací nádrží, k němuž se používá např. filtrace, chemické nebo biologické dočišťování. Evropská legislativa vysvětluje pojem terciální čištění ve směrnici rady 91/271/EEC jako „*biologické odbourání nutrientů dusíku a fosforu v aktivačním systému*“. Je proto nutné uvědomit si tento rozdíl a správně ho i používat. Poté, co vyčištěná odpadní voda prošla terciálním čištěním, se vypouští do povrchového odtoku. (91/271/EEC).

2.3.3.1 Chemický kal

Chemický kal vzniká srážecími reakcemi používanými pro snížení obsahu fosforu ve vyčištěné odpadní vodě nebo kalové vodě. Využívá se i pro zlepšení sedimentačních vlastností aktivovaného kalu. Chemický kal je součástí buď primárního nebo sekundárního kalu, záleží na místě, kde se srážecí činidlo aplikuje. Pokud se jedná o terciální stupeň čištění odpadních vod, pak vzniká samostatný chemický kal.

Složení chemického kalu závisí na použité sloučenině, např. může obsahovat směs ortofosforečnanů, železa, hliníku a dalších prvků. Z technologického hlediska však není složení chemického kalu tolik důležité. Vlastnosti chemického kalu jsou důležité pouze u kalu vzniklého odděleným srážením. Doba zrání sraženiny, množství zachyceného organického materiálu a chemické vlastnosti kationtu ovlivňují vlastnosti kalu. Sedimentační schopnost chemického kalu je špatná (Mucha, 2019).

2.3.4 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství představuje samostatný technologický stupeň a je nezanedbatelnou součástí každé ČOV, přičemž obvykle zahrnuje následující základní procesy:

- zahuštění kalu
- stabilizace kalu
- odvodnění kalu
- hygienizace kalu

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, v rámci celého procesu čištění odpadních vod vznikají různé druhy čistírenských kalů.

Z hlediska vzniku lze kaly dělit na:

2.3.4.1 Primární kal

- vzniká z primární sedimentace v usazovacích nádržích
- obsahuje větší množství organických látek než sekundární
- má sklon k rychlému rozkladu

2.3.4.2 Sekundární (biologický) kal

- vzniká ze sekundární sedimentace v dosazovacích nádržích, lze jej dělit na
 - aktivovaný vratný kal (vrací se zpět do oběhu ČOV)
 - aktivovaný přebytečný kal (dále se zpracovává)

2.3.4.3 Surový/směsný kal

- kombinace primárního a sekundárního kalu
- vyznačuje se vysokou reaktivitou

2.3.4.4 Chemický kal

- směs hydroxidů a fosforečnanů železa nebo hliníku

Z hlediska stavu kalu po nakládání s ním lze kaly dělit na:

2.3.4.5 Stabilizovaný kal

Stabilizovaný kal je takový kal, který nezpůsobuje žádné škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže při zacházení s ním. Jedná se tedy o kal, který prošel takovou úpravou, že procentuální množství rozložitelných organických látek v celkovém objemu kalu a biologická aktivita je snížena na takovou hodnotu, že již nepodléhá spontánnímu biologickému rozkladu.

2.3.4.6 Hygienizovaný kal

Hygienizovaný kal prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních organismů byly sníženy na požadovanou hodnotu.

Složení kalu závisí na povaze znečištění odpadních vod a na technologickém způsobu jejich čištění, např. použití kombinace mechanicko-biologického čištění, fyzikálně-chemického čištění nebo dočištění. Kal je tvořen suspenzí pevných a koloidních částic, organických a anorganických látek. Obecné složení kalu je následující (Hartig, 2017):

- netoxické organické látky, mohou dosahovat až 60 % v sušině
- sloučeniny dusíku a fosforu
- těžké kovy - Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As, (koncentrace 1–1 000 mg/l)
- Polychlorované bifenyly (PCB), polyaromatické uhlovodíky (PAU), dioxiny, pesticidy, polyfenoly, mikropolutanty (endokrinní disruptory, zbytky léků, mikroplasty, drogy, biocidy, hormony, látky narušující činnost žláz s vnitřní sekrecí atd.)
- mikroorganismy – termotolerantní koliformní bakterie, viry, enterokoky
- organismy – houby (plísňe, kvasinky) a jejich spory, živočichové (roztoci, červi), vajíčka helmintů aj.
- anorganické sloučeniny křemíku, hliníku, železa, vápníku a hořčíku
- voda

2.3.5 Zahuštění kalu

Cílem tohoto procesu je snížení objemu kalu, což vede k výraznému snížení nákladů na následné zpracování. Z kalové suspenze je odstraněna část vody, čímž se zvýší koncentrace obsahu tuhých částic. Optimální obsah sušiny je 5 až 6 %. Na zahuštění kalu se nejčastěji používají gravitační a strojní zahuštění.

2.3.5.1 Gravitační zahušťování

Tento způsob zahušťování kalu se uplatňuje u ČOV s primární sedimentací, kdy se pomocí gravitace kal zahušťuje v kalových prohlubních usazovacích nádržích. Optimální hodnoty zahuštění u primárního kalu se pohybují v rozmezí 3,5 až 4,5 hmotnostních procent (Hartig, 2017).

Zahušťování sekundárního kalu závisí na zvoleném způsobu stabilizace. Při anaerobní stabilizaci kalu je nutné nejdříve kal předzahustit v zahušťovacích jímkách, v nichž se zároveň provádí odběr odsazené vody.

Zahušťování kalu odstředováním se často využívá u velkých ČOV. Používá se k zahuštění zejména přebytečného a primárního kalu bez přidání organických flokulantů. Výhodou je omezení úniku zápachu do ovzduší, ale nevýhodou jsou vyšší náklady na údržbu a energie. Stupeň zahuštění závisí na vlastnostech zahuštěného kalu. Dosažená sušina u přebytečného kalu je 3 až 6 %. Pomocí flokulantů lze zvýšit účinnost zahuštění v odstředivce u sekundárního kalu na 4 až 6,5 % (Hartig, 2017).

2.3.5.2 Strojní zahušťování

Sítópásové zahušťovače se používají k zahušťování kalu společně s organickým flokulantem. Jeho množství závisí na charakteru kalu, dávka flokulantu se pohybuje v rozmezí 3 až 6 g/kg sušiny. Princip spočívá ve filtraci kalu s přidavkem flokulantu na sítích. Filtrát protéká sítím a odvádí se do čistícího procesu, zahuštěný kal se na konci zařízení odebírá. Aby nedocházelo k ucpávání síta je nutné jej ostříkovat vodou o vysokém tlaku. Tímto způsobem se dosahuje zahuštění kalu v rozmezí od 5 do 6 %. Existují různá provedení sítí, např. horizontální nebo rotační sítové zahušťovače. Jejich volba závisí na požadované sušině a na jejich výkonu (Hartig, 2017).

2.3.6 Stabilizace kalu

Stabilizace kalu upravuje konečné vlastnosti kalu takovým způsobem, že nedochází k jeho samovolnému rozkladu, nezapáchá a nepoškozuje životní prostředí. Princip stabilizace spočívá ve snížení podílu snadno organicky rozložitelných složek kalu a také dochází ke snížení obsahu patogenních mikroorganismů. K tomu se využívají různé biochemické postupy. Doba potřebná ke stabilizaci kalu závisí na použité metodě.

Existují dvě základní metody, pomocí nichž lze dosáhnout stabilizace kalu:

- Aerobní
- Anaerobní

Tyto výše uvedené způsoby stabilizace mohou být zároveň i metody hygienizace kalu. V praxi by se mělo při určení stabilizace přihlížet také k tomu, jak se bude se stabilizovaným kalem dále nakládat.

2.3.6.1 Aerobní stabilizace

Aerobní stabilizace využívá biochemických reakcí. Přebytný kal je shromažďován odděleně v aeračních nádržích po dobu nejméně 35 dní, přičemž koncentrace kyslíku dosahuje hodnot 0,5 – 1,5 mg/l. Pro dosažení těchto podmínek se používá přerušovaná středněbublinová aerace. Výkon dmychadel je navržen tak, že zároveň zajišťuje promíchávání nádrže. Tento způsob stabilizace je vhodný pro ČOV s 50 – 25 000 EO.

2.3.6.2 Anaerobní stabilizace

Využívá biochemických procesů zajišťujících rozklad organické hmoty v prostředí, kde není přítomen kyslík. V takovýchto podmínkách vzniká žádoucí produkt – bioplyn, který se dále využívá pro výrobu elektřiny. Technologické parametry procesu anaerobní stabilizace a režim jeho provozu zásadně ovlivňuje typ kalu (směsný surový, nebo přebytný aktivovaný kal). K anaerobní stabilizaci se řadí následující metody:

Psychrofilní metoda využívá biochemických procesů, které probíhají při běžné teplotě v okolí reaktoru (6 až 20 °C). Za těchto podmínek probíhá rozklad biomasy a vzniká metan. Doba anaerobní stabilizace je 60 až 90 dní. Dříve se tato stabilizace často využívala u malých ČOV. Pro stabilizaci a uskladnění se používaly tzv. šterbinové nádrže, z kterých se bioplyn nejímal, ale volně unikal do atmosféry, což již v dnešní době není možné.

Mezofilní patří k nejrozšířenějším a technologicky nejpropracovanějším metodám stabilizace kalu. Provozní teplota je 31 až 42 °C. Látkové zatížení anaerobního reaktoru je 0,5 až 1,5 kg na m³ za den organické sušiny. Doba zdržení v reaktoru je 20 až 30 dní. Tento druh stabilizace patří mezi složité procesy, probíhá v několika stupních a je ovlivněn provozní teplotou, složením surového kalu a provozními podmínkami.

Termofilní stabilizace probíhá za teplot 45 až 60 °C, přičemž při ní může docházet k vyššímu stupni rozkladu organické hmoty. Tato metoda klade vyšší nároky na energii pro ohřev reaktoru. Častou praxí na ČOV je, že termofilní reaktor se používá jako první stupeň stabilizace, druhý reaktor pracuje v mezofilním režimu. Tímto způsobem se odstraní některé nevhodné vlastnosti kalové vody a stabilizovaného kalu, které vznikají při použití termofilní anaerobní stabilizace. Hlavním přínosem termofilní anaerobní stabilizace je zvýšení rychlosti rozkladu organického znečištění a tvorby bioplynu.

Chemická stabilizace v krátké době zabraňuje samovolnému rozkladu kalu. Nejznámější látka používaná se pro chemickou stabilizaci je pálené vápno (CaO). Při této metodě však znovu dochází k obnově rozkladných procesů, a to z důvodu poklesu pH a působením vzdušného oxidu uhličitého. Další způsob chemické stabilizace je pomocí kyseliny sírové za zvýšeného tlaku a teploty 160 °C, přičemž dochází k rozkladu kalu až na minerální složky. Mezi další metody patří totální rozklad kalu čistým kyslíkem při teplotách 150 °C a tlaku 1,5 MPa, přičemž produkty tohoto rozkladu jsou uhličitany, volný oxid uhličitý a voda.

2.3.7 Hygienizace kalu

Hygienizace je proces, při kterém dochází k usmrcování škodlivých organismů, a to následujícími metodami:

- chemické – hygienizace silnými oxidačními činidly (H_2O_2 , O_3)
- fyzikální – hygienizace teplotou, ultrazvukem, nebo radiací

Proces hygienizace může být prováděn současně se stabilizací, tedy např. při aerobní nebo anaerobní termofilní stabilizaci. Hygienizace může být prováděna jako předúprava před stabilizací, a to především pomocí ultrazvuku, radiace nebo pasterizace (fyzikální metody).

Hygienizaci kalu zabezpečí i tzv. „hydrolýza kalu“. Jedná se o metodu zvyšování jeho rozkladu a současně hygienizace kalu, která může být provedena jako termická hydrolýza, ta je v současnosti na vzestupu, anebo také jako termická hydrolýza v kombinaci s alkalickou hydrolýzou.

2.3.8 Odvodnění kalu

Technologický proces odvodnění je podobný procesu zahušťování kalu, avšak s tím rozdílem, že zahuštěný kal má tekutý charakter a hmotnostní obsah sušiny se pohybuje od 4 do 6 %. Cílem odvodnění kalu je co nejvíce zvýšit koncentraci tuhých látek v kalu, aby odvodněný kal již neměl tekutý charakter. Možné způsoby odvodnění kalu lze rozdělit na přirozené, ty probíhají na kalových polích nebo lagunách, a mechanické (strojní) probíhající na různých typech zařízení, např. pásové lisy, kalolisy (komorové filtry), dekantační odstředivky, vakuové a tlakové filtry.

2.3.8.1 Kalová pole a laguny (přirozený způsob odvodňování)

Jsou to plochy, kde náпустná výška je 0,7 až 1,5 m. Odvodňovací cyklus trvá obvykle 1 rok, urychlí se odváděním kalové vody z povrchu. Kal se poté těží nakladačem nebo bagrem.

2.3.8.2 Pásové lisy (mechanické odvodnění)

Kal je odvodňován mezi dvěma nekonečnými filtračními pásy. Nejprve se kal smíchá s flokulantem a směs se dostává na povrch filtračního pásu, kde se odděluje velká část vody. Poté je kal vtěsnán do klínového prostoru mezi dvěma pásy, kde se stlačováním vytváří kalový koláč, který je vtlačován mezi kladky a je z něj vytlačována další voda. Na výslednou sušinu až 40 % stačí přírůstek 100 až 150 g flokulantu/m³.

2.3.8.3 Kalolisy (mechanické odvodnění)

Jsou to filtrační zařízení pracující na tlakovém principu. Kal je po smíchání s flokulantem čerpán do komor lisu, kde je voda pod tlakem 1 až 2 MPa filtrována přes filtrační plachetku v rámu. Po několikahodinové filtraci je z lisu odstraněn kalový koláč. Nevýhodou kalolisy je přerušovaný provoz, náročná obsluha a vysoké investiční náklady.

2.3.8.4 Vakuová filtrace (mechanické odvodnění)

Nejběžnějším typem je bubnový filtr, přičemž se jedná o buben, jehož plášť je tvořen z děrovaného plechu. Buben je umístěn ve žlabu s kalem a na povrchu má jemnou filtrační tkaninu, na které se zachytí kal, uvnitř bubnu je vakuum, do kterého se odsává voda. Na konci procesu je z bubnu odstraněn kalový koláč.

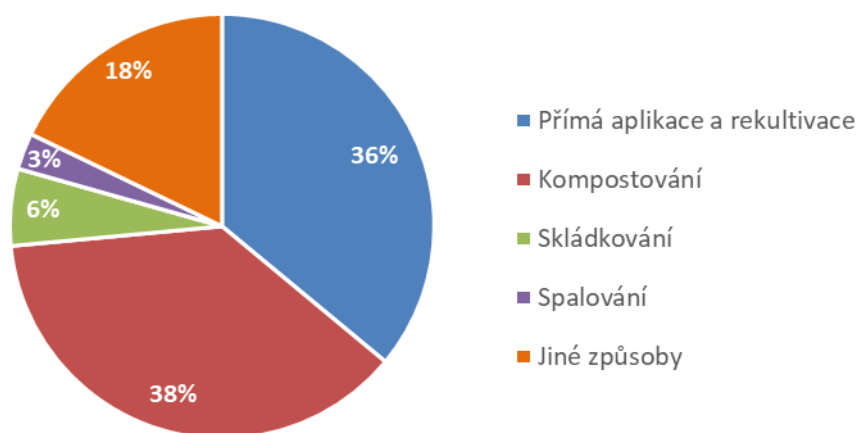
2.3.8.5 Dekantační odstředivky (mechanické odvodnění)

Používají se k zahuštění kalu i k odvodnění a jsou jediným zařízením, kde může dojít k odvodnění i bez flokulantu. Kal se dávkuje do tělesa odstředivky v hlavní ose a usazuje se na vnitřních stěnách rotačního bubnu, přičemž zahuštěný kal je pak šnekem uvnitř bubnu vynášen ven.

2.3.9 Způsoby zpracování kalu

Zacházení s kalem je dáno souborem právních předpisů, přičemž v současné době jsou kaly zpracovávány následujícími způsoby:

- skládkování kalu – v poslední době v ČR na ústupu, je využíváno i přesto, že je legislativně zakázáno (MŽP, 2015).
- termické zpracování kalů (např. spalování, spoluspalování, zplyňování, pyrolýza kalu)
- zakomponování kalu do stavebních materiálů
- kompostování
- aplikace na zemědělskou půdu



Obrázek 2 - Současné způsoby využívání kalů a jejich zastoupení v ČR

2.3.9.1 Skládkování kalu

Pro skládkování kalu je podmínkou dostatečné odvodnění min. 20 % a hygienizace, která je většinou prováděna vápnem. Dříve byl prosazován názor o vhodnosti skládkování spolu s komunálním odpadem, avšak toto již není povoleno (MŽP, 2015).

2.3.9.2 Termické zpracování kalu

Termické zpracování umožňuje přeměnu množství i vlastností kalu pro jeho další využití, buď jako materiál nebo jako zdroj energie. Anaerobní zpracování kalů z čistíren odpadních vod vytváří kalový plyn (bioplyn) bohatý na metan, který je obvykle využíván v kogeneračních zařízeních k pokrytí spotřeby tepla při ohřevu metanizačních nádrží a výrobě elektrické energie. Anaerobní stabilizace kalů je soubor navazujících biologických procesů, které však mají omezení z hlediska účinnosti, protože nezvládají dostatečně extrahovat energii z čistírenských kalů. Vyhnilý 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. Z praxe se jeví, že existují různé kombinace anaerobního mezofilního nebo termofilního rozkladu s dalšími procesy, které umožní dosáhnout vyšší energetické účinnosti a současně zajistit materiálovou transformaci čistírenských kalů do formy dále využitelné jako zdroj.

Ve vyhnílé kalu komunálních odpadních vod je ještě řádově stejné množství energie jako před procesem vyhnívání a získávání bioplynu. Tuto energii lze účelně využívat pro další procesy v čistírně nebo i pro jiné potřeby, ať už je to spoluspalování s jinými materiály nebo monospalování či zplyňování nebo pyrolýza kalu. Z procesu termického zpracování zůstává dále využitelný mnohonásobně objemově zmenšený materiál, ať už je to popel při spalování nebo biochar při pyrolýze.

2.3.9.3 Využití kalu ve stavebních materiálech

Pro zakomponování kalu do stavebních materiálů je důležité, aby se přidávkem kalů ke stavebním materiálům nezměnily jeho vlastnosti. Proto se jedná většinou o malé přídavky. Kaly se někdy pálí spolu s cementářskou směsí, kdy se organika rozloží a zbývající anorganický zbytek neovlivní vlastnosti cementářské hmoty.

2.3.9.4 Kompostování čistírenských kalů

„Kompostování je přirozená biochemická přeměna, kdy za aerobních podmínek dochází k rozkladu organických látek a jejich přeměně na látky humusové. Výsledkem kompostování je především převedení nestabilních organických surovin na stabilní produkt, což doprovází snížení objemu a hmotnosti, snížení obsahu vody a potlačení nežádoucích druhů mikroorganismů“ (Plíva a kol., 2005).

2.3.9.5 Aplikace na zemědělskou půdu

Stanovení parametrů a možnosti použití čistírenského kalu ke hnojení zemědělských pozemků je dáno vyhláškou č. 437/2016 Sb., o použití čistírenských kalů v zemědělství a zákonem o odpadech 185/2001 Sb. *Při použití kalů z ČOV na zemědělskou půdu je zákonem o odpadech a prováděcích předpisů stanovena povinnost aplikovat pouze upravené kaly, a to s ohledem na nutriční potřeby rostlin a v souladu s tzv. programem použití kalů stanoveným původcem kalů. Aplikací kalů na zemědělskou půdu nesmí být ovlivněna kvalita zemědělské půdy a kvalita povrchových a podzemních vod. Je zcela jednoznačné, že uvedená vyhláška pro řadu subjektů znemožnila přímé využití čistírenských kalů na zemědělské půdě* (SOVAK, 2015).

Z důvodu nutnosti plnění všech zmíněných požadavků dochází k útlumu této metody, i když není zakázána. Nabízí se možnost transformace kalu na biochar, který lze již následně využít jako hnojivo.

2.4 Metody sušení kalu

„Sušení čistírenského kalu pro materiálovou transformaci se jeví z pohledu energetického využití nebo požadavků jiných technologií jako nevyhnutelný krok jejich „předúpravy“. Procesy nízko-teplotní pyrolýzy (torefakce), spalování, zplyňování nebo pyrolýzy je vhodné kombinovat se sušením kalů u velkých a středně velkých čistíren odpadních vod (ČOV). Výsledné produkty by mohly být energeticky využity přímo na dané ČOV např. pro předehřev vyhnívacích nádrží, případně se spolupodílet na sušení kalu. Sušící proces má vliv na následné energetické využití sušeného kalu nejen s ohledem to, že je požadován určitý podíl sušiny (často je navazujícími technologiemi požadován obsah 90% sušiny v čistírenském kalu), aby následné procesy nebyly energeticky ztrátové. Parametry sušícího procesu hrají podstatnou roli, asi nejvýznamnější je sušící teplota. Příliš vysoká sušící teplota totiž může sušený kal zbavit více těkavých látek než nízkoteplotní sušení. Tyto těkavé látky jsou cennými složkami především pro následnou pyrolýzu a jsou zdrojem pro tvorbu pyrolýzního oleje. Nízkoteplotní sušení daleko méně vytváří výbušné prostředí, a jelikož často návrh sušící teploty odpovídá možnostem stávajícího zdroje tepla, přichází na čistírnách odpadních vod v úvahu především teplo z chladicího okruhu kogenerační jednotky. Mimo jiné z tohoto důvodu značný podíl pásových sušáren kalu suší teplotou cca 75 – 90 °C“ (Ševčík, 2016).

Existuje poměrně velká řada různých sušících zařízení, pouze několik z nich je ale běžně užíváno pro sušení čistírenských kalů. Liší se především způsobem, jakým se dodává energie potřebná k sušení a způsobem transportu materiálu sušárnou (Hartig K., 2017). Níže jsou popsány různé typy používaných sušáren čistírenského kalu.

2.4.1 Kontaktní (kondukční) sušárny

„Teplonosným médiem u kontaktní sušárny je obvykle horký olej, nebo pára. Médium je přiváděno ke kalu nepřímo prostřednictvím kontaktních ploch. Principem kontaktního sušení je tedy prostý přestup tepelné energie, jako v tepelném výměníku. Sušárny využívající principu kontaktního sušení jsou především: diskové, tenkovrstvé. V případě využití dodatečných zdrojů tepelné energie částečně i solární, jež jsou popsány v samostatné kapitole“ (Raček, 2018).

2.4.1.1 Disková sušárna

„Nespornou konstrukční výhodou diskových sušáren je jejich prostorová nenáročnost. Teplo do vysoušeného materiálu přestupuje z rotujících disků, které díky rotaci posouvají kal a zároveň jej provzdušňují. Jako prevence proti zapékání kalových nánosů na povrchu disků má sloužit systém lopatek a stěrek. Podobně jako i některé jiné jsou tyto sušárny ohroženy účinky adhezní (lepivé) fáze. Z toho důvodu je přimícháván již usušený kal k odvodněnému na vstupu do zařízení“ (Hartig, 2017).

2.4.1.2 Lopatková sušárna

„Tyto sušárny jsou složeny z těla v horizontální poloze, ve kterém rotují v opačných směrech dva hřídele. Každý hřídel nese speciální klínovité lopatky“ (Hartig, 2017).

2.4.1.3 Tenkovrstvá sušárna

„Principem tenkovrstvého způsobu sušení je roztírání dávek vstupujícího kalu po vnitřním povrchu pláště vyhřívaného válce sušičky. Kal je roztírán speciálními lopatkami, které „namáznou“ na válec tenkou vrstvou kalu, do které z něho poté přestupuje tepelná energie. Bezproblémový provoz těchto typů sušáren je ohrožen zvýšeným opotřebením lopatek“ (Raček, 2018).

2.4.2 Konvekční sušárny

„Mezi konvekční sušící systémy patří snad nejvíce sušáren použitelných pro sušení čistírenských kalů. Principem konvekčního sušení je přímé vystavení čistírenského kalu proudu horkého vzduchu. V případě užití pro čistírenské účely jsou

nejpoužívanějšími typy těchto sušáren: fluidní, rotační bubnová a pásová sušárna. Dalšími používanými pak jsou sušárny pneumatické, skříňové, tunelové, turbínové, rozprašovací apod., které však v oboru kalového hospodářství ČOV rozšířeny nejsou“ (Ševčík, 2012).

2.4.2.1 Fluidní sušárna

„Nízkoteplotní fluidní sušárna pracuje s teplotou 85 °C, kde se voda odpařuje v podtlaku, což brání úniku škodlivin z cirkulačního plynu. Tato teplota je dostatečně vzdálená od rozsahu teplot, které jsou při sušení nebezpečné z důvodu možného samovznícení, tj. 130 až 150 °C. Taková procesní teplota pak nevyžaduje mnoho chladicí energie pro ochlazení kalu a kondenzaci brýdových pár. Fluidní sušárna je plněna odvodněným čistírenským kalem (se sušinou obvykle 30 %) a pomocí této sušárny je její obsah navýšen až na 92 %“ (Hartig, 2017).

2.4.2.2 Bubnová sušárna

„Rotační bubnová sušárna je kontinuálně pracující zařízení, jehož hlavní část – otáčející se válec je umístěn v mírném sklonu směrem k výhozu. Obvyklý průměr válce je 2 až 3 metry. Sušené médium postupuje bubnem a přesypává se, přitom přichází do kontaktu se sušícím vzduchem a na konci bubnu vypadává z výsypky. Sušící plyn proudí protiproudě a je tvořen spaliny vzniklými ve spalovací komoře před vstupem do sušárny. Vystupující vlhké spaliny jsou následně zbaveny stržených jemných částic, například v cyklónu nebo rukávovém filtru“ (Hartig, 2017).

2.4.2.3 Pásová sušárna

„Pásová sušárna je vyhřívána například pomocí energie z kogeneračních jednotek, nebo z jiného lokálně dostupného a ekonomicky přijatelného zdroje. Pásové sušárny jsou často označovány jako nízkoteplotní. Provozem správně navrhnuté nízkoteplotní sušárny nevzniká výbušné prostředí, což je jednou z jejich hlavních výhod. Pásová sušárna na výstupu může dávat dezinfikovaný kal granulovité struktury ve formě nudlí, díky čemuž je další nakládání s vysušeným produktem snadné, bezpečné a v souladu s evropskými a mezinárodními standardy. Pásová sušárna využívá sušení prouděním vzduchu skrz kal rozmístěný po prodyšném sušícím pásu. Odvodněný kal je ve formě kalových nudlí s velkým kontaktním povrchem rozprostírán po pásu sušárny. V případě kvalitně navržené pásové sušárny nedochází k tvorbě prachu a tím i nebezpečného výbušného prostředí. V řadě takových zařízení kal přepadá z jednoho pásu na druhý,

čímž se zároveň obrací. Kal je v sušící zóně vysušen na přesně určený obsah sušiny obvykle dle požadavku v rozmezí 60–95 % (Raček, 2018).

Vzduch často směřován s recirkulačním okruhem ve výměníku a zahříván na potřebnou sušící teplotu (nejčastěji 55–145 °C) a poté nuceně protahován přes pásy s kalem pomocí sacích ventilátorů, které je jsou často umístěny nad pásem. Vzduch je použitím zvlhčen a ochlazen a na závěr je nejlépe ještě před vypuštěním a před dvoustupňovým systémem čištění ochlazen v tepelném výměníku. Ten z něj odebere zbývající tepelnou energii a zároveň v něm dojde ke kondenzaci a odvodu vlhkosti ze systému (Raček, 2018).

Nepostradatelnou součástí pásové sušárny je pračka vypouštěného vzduchu. Použitý vzduch je prán dvoustupňovým systémem (kyselinový a alkalický / alkalicko-oxidační s filtrem). Alternativně může být zapáchající použitý vzduch použit pro hoření v peci pro spalování vysušeného kalu, čímž je omezen provoz pračky vzduchu. Každá sušárna má tedy svůj vlastní specifický soubor návrhových parametrů. Lze i tak říci, že např. doba zdržení kalu v zařízení se pohybuje řádově v hodinách“ (Raček, 2018).

2.4.3 Solární sušárny

„Solární sušárny využívají k sušení kalu sluneční energii. Byly vyvinuty z kalových polí. Odvodněný kal je dopraven do skleníku, rozprostřen po jeho dně a zdrojem tepla je sluneční energie. Rychlost sušení však závisí na intenzitě slunečního záření. Kolísání sušící kapacity je minimalizováno pomocí řízené ventilace a systému obracení kalu na dně skleníku. Intenzita ventilace je řízena na základě kontinuálního měření teploty a vlhkosti vzduchu venku a uvnitř skleníku. V zimních měsících může být provoz solární sušárny intenzifikován pomocí podlahového topení o tepelném výkonu 150–300 W/m². Hlavním zdrojem tepelné energie však zůstává sluneční záření. Provoz solární sušárny je ekonomický, ale výkon sušárny je přímo úměrný úhrnu slunečního záření. Proto plocha solární sušárny nesmí být zastíněna. Vzhledem k požadované ploše sušárny je nezbytné při plánovaném použití solární sušárny počítat s větším záborem plochy na sušárnu v porovnání s ostatními metodami sušení kalů“ (Hartig, 2017).

3 Vývoj a očekávané změny legislativy pro likvidaci kalů

3.1 Kal a jeho využití v rámci oběhového hospodářství

Surový čistírenský kal obsahuje obvykle okolo 70 % organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních mikroorganismů je dle zákona o odpadech klasifikován jako nebezpečný odpad se všemi důsledky z toho plynoucími. Anaerobní stabilizací se množství organických látek snižuje na cca 50 % v sušině (dobře fungující mezofilní anaerobní stabilizace kalů, také jako vyhnívání) a rovněž se významně snižuje obsah patogenních mikroorganismů. Množství produkovaných čistírenských kalů je ve srovnání s ostatními odpady relativně malé. Avšak s ohledem na zdravotní rizika je čistírenský kal jediný přísně usměrňovaný odpad v Evropě se specifickými požadavky na kvalitu, monitoring, pořizování záznamů a hlášení. V současné době jsou nejrozšířenější tři způsoby konečného zpracování čistírenských kalů:

- a) využití v zemědělství a na rekultivace
- b) uložení na skládku
- c) termické zpracování (různé způsoby spalování, pyrolýza)

Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Ukládání kalů na skládky (a to i ve formě technických vrstev či tzv. rekultivací skládek), které je pro některé kaly v Evropě hlavním výstupem, je obecně považováno za neudržitelné. A tak zbývající možnosti jsou recyklace a destrukční metody. Možnosti recyklace zahrnují použití na půdu jako organické hnojivo nebo pro vylepšení kvality zemědělské půdy a pro rekultivace. Ale i tyto metody již některé státy považují za neudržitelné s ohledem na stále rostoucí výskyt mikropolutantů a velmi závažná zjištění o jejich vlivu na živočichy i člověka. Závažná jsou rovněž zjištění, že v hospodaření s čistírenskými kaly na zemědělské půdě dosází k zásadním a systematickým porušením schválených pravidel, a tak k ohrožení zdraví živočichů, kvality produkce a následně zdraví člověka. Je evidentní, že prostor pro uplatnění kalů v zemědělství v současné formě se v blízkém výhledu významně zúží. Zajímavý je často výrazně odlišný přístup k hodnocení rizik spojených se zemědělským využitím kalů v různých částech světa. Na jedné straně některé evropské země dovádí do extrému princip předběžné opatrnosti a již zakazují jakoukoli aplikaci kalů v zemědělství, na druhé straně se plně využívá jistých

nedokonalostí směrnice EU o hnojivech, lokálních směrnic a nedostatků supervizních a kontrolních systémů (MŽP, 2015).

V roce 2014 přijala EU strategickou koncepci, která má za cíl přejít na tzv. Circular Economy (oběhové hospodářství). Celková strategie byla schválena do konce roku 2015. Koncepční schéma oběhového hospodářství je znázorněno na obr. 3. Koncepční schéma znázorňuje zjednodušeně hlavní fáze modelu oběhového hospodářství, přičemž každá z nich představuje příležitosti v oblasti snižování nákladů a závislosti na přírodních zdrojích, dále v oblasti stimulace růstu a tvorby pracovních míst, jakož i omezení odpadu a emisí poškozujících životní prostředí. Tyto fáze jsou vzájemně propojeny, jelikož materiály lze použít kaskádovitě.

Tato strategie reaguje na skutečnost, že poptávka po omezených a někdy velmi vzácných zdrojích (např. fosfor) bude nadále stoupat, přičemž tlak na zdroje způsobuje zhoršování životního prostředí a jeho větší zranitelnost. Záměrem je využít příležitosti v oblasti snižování nákladů a závislosti na přírodních zdrojích, dále v oblasti stimulace růstu a tvorby pracovních míst jakož i omezení odpadů a emisí poškozujících životní prostředí. Cílem je minimalizovat objem materiálů použitelných jako zdroj, které hospodářský oběh opouštějí, a zajistit tak optimální fungování celého systému.



Obrázek 3 – Schéma oběhového hospodářství (ČEZ, 2018)

Většina opatření se dotýká i oblasti čistírenských kalů, neboť mohou být z důvodu nízké ceny (respektive poplatku za jejich odběr) prioritně znovu využity jako netradiční suroviny pro biopaliva (obnovitelná pohonná paliva) a zdroje obnovitelných

chemikálií (strukturovaný uhlík, fosfor, dusík). Mimo to sekvestrací (vázáním) uhlíku ve vhodné formě na půdu lze významně snižovat uhlíkovou stopu a emise skleníkových plynů. Např. pro aplikaci biocharu v zemědělství byla v poslední době zpracována celá řada cost-benefit analýz a jednoznačně se doporučuje sledovat tuto cestu. Lze konstatovat, že logicky postupně vzniká trh s touto komoditou (Hartig, 2018).

Při vyhodnocení záměrů lze konstatovat, že většina opatření se dotýká i oblasti čistírenských kalů. Co se evidentně dotýká oblasti čistírenských kalů:

- Komise bude analyzovat případy významných selhání trhu a správy věcí veřejných (zmiňuje se i oblast netransparentního nakládání s čistírenskými kaly v řadě zemí)
- Komise bude začleňovat priority oběhového hospodářství mezi oblasti financované z EU a motivovat členské státy k tomu, aby dostupné finanční prostředky EU využívaly v programech a projektech zaměřených na oběhové hospodářství, zejména prostřednictvím evropských strukturálních a investičních fondů
- Skládkování veškerého recyklovatelného odpadu se má zcela eliminovat do roku 2025
- Komise se zasadí do roku 2025 o zákaz skládkování recyklovatelných plastů, kovů, skla, papíru, lepenky a biologicky rozložitelného odpadu, přičemž by se členské státy měly snažit skládky do roku 2030 prakticky odstranit (pro čistírenské kaly zmizí možnost uplatnění na rekultivace skládek)
- Skládkování nebo samostatné spalování odpadu by nemělo být podporováno (tedy „dotační stop“ pro spalování, nicméně tzv. monospalování kalů, jako cesta k získávání fosforu je doporučenou cestou v Německu a Rakousku a na to jsou nastaveny již od počátku roku 2018 platné zákony)
- Komise se zasadí o zpřísnění všech norem tak, aby se zabránilo poškozování životního prostředí a minimalizoval se tímto způsobem zbytkový odpad (lze očekávat limity pro další kontaminanty v kalech v poslední době viz strategie pro mikroplasty a léčiva)
- Komise chce zavést každoroční podávání zpráv prostřednictvím jediného kontaktního místa pro všechny údaje o odpadech a zajistit, aby byly statistiky týkající se odpadů v souladu s požadavky právních předpisů EU o odpadech a

aby byly vnitrostátní metodiky srovnávány se statistickými normami (odstranit současný chaos v bilancích odpadů)

- Komise zvažuje vytvořit politický rámec týkající se fosforu v zájmu zvýšení jeho recyklace, na podporu inovací recyklace P, zlepšení tržních podmínek a začlenění jeho udržitelného využívání, a to formou nových právních předpisů EU týkajících se hnojiv, potravin, vody a odpadu (na fosfor v čistírenských kalích se zaměřuje nyní celá řada výzkumných projektů EU). Proč fosfor? *„Těžitelné zásoby fosforu dojdou okolo roku 2050, ale nevyváženost mezi zdroji a potřebou nastává již okolo roku 2025. Nevyváženost zdrojů a potřeby bude mít přímý dopad na cenu fosforu a tím i ekonomickou přijatelnost získávání fosforu z vody a kalů. V Německu lze již v současnosti sledovat přípravy na tuto dobu, protože popel ze zplyňování kalů je již separátně skládkován s myšlenkou budoucího vytěžení skládky“* (HARTIG K., 2018).

3.2 Předpokládaný další vývoj

Je evidentní, že jako členský stát EU budeme postupně následovat schválené koncepční záměry. Je prokázán negativní vliv endokrinních disruptorů (hormonálně aktivní látky) na lidské zdraví. Je tedy potřeba omezit jejich užívání a jejich šíření do životního prostředí. Jednou z možností je znovu uvážit i např. pro a proti využívání čistírenských kalů v potravinovém řetězci, kde se nacházejí v koncentrované formě a v široké škále. Jinou cestou je likvidace těchto látek při zpracování kalů, resp. transformace kalů do takového stavu, který by umožnil jejich bezpečné využití. Okolo čistírenských kalů budou rozvíjeny snahy transformovat fosfor a uhlík do takové podoby, kdy mohou přispívat ke zlepšení kvality půd. Mimochodem fosfor aplikovaný na půdu se uvolňuje postupně a je rovněž prokázáno, že dochází ke zvýšenému zadržování vody v půdě! Jednou z možností chytré transformace fosforu a uhlíku pro agrochemické účely je použití technologií termochemického zpracování, které se ke zpracování čistírenských kalů doposud používaly velmi omezeně. Aktuálně probíhá intenzivní výzkum a jsou ověřovány první provozní aplikace v rámci filosofie cirkulační ekonomiky (MŽP, 2015).

EUREAU ve svém pozičním dokumentu v roce 2012 vyjádřila názor, že v rámci strategie EU o odpadech a rámcové směrnice o odpadech se sice diskutuje princip "End-of-waste", ale na čistírenský kal, pokud splní kvalitativní kritéria, musí být

pohlíženo jako na užitečné hnojivo. Nyní se však zdá, že řada států preferuje již princip předběžné opatrnosti než posuzování podle konečné kvality výrobku (hnojiva, kompostu) a zakazuje problematické vstupní materiály jako kal.

V českém prostředí sice stále ještě existují možnosti řešit odpady jinak než moderními technologiemi, více méně mimo kontrolu. Umožňují to také instituty jako je technologické zabezpečení skládek, využití odpadu na rekultivaci skládek, využití odpadu na povrchu terénu. Lze však očekávat, že tyto cesty budou i v blízké budoucnosti uzavřeny.

Původní idea promítnutá do vyhlášky č. 382/2001 Sb., vycházela z předávání kalů od provozovatele ČOV přímo zemědělcům a postup podle schváleného programu použití kalů z ČOV aplikování na zemědělskou půdu. Základem je kontrola kvality (odpovídající kritériím stanoveným ve vyhlášce) a aplikace takovým způsobem, aby nedošlo k nadměrnému zatížení půdy. Dnes je realitou předávání kalů tzv. oprávněným osobám k nakládání s odpady (odpadové společnosti) obvykle provozujícím tzv. mobilní zařízení k nakládání s odpady, ale i skládky. Cesta a kvalita kalů se stává díky dalšímu „zpracování“ netransparentní, dochází k mísení kalů, předávání jiným subjektům, velkoobjemovému skladování před aplikací na půdu či skládku. Neřešen je problém sezónní aplikace na půdu ve vztahu ke skladovací kapacitě. Druhá cesta kalů na půdu vede přes jejich zpracování do kompostu. Udržení vhodných materiálových vstupů je denní provozní rébus kompostáren. I zde je cesta, jak obejít legislativu týkající se aplikace kalů na zemědělský půdní fond (Haloun, 2019).

Řešení problematiky čistírenských kalů je a bude úzce spojeno s přístupem ke zpracování odpadů v ČR obecně. Aplikace na půdu a skládkování kalů (odpadů) je stále nejlevnější způsob zneškodnění kalů z ČOV. Jedná se o výsledek aktuálních ekonomických a legislativních podmínek, přitom rezignujeme na řešení rizik vyplývajících ze složení kalů (endokrinní disruptory), ale i na možnosti materiálového a energetického využití. Má-li být nastartován trh s moderními technologiemi využití kalů (odpadů), musí být provedena ekonomická a legislativní opatření jako je zvýšení poplatků na skládkách, zabránění přímé aplikaci na půdu ve formě (díky škodlivým látkám), která poškozuje lidské zdraví a životní prostředí, umožnění využití produktů monospalování a termochemického zpracování čistírenských kalů.

Nastává souboj tradičních cest odpadů s novými, kdy odpady již nejsou vnímány jako materiál určený ke stabilizaci, ale k materiálové transformaci. Je vysoce pravděpodobné, že jsme na počátku éry revoluce zdrojů. Klíčovým opatřením má být celá řada již připravených opatření v oblasti biopaliv (standardizace meziproductů a produktů jako jsou biochar, bio-olej, syngas) a revize EU směrnice o hnojivech (Fertiliser Regulation (Reg. (EC) No. 2003/2003)). Novela směrnice o hnojivech by po létech snah měla umožnit použít mimo minerální zdroje fosforu (P) také kompost a biochar jako organická P hnojiva a aditiva pro zlepšení kvality půdy. Nové produkty materiálové transformace odpadů (čistírenských kalů) budou moci nést označení CE, pokud budou splňovat kritéria pro hnojiva vzniklá z odpadních zdrojů, budou splňovat základní kritéria bezpečnosti, kvality a označování. Revize je součástí balíčků směrnic EU souvisejících se směrnicí k Circular Economy, očekává postupné přijímání novel již platných směrnic či vydání nových. Aktuálně je ve finálním schvalovacím procesu celý set novel směrnic, z nichž pro kaly bude významná právě směrnice o hnojivech, které již prochází procesem „trialogue“ (znění je schváleno, určuje se politický rámec směrnice). Nicméně vydání proběhne v nejbližších měsících (Martan, 2019).

Materiálové transformaci odpadů se dostává v současnosti mohutné podpory od EU, prostřednictvím programů jako *Renewable Carbon Sources processing to fuels and chemicals*, *Bio-Based Economy*, *REFERTIL* a další. Zajímavé je to, že v aplikačních koncepcích již nejsou uvažovány výhradně spalovny, a pokud budou zachovány, tak jen jako „čisté“ monospalování čistírenských kalů a využití popele k produkci P hnojiva různými technologiemi (struvit, nebo Ash-Dec Process). Významně se také počítá s termochemickými procesy jako pyrolýza a zplyňování. Jde o základ rozhodujících EU iniciativ, neboť využití produktů těchto technologií je mnohem přímější a umožňují efektivní provoz i malých jednotek (Martan, 2019).

3.3 Vývoj a trendy legislativy čistírenských kalů v EU

Na úrovni EU se již několik let připravuje nová legislativa, která se bude dotýkat čistírenských kalů. Tato legislativa navazuje na Akční plán oběhového hospodářství, který již Rada EU schválila 20. června 2016, přičemž jeho závazné přijetí se očekávalo ke konci roku 2017. Na téma farmaka a mikropolutanty v kalech je pořádána řada diskuzních fór a konferencí, např. workshop *“Pharmaceuticals and organic chemicals in sewage biosolids: questions for recycling”*. Výstupy z těchto odborných akcí

významně ovlivnily přípravu směrnice EU o hnojivech. V současnosti jsou pro čistírenské kalů významné tyto návrhy směrnic:

- Návrh revize směrnice EU o hnojivech (Reg. (EC) 2003/2003) a současné zavedení nové certifikace v oblasti hnojiv (17. 3. 2016)

Hlavní výstupy z návrhu EU směrnice o hnojivech:

- směrnice se bude týkat tzv. certifikovaných hnojiv, které jedině bude možné používat pro kultivaci potravinářských produktů vstupujících na trhy EU, hnojiva ponесou značku CE
- z čistírenských kalů bude možné produkovat transformovaná hnojiva – struvit, popel z monospalování kalu a biochar
- musí být zcela zabezpečena hygienická bezpečnost hnojiv obecně
- tyto produkty budou zařazeny podle složení do definovaných kategorií hnojiv
- pro výrobu kompostu nebude možné používat čistírenského kalu (důvodem jsou obsahy mikropolutantů (endokrinní disruptory, zbytky léků, těžké kovy, mikroplasty, drogy, biocidy, hormony, látky narušující činnost žláz s vnitřní sekrecí atd.), protože snížení těchto složek při kompostování je nízké.

Předpokládá se, že v návaznosti na novou směrnici EU o hnojivech bude inovována již archaická směrnice 86/278 - ochrana půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, která je základem evropské legislativy v oblasti kalů (Martan, 2019).

3.4 Zákon o odpadech

3.4.1 Úvod

V ČR je otázka zpracování čistírenských kalů významně ovlivněna finálním zněním schvalovaného nového zákona o odpadech a vyhlášky o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, která specifikuje nové povinnosti pro provozovatele čistírny odpadních vod a zařízení na úpravu kalů. Dále stanoví podmínky pro skladování kalů v zařízení ke sběru a skladování odpadů a technické požadavky pro uložení upravených kalů u zemědělce a jejich použití na zemědělské půdě, která reaguje na tzv. Infringementovou novelu z roku 2015 (223/2015 Sb.) (Česko, 2015).

Mimo vodního zákona je pro navazující nakládání s kaly hlavním zákonem zákon o odpadech, tzn. zákon č. 185/2001 Sb. v platném znění (někdy nazýván zákonem o odpadech). V současné době prochází legislativa odpadového hospodářství procesem směřujícím k novelizaci právních předpisů. Cílem práce proto není vyhotovení kompletního rozboru jednotlivých částí legislativních předpisů, nicméně pro přehlednost jsou uvedeny důležitější části s ohledem na nakládání s kaly, nebo úpravou na výrobek pro možnost pochopení souvislostí pro další přípravu realizace energetického využití kalů (Česko, 2011).

3.4.2 Přehled hlavních bodů platného zákona o odpadech

Kromě Vodního zákona a Zákona o vodovodech a kanalizacích je pro navazující nakládání s kaly hlavním legislativním předpisem zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech v platném znění (dále jen „Zákon o odpadech“). V současné době prochází legislativa odpadového hospodářství procesem směřujícím k novelizaci právních předpisů.

Při provozu ČOV vznikají odpady, se kterými původce odpadu nakládá v souladu s tímto právním předpisem. Původce odpadu má povinnost zařazovat odpady podle druhů a kategorií dle příslušné vyhlášky, respektive dalších navazujících vyhlášek, které mimo jiné stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů apod.

Z hlediska tohoto zákona je kal z ČOV vybraným odpadem, pro čistírenské kaly jsou definovány následující hlavní oblasti:

- úprava kalů – popisuje, co je chápáno pod tímto pojmem;
- využití kalů – uvádí, že kal slouží k užitečnému účelu a že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu;
- recyklace kalů – popisuje, co je chápáno pod tímto pojmem;
- odstranění kalů – definuje se tak, že se nejedná o využití odpadů;
- zpracování kalů – definuje se tak, že se jedná o využití anebo odstranění odpadů.

Dále tento zákon definuje povinnosti při nakládání z čistírenskými kaly, povinnost zajištění souladu s Plánem odpadového hospodářství.

3.5 Přípravovaná novela zákona o odpadech

Projednávání novely zákona o odpadech bylo v únoru 2017 přerušeno. Novela zákona bude primárně sledovat cíle jako je předcházení vzniku odpadů, maximalizace využití odpadů a náhrada primárních surovin, přechod na oběhové hospodářství a minimalizace skládkování.

Návrh z července roku 2016 obsahuje pro čistírenské kaly tyto zajímavé skutečnosti, za kterých odpad přestává být odpadem.

Krajský úřad na žádost provozovatele zařízení k využití odpadů vydá povolení, že věc přestává být odpadem, pokud se nejedná o vymezený odpad podle odstavce 1 a provozovatel zařízení prokáže, že věc splňuje tyto podmínky:

- a) věc se běžně využívá ke konkrétním účelům,
- b) pro věc existuje trh nebo poptávka,
- c) věc splňuje technické požadavky pro konkrétní účely stanovené jinými právními předpisy nebo normami použitelnými na výrobky a
- d) využití, pro které je věc určena, je v souladu s jinými právními předpisy¹⁵⁾ a nepovede k nepříznivým dopadům na životní prostředí nebo zdraví.

Důležitým bodem návrhu novely je, že na skládky bude od roku 2024 zakázáno ukládat odpady, jejichž výhřevnost v sušině je vyšší než 6,5 MJ/kg, odpady, které nesplní parametr biologické stability AT4 vymezený v příloze č. 9, a odpady, které je za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku možné účelně recyklovat. Při schválení zákona jsou uvažovány tyto nově upravené poplatky (Haloun, 2019):

Tabulka 1 - Poplatky za ukládání odpadu

Dílčí základ poplatku za ukládání	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030 a dále
Využitelného odpadu	900	1150	1350	1550	1700	1850	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Zbytkového odpadu	500	500	500	500	500	500	500	600	600	700	700	700	800
Nebezpečného odpadu	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Vybraného technologického odpadu	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

Čistírenský kal bude jednoznačně považován za využitelný odpad, jeho poplatky za uložení na skládku budou významně zvýšeny. To vše z důvodu směřování k materiálovému využití.

Dalšími očekávanými kroky je následující:

- Komise bude analyzovat případy významných selhání trhu a správy věcí veřejných (zmiňuje se i oblast netransparentního nakládání s čistírenskými kaly v řadě zemí).
- Skládování veškerého recyklovatelného odpadu se má do roku 2025 zcela eliminovat.
- Komise se do roku 2025 zasadí o zákaz skládování recyklovatelných plastů, kovů, skla, papíru, lepenky a biologicky rozložitelného odpadu, přičemž členské státy by se měly snažit skládky do roku 2030 prakticky odstranit (pro čistírenské kaly zmizí možnost uplatnění na rekultivace skládek).
- Skládování nebo samostatné spalování odpadu by nemělo být podporováno (tedy „dotační stop“ pro spalování, nicméně tzv. monospalování kalů jako cesta k získávání fosforu je doporučenou cestou v Německu a Rakousku a na tuto situaci jsou nastaveny již od počátku roku 2018 platné zákony).
- Komise zvažuje vytvořit politický rámec týkající se fosforu v zájmu zvýšení jeho recyklace, na podporu inovací recyklace P, zlepšení tržních podmínek a začlenění jeho udržitelného využívání, a to formou nových právních předpisů EU týkajících se hnojiv, potravin, vody a odpadu (na fosfor v čistírenských kálech se zaměřuje nyní celá řada výzkumných projektu EU).

3.6 TAP – Transformace usušeného kalu na tuhé palivo

Snaha o využívání odpadů vyústila k vytvoření Tuhých alternativních paliv (TAP). Takto jsou nazývány veškeré nerecyklovatelné odpady, které však musí být spalitelné a následně se využívají jako palivo v cementárnách, výtopnách a teplárnách. Takto mohou být přeměněny čistírenské kaly, plasty, dřevo, kůže, kompozitní materiály, pryž, papír, textil a kartonové obaly. Je však nutné brát zřetel na zvýšení provozních nákladů a nutnost investic do provozů, kde je plánováno TAP spalovat (Haloun, 2019).

Proces transformace odpadů na tuhé alternativní palivo je předmětem 3 norem, které tento proces upravují. Jedná se o tyto normy:

- 3.6.1 ČSN EN – 15357 Tuhá alternativní paliva – Terminologie, definice a popis je v podstatě slovník pojmů, a to včetně jejich definice.
- 3.6.2 ČSN EN – 15358 Tuhá alternativní paliva – Systémy managementu kvality – Specifické požadavky pro jejich použití při výrobě tuhých alternativních paliv. Tato norma specifikuje požadavky na systém managementu kvality pro výrobu a prodej tuhých alternativních paliv od příjmu odpadu až po dodávku tuhých alternativních paliv.
- 3.6.3 ČSN EN – 15359 Tuhá alternativní paliva – Specifikace a třídy. Tento dokument specifikuje klasifikační systém pro tuhá alternativní paliva.

Systém klasifikace je rozdělen na 3 důležité charakteristiky, které zahrnují ekonomickou charakteristiku (výhřevnost), technickou charakteristiku (obsah chloru) a environmentální charakteristiku (obsah rtuti). Pro hodnocení se pro výhřevnost (NCV) používá aritmetický průměr hodnot, pro obsah chloru (Cl) se opět používá aritmetický průměr a pro obsah rtuti (Hg) se používá medián a 80. percentil. Vyšší z 2 statistických hodnot (medián a 80. percentil) v souboru dat o Hg určuje třídu (viz. tabulka č. 2).

Tabulka 2 - Systém klasifikace pro tuhá alternativní paliva

Klasifikační charakteristika	Statická míra	Jednotka	Třída				
			1.	2.	3.	4.	5.
Výhřevnost (NCV)	Průměrná hodnota	MJ/Kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Chlor (Cl)	Průměrná hodnota	% (d)	≤0,2	≤0,6	≤1,0	≤1,5	≤3
Rtuť (Hg)	Medián	mg/MJ (ar)	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50
	80. percentil	mg/MJ (ar)	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,0

Poznámka k tab.: ar – v původním stavu při dodání
d – bezvodný stav

4 Charakteristika území

4.1 Odštěpený závod GEAM Rožná

Z předešlých kapitol je patrné, že problematika čistírenských kalů bude v nejbližších letech hojně řešeným tématem. Variant nakládání s nimi je mnoho. V této práci jsem se zaměřil na konkrétní případ, který kombinuje znalosti načerpané při tvorbě této práce, ale též vnáším do práce úvahy, které jsem se naučil během studia na České zemědělské univerzitě v Praze, přesněji Fakultě životního prostředí. Snaha o návrh variantního řešení nakládání s čistírenskými kalů a jejich transformace na materiálový zdroj byly stěžejní důvody, proč jsem k práci přistoupil. Navrhované řešení se zabývá možnostmi využití území, které bylo výrazně zasaženo a nevratně pozměněno vlivem těžby uranu. Tento druh území dnes hledá další využití jen obtížně a zároveň není snadné zvolit optimální lokalitu pro výstavbu regionálního centra zpracování kalů z důvodu nutnosti splnění všech legislativních požadavků.



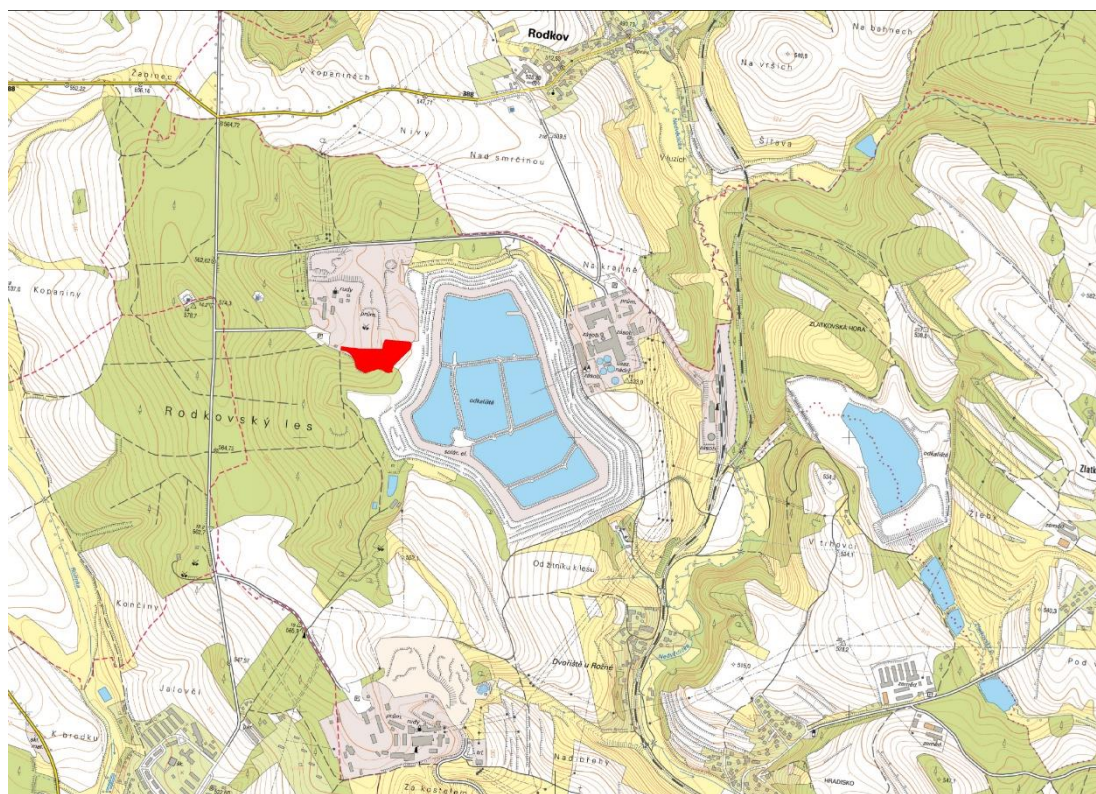
Obrázek 4 - Letecký pohled na území (Sedláček, 2017)

4.2 Popis území

Oblast, ve které je projekt řešen se nachází v Kraji Vysočina, okres Žďár nad Sázavou, v blízkosti obce Rožná. Rožná se nachází ve vzdálenosti okolo 60 km SZ od města Brno. Návrh je řešen na pozemku, který je pod správou státního podniku DIAMO.

Rudní pole Rožná – Rozsochy o rozloze 1195,5 ha, omezené dobývacím prostorem Rožná, se rozkládá na katastrálním území obcí Rozsochy, Blažejovice, Zvole, Vojetín, Rodkov, Horní Rožínka, Blažkov, Horní Rozsídka, Dolní Rožínka, Zlatkov, Rožná, Milasín, Bukov a Habří v kraji Vysočina, okres Žďár nad Sázavou (Cimala, 1997).

Těžba byla zahájena v roce 1957. Od roku 1968 je v provozu chemická úpravná a dvě odkaliště. Ložisko bylo otevřeno 11 jámami, v podzemí je nyní cca 509 km důlních chodeb. Hloubka dobývání se od roku 2005 pohybovala v intervalu 950 až 1 200 m pod povrchem. Dobývací prostor má 8,76 km². Do roku 2016 zde bylo vytěženo 20 220 t uranu. Těžba uranu vzhledem ke stavu zásob a vývoji cen uranu na světových trzích byla na ložisku Rožná ukončená k 31. 12. 2016, v souladu s usnesením vlády č. 50 z 25. ledna 2016. Od ledna 2017 byla zahájena likvidace podzemí ložiska Rožná (DIAMO).



Obrázek 5 - Situace širších vztahů

4.3 Hydrologické poměry

Hydrogeologické poměry území ložiska Rožná jsou dány morfologií území, atmosférickými srážkami, propustností hornin a tektonickými poruchami. Hlavním morfologickým prvkem je hřeben táhnoucí se mezi vodními toky Bobrůvka (následně Loučka) a Nedvědička. Po hřebeni probíhá místní rozvodí mezi oběma toky. Ačkoliv se dobývací prostor ložiska nachází z větší části v povodí Nedvědičky, kde pouze malá část na jihu ložiska přechází do povodí řeky Bobrůvky, s přihlédnutím k hlubinné těžbě se vliv odvodnění ložiska může vyskytnout v povodí obou toků (Váša, 2017).

Řízené čerpání a čištění důlních vod v rámci hornické činnosti s výpustí do vodotečí Nedvědička a Bukovský potok (řeka Loučka); realizováno rozšíření kapacity čištění volných vod z odkališť (DIAMO, 2018).

4.4 Vliv stavby na okolní stavby a pozemky

Stavba nebude ovlivňovat okolní pozemky a stavby. Jedná se o sušení kalů čili odtokové poměry v území dotčeném stavbou nebudou ovlivněny.

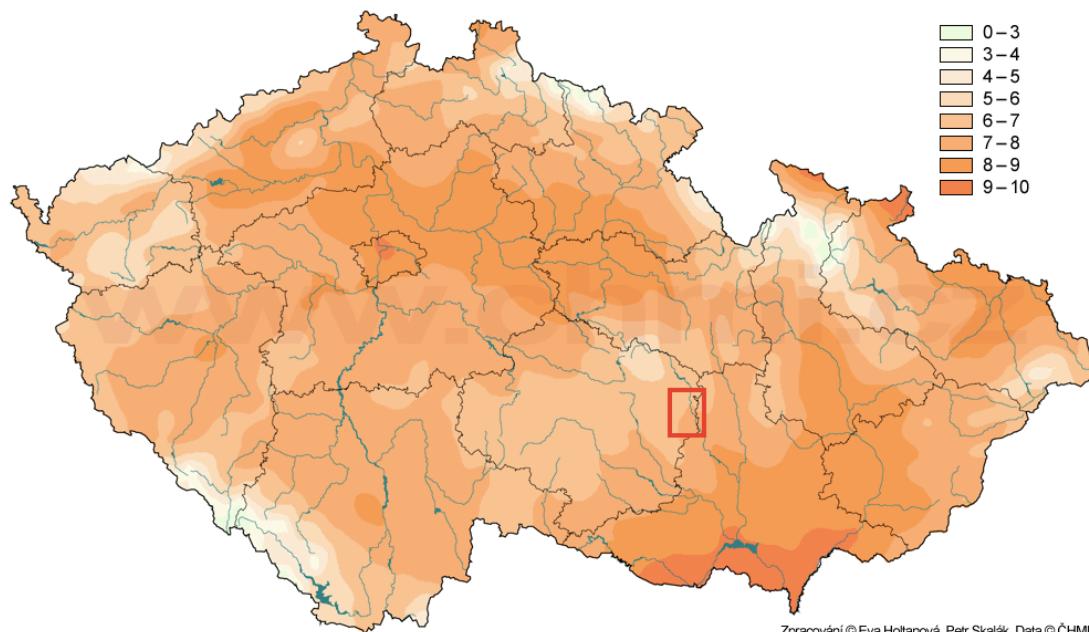
Stavba je umístěna na pozemcích, které byli dotčeny těžbou uranu. Z tohoto důvodu nedojde k žádnému trvalému záboru zemědělského půdního fondu ani pozemků určených k plnění funkce lesa.

4.5 Klimatické podmínky

Zájmové území leží na jiho - východní hranici Sýkořského bioregionu. Podle Quittovi klasifikace se ložisko nalézá v mírně teplé oblasti MT 3 a směrem k údolí Svratky přechází v poměrně teplé MT 9 až MT 11. V celém území se tím pádem ukazuje zřejmý gradient – v souhlase s klesající výškou od severu k jihu klesají srážky a rostou teploty (Culek, 2013).

Průměrná roční teplota se tu pohybuje kolem +6 až +7°C. Ložisko se nachází ve srážkovém pásmu od 550 mm do 600 mm. Počet letních dnů se odhaduje na 20 – 40, počet mrazivých dní 120 – 140 (ČHMÚ, 2020).

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961–1990 [°C]



Obrázek 6 - Mapa průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 [°C]. Řešená oblast je zvýrazněna červeným obdélníkem. (ČHMU, 2019, editováno)

4.6 Geomorfologické podmínky

Uranové ložisko spadá do oblasti Českomoravské vrchoviny představující denudační trosku variského horstva. Na zkoumaném území převažuje pahorkatinový charakter. Důl leží v Hornosvratecké a Křižanovské vrchovině, které jsou podcelky Nedvědické a Bítešské vrchoviny. Ložisko se nachází v nadmořských výškách od 460 m po 560 m (Grmela, 2012).

4.7 Inženýrské sítě

Při výstavbě dojde ke kolizi s inženýrskými sítěmi. Většina z nich, je pod správou DIAMO s.p. Přesněji se jedná o kanalizaci, vodovod pitné vody, důlní vody, technologické vody, sdělovací vedení, parovod, plynovod a podzemní a nadzemní vedení NN a VN. Dále se zde vyskytuje podzemní a nadzemní sdělovací vedení patřící společnosti CETIN a.s. Posledním známou inženýrskou sítí v oblasti je vodovod spadající pod VAS a.s., divize Žďár nad Sázavou.

5 Variantní řešení technologie zpracování kalů pro regionální centra kalů

5.1 Návrhové parametry

Uvažovaná koncepce pro tuto studii je koncentrování čistírenských kalů ze všech čistíren VAS Žďársko do odděleně do areálu DIAMO-GEAM v lokalitě Rožná (viz Tabulka 3 - Základní vstupní hodnoty (výhledová produkce kalů v roce 2040)). VAS předpokládá možnost svážení kalů do tohoto areálu a jejich efektivní termické zpracování za účelem materiálové transformace a další možnosti nakládání s produkty této úpravy. Za tímto účelem by navržený technologický komplex měl umožňovat mimo sušení a termické zpracování kalu (pyrolýzou) i potřebnou úpravu kalů pro tento následující proces. Tím je zahuštění a vyhnívání dovážených kalů, včetně veškeré nezbytné periférie a provozního zázemí.

Tabulka 3 - Výhledová produkce kalů v roce 2040 (VAS Žďársko, 2017)

	t suš./rok (100%)	odvodnění v %	t=m3/rok	Pozn.
ČOV Žďár nad Sázavou	694,0	21,5	3 227,9	3 507,9 (21,4%)
ČOV Svatka	56,0	20,0	280,0	
ČOV Nové Město na Moravě	269,5	22,0	1 225,0	5 834,0 (22,3%)
ČOV Bystřice nad Pernštejnem	388,8	24,0	1 620,0	
ČOV Velké Meziříčí	462,1	25,0	1 848,4	
ČOV Velká Bíteš	182,5	16,0	1 140,6	
Celkem	2 052,9		9 341,9	

Zadávací parametry vycházejí ze studie „Studie nakládání s kaly SVK Žďársko“, kterou vypracovala v roce 2017 VAS, divize Žďár nad Sázavou. Bilance vycházela z předpokladu, že na výše uvedené ČOV budou sváženy kaly z ostatních malých ČOV k odvodnění na základě rozumné logistiky svozů, kterou studie naznačuje. Již tato studie pracovala se dvěma potencionálními lokalitami pro finální zpracování sušením, z nich jednou byla lokalita GEAM Rožná, druhou pak ČOV Žďár nad Sázavou.

Následně bylo upřesněno, že z této výhledové produkce (9 342 t/rok odvodněného kalu na cca 22 % hmot., tj. výpočtově 2 055 t sušiny za rok) by mohlo být na lokalitu Rožná

odváženo přímo jako zahuštěný kal 250 t sušiny ročně (viz. Tabulka 4 - Celkový přehled přiváženého kalu).

Tabulka 4 - Celkový přehled přiváženého kalu

Celkem		rozměr	hodnota
	množství odvodněného kalu k sušení	t/rok	9 341,9
	sušina odvodněného kalu v %	%	22
	sušina v odvodněném kalu	t/rok	2 055,2
Z toho dováženo v zahuštěném stavu			
	sušina zahuštěného kalu	t/rok	250
	sušina zahuštěného kalu	%	5%
	množství zahuštěného kalu	t/rok	5 000
Množství dováženého odvodněného kalu po odečtení zahuštěného kalu			
	sušina odvodněného kalu	t/rok	1 805,2
	sušina odvodněného kalu	%	22,0
	množství odvodněného kalu	t/tok	8 205,5

5.2 Posouzení vhodné lokality

Výběr lokality byl ovlivněn místními poměry v okolí všech stávajících ČOV, ze kterých je produkce kalů řešena. Jelikož žádná z ČOV nedisponuje v jejich okolí dostatečnou plochou tak, aby bylo možné zbudovat zařízení na hygienizaci kalů v těsné blízkosti, byla zvolena externí lokalita. Tímto krokem došlo též k omezení možností volby procesů hygienizace kalů. Z důvodu umístění mimo ČOV je nutné volit takovou metodu hygienizace, při které nebude docházet k vedlejší produkci fugátu. Ten by musel být vrácen zpět do procesu čistírny odpadních vod čili odvážen zpět. Tím vzniká vícenáklad spojený s odvozem fugátu fekálními vozy na nejbližší ČOV s dostatečnou kapacitou. Takováto úvaha by byla ekonomicky výrazně náročnější a nejspíše i nerentabilní. Proto v rámci výběru technologie dochází ke zhodnocení variant nízkoteplotního sušení kalu, při kterém se kondenzát odpařuje.

Jelikož je lokalita znehodnocení oblasti těžbou uranu velmi obtížně využitelná, jeví se toto řešení jako zajímavý způsob sanace území. Není zde ani riziko zátěže zápachem okolní zástavby, jelikož zde v blízkosti žádná není.



Obrázek 7 - Území určené k výstavbě kalového centra

5.3 Varianty hygienizace kalu

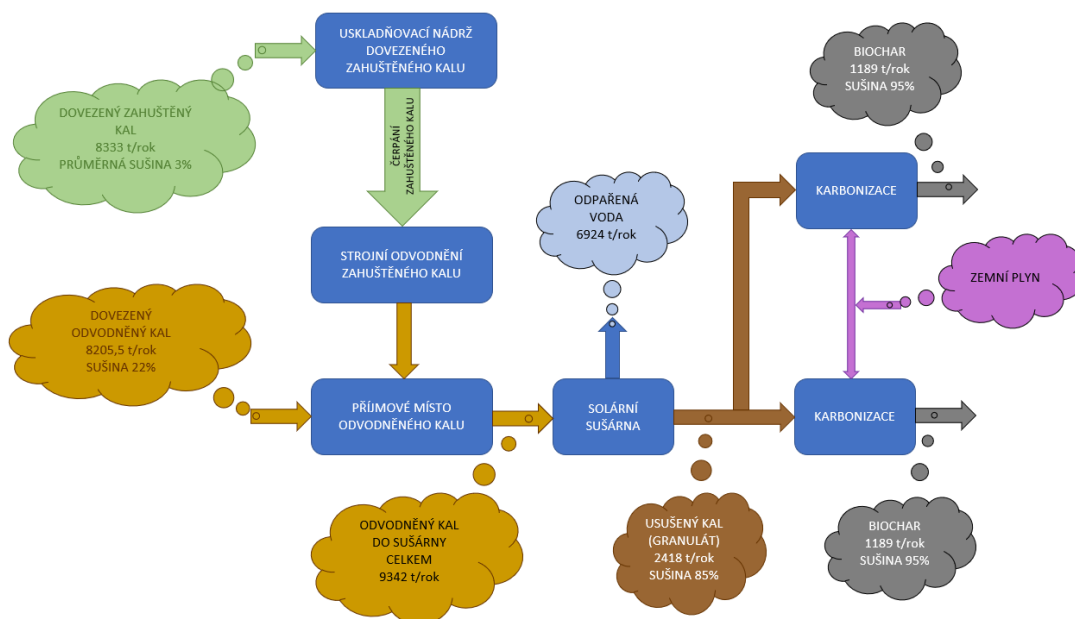
Po posouzení lokality, možností, nastudování podkladů a rozvaze se bude práce zabývat dvěma způsoby hygienizace čistírenského kalu. Prvním z nich je nízkoteplotní pásová sušárna kalů a druhou zpracovávanou variantou je solární sušárna kalů. Z technologických důvodů a zabezpečení dostatečného množství energie pro provoz sušárny je za obě varianty zařazen pyrolyzér. V této lokalitě je možné využít i jiné alternativní způsoby technologie hygienizace, kterými jsem se však v rámci této práce nezabýval. To je zapříčiněno charakterem práce.

5.4 Hygienizace čistírenského kalu procesem nízkoteplotního sušení kalu

V poslední době jsou jako další stupeň zpracování čistírenských kalů nasazovány moderní nízkoteplotní sušárny (NTS). Jejich řešení umožňuje využívat odpadní teplo ve formě teplé vody (90 -100 °C) z různých zdrojů (např. kogenerace), které je doposud obvykle mařeno v chladičích. NTS využívají nízkoteplotního potenciálního odpadního tepla vodního (NT) a spalínového okruhu (VT) chlazení kogenerace, dále pak i z případné termické hydrolýzy nebo pyrolýzy, tedy z procesů, které jsou rozhodujícími procesy pokročilé materiálové transformace čistírenského kalu.

Nízkoteplotní sušení čistírenských kalů s dosažením výstupní sušiny cca 85 až 90 % sušiny má tyto výhody:

- Spolehlivé zabezpečení hygienizace kalu
- Okamžitá implementace do stávajících linek kalového hospodářství bez dopadu na současné technologie kalového hospodářství
- Možnost využití odpadního tepla z kogenerace
- Snížení objemu produkovaných kalů, zvýšení sušiny kalech 20 % na 90 %
- Vytvoření nového „produktu“ – sušeného kalu, který poskytuje rozsáhlé možnosti finálního využití kalů.



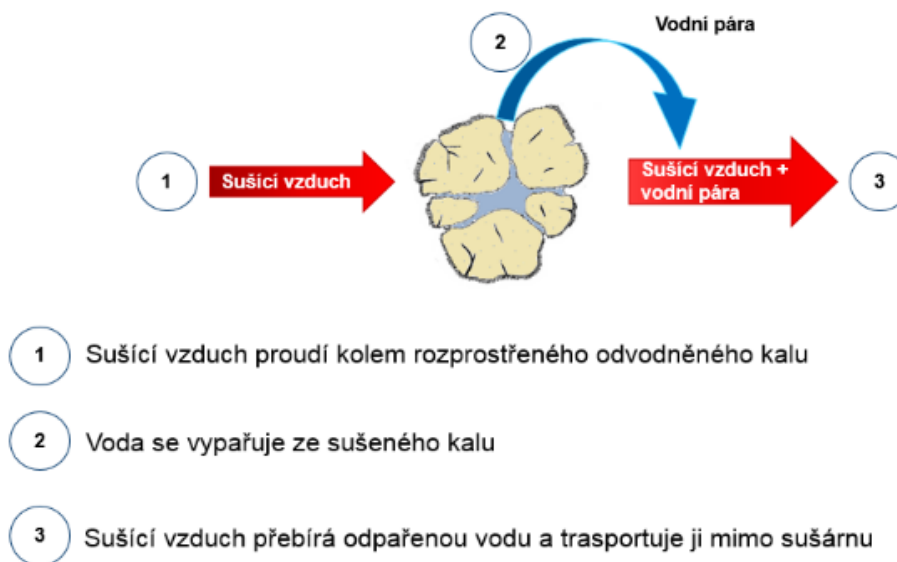
Obrázek 8 - Technologické schéma technické linky nízkoteplotní transformace kalů

5.4.1 Princip nízkoteplotního sušení kalu

Teplá voda (nosič odpadního tepla z kogenerace a z pyrolyzéry) je cirkulována přes výměníky tepla umístěné přímo v sušárně. Vháněný vzduch je po předeřtání v rekuperaci ohříván výměníky tepla a následně prostupuje vrstvu sušeného kalu rozprostřenou na pásovém sítu pomocí nudličkovacího zařízení. Voda je odpařena do vzduchu, sušící vzduch odvádí odpařenou vodu mimo sušící část do kondenzační části, kde je odfuk ochlazen chladicím systémem, voda kondenzuje a kondenzát se odvádí mimo sušárnu. Kondenzátor současně slouží k ohřevu topné vody pro další účely (vytápění vyhřívacích nádrží, budovy apod.). Variantně lze použít řešení, kdy zvýšením množství dodávaného vzduchu je odpařená voda odváděna mimo sušárnu bez kondenzace, přičemž teplota odcházející vzdušiny je snížena na teploty až kolem 50 °C. Toto řešení je vhodné pro lokality, kde není k dispozici voda pro chlazení

odfuku. Tímto je zapříčiněno, že se prakticky neprodukuje kondenzát. Odpařená voda je vyváděna do ovzduší přes systém dezodorizace.

Nízkoteplotní sušárny představují revoluci v sušení kalů. Využití odpadního tepla z kogenerace a velmi účinné systémy využití odpadního (kondenzačního) tepla ze sušárny při plně automatickém provozu, spolu s vysokým stupněm bezpečnosti při provozu sušárny díky nízkoteplotnímu režimu a produkci sušeného kalu v granulované formě s velmi malým podílem prachu (bezproblémová skladovatelnost) způsobují široké nasazení těchto sušáren v poslední době. Špičkové výrobky pracují se specifickou spotřebou tepelné energie cca 850–900 kWh/t H₂O a specifickou spotřebou elektrické energie cca 70 kWh/t H₂O.



Obrázek 9 - Princip nízkoteplotního sušení kalů (Kos, 2019)

5.4.2 Nízkoteplotní sušení odvodněného kalu

Čistírenský kal je jedním z konečných produktů procesu čištění odpadních vod. V procesu klasického čistírenského postupu se většina z přivedeného znečištění v odpadních vodách převádí do kalů. Kaly představují přibližně 1 - 2 % objemu čistěných vod, je v nich však transformováno 50 - 80 % původního znečištění. Zpracování a likvidace těchto kalů se tak stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění odpadních vod. Na čistírně odpadních vod je kal obvykle anaerobně stabilizován za vývinu bioplynu a následně odvodněn na sušinu 18 - 30 %.

Pokud je preferováno další univerzální využití vyhnílého kalu, pak se odvodněný kal po odvodnění suší. Výhodné energeticky i ekologicky je sušení v nízkoteplotní sušárně. Sušárna pracuje s teplotou topné vody 90 - 95 °C (voda se odpařuje v podtlaku, což brání úniku škodlivin z cirkulačního plynu) a tato teplota je rovněž vzdálená od teploty, která je u sušení nebezpečná pro samovznícení, tj. 130 - 150°C. Tato teplota pak nevyžaduje mnoho chladicí energie pro zchlazení kalu a kondenzaci brýdových par. Při sušení se dosahuje až 95 % sušiny, obvykle se sušárna dimenzuje na 90 % sušiny na výstupu. Kal vystupující ze sušárny je postupně ochlazen a nemůže dojít k samovznícení.

Sušením se dosáhne maximálního zmenšení objemu vyhnílého kalu (VK), získá se stabilizovaný produkt o vysoké sypné hmotnosti (cca 620 kg/m³), který obsahuje koncentrované škodliviny včetně těkavých látek (sušení probíhá při 85 °C). Jeho použití je v podstatě universální.

K sušení bude použita horizontální pásová nízkoteplotní sušárna. Odvodněný čistírenský kal k sušení je rozprostřen na perforovaný prodyšný pás, který se pomalu pohybuje v proudu teplonosného media (horký vzduch). Je tak umožněn kontakt mezi vysoušeným kalem a sušícím vzduchem. Sušící vzduch proudí kolem rozprostřeného odvodněného kalu (rozprostřen distributorem tzv. nudličkovačem“), voda se vypařuje ze sušeného kalu a sušící vzduch přebírá odpařenou vodu a transportuje ji mimo sušárnu. Zde je vodu možno zkondenzovat chlazením odplynu (obvykle pomocí vyčištěné odpadní vody) a následně je zkondenzovaná voda odváděna k čištění. Druhou variantou je použití vyššího množství čerstvého vzduchu a vodu odvádět v tomto vzduchu do okolí po předchozí dezodorizaci (toto řešení bude použito v případě této studie s ohledem na podmínky lokality Rožná). Protože v průběhu sušení není vysoušený kal mechanicky namáhán, je podíl prachových částic v odtahovém odplynu zvláště malý. V procesu lze využívat i zdrojů tepla s nižšími teplotními úrovněmi. Vysoušecí vzduch proudí proti směru pohybu pásů s vysoušeným kalem pro dosažení maximálního vysoušecího efektu.

Z dispozičních důvodů (úspora zastavěné plochy) je využita dvoupásová sušárna, přičemž jsou pásy umístěny nad sebou. Metoda pásových sušáren umožňuje tak vícenásobné využití tepelného média a vyznačuje se nízkými náklady na údržbu.

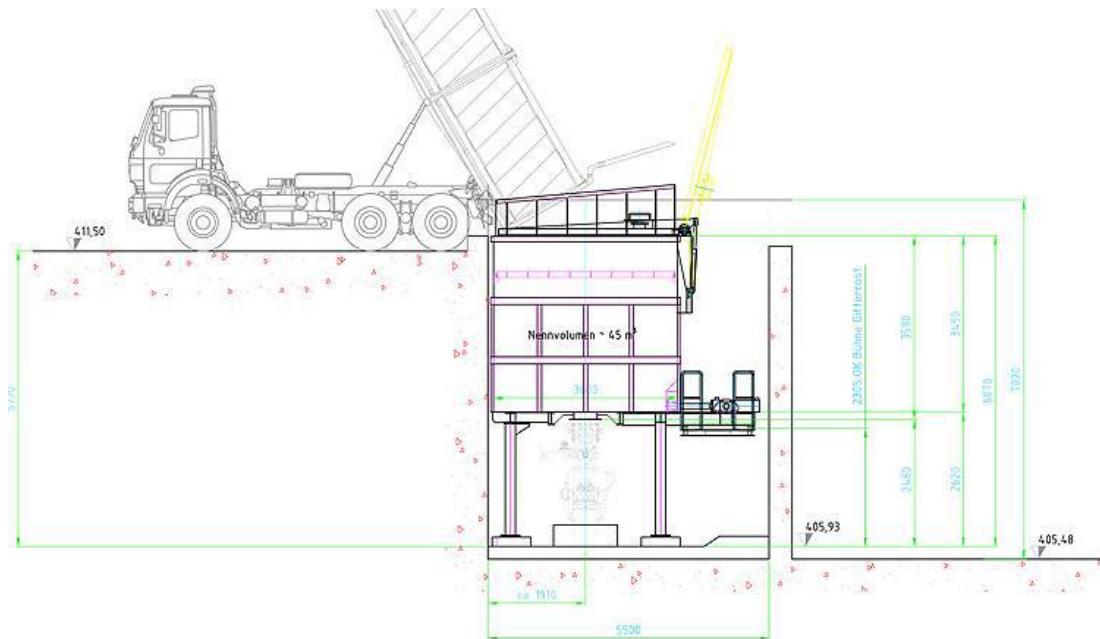


Obrázek 10 - Nízkoteplotní sušárna ČOV Karlovy Vary (Stavby Karlovarského kraje, 2020)

5.4.3 Celkový popis technologie nízkoteplotní sušárny čistírenských kalů

Čistírenské kaly jsou buď přímo dopravovány (čerpány nebo přisunuty pomocí šnekového dopravníku) od odvodňovacího zařízení (v případě instalace sušárny na čistírně odpadních vod) nebo dováženy z různých čistíren odpadních vod k sušení. V obou případech je odvodněný kal shromažďován v kalovém bunkru. Velikost bunkru je zvolena podle režimu produkce kalů, dovozu nebo podle nastaveného režimu sušení. Zásoba kalu v bunkru by měla vyrovnávat nerovnoměrnosti v produkci dovozu kalů, aby mohl být provoz sušárny v co největší míře konstantní.

Kalový bunkr je vybaven ve spodní části zařízením pro posun odvodněného kalu k čerpadlu odvodněného kalu (šnekové čerpadlo s excentrem). Kalový bunkr má automaticky uzavíratelný poklop pro zamezení únikům zápachu do okolí a prostor kalového bunkru je odsáván do dezodorizace sušárny.



Obrázek 11 - Kalový bunkr na vstupu do nízkoteplotní sušárny

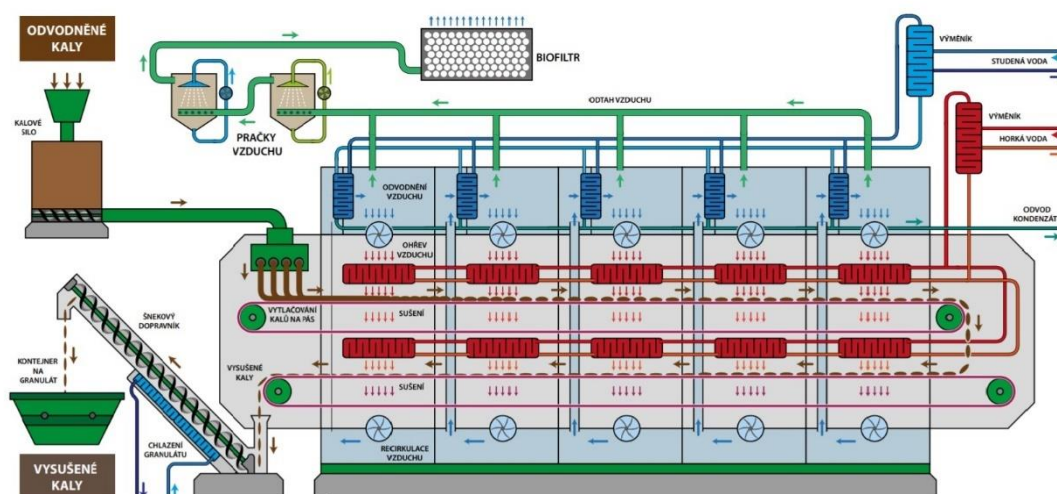
V případě více zdrojů kalů je do linky umístěn směšovač kalů. Kal je z bunkru čerpán šnekovým čerpadlem do nízkoteplotní sušárny kalů, kde je zpracovávám metodou nízkoteplotního přímého sušení. Kal je rozprostřen na sušící pás pomocí pohyblivého distributoru, který vytváří na pásu tenké nudličky kalu. Distributor zahrnuje lisovací šnek, který protlačuje kal maticí. Zabudovaný nůž současně odřezává částice nečistot uvázné v otvorech matrice, které se pak následně protlačí s kalem. Technologie distributoru podává kal na horní pás sušárny po celé jeho šíři.

Sušící vzduch přebírá odpařenou vodu a ta je odváděna ze sušárny do jednotky dezodorizace (je-li její použití nezbytné) a kondenzační jednotky. Je použit kyselý a alkalický stupeň dezodorizace. Následně je odplyn veden do biologického dezodorizačního filtru. Ten je obvykle integrován se skrácením odplynu, a proto zde odchází ke kondenzaci par. Kondenzát je odváděn k dalšímu zpracování (na čistírně odpadních vod k čištění ve vodní lince, na skládce ke zkrácení skládky apod.). V případě systému s odvodem vody vzduchovým chlazením, je odpařená voda odváděna vzduchem a tvorba kondenzátu je minimální. Je-li požadováno získání odpadních tepla z odplynu či kondenzace k účelům vytápění, je použit rekuperační výměník. Součástí chemické dezodorizace jsou zásobníky na chemikálie a dávkovací čerpadla. Variantně může být také použito cirkulačního chlazení, aby bylo dosaženo kondenzace vodní páry z odplynu.

Sušený kal z konce sušícího pasu sušárny je pomocí šnekového dopravníku dopravován do kontejnerů nebo zásobníků kalu. Podle požadavku může být tento dopravník vybaven vodním chlazením. Kontejnery na sušený kal jsou umístěny v budově sušárny a následně pod zastřešenou plochou před jejich odvozem k dalšímu využití sušeného kalu.

Teplu pro sušení zahuštěného čistírenského kalu je přiváděno přímo teplým vzduchem (konvekční sušení). Jako zdroj tepla slouží technologická jednotka, která je přispůsobená podle jednotlivých případů (odpadní teplo z kogeneračních jednotek, odpadní teplo z pyrolýzních jednotek, teplo z plynového teplovodního kotle apod.).

Vlastní sušárna se skládá ze vstupního segmentu pro příjem kalů od distributoru a výstup sušeného kalu ze spodního pasu, středních sušících segmentů, předávacího segmentu (přechodová část) pro předání kalu z horního pasu na spodní pás včetně pohonů.



Obrázek 12 - Schéma nízkoteplotní sušárny kalů (VaK Karlovy Vary, 2020)

Teplá voda je vedena přes výměníky tepla uvnitř sušárny. Jedná se o jemné trubkové výměníky v každém středním segmentu sušárny. Cirkulující vzduch je ohříván a veden přes pásy a vrstvu kalu. Tomu napomáhají vzduchové směrové klapky, které směřují průtok vzduchu a zajišťují rovnoměrný průtok vzduchu přes vrstvu kalu. Dodávku vzduchu do sušárny zajišťuje ventilátor čistého vzduchu, cirkulaci vzduchu pak cirkulační ventilátory a odtah vlhkého vzduchu ze sušárny zabezpečuje ventilátor odpadního vzduchu (odplynu).

Plášť sušárny je tepelně izolován včetně vzduchovodů a ostatních potrubí, aby úniky tepla byly minimální. Z okruhu teplé vody je přiváděna voda do jednotlivých trubkových deskových výměníků uvnitř sušárny.

Sušený kal je vynášen od konce pásu vyprazdňovacím šnekem sušárny. Na něj pak navazuje šnekový dopravník, který skrze distribuční stojan dopravuje kal do kontejneru.

Odplyn ze sušárny je veden přes rekuperační výměník, který odebírá teplo z odváděného vzduchu. Jedná se o deskový výměník ve speciálním tvarovém uspořádání. Tepelná energie je tak vracena do procesu sušení.

Pokud je zařazena chemická dezodorizace, je odplyn sušárny dále veden do kyselé a alkalické vypírky, kombinované se skrápěním chladicí vodou. První kolona je kyselá s použitím roztoku kyseliny sírové ke snížení či úplnému odstranění amoniaku z odplynů, druhá kolona je pak alkalická (alkalicko-oxidační) k zachycení zápachu pocházejícího ze sirných sloučenin jak např. merkaptany apod. Zde se používá roztok hydroxidu sodného (NaOH) a peroxidu vodíku (H₂O₂). Chemikálie jsou dodávány do kolon ze zásobníků dávkovacími čerpadly v závislosti na vodivosti. Současně tak dochází k zachycení plynných znečišťujících látek do kondenzátu. Chladicí voda je využívána k odstranění případných prachových částic z odplynů. Část páry je kondenzována i s těkavými složkami zápachu.

Z chemické dezodorizace je odplyn veden do biologického filtru s náplní kůry, kompostu a speciální plastové náplně k zabránění ulehání náplně biofiltru. Vytápění sušárny je velmi flexibilní. Sušárna může pracovat s různými zdroji tepla (teplé vody), zemního plynu, kalového plynu, i s odpadním teplem z kogenerace ve formě teplé vody. Návrh se provádí speciálně podle dostupnosti zdroje tepla v místě realizace.

5.4.3.1 Kondenzát

Kondenzovaný podíl par je vypouštěn z dezodorizačních kolon do čistírny odpadních vod, nebo je vypouštěn k jinému zpracování.

5.4.3.2 Sušený kal

Sušený kal je skladován v kontejnerech nebo v silu sušeného kalu (pro větší kapacity). Sušený čistírenský kal je v závislosti na nastavení provozní podmínky procesu sušení vysušen na sušinu v rozmezí od 60 do 95 % hmotnosti sušiny. Je tak dosaženo

výrazného snížení hmotnosti a objemu vstupního kalu. Struktura sušeného kalu je ve formě pelet (nalámané nudličky). Je velmi vhodný pro nejrůznější druhy likvidace (skládka, spalování, pyrolýza, zplyňování, zemědělské rozmetání apod.). Je skladovatelný a využitelný v době spotřeby. Je zcela hygienizován ve smyslu Vyhl. č. 437/2016 Sb. a je stabilní z mikrobiologického hlediska. Při skladování kalu musí být dodrženy bezpečnostní předpisy z důvodu možnosti výbuchu při skladování vyšší vrstvy sušeného kalu. V případě sil na sušený kal musí být zajištěna inertizace sila (preventivní protivýbuchová ochrana).

5.5 Hygienizace čistírenského kalu v solární sušárně

Sušení je termický proces. Odpařování vody vyžaduje energii (entalpie odpařování). Odpaření 1 kg při 20 °C vyžaduje teoreticky 0,68 kWh. Odpařená voda se změní na vlhkost vzduchu (vlhkost). Při nízkoteplotním i solárním sušení čistírenských kalů při nízké teplotě vytváří pouze malý zápach, protože těkavé organické látky zůstávají převážně v kalu.

Sluneční záření je snadno dostupná volná energie, která může být použita k sušení kalu. Spotřeba elektrické energie solárních sušiček je 20 - 30 kWh na 1 tunu odpařené vody. Jedná se pouze o 2 - 3 % potřebné tepelné energie pro odpařování vody.

Solární sušení je pomalý proces vyžadující čas a velkou plochu. Tento proces je významný pro případy, kdy je k dispozici dostatečný prostor. Solární sušení závisí na průměrné intenzitě slunečního záření a dalších klimatických podmínkách (např. průměrná měsíční teplota a vlhkost vzduchu).

Klimatické podmínky jsou závislé na ročním období. Během letního období je sluneční záření silné a dlouhotrvající průměrná teplota okolního vzduchu je vysoká a průměrná relativní vlhkost je nízká. Během zimy je to naopak. Sušící kapacita solární sušárny je tedy vysoká během léta a nízká, nebo dokonce nulová v průběhu zimy. Protože čistírenské kaly jsou produkovány celoročně, je obecně nutné disponovat uskladňovací kapacitou pro zimní období.

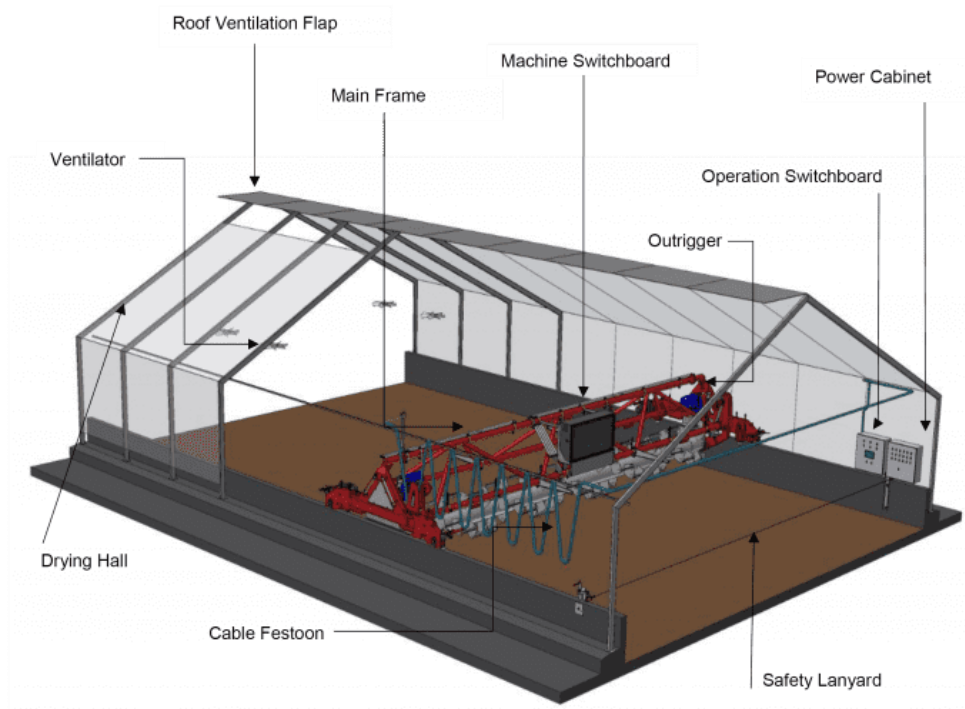


Obrázek 13 – Distribuční dopravník uvnitř solární sušárny kalů (ENOX, 2020)

Pokud do skleníku vstoupí 1 kg vodou nasyceného okolního vzduchu při teplotě 10 °C a je zahřát slunečním zářením na teplotu 50 °C může teoreticky zachytit $89,2 - 7,9 = 81,3$ g vody (vlhkosti) / kg suchého vzduchu, dokud není vodou nasycen a navrácen do prostředí. Většina sluneční energie 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. Zásadní je však skutečnost, že slunce dodává požadovanou entalpii na odpařování pro sušení kalu zdarma. Sušení na slunci se vyskytuje i během chladného, ale slunečného zimního dne. Zimní dny jsou však na severní polokouli krátké čili v zimě mají solární sušičky poměrně nízkou sušící kapacitu.

Odpařování vody ve skleníku skončí, jakmile se vzduch stane vodou nasycený. Ventilátory a žaluzie se používají k odstranění teplého a vlhkého vzduchu ze zařízení skleníku a umožňují ho vyměnit za chladnější a sušší okolní vzduch.

V rámci skleníku jsou k dispozici ventilátory, které generují pohyb vzduchu. Sušící vzduch se musí pohybovat v blízkosti mokrého povrchu kalu. Sušený kal musí být rozprostřen po celé ploše v rovné vrstvě. Povrch rozprostřené kalové vrstvy ve skleníku však musí být trvale obnovován, aby byl vlhký kal neustále navrchu vrstvy kalu.



Obrázek 14 - Schéma solární sušárny kalů (MAK Water, 2020)

Pro účinné fungování solární sušičky a produkci požadovaný výsledků, musí být systém schopen zajistit tyto funkce:

- vrstva kalu musí být udržována v aerobních podmínkách tak, aby se zabránilo zápachu
- stupeň sušení musí být kontrolován tak, aby nedocházelo k nerovnoměrnému sušení (nevysušení části kalu, nebo naopak nadměrnému vysušení). Usušení nad 85 % sušiny může způsobit tvorbu prachu, a proto se dimenzuje stupeň vysušení max. na tuto hodnotu
- pro zamezení tvorby patogenních organismů je nutné všechny částice kalu trvale přesouvat a otáčet
- celkový provoz zařízení uvnitř skleníku musí být automaticky řízen a kontrolován z důvodu omezení častého vstupu obsluhy do skleníku. Výjimkou je občasná údržba.

5.5.1 Solární sušárna bez externího zdroje tepla

Nespornou výhodou solárního sušení je využití energie ze slunce. Při konvenčním sušení se musí dodat elektrické energie v řádech stovek kilowatthodin na tunu sušeného kalu. Při využití sluneční energie je dodávána elektrická energie pouze v řádech desítek kilowatthodin na tunu kalu. Nevýhodou pak je, že oproti konvenčním nebo kontaktním sušárnám má veliké nároky na zastavěnou plochu a investiční náklady na stavební část jsou obvykle vyšší než v případě stavby nízkoteplotní sušárny.

Solární sušárna je složena z betonové nebo asfaltové základny, na kterou jsou uloženy betonové prefabrikáty, jež tvoří boční hranice sušárny a zároveň podklad pro uchycení skleníkové konstrukce. Skleníková konstrukce je pokryta buď speciální fólií nebo průhlednými plastovými nebo skleněnými tabulemi. Dále je v hale instalován větrací systém pro řízenou cirkulaci vzduchu, jehož součástí jsou větrací klapky a ventilátory. 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.

Odvodněný kal je obvykle dopravován do solární sušárny od odvodňovacího zařízení šnekovým dopravníkem, který je dimenzován individuálně pro každou lokalitu. V případě svozu kalů je kal svážen do zásobníku na kal a odtud přiváděn dopravníkem do solární sušárny.

5.5.2 Solární sušárna s vytápěním z externího zdroje tepla

Na řadě čistíren odpadních vod je k dispozici odpadní teplo, které může být použito k podpoře provozu solární sušárny a stabilizaci výkonu v méně slunných dnech. Jiným případem je kombinace solární sušárny s další technologií, která využije energetický obsah ve vysušeném kalu. To může být zajištěno spalováním kalu, nebo pyrolýzou kalu. Využití pyrolýzy vysušeného kalu je uvažováno v případě kalového centra Rožná. Vyprodukované teplo obvykle ve formě teplé vody, může být využito prostřednictvím podlahového vytápění, nebo teplovzdušných tepelných výměníků umístěných v prostoru skleníku. Použitím přídatných zdrojů energie se redukuje plocha pro vysoušení a dosahuje se kontinuálního sušení i v měsících s minimálním slunečním zářením. V praxi byly realizovány solární sušárny kalů odpadních vod s ekvivalentem 1 000 - 300 000 ekvivalentních obyvatel.

V tomto konkrétním případě počítáme bez započtení efektu přínosu z externího zdroje tepla. Díky tomu může být realizace provedena v etapách, podle vývoje související legislativy. Přínos využití tepla z pyrolýzy by byl zahrnut při přípravě projektové dokumentace tohoto projektu.

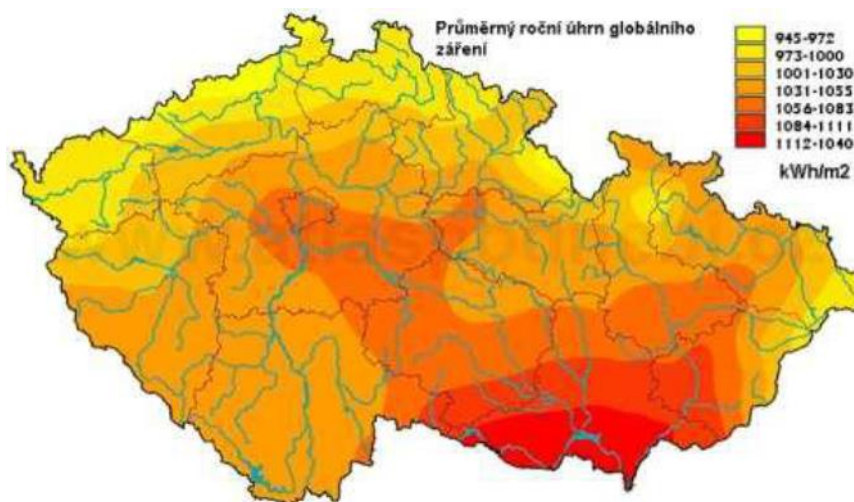
5.5.3 Vliv na výkonnost solární sušárny

Největší vliv na hodnotu odparu mají kontrolovatelné proměnné, kterými jsou ventilace a přehrabování kalu a nekontrolovatelné proměnné jako je teplota a vlhkost vzduchu. Na území České republiky se nachází několik pásem s průměrným ročním úhrnem globálního záření od 945 do 1 140 kWh/m² (viz. příloha č. 1 Charakteristika lokality z hlediska návrhu solární sušárny).

Pro území střední Evropy platí průměrná hodnota odparu 700–900 kg vody za rok na 1 m². Pro dimenzování solární sušárny Rožná byl použit odpařovací výkon přímo specifikovaný pro tuto lokalitu.

Zjištěné údaje (evaporation data):

- weather station: Rodkov / NASA
- solar evaporation: 841 l/m².rok
- max. solar evaporation: 1 052 l/m².rok



Obrázek 15 - Průměrný roční úhrn globálního záření v ČR

5.5.4 Výhody navržené technologie

Nízká spotřeba energie (cca 20-25 kWh el. energie na tunu odpařené vody). Regulace prohrabovacího stroje a provozování ventilace za pomoci měření a řízení chodu tohoto

stroje. Je možný šaržovitý provoz zařízení. Během sušení je kal zpracováván po celé šířce sušení v podélném směru. Malé personální nasazení na údržbu a servis (předpoklad 20-30 minut denně). Velmi vysoká úroveň bezpečnosti práce. Prevence nepříjemných zápachů celkovým provzdušněním splaškových kalů v jednom pracovním kroku nad celou šířkou sušící oblasti.

Základní charakteristika použitého zařízení pro jednu linku solárního sušení (Mucha, 2019):

- Celkový příkon zařízení pro prohrábku kalu 9-14,5 kW
- Celkový příkon solárního zařízení v jedné sušící lince do 27,5 kW
- Max. plošný výkon zařízení 3 600 m² / h
- Max. objemový výkon zařízení jedné linky 900 m³ / h
- Celková hmotnost jednoho zařízení 4 000 kg

5.5.5 Zdůvodnění dimenzování sušárny na výstupní sušinu 85% hmotnosti

Solární sušárna je navržena tak, aby byla schopna dosahovat výkonu bez externího zdroje tepla. Ten bude využíván podle skutečných klimatických podmínek v lokalitě a k vyrovnávání kolísání výkonu v průběhu roku.

Dimenzováno je tedy na výstupní sušinu kalu 85 % hmot. sušiny sušeného kalu.

Důvody pro dimenzování na tuto hodnotu jsou následující:

- Tato hodnota sušiny je vhodná jako vstup pro přímé zpracování pyrolýzou (zde se požaduje min. 80 % sušiny)
- Sušina kalu na výstupu se musí nacházet mimo tzv. lepkavou fázi čistírenského kalu. Současně sušina 85 % zajišťuje spolehlivou hygienizaci kalu.
- Vyšší hodnota vysušení je nevhodná, z důvodu rizika vzniku prašného prostředí uvnitř sušárny.

5.5.6 Zařízení pro odvodňování kalu v solární sušárně

Zahuštěný kal se nejprve smísí s roztokem polymerního flokulantu, což se děje v potrubí na cestě do z uskladňovací nádrže do sušárny. V solární sušárně je odvodňovací žlab, který je instalován podél celé šířky haly. Načerpaný kal je ve žlabu zadržován a voda odtéká přes stěny zařízení do jímky pod odvodňovacím žlabem a dále pak do čerpací jímky. Proces plnění trvá asi 2 hodiny. Vyvločovaný kal následně

zůstává ve žlabu až do následujícího dne. Následující den je odvodňovací žlab překlopen v celé šířce na počátek solární sušárny. Odvodněný kal má sušinu přibližně 12 až 15 %. Poté může být žlab opětovně naplněn. Odvodněný kal se v sušárně rozprostře v podélném směru za pomoci zařízení uvnitř solární sušárny. Celkově se v průběhu celého procesu spotřebuje cca 2 kWh energie na 1 m³ kapalného kalu. Řízení celé sušárny se provádí automaticky skrze řídicí systém. Nasazení pracovníků včetně údržby lze předpokládat v délce trvání zhruba 20-30 minut denně.



Obrázek 16 – Solární sušárna kalů (ENOX, 2020)

5.6 Pyrolyzér

Pro využití energie (organická část), která ještě zůstává ve vysušeném kalu a též pro likvidaci mikropolutantů a dalších škodlivých látek organického původu je výhodné použít pyrolyzér.

Pyrolyzér je zařízení, které transformuje (karbonizuje) usušený kal a redukuje jeho hmotnost na zhruba polovinu (dle úrovně anaerobní stabilizace kalu). Výstupem je mineralizovaný kal (biochar), s vysokým obsahem fosforu, který má univerzální využití (substrát, hnojivo, biomasa, atd.)

Do pyrolyzéro vstupuje kal vysušený na cca 80 % sušiny. V příkladném řešení pyrolyzního reaktoru se pohybují dvakrát dva šikmé šneky proti sobě, v horní části

dochází ke karbonizaci. Teplota kalu je udržována okolo 600 °C, teplota plynu ve spalovací komoře až 1200 °C. Veškerý pyrolýzní plyn je za tepla spálen ve speciální spalovací komoře a tudíž nedochází k produkci bio-oleje.

Spaliny jsou vedeny přímo k vytápění pyrolyzéro, zbytkové teplo je vyvedeno přes dva spalínové výměníky k produkci teplé vody. Teplo může být využito pro vytápění sušárny (pokryje cca polovinu spotřeby) nebo pro dodávku tepla. Spaliny jsou čištěny na speciálních filtrech s aktivním uhlím a neutralizovány v mokré pračce. Na výstupu do komínu jsou kontinuálně měřeny a zobrazovány na panelu řídicího rozvaděče hodnoty stanovených prvků ve vyčištěném vzduchu.



Obrázek 17 - Pyrolýzní modul Pyreg (Pyreg, 2019)

Hlavním produktem je karbonizovaný kal (biochar), který lze využít jako substrát, hnojivo, spoluspalovat, apod. Biochar je produkt bohatý na uhlík a fosfor, který vzniká tepelným rozkladem kalu za nepřítomnosti vzduchu. Odpovídá kombinovanému, neboli směsnému hnojivu (NPK hnojivo), obsahující i vápenatohořečnatou složku. Podle současné klasifikace hnojiv se tak kal posouvá z oblasti organického hnojiva, do kategorie organo-minerálního hnojiva. Při aplikaci na pole dochází k mnoha příznivým jevům jako je provzdušnění půdy, zadržování vody v půdě (porozita 25 až 150 m²/g) a také přirozenému stabilnímu uložení uhlíku do půdy (tzv. sekvestrace, tedy vlastně stabilní zafixování a tím i zmenšení uhlíkové stopy).

Složení biocharu: fixovaný uhlík (okolo 20 %), fosfor, dusík, vápník, těžké látky, popel a ostatní stopové prvky jako těžké kovy v podlimitním množství (kromě rtuti, která odchází jako součást primárního pyrolýzního plynu).

6 Návrh technologie regionálního centra Rožná

Ze známých technologií byl proveden výběr pro vhodné složení linky zpracování kalů. Při hledání vhodné sestavy byli brány v úvahu hmotové a energetické bilance a posouzena externí energetická náročnost. Postupně jsem dospěl k optimální sestavě dvou různých variant. První z nich spočívá v kombinaci nízkoteplotní sušárny a pomalé pyrolýzy sušeného kalu. Druhým a vhodnějším řešením pro instalace mimo ČOV se jeví varianta sestavy solární sušárny kalů a pomalé pyrolýzy sušeného kalu, kdy je odpadní teplo z pyrolyzéro využíváno k podpoře procesu sušení v solární sušárně. V obou případech je pak jako finální produkt produkován biochar, který může být používán jako bezpečné hnojivo obsahující vysoké koncentrace agrochemicky využitelného fosforu. *V rámci úkolu Smart Region's pak byly sestaveny návrhové postupy a bilanční schémata.* Zároveň byli kontaktováni možní dodavatelé dílčích zařízení a s takto upřesněnými podklady se optimalizovala sestava technologické linky s cílem maximálně využít energii obsaženou v kalech a odpadní teplo vzniklé při zpracování (Kos, 2017).

Základem technologie budou tyto technologické celky:

- Příjem odvodněných kalů (váha, kalový bunkr)
- Příjem zahuštěných kalů (zásobní nádrž a čerpání do speciálního odvodňovacího zařízení)
- Doprava kalů do sušárny kalů (vysokotlaké čerpadlo z kalového bunkru, šnekový dopravník z kalového bunkru, čerpadlo ze zásobní nádrže do odvodňovacího zařízení pro neodvodněné kaly)
- Sušení kalu:
 - Varianta 1 – nízkoteplotní sušárna
 - Varianta 2 - solární sušárna
- Materiálová transformace sušeného kalu pomalou pyrolýzou včetně čištění spalin
- Uskladnění sušeného kalu
- Uskladnění biocharu
- Kotelna (pro sušárnu, pyrolýzu jako startovací plyn, využití tepla z pyrolýzy)
- Dezodorizace (pouze nízkoteplotní sušárna)

Výběr typu sušárny a systémových součástí závisí na:

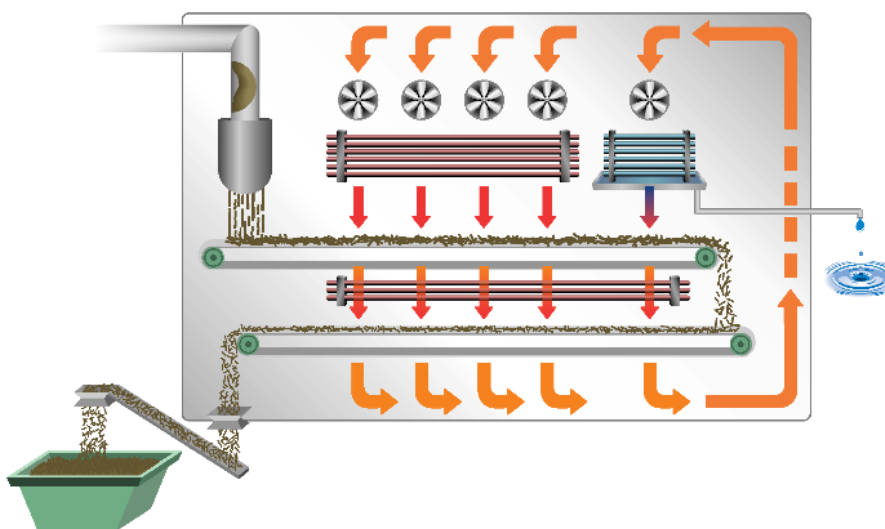
- Druhu kalu
- Množství kalu
- Zdroji tepla
- Možnosti využití odpadního tepla a odvodněného kalu

Jde o standardní výrobky dodávané celou řadou firmem.

6.1 Nízkoteplotní pásová sušárna – varianta č. 1

Dovážené zahuštěné kaly v množství cca 250 m³/rok jsou vypouštěny do malé uskladňovací nádrže a odtud čerpány na odvodňovací šnekový lis, součástí je malá stanice pro přípravu a dávkování flokulantu. Vzhledem k malému množství kalové vody je odvážena na vyčištění zpět do ČOV Bystřice nad Pernštejnem cisternovým vozem (zpětné využití vozidla pro dovoz zahuštěných kalů), případně na ČOV v areálu GEAM.

Zahuštěné kaly jsou čerpány do kalového bunkru k dováženým odvodněným kalům. Oddělená kalová voda je odváděna do jímky kalové vody určené k odvozu. Odvodněné kaly jsou přiváženy po zvážení do kalového bunkru a odtud dopravovány (vysokotlaké šnekové čerpadlo) do nízkoteplotní sušárny kalů.



Obrázek 18 - Nízkoteplotní sušárna kalů

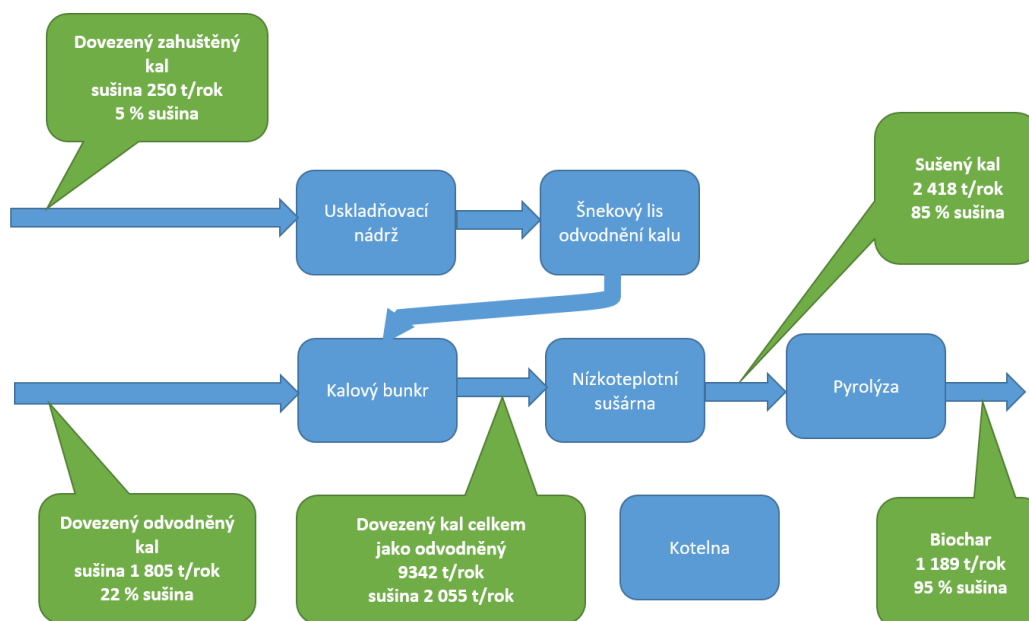
Jako zdroj tepla pro sušárnu kalů bude v areálu umístěna kotelna na zemní plyn, případně může být areál napojen na teplovodní rozvody z areálu GEAM. K sušení je použita nízkoteplotní sušárna bez kondezačního stupně (s cirkulačním vzduchovým chlazením), tzn. že odpařená vlhkost je na základě principu nízkoteplotní sušárny s vysokým průtokem čerstvého vzduchu (předehříván přes rekuperační výměník) odváděna přes dezodozirační jednotku do okolního prostředí. Vzniká pouze malé množství kondenzátu, který je spolu s oddělenou kalovou vodou z odvodnění odvážen na ČOV Bystřice nad Pernštejnem. K dispozici musí být zdroj vody vhodné kvality (pitná voda) pro doplňování topného okruhu včetně malé úpravy vody.

Usušený kal je odbírán z konce sušárny a uskladněn v zakrytém meziskladu, odtud je buď odvážen k zemědělskému využití, nebo je zpracován v pyrolyzáru. Sušárna je vybavena dezodorizačním systémem a biofiltrem. Dopravník z meziskladu přivádí kal do pyrolyzáru, který je umístěn v jednoduché hale spolu s kotlem, výměňkovou stanicí, provozní místností, skladem, dílnou, garáží apod. Součástí pyrolyzáru je jednotka čištění spalin ze spalování pyrolyzního plynu a kontinuální měření kvality spalin v definované skladbě měřených ukazatelů. Teplo z pyrolyzáru ve formě teplé vody je přiváděno do nízkoteplotní sušárny a doplňuje tak kapacitu kotle na zemní plyn, který je základním zdrojem tepla pro sušení kalu.

Vyprodukovaný biochar je šnekovým dopravníkem odveden do kontejnerů pod přístřeškem. Kontejnery mají možnost zakrytí před deštěm. Kontejnery s biocharem jsou umístěny na zpevněnou plochu před tím, než dojde k odvozu biocharu a jeho využití jako hnojiva.

Kalový bunkr může být umístěn jak v halovém objektu, tak mimo něj. Vzduch je odváděn ventilátorem do dezodorizačního systému sušárny. Součástí je malý provozní objekt (možnost v hale pyrolýzy), kde je umístěna váha dovážených kalů a sociální zázemí pro obsluhu s malou domovní ČOV pro splaškové vody z provozu.

Dešťové vody z haly sušení, haly pyrolýzy a ze zpevněných ploch jsou zasakovány. K provoznímu startu pyrolyzáru je v lokalitě k dispozici externí energetický zdroj ve formě zásobníku propanu nebo přípojky na zemní plyn. Objekt je oplocen, osvětlen a monitorován kamerami včetně vnitřku nízkoteplotní sušárny.



Obrázek 19 - Blokové schéma varianty č. 1

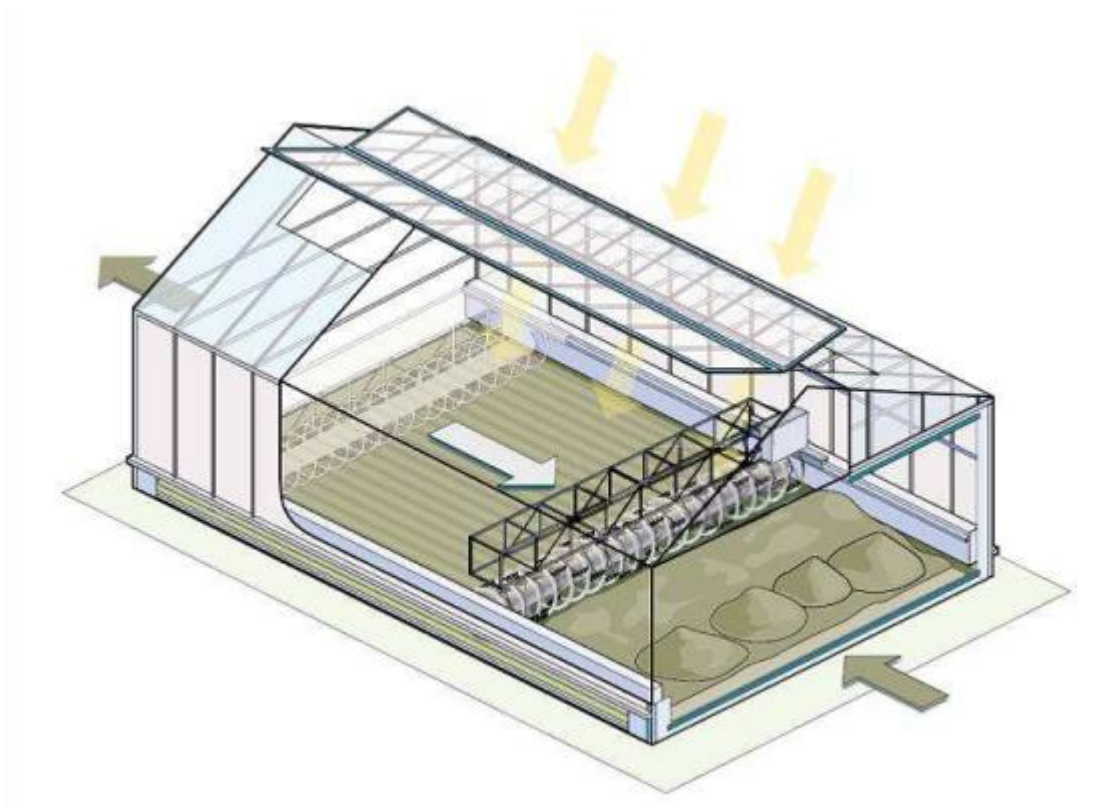
6.2 Solární sušárna – varianta č. 2

Dovážené zahuštěné kaly v množství cca 250 m³/rok jsou vypouštěny do malé uskladňovací nádrže a odtud čerpány na odvodňovací šnekový lis, součástí je malá stanice pro přípravu a dávkování flokulantu. Vzhledem k malému množství kalové vody je odvážena na vyčištění na ČOV Bystřice nad Pernštejnem cisternovým vozem (zpětné využití vozidla pro dovoz zahuštěných kalů), nebo na ČOV v areálu GEAM.

Zahuštěné kaly jsou šaržovitě čerpány do zahušťovacího zařízení umístěném v čele solární sušárny. Oddělená kalová voda je odváděna do jímky kalové vody určené k odvozu. Variantně může být použito totožné řešení pro odvodnění jako ve variantě č. 1, tedy malý odvodňovací šnekový lis.

Odvodněné kaly jsou po zvážení přiváženy do kalového bunkru a odtud dopravovány (šnekový dopravník s možností řízení místa vysypání) do solární sušárny. Odvodněný kal je pak vyklápen do čela solární sušárny k zahájení sušení. Následně je již transportován zařízením pro prohrabování, obracení a posun sušeného kalu v solární sušárně. Vzdušina z kalového bunkru a uskladňovací nádrže je odsávána do malého dezodorizačního biofiltru. Odpařená vlhkost je na základě principu solární sušárny vyfukována do ovzduší, což znamená, že zde není potřeba čištění kondenzátu.

Jako zdroj tepla pro sušárnu kalů v případě nedostatku slunečního záření bude v areálu umístěna kotelna na zemní plyn, případně může být areál napojen na teplovodní rozvody z areálu GEAM.



Obrázek 20 - Schéma solární sušárny kalů (Aqua Procon, 2019)

Usušený kal je odbírán z konce solární sušárny a uskladněn v zakrytém meziskladu. Ten může být umístěn v koncovém prostoru solární sušárny jako snížený prostor. Odtud je buď odvážen k zemědělskému využití, nebo je zpracován v pyrolyzáru. Dopravník z meziskladu přivádí kal do pyrolyzáru, který je umístěn v jednoduché hale spolu s kotlem, výměňkovou stanicí, provozní místností, skladem, dílnou, garáží apod. Teplo z pyrolyzáru ve formě teplé vody je přiváděno do solární sušárny (teplovzdušné jednotky zavěšené uvnitř sušárny v celé délce sušárny) a posiluje odpařovací kapacitu zvláště v zimním období. Dimenzování solární sušárny je provedeno bez započtení tohoto přínosu. Součástí pyrolyzáru je jednotka čištění spalin ze spalování pyrolyzního plynu a kontinuální měření kvality spalin v definované skladbě měřených ukazatelů.

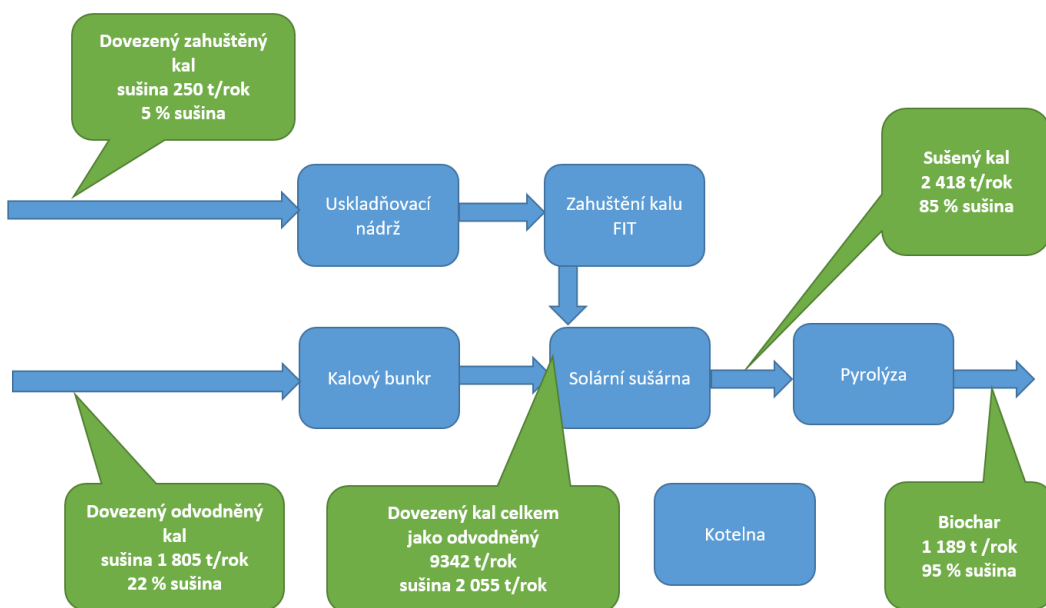
Vyprodukovaný biochar je šnekovým dopravníkem přiváděn do kontejnerů pod přístřeškem. Kontejnery mají možnost zakrytí před deštěm. Kontejnery s biocharem

jsou před odvozem umístovány na zpevněnou plochu. Následně dochází k využití biocharu jako hnojiva.

K provoznímu startu pyrolyzéry je na lokalitě k dispozici externí energetický zdroj ve formě zásobníku propanu nebo přípojky na zemní plyn. Součástí je malý provozní objekt (možnost v hale pyrolýzy), kde je umístěna váha dovážených kalů a sociální zázemí pro obsluhu s malou domovní ČOV pro splaškové vody z provozu.

Dešťové vody ze solární sušárny a zpevněných ploch jsou zasakovány. Objekt je oplocen, osvětlen, monitorován kamerami včetně vnitřku solární sušárny.

Návrh výpočtu parametrů solární sušárny kalů je k dispozici v přílohách č. 2. a 3. Software pro rámcový návrh solární sušárny i vlastní výpočet poskytla rakouská společnost Solartiger GmbH.



Obrázek 21 - Blokové schéma varianty č. 2

7 Diskuse

7.1 Vývoj v oblasti kalů, legislativní rámec:

Čistírenský kal jako základní produkt čištění odpadních vod vedle samotné vyčištěné vody je dle Vyhlášky č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, s účinností od 1.4.2016, o kategorizaci odpadů, zaříděn do skupiny 19 08 05, tedy do kategorie „O“ jako ostatní odpad. V současné době mají tyto kaly zcela jiné složení než v minulosti. Především obsahují těžké kovy, specifické organické mikropolutanty a mají hygienicky nevhodné parametry, jejichž zavedení do potravinového řetězce přes doposud nejvíce využívanou likvidaci formou aplikace do půdy může způsobovat dlouhodobé ohrožování obyvatelstva, jeho zdraví apod.

Proto je v plném procesu příprava nových evropských i národních předpisů pro využívání kalů do půdy, resp. podmínek pro účelnou a bezpečnou likvidaci kalů jako takových. Pro podmínky České republiky jsou v současné době rozhodujícím především Vyhláška 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (jež upravuje i některé další vyhlášky) a Vyhláška 237/2017 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 747/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. Tyto vyhlášky zásadním způsobem zpřísňují podmínky parametrů hygienizovaných kalů, ať pro jejich přímou aplikaci do půdy, nebo podmínky pro hygienizované komposty, zahrnované do kategorie organických hnojiv a substrátů. Samozřejmě zásadní vliv na další počínání s kaly bude mít novelizace Zákona o odpadech, jejíž příprava byla zpomalena a dnes není možné říci, co bude pro nakládání s kaly nový Zákon o odpadech představovat.

7.2 Rizika a nejistoty pro řešení „kalové koncovky“ plynoucí z této práce

- Náhled na kaly se v krátké době výrazně zpřísnil, změna „co s ním“ je nevyhnutelná a již započala v celé společnosti, nečinnost hrozí finančními postihy ve velmi krátké době (jednotek roků).
- Vývoj legislativního rámce není dokončen, závaznost pro nakládání s kaly, nicméně zpřísněné podmínky pro hygienizaci kalů jsou již v platnosti.
- Zatřídění čistírenského kalu v terminologii odpad – palivo, prozatím stále „odpad“, z toho plyne, že zatím nelze uvažovat o využití zpracování kalů

například v teplárnách (je na to ale velký tlak a může to vyvolat změnu zařídění kalů).

- Nezbytnost posouzení komplexu technologického celku termické degradace kalů (= sušení a spalování kalů s uzavřeným procesem využití spalin pro sušení) jako celku vede k energetické a tím i investiční a provozní optimalizaci.
- Přístup lokálního kompetentního úřadu k posuzování a povolování typu zařízení (mobilní, trvalé, doplnění technologie ČOV apod.) a z toho plynoucí náročnost na povolení zařízení (územní povolení, posouzení vlivu na životní prostředí, stavební povolení apod.), nedostatek přímých zkušeností s instalací a provozem těchto zařízení v České republice vede k obavám a opatrnosti schvalujících orgánů.
- Kvalita kalu na vstupu do zařízení, resp. jeho koncentrace sušiny, organický podíl apod.
- Územní omezení či jiné omezující podmínky pro každou konkrétní lokalitu.

7.3 Souhrnné hodnocení posuzovaných variant

V této studii jsou posuzovány dvě varianty, které se liší různou technologií sušení kalu:

- Varianta č.1 - Zpracování dovážených kalů odvodněním zahuštěných kalů, nízkoteplotním sušením odvodněných kalů a pyrolýzou sušeného kalu
- Varianta č.2 - Zpracování dovážených kalů odvodněním zahuštěných kalů, solárním sušením odvodněných kalů a pyrolýzou sušeného kalu

Pro posuzované varianty lze konstatovat následující výhody či nevýhody:

- Investiční náklady pro obě zvolené varianty jsou zhruba srovnatelné.
- Územně je náročnější solární sušárna kalů, ovšem v tomto případě je dostatečný prostor k dispozici
- Velkou výhodou je, že solární sušení neprodukuje fugát. Jednak není v této kam zaústit před ČOV (v tomto areálu není) a též zatěžuje proces čištění velmi koncentrovanou odpadní vodou a tím zvyšuje nároky a náklady na čištění vod jako takové.

- Solární sušení má výrazně nižší provozní náklady, a to především z důvodu nižší spotřeby tepla.
- Pokud by se neinvestovalo a uvažovaná stavba neprovedla, tak ve výhledu bude platba za likvidaci kalu navýšena v následujícím období na minimálně 9,34 mil. Kč/rok při ceně 1 000 Kč/t. Tyto provozní náklady na likvidaci kalu odpovídají přibližně provozním nákladům solární sušárny. Oproti tomu nízkoteplotní pásová sušárna má roční provozní náklady přibližně dvojnásobně dražší.
- Potencionální roční výnos za produkt z pyrolýzy čili biochar. Momentálně však u nás není trh s biocharem nastaven a jedná se tedy jen o hypotetickou úvahu dle zahraničních příkladů (cca 2 €/kg).

8 Závěr

Problému s čistírenskými kaly se bude muset začít věnovat více pozornosti. To se týká jak malých čistíren odpadních vod, které prozatím žádný stupeň hygienizace kalů nemají, tak ale i těch větších čistíren odpadních vod, ze kterých v současné době většina nedisponuje technologií schopnou v dostatečné míře kal hygienizovat. Jelikož se produkce kalů nelze zbavit, bude i tento problém stále přetrvávat.

Vlivem zpřísnění legislativních požadavků na hygienizaci kalů a omezení možností jejich ukládání dochází k potřebě návrhu a uvedení do provozu nových technologických řešení pro nakládání s kaly. V současné době není sice nový Zákon o odpadech schválen (což je po několik let přetrvávající problém), a změna legislativních podmínek tím není dokončena a vyjasněna, už teď ovšem musí vlastníci a provozovatelé vodohospodářské infrastruktury odpadních vod rychle rozmýšlet, jak budou reagovat. Jinak jim hrozí ve velmi krátké době (jednotky roků) postih za nedodržení závazných parametrů likvidace kalů vyjádřený pokutami.

Dostupné metody jsou založeny pro zpracování kalů standardními metodami zahuštění, aerobní stabilizace či anaerobního vyhnívání a následného odvodnění na termickém zpracování kalů. Základními procesy jsou sušení či předsušení kalů a následné monospalování či spoluspalování s jinými komoditami (odpad, štěpka, ...).

U větších ČOV poskytuje čistírenský kal další možnosti využití. Například jímání bioplynu z vyhnívacího procesu na výrobu elektrické energie (buď v kogeneračních jednotkách, nebo spalováním v kotli a přes výměníky tepla). Po procesu vyhnívání vyhnílý kal stále obsahuje řádově jednou tolik energie a termické procesy napomáhají k jejímu získání a zužitkování. Pro správné energetické nastavení procesu „kalové koncovky“ je nezbytné zabývat se energetickou bilancí celého kalového komplexu, protože sušení kalů je náročné na potřebu energie a je nutné hledat v každém konkrétním čistírenském procesu potenciální zdroje energie. Takovou energii částečně sanující potřebu sušení poskytuje následný proces spalování kalů, či pyrolýza kalů. V takovém případě je produktem teplý vzduch a přes výměníky tepla poskytuje energii. Zbylý deficit (potřebu) pak doplňuje externí zdroj. Tím může být zemní plyn přivedený pomocí klasické přípojky ze sítě, nebo plynové zásobníky. Důkladná

příprava celého záměru, energetická bilance a technický návrh ověřeného řešení vede i k optimalizaci vložených investičních prostředků.

Právě návrhem komplexního řešení jsem se zabýval v konkrétním příkladu v lokalitě Rožná. Kaly budou z několika čistíren dováženy do předmětné lokality. Protože jsou různé kvality, budou před tím předzpracovány klasickou formou a odvodněny. Následně je navrženo ve variantě sušení a pyrolýzy. Důvodem umístění je snaha spojit provozní a investiční náklady do velkého celku, protože to je vždy výhodnější. Současně není u čistíren prostor pro „kalovou koncovku“ a znamenalo by to buď přikupovat pozemky, nebo hledat jiné technicky i investičně náročné řešení ve vazbě na každou ČOV.

Příklad řešení se věnuje konkrétní variantě navrhuující způsob hygienizace kalu ze Svazu vodovodů a kanalizací Žďársko. Návrhem je vybudování regionálního kalového centra umístěného na území bývalých uranových dolů. Území nemá po ukončení těžby uranu konkrétní využití a regionální kalové centrum by sloužilo jako zajímavá alternativa k rekultivaci a sanaci daného území. Samozřejmě má odlehlá lokalita i výhody minimalizace negativního vlivu na okolí, zástavbu atd. Ovšem procesy a technologie je nezbytné stejně nastavit a navrhnout tak, aby splňovaly podmínky vlivu na životní prostředí. Na druhou stranu, jak je popsáno v předchozích kapitolách, absence ČOV a nemožnost vypouštění kalové vody (fugátu) z procesu sušení před čištěním vod ovlivňuje výběr či doporučení technologie a toto je jedním z hlavních důvodů doporučení solární sušárny ve srovnání s nízkoteplotní pásovou sušárnou.

Solární sušárna je celkově provozně výhodnější, ovšem především v zimních měsících se i ona musí dotovat teplem z externího zdroje, a proto má logiku zařadit za sušení proces pyrolýzy. Při něm dochází ke zpracování pyrolýzního plynu přes výměníky tepla a získání tepla pro sušení. Protože proces nesmí být ohrožen, je vhodné uvažovat i s plynovodní přípojkou, či zásobníky plynu.

Pro úplné posouzení je nezbytné přiznat, že solární sušárna kalů je náročnější na prostorovou dispozici. V tomto případě je v místě sanovaného území prostoru dostatek, a i proto je vhodné její upřednostnění před nízkoteplotní pásovou sušárnou.

Tato studie by mohla sloužit jako inspirace i pro další území ovlivněná těžbou, která v současné době nemají využití, popřípadě probíhá jejich sanace a rekultivace území.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

9.1 Přehled literatury

- [1] CIMALA, Zdeněk. Po stopách průzkumu a těžby uranových ložisek na Moravě a ve Východních Čechách. GEAM Dolní Rožínka, 1997, 130 s.
- [2] CULEK Martin. Biogeografické regiony České republiky. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-802-1066-939.
- [3] CRITTENDEN John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons. 2005. ISBN 0-471-11018-3.
- [4] CHEN G., YUE PL., MUJUMDAR AS. Dewatering and drying of wastewater treatment sludge. 2006.
- [5] CHEN G., YUE PL., MUJUMDAR AS. Sludge dewatering and drying. Drying Technology. 2002. ISBN 20-883-916
- [6] ČSN EN 15357. Tuhá alternativní paliva - Terminologie, definice a popis. Vědecko-výzkumný uhelný ústav a.s., 2011.
- [7] ČSN EN 15358. Tuhá alternativní paliva – Systémy managementu kvality – Specifické požadavky pro jejich použití při výrobě tuhých alternativních paliv. Vědecko-výzkumný uhelný ústav a.s., 2011.
- [8] ČSN EN 12255-11. Obecné podklady pro návrh čistírny stanovuje norma, 2002.
- [9] ČSN 75 6005. PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ SÍTÍ TECHNICKÉHO VYBAVENÍ. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
- [10] ČSN 75 6101. Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [11] ČSN EN 15359. Tuhá alternativní paliva – Specifikace a třídy. Vědecko-výzkumný uhelný ústav a.s., 2012.
- [12] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In Sběrka zákonů ČR, ročník 2001, částka 98. Dostupné na: [cit. 2017-04-24]. ISSN 1211-1244.
- [13] ČESKO. Zákon č 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých zákonů. In Sběrka zákonů ČR, ročník 2001, ISSN 1211-1244.

- [14] ČESKO. Zákon č. 223/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 169/2013 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. In Sbíрка zákonů ČR, ročník 2015.
- [15] ČESKO. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In Sbíрка zákonů ČR, ročník 2001, částka 161. Dostupné na: [cit. 2017-04-24]. ISSN 1211-1244
- [16] ČESKO. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In Sbíрка zákonů ČR, ročník 2001, částka 104. Dostupné na: [cit. 2017-04-24]. ISSN 1211-1244
- [17] ČESKO. Vyhláška č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, ve znění pozdějších předpisů. 2001.
- [18] ČESKO. Vyhláška 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů), ve znění pozdějších předpisů. 2001.
- [19] ČESKO. Vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu. 2016.
- [20] ČESKO. Vyhláška 237/2017 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 747/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. 2017.

- [21] ČESKO. Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. 2001.
- [22] ČESKO. Návrh revize směrnice EU o hnojivech (Reg. (EC) 2003/2003) a současné zavedení nové certifikace v oblasti hnojiv. 2016.
- [23] ČESKO. Směrnice Rady 86/278 ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství. 1986.
- [24] ČESKO. Vyhláška č. 387/2016 Sb., kterou se mění vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. 2016.
- [25] Český hydrometeorologický ústav 2019 [online]. [Cit. 15.3.2020]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [26] ČÍŽEK, HEREL, KONÍČEK, 1970: Stokování a čištění odpadních vod. SNTL 1970.
- [27] DIAMO, státní podnik, odštěpený závod GEAM Rožná, 2018, [online]. [Cit. 14.3.2020]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/>
- [28] GRMELA A., BABKA O., HÁJEK A. Důlní vody uranových ložisek předplatformních formací České republiky. Ostrava: Montanex, 2012. ISBN 978-80-7225-372-2.
- [29] GREGOR Z., JEŽ J. Zprávy o vyhodnocení programu monitorování veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska radiační ochrany o. z. GEAM. 2019.
- [30] HARTIG Karel. Problematika kalového hospodářství – sušení kalů, Sweco Hydroprojekt a.s., Časopis Vodní hospodářství 04/2017. Praha, 2017.
- [31] HARTIG K., KUTIL J. Optimální volba kalové koncovky a výhody nízkoteplotního sušení. Voda-forum [online]. Praha, 2017. Dostupné z: http://www.vodaforum.cz/prezentace/zakaznici/vodaforum/dokumenty/pdf/f7_1_30-18-hartig.pdf
- [32] HARTIG K., JONÁŠOVÁ S. Kaly a cirkulární ekonomika. Sweco Hydroprojekt a.s., Časopis Vodní hospodářství. Praha, 2018. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/kaly-a-%E2%80%AFcirkularni-ekonomika/>

- [33] HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství [online], Sweco Hydroprojekt a.s., Časopis Vodní hospodářství. Praha, 2017. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>
- [34] HLAVÍNEK, Petr. Stokování a čištění odpadních vod. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 978-80-2142-535-4.
- [35] JEŽ Jiří. Sanace následků těžby a úpravy uranové rudy v oblasti Dolní Rožínky. 2009.
- [36] KRIŠTOFÍK, Jan. Hygienizace kalů z čistíren odpadních vod. Brno, 2006. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Vedoucí práce Ing. Tomáš Vítěz.
- [37] KOS Miroslav. Regionální centra zpracování kalů [online], SMP a.s., 2020. Dostupné z: <https://docplayer.cz/109831535-Regionalni-centra-zpracovani-kalu.html>
- [38] Kol. autorů. Prezentace a poznámky ze semináře „Materiálová transformace čistírenských kalů“, Česká Skalice. 2017.
- [39] KOS Miroslav. Technologie pro regionální centra zpracování čistírenských kalů pomocí materiálové transformace, SMP CZ, a.s. 2017.
- [40] KYNCL Miroslav. Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů: monografie. Technická univerzita Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-1604-3.
- [41] LEI Z., DEZHEN C., JINLONG X. Sewage sludge solar drying practise and characteristics study. In: Proceedings of power engineering conference, IEEE. 2009.
- [42] LÉONARD A., VANDEVENNE P., SALMON T., MARCHOT P., CRINE M. Wastewater sludge convective drying: influence of sludge origin. Environmental Technology. 2004. ISBN 25-1051–7.
- [43] LUBOSCHIK, U. Solar drying of sewage sludge. 2003.
- [44] LYČKOVÁ B, FEČKO P., KUČEROVÁ R. Problematika zpracování kalu [online]. Technická univerzita Ostrava. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz>
- [45] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: Metodická příručka. Praha, 2009. Dostupné z: http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/18/5691-04102009_zneskodnovani_odpadnich_vod_do_2000eo.pdf

- [46] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Optimalizace nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod. Oddíl III Návrhová část. Praha, 2015. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-Oddil_III_Navrhova_cast-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-Oddil_III_Navrhova_cast-20160810.pdf)
- [47] ÖGLENİ N., ÖZDEMİR S. Pathogen reduction effects of solar drying and soil application in sewage sludge. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2010. ISBN 34-509–15.
- [48] PLÍVA P., BANOUT J., HABART J., JELÍNEK A., KOLLÁROVÁ M., ROY A., TOMÁNKOVÁ D. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. ISBN 80-86884-11-2.
- [49] Průmyslová ekologie, 2015 [online]. [Cit. 10.8.2019]. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/>
- [50] PYTL, Vladimír. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 2. vyd. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, 2012. ISBN 978-80-87140-26-0.
- [51] RACLAVSKÁ H. Technologie zpracování a využití kalů z ČOV, Technická univerzita Ostrava. 2007.
- [52] RAČEK J., DOSKOČIL B., ŠEVČÍK J., CHORAZY T.,HLAVÍNEK P. Sušení čistírenského kalu pro podmínky České republiky. Brno, 2018. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/327107649_Suseni_cistirenskeho_kalu_pro_podminky_Ceske_republiky
- [53] Semistrukturovaný rozhovor s konzultantem mé diplomové práce Ing. Alešem Muchou MBA.
- [54] Semistrukturovaný rozhovor s konzultantem mé diplomové práce a projektantem ve společnost AQUA PROCON s.r.o., Ing. Pavlem Martanem
- [55] Semistrukturovaný rozhovor s konzultantem mé diplomové práce a projektantem ve společnost AQUA PROCON s.r.o., Ing. Sana Bahorem
- [56] Semistrukturovaný rozhovor s konzultantem mé diplomové práce a ředitelem divize ve společnost AQUA PROCON s.r.o., Ing. Radovanem Halounem CSc.
- [57] SEIGER I., Bux M. Prediction of Evaporation Rate in a Solar Dryer for Sewage Sludge. 2005.

- [58] SERGINER I., BUX M. Modeling solar drying rate of wastewater sludge. Drying Technology. 2006. ISBN 24-1353–63.
- [59] SHAMMAS NK, WANG L., 2011: Water supply and wastewater removal. Wiley. ISBN: 978-0-470-41192-6.
- [60] SMĚRNICE RADY Č. 91/271/EHS. Směrnice rady o čištění městských a odpadních vod. Brusel, 1991. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:31991L0271>.
- [61] SLIM R., ZOUGHAIB A., CLODIC D. Modeling of a solar and heat pump sludge drying system. International Journal of Refrigeration. 2008. ISBN 31-1156–68.
- [62] SYNÁČKOVÁ M., 2014: Základy vodního hospodářství [online prezentace]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=5164>
- [63] ŠEVČÍK Jan. Solární nebo pásové sušení čistírenských kalů – optimální řešení pro kalovou koncovku, HUBER CS, spol. s.r.o., Sborník přednášek Konference odpadové vody, Štrbské pleso, 2012.
- [64] ŠEVČÍK Jan. Solární vs. pásové sušení čistírenských kalů, Sborník přednášek konference Městské vody 2016. Velké Bílovice, 2016.
- [65] UWWTD-REP WORKING GROUP. Terms and Definitions of the Urban Waste Water Treatment Directive 91/271/EEC. Brussels, 2007. Dostupné z: www.ec.europa.eu
- [66] VÁŠA, Jiří. Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o.z. GEAM za rok 2016. Dolní Rožínka: DIAMO, státní podnik, odštěpný závod GEAM, 2017.
- [67] VÁŠA J. a kol. Zprávy o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. GEAM. 2019.

9.2 Zdroje obrázků

- [1] Současné způsoby využívání kalů a jejich zastoupení v ČR
Hartig, K., Jonášová, S.: Kaly a cirkulární ekonomika, Vodní hospodářství
1/2018; zdroj dat Český statistický úřad
- [2] Schéma oběhového hospodářství
<https://www.cez.cz/edee/content/img/zevo/co-je-zevo/obehove-hospodarstvi.png>.
- [3] Letecký pohled na území
<https://docplayer.cz/48393263-Padesate-vyroci-zahajeni-tezby-uranu-na-lozisku-rozna.html>
- [4] Mapa průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 [°C]
<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- [5] Princip nízkoteplotního sušení kalů
<https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-06/5%20-%20Kos-Zwettler%20-%20VOD-KA%202019%20final.pdf>
- [6] Schéma nízkoteplotní sušárny kalů
<http://www.stavbykarlovarska.cz/cz/hlasovani/susarna-kalu-na-cistirne-odpadnich-vod-karlovy-vary-269>
- [7] Distribuční dopravník uvnitř solární sušárny kalů
<https://enox.tech/en/sludge-drying/>
- [8] Schéma solární sušárny kalů
<https://www.makwater.com.au/products/wendewolf-solar-sludge-drying/>
- [9] Průměrný roční úhrn globálního záření v ČR
<http://portal.chmi.cz/>
- [10] Solární sušárna kalů
<https://enox.tech/en/sludge-drying/>

- [11] Pyrolýzní modul Pyreg
<http://www.hydrosystemy.cz/produkty/53-nakladani-s-kaly/55-zpracovani-kalu-pyrolyzou/67-pyrolyzni-modul-pyreg>
- [12] Schéma solární sušárny kalů
<http://www.aquaprocon.cz/>
- [13] Příloha č. 1 – zdroj: ASDC at NASA Langley Research Center
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?&email=rets@nrcan.gc.ca&step=1&p=&lat=49.4947042&submit=Submit&lon=16.2171461>
- [14] Příloha č. 2 a 3 – zdroj: Solartiger GmbH
<http://www.solartiger.at/en/topmenu/home.html>

10 Seznam obrázků a tabulek

10.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma standardního technologického procesu ČOV	6
Obrázek 2 - Současné způsoby využívání kalů a jejich zastoupení v ČR.....	15
Obrázek 3 – Schéma oběhového hospodářství (ČEZ, 2018)	22
Obrázek 4 - Letecký pohled na území (Sedláček, 2017)	32
Obrázek 5 - Situace širších vztahů	33
Obrázek 6 - Mapa průměrné roční teploty vzduchu za období 1961-1990 [°C]. Řešená oblast je zvýrazněna červeným obdélníkem. (ČHMU, 2019, editováno)	35
Obrázek 7 - Území určené k výstavbě kalového centra.....	38
Obrázek 8 - Technologické schéma technologické linky nízkoteplotní transformace kalů.....	39
Obrázek 9 - Princip nízkoteplotního sušení kalů (Kos, 2019)	40
Obrázek 10 - Nízkoteplotní sušárna ČOV Karlovy Vary (Stavby Karlovarského kraje, 2020)	42
Obrázek 11 - Kalový bunkr na vstupu do nízkoteplotní sušárny	43
Obrázek 12 - Schéma nízkoteplotní sušárny kalů (VaK Karlovy Vary, 2020).....	44
Obrázek 13 – Distribuční dopravník uvnitř solární sušárny kalů (ENOX, 2020).....	47
Obrázek 14 - Schéma solární sušárny kalů (MAK Water, 2020)	48
Obrázek 15 - Průměrný roční úhrn globálního záření v ČR	50
Obrázek 16 – Solární sušárna kalů (ENOX, 2020)	52
Obrázek 17 - Pyrolýzní modul Pyreg (Pyreg, 2019).....	53
Obrázek 18 - Nízkoteplotní sušárna kalů	55
Obrázek 19 - Blokové schéma varianty č. 1	57
Obrázek 20 - Schéma solární sušárny kalů (Aqua Procon, 2019).....	58
Obrázek 21 - Blokové schéma varianty č. 2	59

10.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Poplatky za ukládání odpadu	29
Tabulka 2 - Systém klasifikace pro tuhá alternativní paliva	31
Tabulka 3 - Výhledová produkce kalů v roce 2040 (VAS Žďársko, 2017).....	36
Tabulka 4 - Celkový přehled přiváženého kalu	37

11 Seznam použitých zkratek a symbolů

Zn - Zinek

Pb - Olovo

Cu - Měď

Cr - Chrom

Ni - Nikl

Cd - Kadmium

As - Arsen

Hg - Rtuť

P - Fosfor

H₂O₂ - Peroxid vodíku

O₃ - Ozon

CaO - Pálené vápno

NaOH - Hydroxid sodný

PCB - Polychlorované bifenyly

PAU - polyaromatické uhlovodíky

EO - Ekvivalentní obyvatel

ČOV - čistírna odpadních vod

NTS - nízkoteplotní sušárna kalů

VK - vyhnilý kal

NT - odpadní teplo z vodního chlazení kogenerace

VZ - odpadní teplo ze spalínového okruhu chlazení kogenerace

Biochar - na uhlík bohatý produkt získaný tepelným rozkladem organického materiálu. Například dřevní nebo rostlinné biomasy, ale i hnoje a čistírenských kalů. Vzniká bez přístupu vzduchu a za vysokých teplot. Je též produktem pyrolýzy.

12 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Charakteristika lokality z hlediska návrhu solární sušárny (Zdroj NASA)

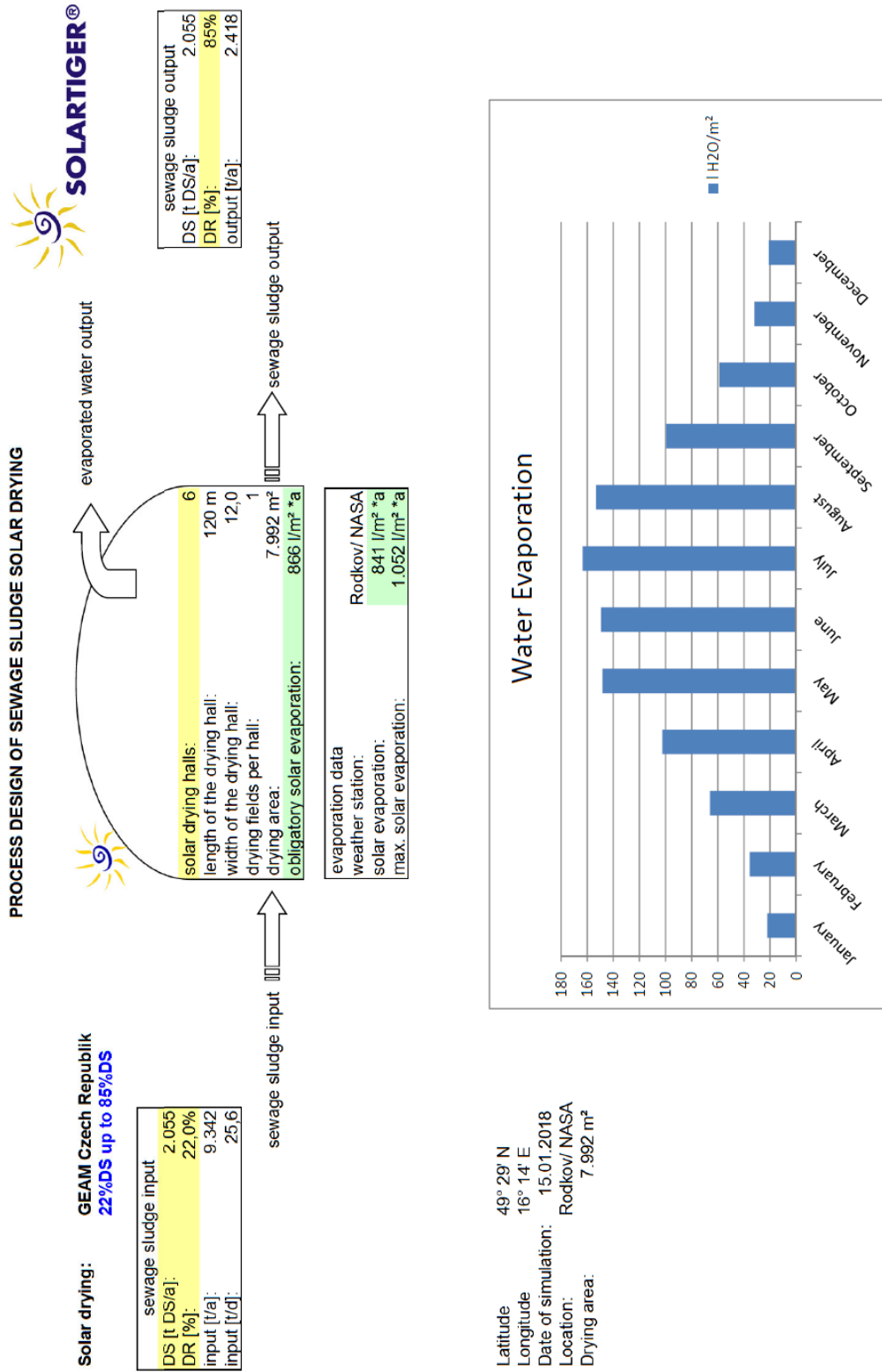
Příloha č. 2 - Návrh solární sušárny kalů a jejích parametrů

Příloha č. 3 – Množství kalu na vstupu a výstupu a výška kalu v solární sušárně

Příloha č. 1 – Charakteristika lokality z hlediska návrhu solární sušárny (NASA)

		Climate data location						
	Unit							
Latitude	°N	49.495						
Longitude	°E	16.217						
Elevation	m	387						
Heating design temperature	°C	-7.39						
Cooling design temperature	°C	24.17						
Earth temperature amplitude	°C	18.5						
Frost days at site	day	107						
Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	-3.0	81.8%	1.08	97.3	6.5	-3.9	646	0
February	-1.6	79.3%	1.88	97.2	6.0	-2.3	554	0
March	2.5	74.4%	2.84	97.1	6.0	2.6	475	0
April	8.4	62.9%	4.03	96.8	4.9	9.5	288	30
May	14.1	58.1%	5.03	97.0	4.5	15.7	129	131
June	16.7	58.5%	4.96	97.0	4.4	18.5	66	196
July	19.3	55.5%	4.98	97.1	4.6	21.2	26	278
August	19.4	56.5%	4.52	97.1	4.5	21.1	25	288
September	14.2	64.2%	3.08	97.1	5.1	15.3	117	133
October	8.9	72.5%	1.83	97.3	5.4	9.1	276	39
November	2.3	82.2%	1.02	97.2	6.3	1.8	469	0
December	-1.9	83.1%	0.82	97.3	6.6	-2.8	614	0
Annual	8.3	69.1%	3.01	97.1	5.4	8.8	3685	1095
Measured at (m)					10.0	0.0		

Příloha č. 2 - Návrh solární sušárny kalů a jejích parametrů



Príloha č. 3 – Množství kalu na vstupu a výstupu a výška kalu v solární sušárně

Sludge input/output and height of sludge during drying



Month	Sludge input [t/m]	Input DS [%DS]	Potential water evaporation [t/m]	Sludge output ~ 85%DS [t/m]
January	793	22.0%	145	51
February	717	22.0%	235	82
March	793	22.0%	435	152
April	768	22.0%	674	236
May	793	22.0%	976	341
June	768	22.0%	984	344
July	793	22.0%	1.076	376
August	793	22.0%	1.008	352
September	768	22.0%	656	229
October	793	22.0%	387	135
November	768	22.0%	210	73
December	793	22.0%	138	48
Summary [t/a]:	9.342		6.924	2.418

