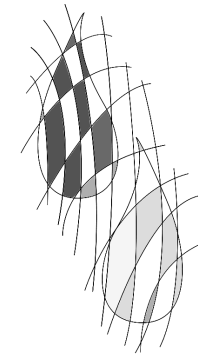


SALON KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

aneb „Listy z praktických skript“



Autor: CzWA, odborná skupina OS-REP

(Odborná skupina pro řešení extrémních požadavků
na čištění odpadních vod při České asociaci pro vodu)

Odráží praktické zkušenosti s provozováním ČOV
ve VODÁRENSKÉ AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI, a.s

únor 2013

Legislativní podmínky v ČR pro nakládání s kalem z ČOV

LEGISLATIVA ČR (závazná)

Kal jako odpad, katalogové číslo 19 08 05

Kal jako konečný produkt z procesu čištění odpadních vod je dle vyhlášky č.381/2001 Sb. (Katalog odpadů) zařazen jako odpad do skupiny 19 - katalogového čísla 19 08 05.

Každá biologická čistírna bez ohledu na velikost (počínaje domovními čistírnami) produkuje takovýto odpad v množství, které nelze z pohledu požadavků legislativy zanedbat a nakládání s ním tak musí být řešeno legitimním způsobem.

Další nakládání s kaly tedy podléhá režimu zákona o odpadech a jeho prováděcích právních předpisů.

Zákon:

185/2001 Sb. Zákon o odpadech

Prováděcí předpisy k zákonu o odpadech:

- 294/2005 Sb. Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
- 341/2008 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady
- 374/2008 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o přepravě odpadů a o změně vyhlášky č. 381/2001 Sb.
- 376/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
- 381/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu
- 382/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, příloha č. 1 - vzor evidenční list využití kalu v zemědělství, příloha č. 2 - mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků v půdě, příloha

č. 3 - mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a látek v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě, příloha č. 4 - mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě, příloha č. 5 - minimální četnost chem. a mikrob. analýz kalů využívaných na zemědělské půdě za rok, příloha č. 6 - metody odběru vzorků, analýz a metody pro mikrobiologická stanovení

383/2001 Sb. Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady

Kal je v zákoně o odpadech vyjmenovaným biologicky rozložitelným odpadem a nakládání s ním tak podléhá zvláštním ustanovením - řešením již není skládkování kalu.

Vyplývající povinnosti dle ustanovení předpisů:

- vzorkování kalů s danou četností a rozsahem (těžké kovy, živiny, hygienické vlastnosti), hodnocení nebezpečných vlastností, kontrola a odběr akreditovaným způsobem, ...
- zpracování pouze prostřednictvím subjektu oprávněného k převzetí či provozování zařízení k nakládání s odpady, kontrola způsobu nakládání a spolupráce při zpracování kalů, ...
- zařízení pro využití či odstranění se musí řídit schválenými podmínkami, provozními řády, ...
- pro aplikaci na zemědělskou půdu - úprava kalu - hygienizace, opět vzorkování (vč. pozemků), rozvozové plány, ...
- původce vede předepsanou evidenci a plní ohlašovací povinnost, ...
- a další ...

LEGISLATIVA EU

(je implementována do české legislativy, někdy v ní i zpřísněna)

- Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně ŽP a zvláště půd (využívání kalů na povrchu terénu)
- Směrnice Rady 2000/60/ES o vodě (kontrola znečišťujících látek)
- Směrnice Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů (omezení ukládání čistírenských kalů na skládky)

Technologie zpracování čistírenských kalů využívané pro ČOV do asi 30 tis. EO

Čistírny s mechanickým stupněm zahrnujícím primární sedimentaci

(nebo podobné řešení separace primárního případně fyzikálně-chemického kalu)

- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 150 dní, případně strojní odvodnění
- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 150 dní s homogenizací mechanickým nebo pneumatickým mícháním, případně strojní odvodnění
- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 60-90 dní a odvodnění strojní nebo na kalových polích
- Stabilizace v anaerobních podmínkách při teplotě okolí s jímáním bioplynu a uskladněním v otevřených nádržích, odvodnění strojní nebo na kalových polích
- Stabilizace v anaerobních podmínkách při mezofilní teplotě s jímáním bioplynu a uskladněním v otevřených nádržích, odvodnění strojní nebo na kalových polích
- Odvodnění kalu bez stabilizace s přímou vazbou na kompostárnu v areálu ČOV

Všechna tato řešení mohou být intenzifikována předřazeným zahuštěním kalu některou z vhodných technologií a případně po úpravě doplněna hygienizací některou z možných technologií (ATAS se vzduchem, vápnění nebo pasterizace).

Čistírny bez primární sedimentace

- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 150 dní, kalová pole, případně strojní odvodnění
- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 150 dní s homogenizací mechanickým nebo pneumatickým mícháním, kalová pole, případně strojní odvodnění
- Dlouhodobé uskladnění v nádržích bez řízené aerace na dobu asi 60 - 90 dní a odvodnění na kalových polích
- Prostá stabilizace a odvodnění na kalových polích nebo bez odvodnění

- Odvodnění bez stabilizace a přímé kompostování
- Řízená aerobní stabilizace vzduchem, aerací po dobu 35 - 45 dní a řízené koncentraci kyslíku, případně strojní odvodnění

Řada výše uvedených postupů se opouští pro vysoké provozní náklady, obtěžování okolí zápachem a hmyzem nebo pro nezajistitelné hygienické vlastnosti.

V případě požadavku na hygienizaci je možné u výše uvedených technologií tuto zajistit bez odvodnění, pouze převozem na větší ČOV s příslušnou technologií nebo po odvodnění kompostováním, případně vápněním v místě.

- OSS - oxyterm sludge system®

Nový trend

Kombinace některých výše uvedených postupů nebo zpracování vhodně upravených kalů na vybraných pozemcích přímo v místě produkce.

Technologie zajišťující hygienizaci kalu dle legislativy na kategorii 1

(použitelné pro ČOV do asi 30 tisíc EO)

Výběr vhodné technologie je závislý především na velikosti dané ČOV, na celkové koncepci kalového hospodářství i celé biologické linky ČOV, možnosti napojení ČOV na energetické sítě a podobně.

Vápnění:

Po předchozím odvodnění je kal smíchán s nehašeným mletým vápnem a deponován na určené místo. Je nutné likvidovat uvolněný amoniak.

Výhody:

- Snadné doplnění za strojní odvodnění

Nevýhody:

- Hygienizační účinek je ovlivněn vstupní sušinou odvodněného kalu a dávkou vápna
- Povinnost eliminovat unikající amoniak (často opomíjená), komplikuje a prodražuje proces
- Hygienizovaný kal má výrazně snížený obsah využitelných nutrientů a vnáší do půdy velké množství inertního anorganického balastu - může ji znehodnotit
- Tato technologie zvyšuje hmotnost produkovaného kalu, což vede ke zvýšení nákladů na jeho využití či likvidaci
- Nehašené vápno je nebezpečná látka

Kompostování:

Tato technologie umožňuje zpracování různých druhů přebytečného kalu bez předchozí stabilizace za předpokladu zásoby dostatečného množství reaktivního substrátu. Pokud není kompostárna přímo v místě ČOV nebo její v bezprostřední blízkosti, proces se prodražuje a jeho využití se může stát i nereálné.

Výhody:

- S výhodou lze malou reaktivitu čistírenských kalů (i nestabilizovaných), kompenzovat vysoce reaktivním substrátem, například kejdou

Nevýhody:

- Stabilizovaný kal, zvláště z moderních ČOV kompost „chladí“, je třeba zajistit další substrát, až čtyřnásobek hmotnosti kalu
- Náročná logistika spojená s organizací provozu, pokud není kompostárna v místě
- Vysoké nároky na plochu - extenzivní metoda

Pasterace:

Podmínkou pasterace kalu je možnost využití bioplynu, jinak je metoda nerentabilní

Výhody:

- Při zachování předepsaných podmínek procesu se dosahuje vyšší sušiny při odvodnění produktu

Nevýhody:

- Při nerovnoměrné produkci bioplynu v procesu stabilizace kalu je třeba dotovat energii zemním plynem
- V případě spalování bioplynu na kogenerační jednotce není proces energeticky soběstačný (pokud nejsou aplikovány některé další moderní postupy zvyšující produkci bioplynu)
- Podmínkou pro rentabilní provoz je primární sedimentace v technologické lince ČOV
- Pasterizovaný kal, pokud není dále zpracován vykazuje při delším skladování oživení a nemusí potom vyhovět podmínkám legislativy

OSS - oxyterm sludge systém®

Univerzální technologie s širokými možnostmi uplatnění, která může být aplikována například po úpravě nerentabilně provozovaných metalizačních komor a podobně.

Výhody:

- plně automatický, vysoce stabilní provoz
- nízké provozní náklady
- optimální provázanost s biologickým stupněm ČOV
- dobrá odvodnitelnost produkovaného kalu - vysoká sušina
- možnost zpracování kalu i z jiných ČOV
- vysoká míra garance konečných vlastností produkovaného kalu i na deponii

Nevýhody:

- Technologie vyžaduje při plně automatickém provozu plynulé zajištění dávkování surového kalu v množství 35 - 130% projektované kapacity, jinak je nutné provoz kontrolovat

Ekonomika zpracování čistírenských kalů

Srovnávání jednotlivých technologií zpracování přebytečného čistírenského kalu z hlediska provozních nákladů patří k nejčastěji požadovaným a z hlediska faktického obsahu také k nejčastěji zkreslovaným nebo „optimalizovaným“ informacím. Při hodnocení ekonomických podkladů je třeba sledovat počet technologických operací a souvisejících zařízení zahrnovaných do kalkulačního vzorce.

Definice:

Přebytečným se stává veškerý produkovaný kal z technologické linky okamžikem, kdy je čerpán nebo vypouštěn z biologického stupně ČOV ke zpracování v kalovém hospodářství.

Základní položky objektivní ekonomické bilance:

- stavební investiční náklady (vždy ve srovnatelných cenách nebo dle katalogu výkonů)
- investice do technologických zařízení (vždy ve srovnatelných cenách nebo dle oficiálních ceníků)
- údržba a obnova technologického vybavení
- spotřeba elektrické energie (čerpání, pohony, technologické periferie, osvětlení) štitková/skutečná (kWh)
- spotřeba zemního plynu (m^3) nebo jiných energií z externích zdrojů (GJ)
- spotřeba lidské práce podle úkonů popsanych v provozním řádu
- spotřeba chemikálií a ostatních látek nebo médií dle provozního řádu
- nezbytné poplatky třetím stranám (odvoz a zpracování odvodněného stabilizovaného kalu a manipulace s ním)

Optimální způsob srovnávání výsledků:

Pokud má ekonomická bilance přinést objektivní informaci o srovnávaných technologiích, musí být vždy vztahována k produkci surového přebytečného kalu vyjádřené v kg absolutní sušiny, nejlépe ve specifických nákladech na 1 kg absolutní sušiny surového přebytečného kalu. Možné je i vyjádření v % nákladů „standardní“ zvolené technologie, ale způsob získání musí vycházet opět z vyhodnocených nákladů na produkovaný surový přebytečný kal.

Srovnání provozních nákladů u vybraných technologií zpracování přebytečného kalu:

typ kalového hospodářství		prosté uskladnění (150 dní)	prosté uskladnění (150 dní) + vápnění*	aerobní stabilizace (40 dní)	aerobní stabilizace (40 dní) + vápnění*	autotermní aerobní stabilizace kyslíkem	autotermní aerobní stabilizace kyslíkem (min.)**
parametr							
napojení EO		10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
denní náklady	provozní	891	1 343	1 264	1 728	1 754	1 676
	odpisové	1 675	2 111	966	1 401	1 690	1 602
	na likvidaci	1 080	1 197	1 227	1 346	622	622
	celkem	3 646	4 651	3 457	4 475	4 066	3 900
roční náklady celkem		1 330 815	1 697 459	1 261 648	1 633 473	1 484 021	1 423 654
náklad na tunu sušiny		7 292	9 301	6 913	8 951	8 132	7 801
kategorie kalu		II	I	II	I	I	I

* náklady jsou stanoveny bez odstranění amoniaku !!

** minimalistická varianta se střední dobou zdržení 3 dny v nádržích 1 a 3

Zahrnuté hodnoty použité pro výpočet (na základě hodnot z praxe - rok výpočtu 2010):

- stavební náklady, náklady na pořízení technologických zařízení a dle toho třídy odpisů a jejich denní výše
- ceny energií, materiálů a služeb (není počítána odlišná cena za likvidaci kalu kategorie I a II !!)
- zahuštění kalu v technologii, degradace sušiny kalu, účinnost následného odvodnění
- náklady na obsluhu

OSS - oxyterm sludge system®

Jde o původní, patentovanou (2004), českou technologii komplexního řešení stabilizace a hygienizace kalu biologických čistíren odpadních vod, optimalizovanou pro objekty s kapacitou v rozmezí asi 3000 - 35000 EO.

Hlavní předností tohoto řešení je možnost zpracování kalů s nízkým obsahem organického podílu (z nízko zatížených biologických stupňů ČOV, odstraňujících dusík s vysokou účinností a navržených i na zvýšenou účinnost odbourávání některých xenobiotik).

Princip

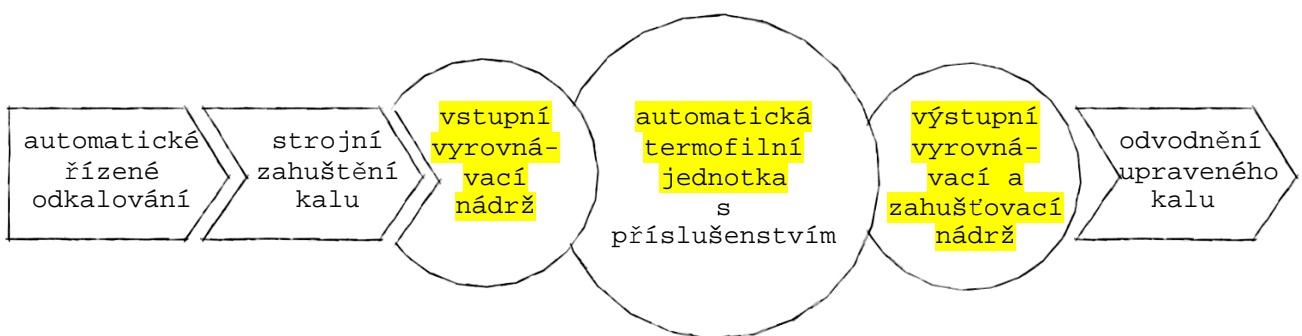
Autotermní termofilní aerobní stabilizace (ATAS), využívající čistý kyslík.

Provozní podmínky

Technologie pracující bez vnějšího zdroje tepla při teplotě 55 - 62 °C

Konfigurace

(doporučená/upravitelná)



Zařízení je vybaveno samostatným řídicím systémem s dálkovou servisní kontrolou procesu

Možnosti aplikace

- Rekonstrukce kalových hospodářství se zastaralou a nerentabilní technologií s mezofilní stabilizací přebytečného kalu, kde není využití pro bioplyn
- Kalové hospodářství větších ČOV bez primární sedimentace (například po repasi) nebo které slouží jako centrální jednotky pro svoz přebytečného kalu z více malých obecních biologických ČOV a domovních ČOV
- Obecně kalové hospodářství komunálních ČOV s kapacitou, která umožňuje rentabilní využití strojního zahuštění kalu (již od asi 3000 EO)

Výhody

- Univerzálnost možností použití
- Vysoká variabilita možného způsobu nasazení
- Přímá a účinná vazba a stabilizace provozu biologických stupňů ČOV
- Vysoká stabilita procesu
- Nízké nároky na garanci kvality vstupního kalu z hlediska obsahu organického podílu
- Zachování hygienických vlastností stabilizovaného kalu i po uložení na deponii (i několik týdnů)
- Nízké nároky na obsluhu
- Nízké provozní náklady
- Minimalizace množství produkovaného odvodněného kalu až na 50 % běžné produkce, dle podmínek provozu ČOV

Nevýhody (pro někoho)

Přiměřený požadavek na dodržení podmínek provozu dle provozního řádu ČOV a technologickou kázeň

Konečné vlastnosti stabilizovaného kalu

- Hygienické vlastnosti odpovídající kategorii I, dle požadavků legislativy, možnost přímé aplikace na půdu v tekutém nebo odvodněném stavu
- Dobrá odvoditelnost
- Zachování obsahu živin (N a P), ve formě využitelné rostlinami

A navíc: Po dobu provozu (i po garanční lhůtě) je při zachování přenosu dat z řídicí jednotky zajištěno v dohodnutém rozsahu poradenství autorů patentu a dodavatele, zahrnující řešení technologických problémů pro kalové hospodářství i pro napojenou biologickou linku ČOV

Koncepce řešení kalových hospodářství většího počtu malých ČOV

Základní specifika problému:

- Na ČOV se nevyplatí investice do úplné kalové koncovky vybavené stacionárním odvodněním (ČOV s kapacitou pod asi 2500 - 3000 EO)
- Nevýhodné **dopravní vzdálenosti** mezi zdrojem kalu a jeho možným zpracováním, jsou **velké nebo naopak malé** (pod 10 km), vysoká specifická spotřeba lidské práce
- Na ČOV se nevyplatí stálá obsluha
- Nejsou řešeny konečné vlastnosti kalu v souladu s platnou legislativou, ekonomicky přijatelným způsobem (většinou prosté uskladnění **bez garance konečných parametrů**)
- ČOV nemá vlastní kalojem (obvykle ČOV s kapacitou pod 150 - 200 EO)

Obecné možnosti řešení:

- **Převoz** gravitačně zahuštěného nebo nezahuštěného kalu na větší ČOV se stacionárním odvodňovacím zařízením (**vyplatí se** pouze pro ČOV s kapacitou **pod 2500 EO** na dopravní vzdálenost **do 10 km** a pro ČOV s kapacitou **pod asi 500 EO** obecně)
- Využití **malé mobilní odstředivky** a odvodnění na místě (vyplatí se **pro ČOV s kapacitou nad 1000 EO** bez jímky na svážené vody a pro ČOV s kapacitou asi 500 - 1000 EO s jímkou na svážené vody a řízeným vypouštěním)
- **Stacionární odvodnění** (ČOV s kapacitou **nad asi 3000 EO**), tato ČOV může v omezené míře sloužit pro centrální zpracování kalu z menších ČOV

Kalová koncovka optimalizovaná pro malé ČOV (pod 3000 EO):

- Zahuštění - gravitační (2,0 - 3,5 %)
- Stabilizace - časem řízená středobublinná aerace (0,9 - 1,2 m³ vzduchu/m³ objemu kalojemu)

- Objem kalojemu - doba zdržení 40 - 45 dnů (ČOV pod 500 EO asi 50 - 60 dní)
- Minimální objem kalojemu pro ČOV pod 200 EO - 20 m³
- Odvodnění kalu - malá mobilní nebo stacionární odstředivka (hltnost 2,5 - 4,0 m³/h, látkový tok asi 75 - 120 kg/h, pro sušinu 2,0 - 3,5 %)

Řešení kalové koncovky dle kapacity ČOV:

- Nad 3000 EO - stacionární odvodnění kalu, nad 5000 EO strojní zahuštění kalu
- Kapacita 800 - 3000 EO, dle vystrojení, malá mobilní odstředivka
- Kapacita 200 - 800 EO, převoz zahuštěného kalu k odvodnění na větší ČOV
- Kapacita pod asi 200 EO, odvoz aktivovaného přebytečného kalu, předzahuštění v aktivaci (do asi 1,5 %), ke zpracování na větší ČOV

Omezení platná při návrhu rentabilní kalové koncovky pro malé ČOV:

- Stabilizovaný kal by měl být v oxickém stavu bez větších známek rozkladu
- Zatížení ČOV kalovou vodou při odvodňování kalu nesmí být větší než 10 % $Q_{24/d}$
- Denní produkce odvodněného kalu (20 - 22 %) by měla činit asi 2,5 - 3,0 t (kontejner)
- Kalojem musí umožňovat standardní napojení hadice s typizovanou koncovkou

Možnosti využití a dimenzování malé mobilní odstředivky

Podmínky pro volbu kapacity malé mobilní odstředivky:

- **Zatížitelnost ČOV**, produkce fugátu při jednosměnném provozu (nad 12 m³/d)
- **Látkový tok sušiny kalu** (75 - 120 kg/h)
- **Denní optimální doba provozu** (asi 5 - 7 hodin), jedna směna nebo více
- **Množství odvodněného kalu** dle kontejneru, asi 2,5 - 3,0 t/d, (vždy plný kontejner)

Optimální režim provozu malé mobilní odstředivky:

- **Pevný „jízdni řád“** na ČOV s optimalizovaným kalovým hospodářstvím
- **Pracovní režim 5 dní** v týdnu, jedna směna (minimálně)
- **Obsluha je zaškolená pro obsluhu a kontrolu funkce navštěvovaných ČOV**
- Po uvedení odstředivky do provozu zajišťuje obsluha ostatní práce spojené s provozem ČOV
- **Počet obsluhovaných ČOV** v pravidelném provozu je max. **5**
- Optimální využití jednoho stroje s výše uvedenou kapacitou je asi **6000 - 12500 EO**

Doporučený postup zpracování přebytečného kalu pro malou mobilní odstředivku:

- **Řízená aerobní stabilizace** při minimální koncentraci kyslíku 0,8 - 1,5 mg/l
- **Gravitační zahuštění** stahováním pravidelným kalové vody na minimálně 2,0 %
- **Pro garanci hygienických vlastností kategorie II, minimální doba stabilizace 40 dní**

Výhody využití malé mobilní odstředivky:

- Optimální využití kapacity kalového hospodářství
- Garantovatelné vlastnosti produkovaného kalu
- Stabilita funkce kalového hospodářství
- Stabilita biologického stupně ČOV
- Minimalizace provozních nákladů na zpracování kalu
- Maximální využití fondu pracovní doby obsluhy
- Efektivní využití vynaložené lidské práce
- Maximální využití investice do odvodnění kalu
- Úspora investičních nákladů při budování nebo rekonstrukci ČOV, která je obsluhována mobilní odstředivkou
- Zjednodušení řídicího systému ČOV
- Zjednodušení technologické linky kalového hospodářství ČOV
- Vždy kvalifikovaná a kompetentní obsluha
- Maximální využití finančních prostředků vložených do proškolení obsluhy

Podmínky optimálního využití mobilní odstředivky:

- Dobře navržená logistika provozu
- Existence standardního připojení pro hadici u kalojemu
- Výbava elektrické sítě ČOV musí být přizpůsobena pro připojení odstředivky s výkonem motoru asi 14 kW

Zkušenosti s provozováním systému malých kalových hospodářství

Příklad koncepce s odvodněním kalu na malé mobilní odstředivce, která zajišťuje odvodnění kalu na třech svozových - centrálních ČOV, na které je svážen kal z pěti satelitních - vyvážených ČOV.

Testovaná lokalita: VAS, a.s., divize Znojmo

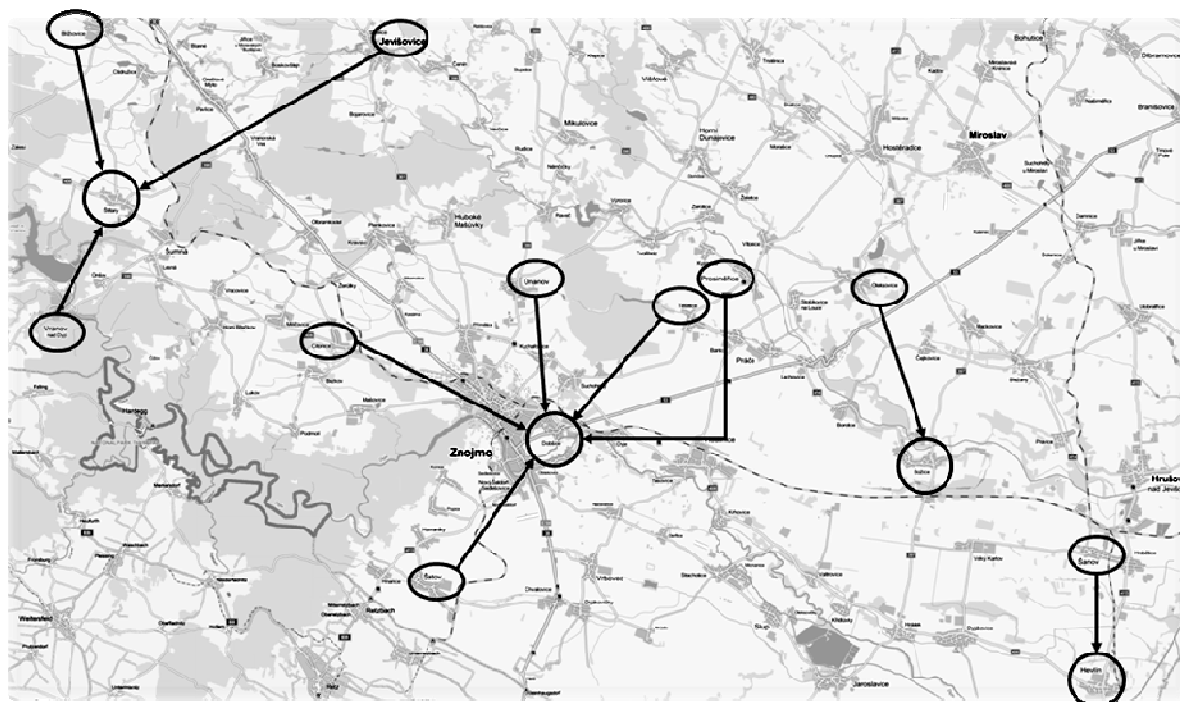
Vyhodnocené období: rok 2012

Použitý stroj: Malá mobilní odstředivka - DO 250 z PBS Velká Bíteš, hltnost 2,5 - 4,0 m³/h

Počet centrálních-svozových ČOV: 3

Počet satelitních-vyvážených ČOV: 5

Svozové ČOV	Projektovaná kapacita v EO	6 583
	Využitá kapacita v EO	3 967
Vyvážené ČOV	Projektovaná kapacita v EO	7 842
	Využitá kapacita v EO	3 641
Obsluhované ČOV celkem	Projektovaná kapacita v EO	14 425
	Skutečné zatížení ČOV v EO	7 608



ROZDÍL PŘEPRAVNÍCH VZDÁLENOSTÍ		
Přeprava kalu k MOK	6 685	km
Přeprava kalu na ČOV Znojmo	9 237	km
Přeprava kalu celkem	15 922	km
Přepravní vzdálenost bez MOK celkem	36 809	km
Celková úspora	20 887	km

ČOV	vzdálenost od ČOV Znojmo	objem kalojemů	produkce tekutého kalu za r.2012	provozní hodiny	provozní dny	produkce tuhého kalu
	[km]	[m ³]	[m ³]	[hod/rok]	[dny/rok]	[t/rok]
Blížkovice	27,3	22	121	40	6	15
Božice	18,3	320	528	176	25	63
Hevlín	26,8	113	708	236	34	85
Jevišovice	19,5	126	605	202	29	73
Olexovice	16,5	108	440	147	21	53
Šanov	28,9	105	737	246	35	88
Štítary	24	178	902	301	43	108
Vranov	25	103	378	126	18	45
CELKEM			4 419	1 473	210	530

Sušiny kalu dosahují 16,7 % (kalová hospodářství nejsou optimalizována)

Kalová voda obsahuje asi 300 mg/l N - NH₄, je třeba v budoucnu řešit rovnoměrnost zatížení.