

HYGIENIZACE KALŮ

1

Za stabilizovaný kal lze pokládat kal, který prošel takovou úpravou, že množství rozložitelných organických látek v % celkového množství kalu a biologická aktivita kalu je snížena na takovou hodnotu, že již nepodléhá spontánnímu biologickému rozkladu.

Za hygienizovaný se pokládá kal, který prošel takovou úpravou, že počty indikátorů pathogenních mikroorganismů byly sníženy na požadovanou hodnotu.

Stabilizace a hygienizace může, ale nemusí probíhat současně tou samou technologií.

Pro využívání kalu musí být kal stabilizovaný a hygienizovaný, přitom stupeň stabilizace není závislý na stupni hygienizace.

2

Z mikrobiologického hlediska jsou v surovém, smíšeném a částečně i ve stabilizovaném kalu přítomny mj. následující skupiny organismů:

- bakterie (psychrofilní, mezofilní i termofilní),
- viry (enteroviry),
- nižší houby (plísňe, kvasinky) a jejich spory a toxiny,
- nižší živočichové (roztoci, červi) a jejich vajíčka.

3

Jako potenciální patogeny se sledují především tyto skupiny mikroorganismů:

- termotolerantní koliformní,
- enterokoky a *Salmonella sp.*,
- vajíčka helmintů,
- enteroviry.

Pro bezpečnou aplikaci kalů do půdy jsou stanoveny závazné normy udávající množství mikroorganismů v jednom gramu sušiny kalu.

Podle celkového obsahu potenciálně patogenních mikroorganismů rozděluje se kal do dvou tříd A a B, u nás třída I. a II.

4

Metody hygienizace kalů

Obecně k hygienizaci kalů lze použít všech metod při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. Základní hygienizační metody lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- fyzikální - teplota, radiace, ultrazvuk, mechanická destrukce buněk mikroorganismů.
- chemické - silná oxidační činidla (Cl_2 , O_3 , formaldehyd, fenol aj.)

5

Hygienizace kalů může probíhat:

- přímo v technologické lince** úpravy a zpracování kalů, kdy současně probíhá stabilizace a hygienizace. Např. aerobní nebo anaerobní stabilizace mezofilní, nebo termofilní. Stupeň hygienizace závisí na podmínkách stabilizace (teplota, doba zdržení, hydraulické uspořádání reaktoru apod).
- před stabilizací kalu**, tzv. předúprava. Např. úplná desintegrace vstupujícího kalu fyzikálními (ultrazvuk, radiace), termickými (pasterizace, termický rozklad), nebo chemickými metodami (ozon). Všechny tyto metody zničí buňky většiny mikroorganismů a dojde také ke zmenšení velikosti částic kalu (desintegraci).
- po stabilizaci**, tzv. následná nebo dodatečná úprava. Např. kal po stabilizaci se podrobí pasterizaci nebo odvodněný kal se podrobí sušení apod.

6

Od 1.1.2002 platí **vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb.** o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. V této vyhlášce jsou mimo jiné stanovená i mikrobiologická kritéria pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu.

Kategorie kalu	přípustné množství KTJ* v 1 gramu sušiny aplikovaného kalu		
	termotolerantní koliformní bakterie	enterokoky	<i>Salmonella sp.</i>
I.	< 10 ³	< 10 ³	negativní nález
II.	10 ³ - 10 ⁶	10 ³ - 10 ⁶	nesleduje se

7

Kategorie I - kaly, které je možno obecně aplikovat na půdy využívané v zemědělství při dodržení ostatních ustanovení této vyhlášky.

Kategorie II – kaly, které je možno aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin při zabezpečení hygienického dozoru a při dodržení ostatních ustanovení této vyhlášky.

8

Kapacita ČOV (v tunách sušiny kalu za rok)	Minimální počet rozborů za rok			
	zemědělské parametry* (živiny)	rizikové prvky (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	mikrobiologie (termotoler. koliform. bakterie, enterokoky, <i>Salmonella sp.</i>)	organické kontaminanty (AOX, PCB)
< 250	2	2	2	-
250-1000	4	4	4	-
1000-2500	4	4	6	1
>2500	12	12	12	1

9

Praktické možnosti dosažení požadovaného stupně hygienizace kalů

- pasterizace surového kalu s následnou anaerobní stabilizací kalů
- anaerobní stabilizace kalů s následnou pasterizací kalu
- sušení anaerobně stabilizovaných kalů
- hygienizace vápnem
- termofilní aerobní stabilizace kalů
- termofilní anaerobní stabilizace kalů

10

Technologické procesy dávající kal třídy I.

- Sušení (80°C, 90% suš)
- Duální systém 1° Autotermní Aerobní (55°C), 2° Anaerobní mezofilní
- Autotermní aerobní (55°C), min. 20 h od nadávkování kalu
- Termofilní anaerobní (55°C), min. 20 h od nadávkování kalu
- Termická předúprava surového kalu, min. 70°C, 30min. + anaerobní stabilizace
- Alkalizace vápnem, pH 12, 55°C, 2hod.
- Radiace
- Kompostování

11

Pasterizace kalů

12

Pasterizace surového kalu

Pasterizace surového kalu je tepelná úprava kalu. Pro pasterizaci kalu jsou obvykle udávány následující parametry:

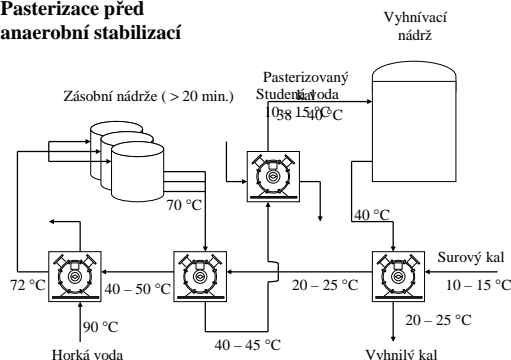
Teplota 70°C, doba zdržení minim. 30 minut

Průmyslově dodávané pasterizační jednotky uvažují s ohřevem surového kalu na **60 - 70°C při době zdržení 1 – 3 hodiny** a následnou anaerobní stabilizací kalu při mezofilní, popř. termofilní teplotě.

Současně probíhá částečná dezintegrace – **lyzace kalu**

13

Pasterizace před anaerobní stabilizací



14

Výhody použití:

- reálný způsob hygienického zabezpečení kalů
- vysoké hygienické zabezpečení kalů, případné zkratové proudy při termické předúpravě surového kalu jsou eliminovány při následné anaerobní stabilizaci kalů
- zvyšuje se produkce bioplynu
- odvodněný kal a fugát mají teplotu jako při anaerobní stabilizaci bez předřazené pasterizace kalů

Nevýhody použití:

- nebezpečí zalepování teplosměnných ploch výměníků tepla
- složitá soustava výměníků tepla
- zvýšená energetická náročnost systému
- nejasný vliv na odvodňování stabilizovaného kalu

15

Pasterizace stabilizovaného kalu

Pasterizace stabilizovaného kalu je tepelná úprava kalu před jeho odvodněním. Pro pasterizaci kalu jsou obvykle udávány následující parametry:

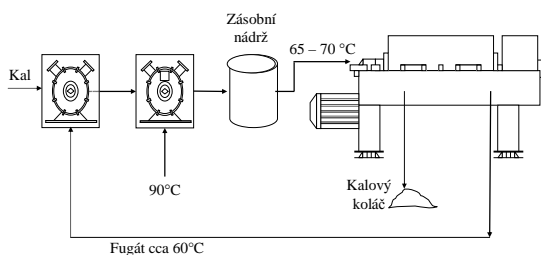
teplota cca 70°C, doba zdržení minim. 30 minut

Princip:

Stabilizovaný kal je předehříván ve výměníku fugátům z odvodňování pasteurizovaného kalu. Na potřebnou teplotu je stabilizovaný kal dohříván ve výměníku ohříváním horkou vodou. Systém je doplněn zásobníky pasterizovaného kalu s celkovou dobou zdržení **minimálně 1 hodina**.

16

Předehřátí před odvodněním



17

Výhody použití:

- reálný způsob hygienického zabezpečení kalů
- vysoké hygienické zabezpečení kalů
- při odvodňování se dosáhne vyšší koncentrace sušiny kalu
- využití tepla fugátu z odvodňování kalů
- provoz výměníků tepla v obvyklých podmínkách

Nevýhody použití:

- zvýšená koncentrace rozpuštěné formy znečištění ve fugátu (CHSK, BSK₅, Nc, Pc)
- zvýšená energetická náročnost systému
- zvýšená teplota stabilizovaného kalu s problémy s jeho uskladněním a přepravou – uvolňování páry a tekavých produktů anaerobní stabilizace z horkého kalu do ovzduší

18

Investiční náklady

System ohřevu kalu včetně čerpacího systému, ovládání a stavebních nákladů na objekt pasterizace 9 600 000 Kč.

Provozní náklady

➤ Tepelná energie za předpokladu krytí veškerého potřebného tepla z přídavných zdrojů (zemní plyn – 19,2 GJ/d) 820000 Kč

➤ Elektrická energie 16 500 Kč

➤ Údržba kotlů a výměníků 56 000 Kč

➤ Odpisy 960 000 Kč

Celkové provozní náklady 1 852 500 Kč/rok

Náklady na 1 t odvodněného kalu (25 % suš.) **325,-- Kč/t.**

19

Sušení kalů

20

Sušení kalu

- Pro hygienizaci kalu se vyžaduje **úplné sušení**.
- V tomto případě je kal vysušen na sušinu **90 - 95 %**.
- Sušením kalů se získá nejen jeho hygienické zabezpečení, ale i dlouhodobá skladovatelnost.
- Sušením lze získat kal kategorie I.

21

Výhody použití:

- reálný způsob hygienického zabezpečení kalů
- vysoké hygienické zabezpečení kalů
- možné i jiné způsoby využití úsušků kalů v případě zhoršené kvality stabilizovaného kalu
- snížené nároky na dopravu usušených kalů
- ekologická doprava usušených kalů
- automatický provoz bez velkých nároků na obsluhu

Nevýhody použití:

- vyšší investiční náklady sušárny kalů
- zvýšená energetická náročnost systému

22

Hygienizace vápnem

23

Hygienizace vápnem

Podmínky pro dosažení hygienizace kalu na úroveň třídy I. :

Alkalizace vápnem **nad pH 12 a dosažení teploty nad 55 °C** a udržení těchto hodnot po dobu alespoň **2 hodin** nebo

Alkalizace vápnem **nad pH 12 při teplotě prostředí po dobu alespoň 3 měsíců**, přitom pH nesmí klesnout pod uvedenou hodnotu.

Podmínky pro dosažení hygienizace kalu na úroveň třídy II. :

Kondicionace vápnem **na pH>12** a udržení pH na této hodnotě po dobu nejméně **24 hodin**.

24

Dávky vápna závisí na charakteru konkrétního kalu

Sýkora uvádí dávky CaO v rozmezí **100 – 300 kg/tunu** sušiny kalu.

Kemira doporučuje dávky pro

CaO: 200 – 400 kg/tunu sušiny kalu

Ca(OH)₂: 300 – 500 kg/tunu sušiny kalu.

Formy použitého vápna:

- ❑ Vápené mléko, míchá s tekutým stabilizovaným kalem před odvodňováním .
- ❑ Práškové pálené vápno se vmíchává do tekutého kalu krátce před odvodňováním. Probíhající chemická reakce zlepšuje výsledky odvodnění kalu.
- ❑ Práškové vápno se přidává do kalu ihned po jeho odvodnění, před nebo v průběhu transportu na skládku.
- ❑ Mleté vápno se přidává do odvodněného kalu až na skládce,

25

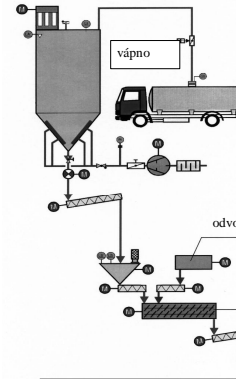
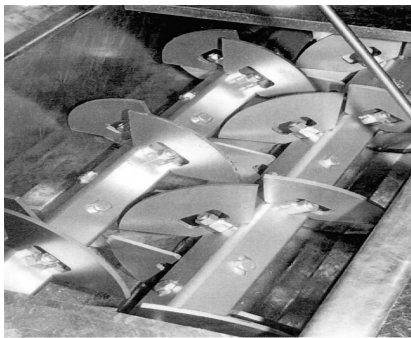


Schéma stabilizace vápnem

26



Mísicí zařízení

27

Velikost ČOV	Technologie procesu	Charakter kalu	Produkce kalu	Dávka CaO	
				% suš.	kg
10 000 EO	nízkozatěžovaná aktivace s aerobní stabilizací kalu bez primární sedimentace	aerobně stabilizovaný	600 kg/d	30	180
100 000 EO	nízkozatěžovaná aktivace s odstraňováním nutrientů s primární sedimentací	anaerobně stabilizovaný	3 900 kg/d	20	780

28

Investiční náklady

Jednotka vápnění se zásobníkem na CaO o objemu 20 m³, vyklízcím zařízením, dopravou práškového vápna do vzdálenosti 5 m, dávkovačem a mísičem vápno-odvodněný kal (bez dopravních systémů kalu) 2 200 000 Kč.

Provozní náklady (ČOV 100 000 EO)

- Vápno (při prům. dávce 20 % na sušinu kalu) 441 000 Kč_{e1}.
- Energie 44 000 Kč
- Odpisy 220 000 Kč
- Celkové provozní náklady 705 000 Kč/rok
- Náklady na 1 t kalu odvodněného na 25 % sušiny 124,-- Kč/t.

29

Termofilní anaerobní stabilizace

30

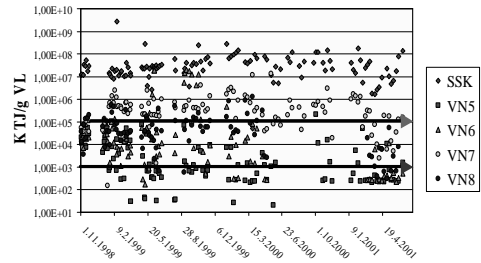
Velkou předností termofilní anaerobní stabilizace

je zvýšený hygienizační účinek procesu

- zvýšená teplota
- vysoká hydrolytická aktivita termofilní kultury

31

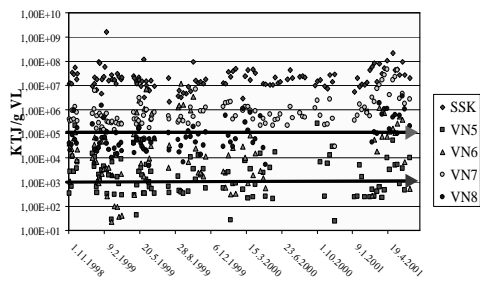
Termotolerantní koliformy
v surovém kalu a výstupech z termofilní a mezofilní nádrže



32

Enterokoky

v surovém kalu a výstupech z termofilní a mezofilní nádrže



33

Hygienizační potenciál

termofilní anaerobní stabilizace je nesporný, je však potřebné

dozrát požadované parametry doby zdržení a homogenity nádrží

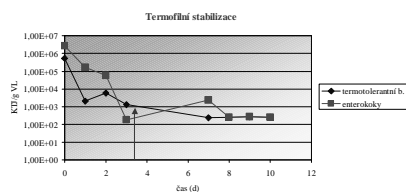
dokazuje to i

kinetika poklesu počtu indikátorových bakterií v **jednorázovém laboratorním testu**

jak v termofilních

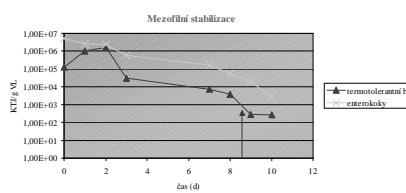
tak v mezofilních podmínkách.

34



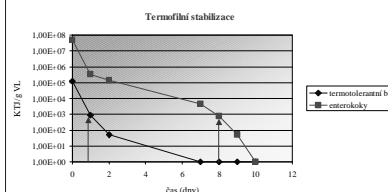
ZATÍŽENÍ

Termofil:
4,0 kg/m³ VLzž



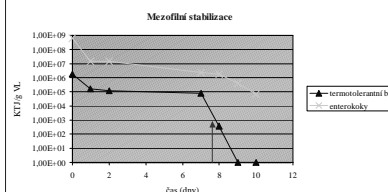
Mezofil:
3,2 kg/m³ VLzž

35



ZATÍŽENÍ

Termofil:
8,0 kg/m³ VLzž



Mezofil:
6,6 kg/m³ VLzž

36

Závislost potřebné doby hygienizace na zatížení anaerobního kalu

- zvyšuje s vyšším zatížením
- pro nejvyšší aplikované zatížení při dodržení doby zdržení v termofilní anaerobní stabilizaci - **alespoň 8 dní**
- počet obou skupin indikátorových bakterií - požadovaná hodnota pro **kvalitu kalu třídy A**

37

Termofilní aerobní stabilizace

38

Autotermní aerobní stabilizace

je jednou z vhodných metod pro dosažení stabilizovaného čistírenského kalu s požadovanou hygienickou kvalitou.

- Termofilní organismy v systému jsou výrazně aerobní, jejich metabolismus je exotermní, a rychlejší než u ostatních mikroorganismů.
- Při oxidaci 1g organických látek - uvolnění cca 42 kJ tepelné energie při současné spotřebě 1,42 g kyslíku.
- Produkce tepelné energie na g odstraněné CHSK 14,65 kJ
- Optimální teplotní rozmezí je 55 až 60 °C

39

Samotný proces autotermní aerobní stabilizace kalů je vhodné použít především na čistírnách o menší velikosti. Obvyklá doba zdržení v rozmezí 6 – 8 dní.

Duální systém stabilizace kalů

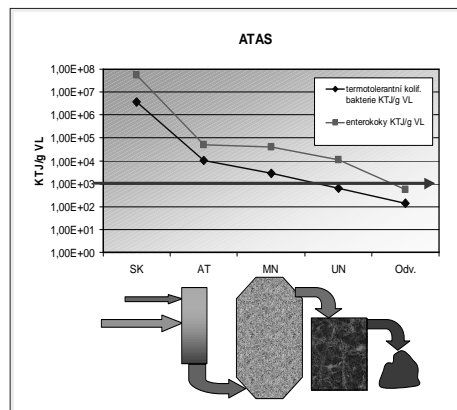
Zapojení autotermní aerobní stabilizace jako předstupeň před mezofilní anaerobní stabilizací kalů, obvyklá doba zdržení je 1 – 3 dny způsob ohřevu kalu pro anaerobní stabilizaci kalu.

40

Sledování hygienizační účinnosti provozního zařízení

- V prvním stupni
- reaktor AEROTERM o objemu 12 m³,
- dávka kalu je 1,2 m³, doba zdržení ~ 1 den.
- Začínající teplota 60 °C, přibližně po 1 hodině je teplota 62 – 65 °C.
- Ve druhém stupni
- **mezofilní anaerobní stabilizace** o objemu ~ 450 m³.
- Doba zdržení přibližně 30 dní
- a výstupní organická sušina ~ 48 – 49 %.

41



42

Mikrobiologické analýzy:

- Systém je mnohem účinnější v odstranění termotolerantních koliformních bakterií než pro snižování počtu enterokoků.
- Vyšší rezistence enterokoků proti působení vyšší teploty i proti enzymatické hydrolyze
- Při dodržení technologických parametrů má výstupní kal **kvalitu třídy A** i z hlediska počtu enterokoků.

43

Mikrobiologické analýzy odvodněného kalu

odběr	STANOVENÍ					
	kolif. termotol. bakt.		enterokoky		salmonela	
	KTJ	četnost	KTJ	četnost		četnost
IV / 99	<50	20	<50	20	negativní	35
XII / 99	<50	18	<50	18	negativní	35
X / 00	8,2.10 ²	5	<50	5	negativní	15

44

Duální systém skládající se z :

- z autotermního termofilního aerobního stupně
- následovaného mezofilním anaerobním stupněm,
- uskladněním a odvodněním kalu.

Má vysoký hygienizační účinek a je schopen poskytovat stabilizovaný kal, třídy I.

45

Hygienizace kalu radiačními metodami

46

Hygienizace kalu radiačními metodami

V uplynulých třech desetiletích se ionizující záření prosadilo jako vynikající sterilizační prostředek v různých odvětvích (zdravotnické výroby apod.).

Mezi hlavní přednosti této metody patří:

- nízká energetická náročnost
- okamžitá účinnost na všechny druhy i formy mikroorganismů
- absence přidávání cizích látek
- vysoká produkční rychlost a nízké produkční náklady

I přes své nevýhody, tj. vysoké investiční náklady a nároky na bezpečnost provozu, pronikla tato technologie i do čistírenských provozů jako prostředek hygienizace kalu.

47

Hygienizace kalu radiačními metodami

Dávka záření se vyjadřuje jako množství energie pohlcené v ozařovaném systému. Uvádá se v jednotkách Gy (Gy = J/kg).

Dávka záření nutná ke snížení mikroorganismů o 1 řád se pak označuje jako **D10 a uvádí v jednotkách k Gy (KJ/kg).**

Pro bezpečnou hygienizaci kalu, tj. především zajištění nulového obsahu salmonel postačuje dávka cca **10 Gy.**

48

Hygienizace kalu radiačními metodami

VOLBA ZDROJE ZÁŘENÍ

Zásadní podmínkou je, že zvolený druh ionizujícího záření nesmí vyvolávat reakce s jádry přítomných atomů a tím indukovat radioaktivitu v ozařované látce.

Tuto podmínku splňují nejlépe vysoce energetické fotony (gama záření, X-paprsky) a elektrony (beta záření, urychlené elektrony).

Z praktických důvodů jsou jako **zdroje gama záření užívány izotopy kobalt-60 a cesium-137 a jako zdroje energetických elektronů urychlovače.**

Následkem rovnoměrného vyzařování do všech směrů přesahuje koeficient využití záření jen výjimečně hodnotu 30 %.

Z důvodů extrémně vysoké ceny za 1 kW zářivého výkonu (3,1 mil. Kč) má hygienizace pomocí izotopického zdroje téměř nulovou šanci na realizaci.

49

Hygienizace kalu radiačními metodami

Nízká pronikavost urychlených elektronů představuje hlavní nevýhodu tohoto ionizujícího záření. Svazek urychlených elektronů lze nasměrovat pouze na ozařovaný předmět, čímž se dosahuje efektivního využití. Koeficient využití jen výjimečně klesá pod 40 %. Snadná regulace výkonu, možnost okamžitého vypnutí a nižší nároky na stínění ozařovaného prostoru představují při začleňování do provozní hygienizační linky značné přednosti.

Investiční náklady vztažené na jednotku zářivého výkonu jsou u urychlovačů elektronů několikanásobně nižší než u izotopických zdrojů. Existuje-li možnost upravit ozařovaný materiál do vrstvy, kterou jsou schopny urychlené elektrony prozářít, **je vždy z ekonomických důvodů jako zdroj záření preferován urychlovač elektronů.**

50

Hygienizace kalu radiačními metodami

Výkon zdroje záření

Volíme-li hodnotu dávky 10 kGy a předpokládáme koeficient účinnosti $n = 0,4$, obdržíme následující požadavky na výkon zdroje záření pro kal se sušinou 25 %:

ČOV		Výkon
30 000 EO	7 hodin provoz	7,2 kW
300 000 EO	14 hodin provoz	35,7 kW

51

Hygienizace kalu radiačními metodami

Nejdůležitější zásady pro provozní aplikaci

Umístění v provozu

Stanoviště radiační hygienizace se musí nacházet v bezprostředním sousedství výstupu odvodněného kalu z ČOV. Nároky na zastavěnou plochu představuje pozemek o rozměrech cca 15 x 15 m.

Formování vrstvy kalu k ozaření

Při použití urychlovače elektronů je třeba z kalu o sušině 25 % zformovat vrstvu o tloušťce v rozmezí 5 až 6 mm a šířce 1 m, která bude transportovatelná pod svazkem urychlených elektronů.

Ozařovací kobka

V tomto prostoru vzniká průchodem svazku elektronů vzduchem ozón a oxidy dusíku a dopadem na ozařovaný materiál brzdí záření. Tyto zplodiny jsou zdraví nebezpečné a proto musí být ozařovací kobka odvětrávaná a vůči okolí odstíněna.

52

Hygienizace kalu radiačními metodami

Investiční náklady pro ČOV 300 000 EO zahrnují:

- urychlovač s přímým urychlením, energií 2,5 MeV a výkonem 50 kW
- speciální zařízení pro formování vrstvy kalu
- stavební část
- vzduchotechniku, elektroinstalaci a přídatné zařízení lze odhadnout na 45.000.000 Kč

Provozní náklady

Nejnižší provozní náklady pro ČOV 300 000 EO při využití plného výkonu urychlovače a provozu 10 h/24 h činí cca 230,- Kč na 1 t odvodněného kalu (uvažováno 25 % sušiny).

Pro čistší menší velikosti pak vzhledem k základní vysoké investici na zdroj záření výrazně stoupají (pro 30 000 EO je to 1.921,- Kč/t).

53

CENOVÉ POROVNÁNÍ METOD HYGIENIZACE KALŮ:

(vztaženo na 1 t kalu odvodněného na sušinu 25 %)

Hygienizace kalu radiačními metodami		
velikost ČOV 300 000 EO	230,-	Kč/t
velikost ČOV 30 000 EO	1 924,-	Kč/t
Hygienizace kalu vápnem		
velikost ČOV 100 000 EO	124,-	Kč/t
Pasterizace kalu		
velikost ČOV 100 000 EO	325,-	Kč/t
Termofilní aerobní stabilizace kalu		
velikost ČOV 15 000 EO	253,3	Kč/m ³ sur. kalu

54