

ODSTRAŇOVÁNÍ VODY Z KALŮ (ODVODŇOVÁNÍ)

1

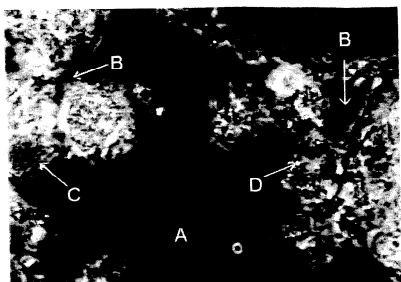
Odstraňování vody z kalů (v % sušiny)

	aktivovaný	surový	stabilizovaný
Sedimentace	0,5 – 1,5	2,0 - 3,0	2,0 – 3,0
Zahušťování	3,0 – 6,0	6,0 – 12	6,0 – 12
Odvodňování	15 – 25	20 – 30	25 – 40
Sušení	do 100	do 100	do 100

2

Distribuce vody v kalu

- A – volná voda, nevázaná na částice
- B – „vymezená“ – kapilární voda, vázaná kapilárními silami
- C – „povrchová“ voda – vázaná adhezními a adsorpčními silami
- D – „vázaná“, molekulární voda



3

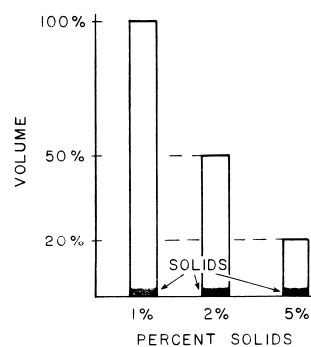
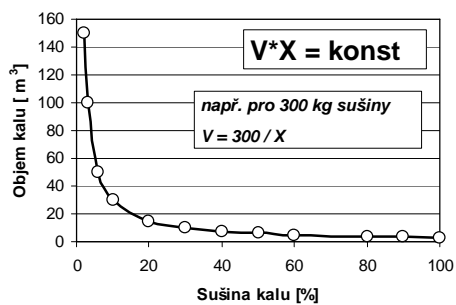


Figure 5-1. Volume reduction by solids concentration.

4



Vztah mezi objemem a sušinou kalu

5

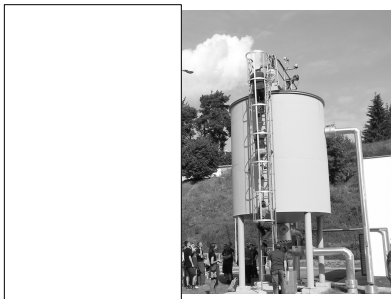
Zahušťování

- odstraňování vody z kalů po jejich separaci z odpadní vody, před dalším zpracováním na ČOV (např. před stabilizací)

6

Zahušťování

- Gravitační (zahušťovací nádrže)
- Strojní



7

Typické výsledky gravitačních zahušťovacích nádrží

Typ kalu	vstupující sušina [%]	vystupující sušina [%]	zatížení [kg/m ² /d]
primární	2-7	5-10	20-30
zkrápěné kolony	1-4	3-6	8-10
přebytečný aktivovaný	1-2	2-5	7-10
přebytečný aktivovaný (kyslík)	0,5-1,5	2-3	4-8
anaerobně stabilizovaný primární	8	12	24
anaerobně stabilizovaný směsný	4	8	14
z terciárního čištění	0,5-1,5	6-10	20-30

8

Strojní zahušťování

zahušťovací síta



zahušťovací centrifugy



9

Odvodňování

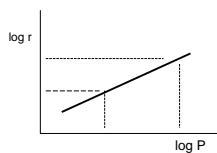
- odstraňování vody z kalů po jejich zpracování na ČOV (např. po stabilizaci), před transportem nebo finálním využitím

10



11

Stlačitelnost koláče



snadno filtrující



s vysokým filtračním odporem



stlačitelný kal



$$s = \frac{\log r_1 - \log r_2}{\log P_1 - \log P_2}$$

$$r = \frac{\Delta P A^2}{\eta X V_1 Q_1}$$

12

Odvodňování

- Strojní (centrifugy, sítopásové lisy, vakuové lisy, kalolisy)
- Kalová pole

13

Vakuový filtr

Popis: vzájemně oddělené sektory – filtrační – odvodňovací – odfukovací

Povrch: až 50 m²

Vakuum: 34 – 78 kPa

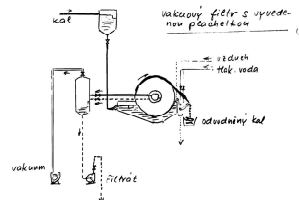
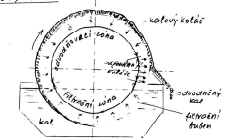
Vrstva koláče: 5 – 20 mm

Rychlost otáčení: 8 – 15 ot/hod.

Plachetka: velikost ok – do 100 μm, životnost – do 3000 hod.

V případě přítomnosti tuků nebo olejů v kalcích nanáší se filtrační vrstva (pemza, piliny apod.)

Vakuový filtr



14

Vakuový filtr

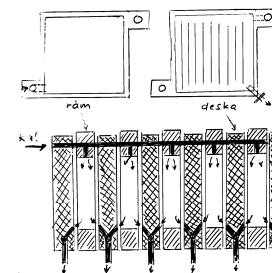
Vhodné pro hydrofilní koloidní kaly kde i po kondicionaci je $r \geq 10^{12}$ m/kg
Výhodnější anorganické koagulanty (soli Fe)

	Dávka v % SL		Výkonnost kg suš/m ² h	Sušina koláče %
	FeCl ₃	CaO		
Primární kal	2-4	7-11	30-40	26-32
Surový kal	3-6	13-19	20-30	23-27
Anaer. stabilizovaný	5-7	13,5-21	20-25	24-28

Potřebný příkon: cca 1,5 kW/m² povrchu filtru

15

KALOLIS



Kalolis

Popis: rám, plachetka, deska, až 130 desek, velikost do 2 x 2 m, celkový filtrační povrch až 800m²

Pracovní cyklus: plnění (3-10%), filtrace (1-6 hod), vyprazdňování.

Pracovní tlak: 0,6 až 1,5 MPa

Přednosti:

- Kaly s vysokým r ($5 \cdot 10^{11}$ - $8 \cdot 10^{12}$)
- Může pracovat bez kondicionace
- Zaolejované kaly
- Plachetky cca 500 cyklů

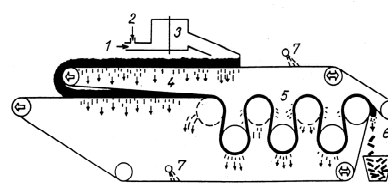
16

Kalolis

	Dávka v % SL		Výkonnost kg suš/m ² h	Sušina koláče %
	FeCl ₃	CaO		
Primární kal	3-7	11-19	2-4	40-50
Surový kal	4-7	11-22,5	2-4	35-50
Anaer. stabilizovaný	6-10	15-30	1,5-3	33-38

17

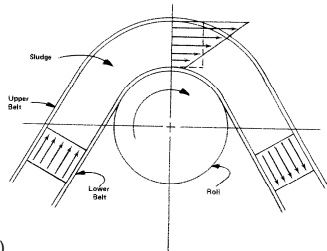
Sítopásový lis - schéma



1 – přívod kálu, 2 – přívod flokulanta, 3 – mísicí komora, 4 – horizontální předodvodňovací zóna, 5 – odvodňovací zóna, 6 – odvodněný kal, 7 – ostřikování plachetky

18

Sítopásový lis

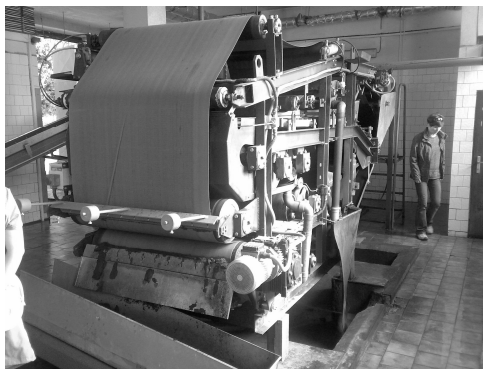


Proces:

- Flokulace (ve směšovači)
- Předodvodňování (volný odtok vody)
- Postupné stlačování (max. tlak cca 0,1 MPa)
- Deformace koláče (stříhové síly)
- Velikost ok plachetky: 0,2 – 0,5 mm
- Šířka plachetky: až 3 m
- Lineární rychlost pohybu plachetky: 0,5 – 4 m/min

19

Sítopásový lis



20

Sítopásový lis



21

Sítopásový lis

	Koncentrace kalu	Dávka koagulantu	Výkonnost	Sušina koláče
	% suš.	kg/kg suš.	kg suš./m ² h	%
Primární kal	5-10	0,9-2	250-400	27-35
Surový kal	3,5-8	1,5-5	130-300	21-28
Anaer. stabilizovaný	1,5-3,5	2-5	80-150	15-25

Pozn: nelze použít na zaolejované kaly !

22

Centrifuga

$$a = \omega^2 R = 0,011 N^2 R$$

$$g = 9,81 [m/s^2]$$

U provozních centrifug
 $g = 500 - 3000 [m/s^2]$

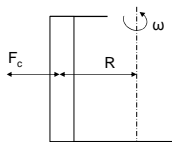
Síla působící na částice:

$$F_c = 0,011 N^2 R (d_s - d_L) \frac{1}{g}$$

Kde:

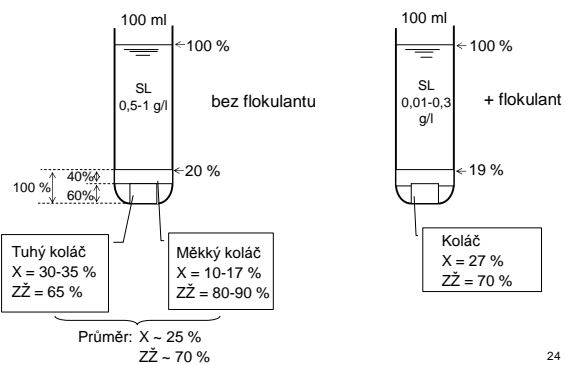
d_s – specifická hmotnost částic
 d_L – specifická hmotnost kapaliny

a – odstředivé zrychlení [m/s^2]
 ω – uhlová rychlost [rad/s]
 N – otáčky bubnu [$ot./min$]
 R – poloměr bubnu [m]

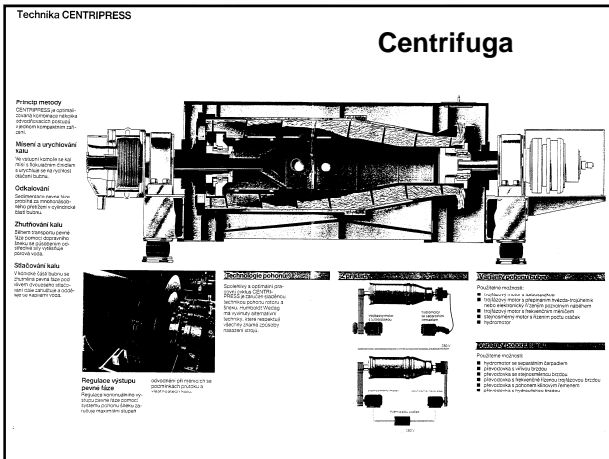
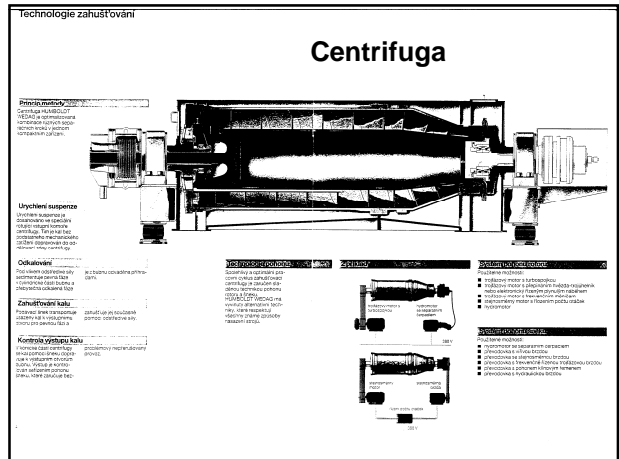
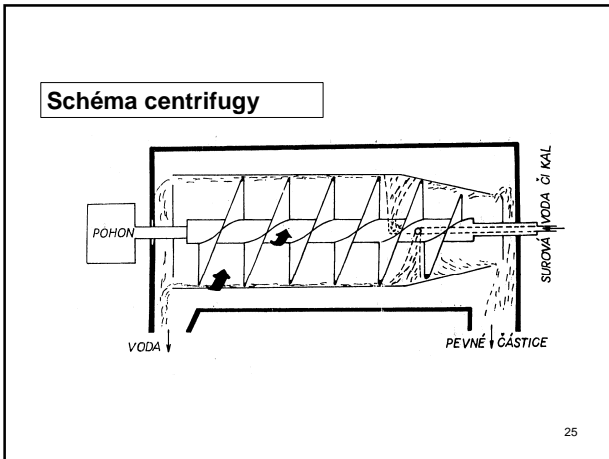


23

Centrifuga – funkce flokulantu



24



Porovnání potřebného výkonu (vztaženo na 1 tunu sušiny kalu)

	KW/t	sušina % pro anaerobně stab. kal
Sítopásový lis	5 – 20	15 – 25
Kalolis	15 – 40	33 – 38
Odstředivka	30 – 60	25 – 35
Vakuový filtr	50 – 150	24 – 28

30

Porovnání odvodňovacích zařízení

	pořizovací cena	kapacita
Sítopásový lis	+	-
Kalolis	+/-	+/-
Odstředivka	-	+
Vakuový filtr	+/-	-

31

Filtrační pytle

Nutnost kondicionace polykoagulantem.

5 -15 m³ kalu na 1 cyklus

Délka cyklu 6 – 24 hod.

Koncentrace sušiny %	Vstup	Po filtraci
Anaerobně stab. primární kal	6 – 8	17 – 22
Anaerobně stab. směsný kal	3,5 – 6	13 - 16

32



Kalové pole

Zabírá velkou plochu, vysoká pracnost, závislost na klimatických a povětrnostních podmínkách,

Filtrace – odstraňuje se volná voda, vlhkost se sníží o cca 80%

Odpařování – část vázané vody. Za suchého počasí může dojít k vysušení až na 65% sušiny.

Vyklízení - ruční nebo mechanické.

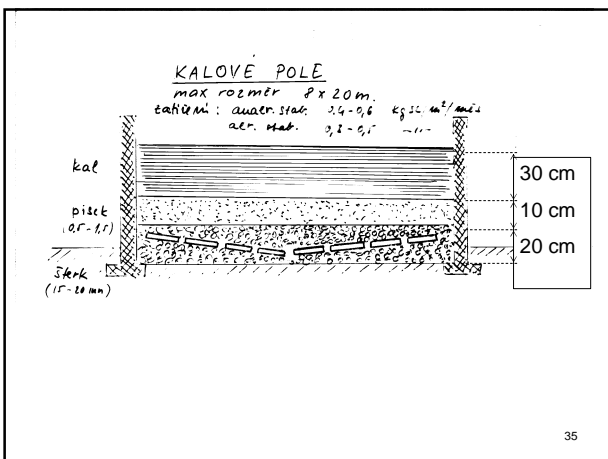
Zatížení:

anaerobně stabilizovaný kal – 0,4 – 0,6 kg SL/m² měs.

aerobně stabilizovaný - 0,3 – 0,5 kg SL/m² měs.

Naplnění: 3 – 4 krát do roka

34



35

Kalová pole



36

Kalová pole

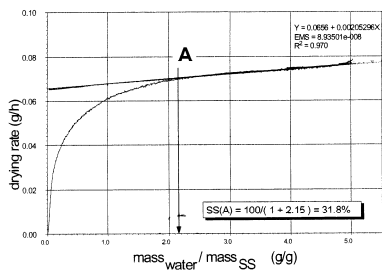


37

Sušení kalů

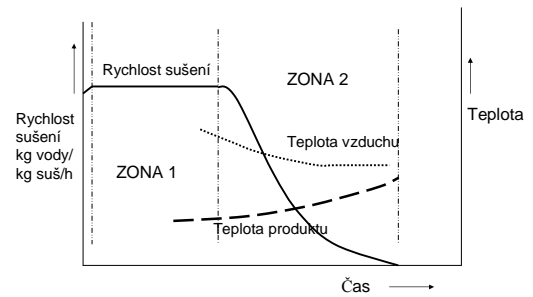
38

Křivka sušení anaerobně stabilizovaného kalu
Závislost rychlosti sušení na poměru voda/sušina



39

Sušení



40

Zóna 1

- Vysoká a konstantní rychlost sušení.
- Parciální tlak vodních par odpařované vody na povrchu materiálu je stejný jako tenze vodních par za dané teploty.
- Voda migruje na povrch, kde se odpařuje.
- Odstraní se všechna kapilární voda

41

Zóna 2

- Rychlost sušení klesá.
 - Parciální tlak vodních par je menší než tenze vodních par za dané teploty.
 - Zvyšuje se teplota povrchu materiálu.
 - Voda se vypařuje uvnitř a pára difunduje na povrch
- Rychlost odpařování vody závisí:**
- na parciálním tlaku vodních par v proudícím vzduchu
 - na velikosti povrchu materiálu
 - na obnovování povrchu, který je v kontaktu se vzduchem.

42

SUŠENÍ KALŮ

Částečné sušení

Sušina kalu 50 - 70 % obvykle vyhovuje pro spalování bez mezideponie, popř. k přidávání do kompostů.

Snížováním vlhkosti v kalu se zvyšuje jeho výhřevnost, čímž se obvykle dosáhnou podmínky pro jeho samostatné spalování s produkcí tepelné energie.

Pomocí předsušení kalu se taktéž snižuje množství kouřových plynů a tím i náklady na čištění spalin.

V případě potřeby produkce stabilního, dlouhodobě skladovatelného kalu je nutné použít **úplné sušení** kalů. V tomto případě je kal vysušen až na sušinu 90 - 95 %.

43

Pro zdárný průběh procesu sušení je potřeba předat kalu co nejvíce tepla takovým způsobem, aby se částice kalu lokálně nepřehřívaly.

Odpařená voda musí být co nejrychleji odstraněna z vnitřku částic a odvedena pryč od sušeného kalu.

Faktory, které příznivě ovlivňují proces sušení jsou následující:

- množství procházejícího tepla
- teplota sušení
- velká plocha přenosu tepla
- tenká vrstva sušeného kalu

44

Při sušení kalu dochází při sušině cca 50-60% k „**klihovitě fázi**“, což vede především u kontaktních sušáren k tvoření hrud kalu, nabalování kalu na stěny a k poruchám v promíchávání kalu.

Zvládnutí této fáze sušení má rozhodující význam pro funkci sušáren kalů.

Tento problém se často řeší přimícháváním 3 až 5 ti násobku usušeného kalu do předodvodněného kalu a tím se usnadňuje jeho peletizace.

Tímto způsobem se dosáhne vyšší sušina granulované směsi před jejím dosušením, tj. sušina vstupního kalu je vyšší, než je sušina klišovitě fáze.

45

Zařízení pro sušení kalů - sušárny

Rotační bubnová sušárna

sestává z rotujícího bubnu, ve kterém se sušený materiál přesouvá a promíchává pomocí usměrňovacích elementů.

Nosičem tepla je horký plyn, který se skrz sušárnu vede souběžně s kalem.

Aby se zamezilo připékání kalu na stěny bubnu je nezbytné, aby se mokřý kal smísil s vratným usušeným materiálem na sušinu cca 60 %.

Takto upravený kal má velmi dobré vlastnosti pro sušení.

46

Pásová sušárna

suší volně ložený kal na děrovaném dopravním pásu.

Horký plyn proudí šikmo k směru pohybu pásu a současně odebírá vlhkost ze sušeného kalu.

Protože se kal v průběhu lepivé fáze mezi 50 a 60 % sušiny nepohybuje, nemůže nastat jeho zpečení.

Vracení usušeného kalu se proto u pásových sušáren nevyžaduje.

47

Disková sušárna

energie potřebná k odpaření vody z kalu se dodává pomocí vytápěných disků, které jsou namontovány na duté ose.

Otáčením a kontaktem disků a kalu jen zaručen dobrý přestup tepla a promíchávání kalu. K zamezení vzniku lepivé fáze se doporučuje vracení usušeného materiálu.

Fluidní sušárna

kal se udržuje ve vznosu pomocí vzestupné rychlosti proudícího plynu. Ve fluidní vrstvě existuje dobrý kontakt mezi horkým plynem a částicemi kalu. Většinou je potřeba pouze krátká doba zdržení kalu ve fluidní sušárně.

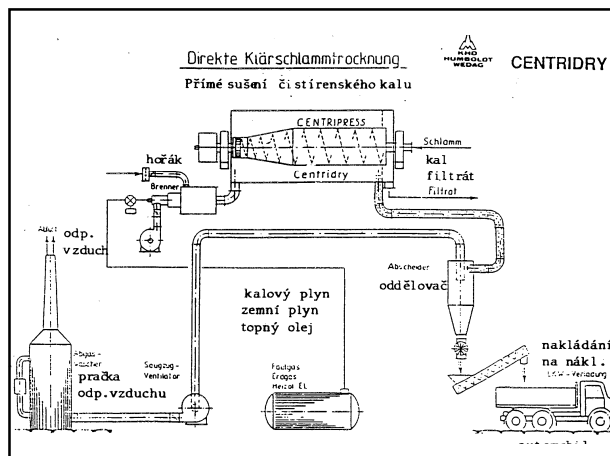
48

Z hlediska spotřeby tepelné a elektrické energie jsou jednotlivé typy sušáren srovnatelné. Kapacita sušárny se obvykle vyjadřuje v množství odpařené vody. Spotřeba tepelné energie se pak udává na 1 tunu odpařené vody.

Obvyklé hodnoty uvádí tabulka:

Specifická spotřeba tepelné energie ($\eta = 82 \%$)	3500	MJ/t odpařené vody
Spotřeba vody pro kondenzaci odpařené vody	13	m ³ /t odpařené vody
Specifická spotřeba elektrické energie	50	KW/t odpařené vody

49



Pracovní oblasti sušáren kalu

CENTRIDRY																									
pásová sušárna																									
fluidní sušárna																									
bubnová sušárna																									
tenkovrstvá sušárna																									
disková sušárna																									
hnětací sušárna																									
procento sušiny kalu (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100															

odvodněný kal – vstup do sušárny			
vysušený kal – výstup ze sušárny			

51

Solární sušárna

Využití sluneční energie, (princíp: skleníků, průběžné kypření kalu)



52

Spalování

53





Spalování kalů - ČR



Skládka solidifikovaných zbytků po spalování kalů