

VYUŽITÍ MOKŘADNÍCH ROSTLIN K ODVODNĚNÍ STABILIZOVANÝCH ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

J. Šálek

Došlo: 17. října 2005

Abstract

ŠÁLEK, J.: *The exploitation of swamp plants for dewatering liquid sewage sludge*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 2, pp. 107–116

The operators of little rural wastewater treatment plants have been interested in economic exploitation of sewage sludge in local conditions. The chance is searching simply and natural ways of processing and exploitation stabilized sewage sludge in agriculture. Manure substrate have been obtained by composting waterless sewage sludge including rest plant biomass after closing 6–8 years period of filling liquid sewage sludge to the basin. Main attention was focused on exploitation of swamp plants for dewatering liquid sewage sludge and determination of influence sewage sludge on plants, intensity and course of evapotranspiration and design and setting of drying beds. On the base of determined ability of swamp plants evapotranspiration were edited suggestion solutions of design and operation sludge bed facilities in the conditions of small rural wastewater treatment plant.

sewage sludge, dewatering, evapotranspiration, swamp plants

V současné době jsou na základě požadavků a přijatých závazků naší země v EU a ekologického úsilí společnosti budovány i v menších sídelních útvech čistírny odpadních vod (ČOV). Při jejich provozu každoročně vzniká významné množství čistírenského kalu, které se pohybuje asi ve výši 18 kg sušiny kalu na připojeného obyvatele za rok. Tyto malé ČOV převážně zpracovávají splaškové vody z domácností a jsou provozovány buď přímo obcemi nebo oblastními vodohospodářskými organizacemi. Odpadním produktem čištění odpadní vody je čistírenský kal. Provozovatel ČOV musí vyřešit kalovou problematiku v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění zákonů č. 184/2004 Sb. a č. 7/2005 Sb. Z řady důvodů, technologických, ekonomických, ekologických aj., je tedy v zájmu provozovatele ČOV stabilizovat a upravit kal do stavu, který umožní v místních podmínkách jeho ekologické využití a v krajním případě jeho zneškodnění.

Jednou z řady možností je využití kalů k hnojení a zúrodnění zemědělských půd. V současné době se v Evropské unii využívá v zemědělství 37 % z celkové produkce kalů z odpadních vod. V ČR je využívání kalů v zemědělství zatím nízké.

Cílem práce je na základě publikovaných poznatků a výsledků vlastního výzkumu zhodnotit a navrhnout řešení odvodňování kalů pomocí makrofyt s následným kompostováním kalů s rostlinnou biomasou.

MATERIÁL A METODY

Princip metody odvodnění tekutého stabilizovaného čistírenského kalu mokřadními rostlinami spočívá ve využití jejich vysoké transpirační schopnosti vegetovat v anaerobním prostředí tím, že přivádějí do kořenové zóny potřebný kyslík a ve vysoké tvorbě biomasy, k jejímuž vývoji využívají z kalů potřebné nutrienty. Technické vybavení spočívá ve vybudování mělkých, těsných odvodnitelných kalových

nádrží (kalových lagun). Na těsnění kalových nádrží se položí ochranná geotextilie a vrstva z tříděného písku s drenáží; nad ní je vrstva zemitého substrátu s vysázenými makrofyty. Z rostlin vhodných pro tento účel se použije v našich podmínkách rákos obecný (*Phragmites australis*), orobinec širokolistý a úzkolistý (*Typha latifolia* a *angustifolia*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) aj.

Velikost dávek kalů a jejich počet se volí podle vývoje rostlin a klimatických podmínek dané lokality. Obsah sušiny v tekutých stabilizovaných kalech se převážně pohybuje v rozmezí od 3 do 6 %. Obsah toxických látek ve stabilizovaných kalech, zejména těžkých kovů, nesmí překročit limitní koncentrace.

Mokřadní vegetace se vyznačují mohutnou transpirační schopností, využívají kalovou vodu a živiny v ní obsažené ke tvorbě biomasy. Produkce sušiny u mokřadních porostů je velmi příznivá. Přímá šetření o produkci biomasy na kalových polích zatím u nás nemáme k dispozici. Při zvýšeném přísunu rostlinných živin se předpokládá podstatně mohutnější rozvoj biomasy než v běžných přírodních podmínkách, což prokazují první výsledky šetření.

Po ukončení vegetační doby se rostliny pokosí a ponechají na stanovišti, jejich biomasa významně zvyšuje podíl organické hmoty v substrátu. Alternativním řešením je ponechat porost bez kosení, suché rostliny zapadají do rozkládajícího se substrátu a postupně humifikují. Po pěti až osmi letech provozu je kalová laguna vyplněná organickým substrátem. Napouštění kalu se ukončí, substrát se odvodní a postupně vysuší. Po vysušení se substrát rozmělní půdní frézou, vytěží a kompostuje. Poměrně rozsáhlé zkušenosti z Rakouska uvádí Berchtold (1992), v SRN Pauly et al. (1997) a v Dánsku Nielsen (2003).

K výzkumu odvodňování kalů pomocí mokřadní vegetace byly využity dva druhy rostlin, a to rákos obecný a orobinec úzkolistý. Pro odvodnění tekutých stabilizovaných kalů je rozhodující transpirační schopnost; sledování a měření hodnot evapotranspirace probíhalo ve dvou typech pokusných nádrží uspořádaných podle jednotlivých terénních modelů:

Model M–1 tvoří fóliová zemní nádrž s porostem orobince úzkolistého, zatížen kalem.

Model M–2 tvoří fóliová zemní nádrž s porostem rákosu obecného, zatížen kalem.

Model M–3 tvoří kovová nádrž s porostem orobince úzkolistého, zatížen kalem.

Model M–4 tvoří kovová nádrž s porostem orobince úzkolistého, zavlažen vodou.

Model M–5 tvoří kovová nádrž s porostem rákosu obecného, zatížen kalem.

Model M–6 tvoří kovová nádrž s porostem rákosu obecného, zavlažen vodou.

Model M–7 tvoří kovová nádrž bez porostu, zavlažen vodou.

Fóliové zemní nádrže jsou tvořené silnostěnnou PE folií o půdorysných rozměrech 0,75 x 1,30 m a hloubce 0,80 m. Kovové prismatické nádrže o půdorysných rozměrech 0,47 x 0,40 m a hloubce 0,60 m, zapuštěné po horní okraj do země. Nádrž bez vegetace byla určena ke stanovení výparu z volné vodní hladiny. Měření evapotranspirace bylo prováděno prostřednictvím denního sledování poklesu výšky hladiny vody nebo tekutého kalu se zohledněním úhrnu dešťových srážek a množství dolévané vody nebo kalu. Hladina kapaliny byla v nádržích udržována trvale nad úrovní povrchu substrátu tak, aby byl umožněn přesný odečet změny výšky hladiny. Nádrže byly plněny tekutým čistírenským kalem o obsahu 50 g sušiny/l v množství 150 l/m², v intervalu 30 dní.

VÝSLEDKY

Výzkum odvodnění stabilizovaných čistírenských kalů v kalových polích s mokřadní vegetací byl rozdělen na dvě části: výzkum evapotranspirace mokřadních rostlin a výzkum odvodnění kalů trubkovou drenáží na dně kalových polí.

1. Výsledky výzkumu evapotranspirace

V roce 2002 se uskutečnil výzkum pouze ve fóliových nádržích orobince, model M–1, rákosu, model M–2. V roce 2003 byly zprovozněny kovové nádrže, hodnoty evapotranspirace byly sledovány od června do září 2003. Měřen byl průběh evapotranspirace orobince úzkolistého zatěžovaného kalem, model M–3, orobince úzkolistého, zavlažovaného vodou, model M–4, rákosu obecného zatěžovaného kalem, model M–5 a rákosu obecného zavlažovaného vodou, model M–6. V roce 2004 se uskutečnil výzkum po celé vegetační období, a to u modelů M–2, M–3 a M–5. Rostliny v roce 2004 dosáhly srovnatelného vzrůstu s rokem 2003. Pro zjištění vlivu hustoty porostu a množství biomasy porostu na hodnotu evapotranspirace byly v dalších nádržích modelů M–3 a M–5 uměle sníženy počty rostlin na 50 % počtu (hustoty) porostů rostlin původních modelů. Tyto modelové nádrže jsou označeny M–3 50% a M–5 50%. Pro porovnání hodnot evapotranspirace v nádržích s hodnotou evaporační z volného povrchu nádrže s kaly byl založen model M–7, kovová nádrž s kaly bez vegetace.

I: Měsíční úhrny evapotranspirace v nádržích podle terénních modelů

Druh pokusné nádrže	rok/ měsíc	Evapotranspirace v mm výšky hladiny						Celková evapotr.
		5	6	7	8	9	10	
Orobinec s kaly (M-1)	2002				274	159	12	445
Rákos s kaly (M-2)	2002				340	218	4	562
Orobinec s kaly (M-3)	2003		376	919	1438	590		3323
Orobinec voda (M-4)	2003		360	792	1620	549		3321
Rákos s kaly (M-5)	2003		324	904	1651	842		3721
Rákos voda (M-6)	2003		321	771	1438	790		3320
Bez rostlin – volná hladina (M-7)	2004	75	91	148	158	72	29	573
Rákos – foliová nádrž (M-1)	2004	200	480	849	927	497	140	3093
Rákos – kovová nádrž (M-5)	2004	327	563	903	1170	563	182	3708
Rákos – nižší hustota (M-5 50%)	2004	248	365	598	766	360	113	2450
Orobinec – kovová nádrž (M-3)	2004	227	527	862	952	465	127	3160
Orobinec – nižší hust. (M-3 50%)	2004	169	347	535	671	323	80	2125

II: Údaje o porostech mokřadních rostlin v nádržích podle terénních modelů

Druh pokusné nádrže	rok/měsíc	Hmotnost rostlin v sušině kg/m ²	Počet rostlin ks/m ²	Výška rostlin m
Orobinec s kaly (M-1)	2002	1,643	101	1,20
Rákos s kaly (M-2)	2002	0,978	295	1,05
Orobinec s kaly (M-3)	2003	5,193	176	1,80
Orobinec voda (M-4)	2003	5,328	186	1,80
Rákos s kaly (M-5)	2003	3,462	1170	1,75
Rákos voda (M-6)	2003	3,257	1223	1,70
Bez rostlin – volná hladina (M-7)	2004	0,000	0	0,00
Rákos – foliová nádrž (M-1)	2004	2,890	625	1,85
Rákos – kovová nádrž (M-5)	2004	3,315	1515	1,90
Rákos – nižší hustota (M-5 50%)	2004	1,985	806	1,90
Orobinec – kovová nádrž (M-3)	2004	5,220	181	1,90
Orobinec – nižší hust. (M-3 50%)	2004	3,110	96	1,95

V tab. I a tab. II jsou za celou dobu sledování uvedeny souhrnné údaje týkající se evapotranspirace jednotlivých porostů, celkový počet rostlin, výška rostlin a jejich hmotnost v sušině v jednotlivých modelech.

Vyhodnocením výsledků měření během vegetačního období roku 2002, 2003 a 2004 a porovnáním zpracovaných údajů mezi jednotlivými nádržemi je možné uvést následující zjištění:

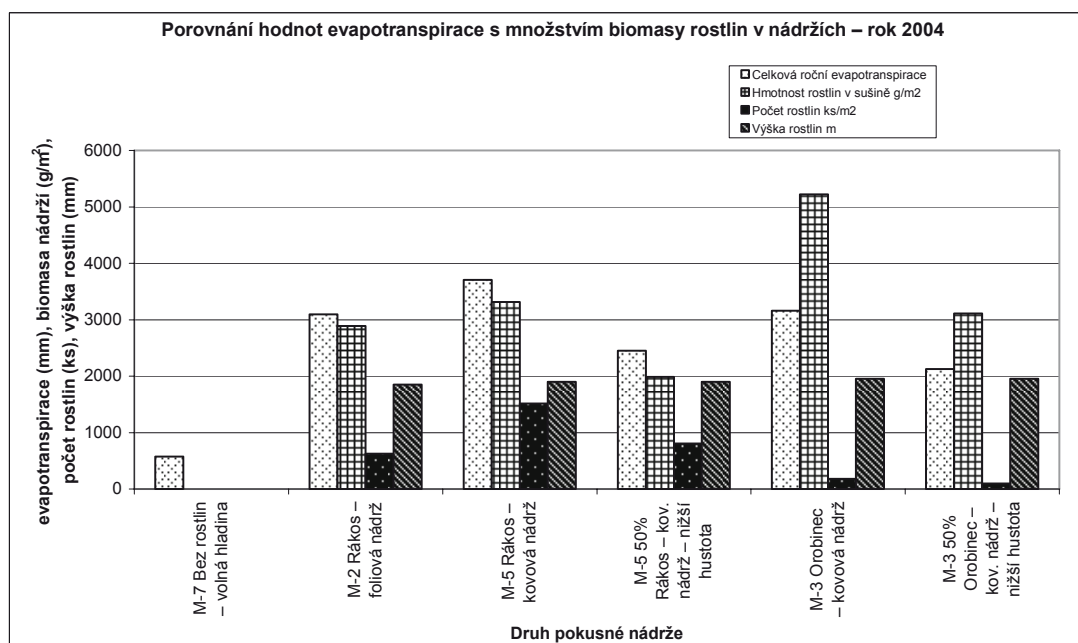
1. Z porovnání výsledků hodnot evapotranspirace vyplývá, že zatěžování mokřadních rostlin čistírenskými kaly má mírně stimulační vliv na jejich

vývoj a výši evapotranspirace. U pokusných nádrží s aplikací kalů byla v případě rákosu zjištěna odvodňovací schopnost až o 12 % vyšší než u srovnávacích nádrží plněných vodou.

2. Vyšších hodnot evapotranspirace (vyššího účinku odvodnění) dosahuje rákos oproti orobinci, a to v jednotlivých letech v průměru o 26 %, 6 % a 15 %.
3. Hodnoty evapotranspirace jsou významně ovlivněny množstvím nadzemní hmoty (biomasy) rostlin. Ve dnech se srovnatelnými klimatickými podmínkami je v době růstu (květen) oproti období

vypěstlosti rostlin (září), kdy výška rostlin byla 60 % výšky vyspělých, hodnota evapotranspirace pouze 53 % hodnot dospělých rostlin. Porovnání evapotranspirace řídkého porostu mokřadních rostlin v roce 2004 (počet rostlin uměle snížen na 50 %) oproti zapojenému porostu byla evapotranspirace 66 % při 60% zastoupení biomasy rákosu a 67 % při 60% zastoupení biomasy rostlin orobince. Obdobný trend potvrzují výsledky roku 2002 (období zakořeňování a vzrůstu neza-

pojeného porostu rostlin) ve srovnání s hodnotami evapotranspirace roku 2004. V roce 2002 porost rákosu vyprodukoval 34 % hmoty sušiny a dosáhl evapotranspirace 39 % porostu rákosu roku 2004, u orobince obdobně 31 % sušiny a 31 % evapotranspirace. Souhrnné údaje o výši evapotranspirace ve vztahu k počtu rostlin, výšce rostlin a vyprodukované biomase v jednotlivých modelových nádržích v roce 2004 jsou znázorněny sloupcovým grafem na obr. 1.

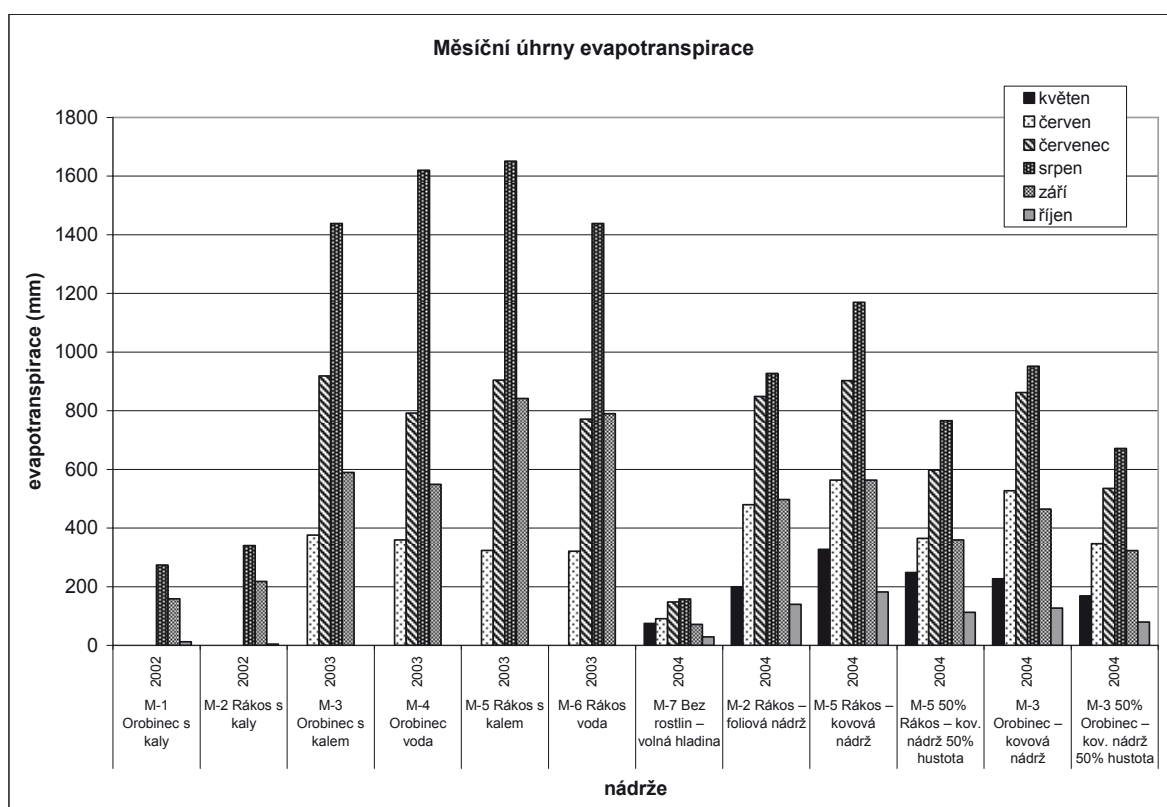


1: Grafické porovnání hodnot evapotranspirace ve vztahu k porostům mokřadních rostlin

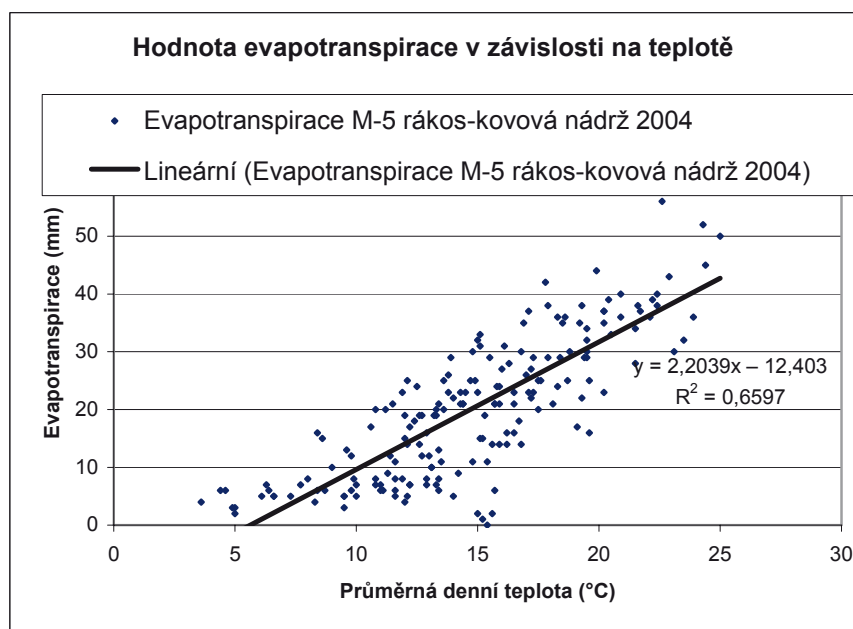
4. Za vegetační období klimaticky průměrného roku (květen až říjen) je vzrostlý a zapojený porost mokřadních rostlin schopen evapotranspirací odebrat množství vody odpovídající vodnímu sloupci 3700 mm, to je 3,7 m³ vody na m² plochy kalového pole. Výparem z volné plochy kalového pole bez rostlin může dojít k odpaření 570 mm vodního sloupce, to je 0,57 m³ vody na m² plochy kalového pole. Tyto údaje platí pro malé modelové plochy, při větších plochách budou hodnoty nepochybně nižší.
5. Hodnoty evapotranspirace jsou významně ovlivněny klimatickými faktory. Porovnání evapotranspirace mezi teplotně rozdílnými měsíci při srovnatelné vypěstlosti rostlin (srpen roku 2003 a 2004) prokazuje v případě srpna 2003 s průměrnou měsíční teplotou vyšší o 3,2 °C, hodnotu evapotranspirace vyšší o 41 %. Měsíční úhrny evapo-

transpirace v jednotlivých modelových nádržích znázorňuje na obr. 2 sloupcový graf.

Další, nesporně vlivné klimatické faktory působící na hodnotu evapotranspirace, je intenzita slunečního záření a rychlost větru. Tyto meteorologické veličiny nebyly sledovány, a proto nejsou do zhodnocení výsledků zahrnuty. Míra vlivu teploty na hodnoty evapotranspirace je zobrazena v grafu na obr. 3 přímkou lineární regrese a závislost je vyjádřena matematickou funkcí – lineární rovnicí závislosti evapotranspirace (y) na průměrné denní teplotě (x). Vypočítaný koeficient determinace R² vyjadřuje míru závislosti zobrazených veličin y (mm) na x (°C). Hodnoty tohoto koeficientu v rozmezí 0,65–0,72 vypovídají o nezanedbatelném vlivu jiných, výše uvedených faktorů, ovlivňujících hodnotu evapotranspirace.



2: Měsíční úhrny evapotranspirace v modelových nádržích

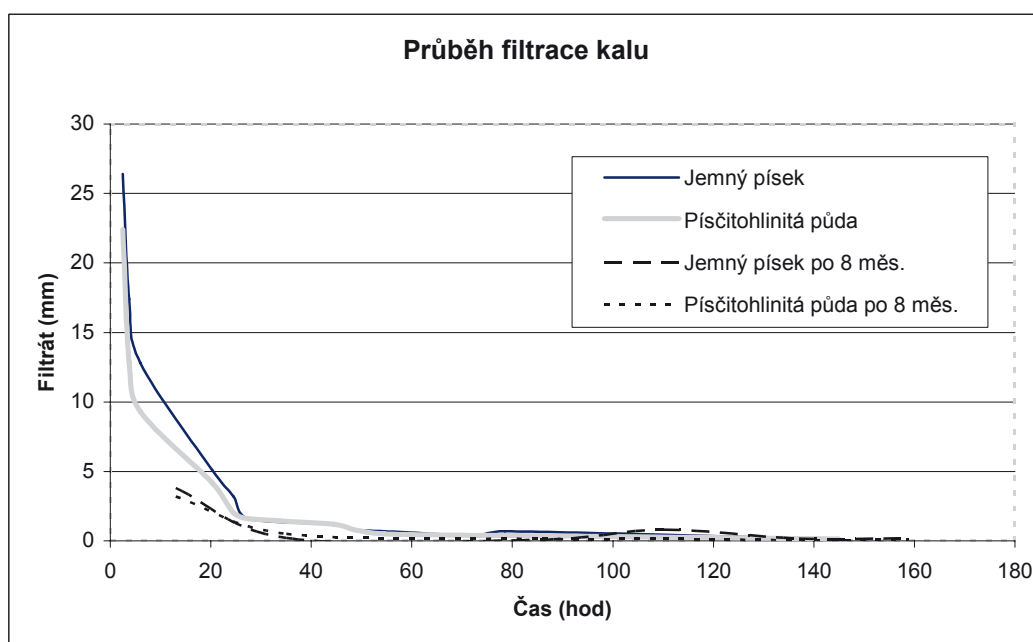


3: Závislost hodnot evapotranspirace mokřadních rostlin na teplotě

2. Výsledky výzkumu odvodnění kalů infiltrací a odvedení trubkovou drenáží

Výzkum odvodnění kalů infiltrací do drenážní vrstvy nacházející se na dně kalových polí byl realizován na laboratorních modelech. Zjišťoval se průběh infil-

trace na 315 mm vysokém sloupci jemných písků o zrnitosti do 2 mm a na stejně vysoké vrstvě písčito-hlinitých půd. Průběh infiltrace na počátku zatěžování a po zimním období (po 8 měsících) je znázorněn na obr. 4.



4: Průběh infiltrace kalu drenážní vrstvou jemného písku a písčitohlinité půdy

Současně byl sledován čistící účinek filtračního prostředí, hodnoty vybraných indikátorů znečištění jsou uvedeny v tab. III.

III: Složení filtrátu kalové vody přechodovou vrstvou zeminy nad jímacími drény

Složka	Jednotka	Stabilizovaný kal	Filtrát kalové vody profilem zemín			
			Štěrkopisky	Jemný písek	Střední písek	Písčitohlinitá
pH		7,74	7,74	7,78	7,46	7,77
CHSK _{Cr}	g.m ⁻³	608	277	235	273	88
N-NH ₄	g.m ⁻³	380	1	23,1	94,5	1
N-NO ₂	g.m ⁻³	x)	7,98	5,76	22	2,12
N-NO ₃	g.m ⁻³	x)	357	250,5	356	971
Pcelk	g.m ⁻³	20,4	1,18	1,27	0,88	0,1

x) nebylo sledováno

DISKUSE

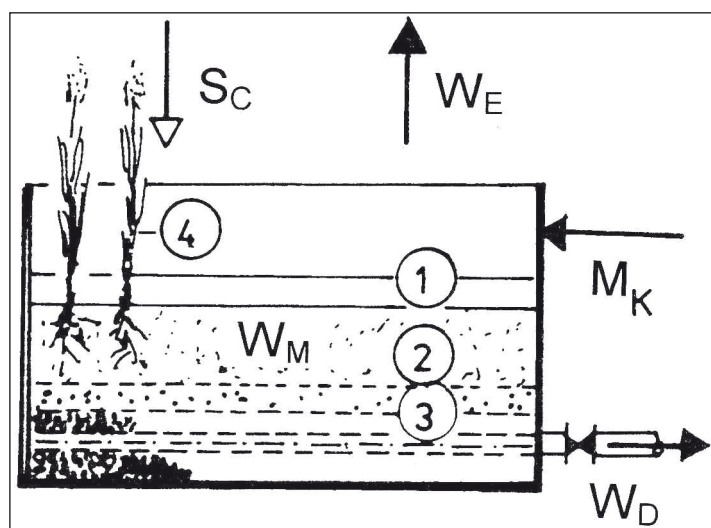
Výsledky výzkumu jsou podkladem pro bilancování celkového zatížení kalem. Celkové zatížení kalových polí M_K (mm.rok⁻¹) se vypočte z bilanční rovnice, vycházející z uspořádání znázorněného na obr. 5.

$$M_K = W_E + W_D - \alpha \cdot S_R - W_M,$$

kde W_E je hodnota evapotranspirace, W_D – velikost

drenážního odtoku, α – součinitel využití dešťových srážek, S_R – roční srážkový úhrn, W_M – množství vody poutané v půdním prostředí.

K důležitým hodnotám, které je třeba stanovit, patří určení průběhu evapotranspirace W_E a celkové hodnoty evapotranspirace za celé vegetační období. Hodnoty evapotranspirace na velkých plochách rákosu se podle Čížkové et al. (2003) pohybují mezi 5 až 7 mm za den, což odpovídá vyrovnané energetické bilanci. Výsledky šetření evapotranspirace mokřadních poros-

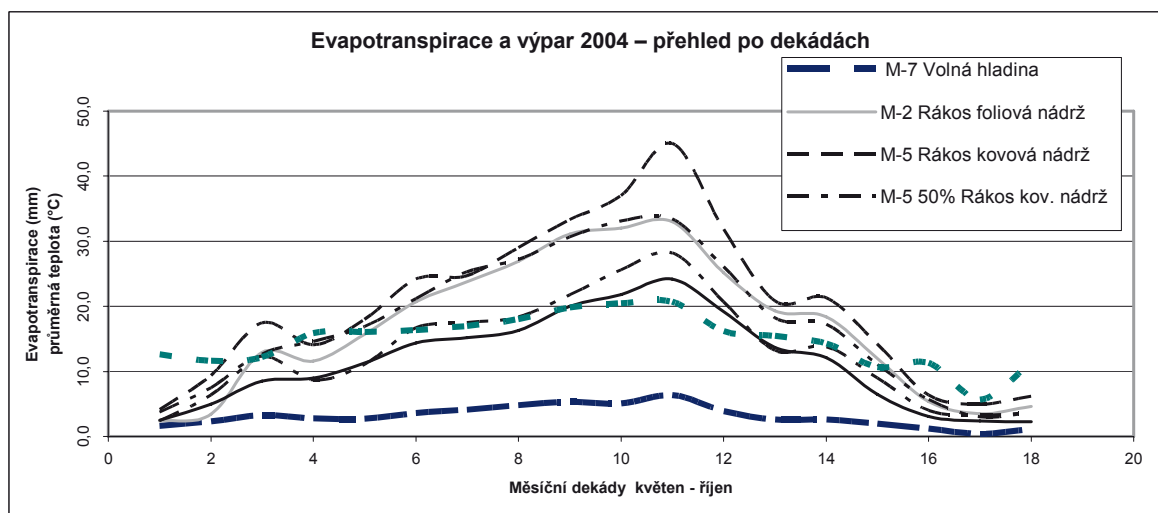


5: Schéma zatěžování kalového pole

1 – vrstva kalu, 2 – zemitý substrát, 3 – dvouvrstvý obrácený filtr; 4 – mokřadní vegetace

tů, uváděné Příbáním (1986), jsou nižší. Čížková et al. (2003) uvádějí výsledky šetření RNDr. J. Květa, CSc., který zjistil průměrný výpar z lyzimetrů o ploše 1 m^2 13 mm. Šálek (2005) v roce 2003 a 2004 naměřil vyšší hodnoty. Naměřené hodnoty byly v extrémně teplém roce 2003 mimořádně vysoké, v případě

modelových nádrží se jednalo o porosty velmi dobře vyvinuté na velmi malé ploše, s podmínkami odlišnými od evapotranspirace na velkých plochách s řidším porostem. Hodnoty evapotranspirace v jednotlivých měsících jsou uvedeny v tab. I a II. Průběh evapotranspirace v roce 2004 je znázorněn na obr. 6.



6: Průměrné denní hodnoty evapotranspirace v jednotlivých nádržích po měsíčních dekádách za vegetační období roku 2004 (květen–říjen)

Výsledky sledování průběhu infiltrace jednoznačně prokazují poměrně rychlý průběh kolmace filtračního prostředí. Proto bude tento způsob odvodnění využíván omezeně, kdy nebude možné využít odvodňovací účinek vegetace, tj. v druhé polovině října, části listopadu a po rozmrznutí v jarním období. Složení filtrátu jednoznačně prokazuje potřebu vracet filtrát kalové

vody zpět do čistícího procesu, zaústit před usazovací nádrž.

Velikost srážkového úhrnu S_R se získá z nejbližší srážkoměrné stanice Českého hydrometeorologického ústavu. Pro bilancování se použijí průměrné dešťové srážky, resp. ve vlhkém a chladnějším roce s pravděpodobností výskytu 60 až 70 %. Součinitel využitel-

nosti dešťových srážek vykazuje přibližně hodnotu $\alpha = 0,8$ a podílí se na ní intercepce. Tento údaj je přibližný a je třeba jej postupně upřesnit. Množství vody vázané v půdním prostředí W_M je z hlediska celkového dlouhodobého bilancování zanedbatelné.

Naměřené hodnoty evapotranspirace rákosu a orobince dosahují výše, která skýtá možnost využití těchto rostlin v kalových polích k dostatečně účinnému odvodňování tekutých čistírenských kalů. V závislosti na okamžitých klimatických podmínkách lze kalová pole během vegetační sezony zatěžovat až 3 m³ tekutého kalu na m² plochy kalového pole. Dalším dlouhodobým šetřením bude nezbytné prokázat, jaký vliv budou mít vysoké dávky kalu na růst mokřadní vegetace.

Teoretickým závěrem je, že v našich klimatických podmínkách není nezbytně nutné řešit kalová pole s filtrační vrstvou a drenáží. Skutečnost je taková, že

drenáž je nezbytně nutná k odvádění přebytečné kalové vody v období s nízkou evapotranspirací. Podle výsledků šetření je pro potřebnou výši evapotranspirace rozhodující vegetační izoterma 10 °C.

Konstrukce kalových polí s drenáží prosáklé kalové vody je již od r. 1988 s výbornými výsledky provozně využíváno u dánských ČOV. V těchto ČOV jsou rákosová kalová pole zatěžována v průměru 50–60 kg sušiny kalu/rok. Nutnou podmínkou účinného odvodňování a mineralizace čistírenského kalu je zabránit přetěžování kalových polí napouštěným kalem a dodržovat poměr časových fází plnění kalem k fázi vysoušení (odpočinkové). Nielsen (2004) doporučuje poměr doby plnění k době vysoušení (odpočinkové) v poměru 5:40 dní až 10:100 dní při současném využívání 6–10 samostatných kalových polí na každé ČOV.

SOUHRN

Výzkum odvodňovacích schopností makrofyt byl prováděn po dobu tří let na modelech, v pokusných nádržích s vybranými druhy mokřadních rostlin – rákosem obecným a orobincem úzkolistým. Kromě průběhu evapotranspirace v nádržích za okamžitých klimatických podmínek bylo také sledováno, jak rostliny reagují na zatížení kaly a jakou vykazují produkci biomasy. Souběžně byl zkoumán průběh infiltrace kalové vody do drenážní vrstvy nacházející se na dně kalových polí. Tyto odvodňovací procesy jsou využívány v kalových polích pro získání kalu s obsahem sušiny přes 30 %, s výrazným poklesem obsahu nebezpečných látek, tj. kalu vhodného pro výrobu kompostů nebo přímou aplikaci v zemědělství.

Naměřené hodnoty evapotranspirace rákosu a orobince ve vzrostlých a hustě zapojených porostech dosahují výše, která dává ve vegetační době těmto rostlinám předpoklad k využití v kalových polích k dostatečně účinnému odvodňování tekutých čistírenských kalů. Zatěžování rákosu a orobince přiměřenými dávkami kalu má pro tyto rostliny stimulační účinek. Drenážní vrstva na dně kalových polí se může vlivem rychlého průběhu kolmace filtračního prostředí stát méně účinnou a pro celkovou vodní bilanci kalového pole bude mít rozhodující význam pouze v mimovegetační době.

Poznatky z vlastního výzkumu a publikované zahraniční zkušenosti jsou podkladem pro návrh využití kalových polí s mokřadními rostlinami, který představuje stanovení potřebné plochy a počtu kalových polí, technické uspořádání kalových polí včetně přívodu a rozdělování kalů a provoz kalových polí s mokřadní vegetací. Předložené výsledky výzkumu jsou koncipovány především pro podmínky ČOV malých obcí, kde je i podle osobních zkušeností autora práce právě kalové hospodářství jedním z problematických a dosud neuspokojivě řešených oblastí nakládání s odpady vznikajících ve venkovských regionech.

čistírenský kal, odvodňování, evapotranspirace, mokřadní rostliny

LITERATURA

- BERGHOLD, H.: *Klärschlammvererdung mit Hilfe von Helophyten*. Graz: 1992. 61s.
- ČÍŽKOVÁ, H. et al.: Úloha rostlin ve vegetačních čistírnách. In: *Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. Brno, FAST VUT, 2003, s. 41–44.
- NIELSEN, S.: *Sludge treatment and drying reed bed system*. Roskilde: Env. and Energy A/S, 2003, 19 s.
- NIELSEN, S.: *Sludge Reed Bed Facilities – Operation and Problems*. In: *Wetland Systems*. Avignon, IWA, 2004, s. 203–210.
- PAULY, U. et al.: Zehn Jahre Klärschlammvererdung in Schilfbeeten. 44. Korrespondenz Abwasser, 1997, č. 10, s. 1812–1822.
- PRIBÁŇ, K.: Výpar z porostu mokřadních rostlin. *Sborn. ref. konf. Seminář BÚ ČSAV, Třeboň, 1992*, s. 67–70.

ŠÁLEK, J.: Využití mokřadní vegetace k odvodnění tekutých stabilizovaných čistírenských kalů. In: *Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. Brno, FAST VUT, 2003, s. 71–76.

ŠÁLEK, J.: Poznatky z výzkumu odvodnění stabilizovaných kalů a možnosti aplikace v praxi. In: *Přírodní způsoby čištění odpadních vod IV*. Brno, FAST VUT, 2005, v tisku.

Adresa

Ing. Jiří Šálek, Střední odborné učiliště řemesel a služeb a Učiliště Moravské Budějovice, Tovačovského sady 79, 676 02 Moravské Budějovice, Česká republika

