Čištění a dočištění srážkových a odpadních vod na zemních filtrech

Jan ŠÁLEK
Michal KRIŠKA

Zemní (půdní) filtry se používají k čištění a dočištění znečištěných srážkových a zejména odpadních vod. K dosažení požadovaného čisticího účinku využívají procesy probíhající ve filtračním prostředí. Pokud se použijí tato zařízení na dočištění odpadních vod, tvoří pak druhý stupeň biologického čištění. Ve většině případů je nezbytné předřazení částečného, většinou úplného mechanického čištění. Zemní (půdní) filtry se využívají převážně u malých producentů srážkových a odpadních vod; ve větším měřítku se jedná o infiltrační nádrže určené k infiltraci povrchových vod v jímacích územích vodárenských zařízení, jako „rezervních" filtračních polí na dočištění odpadních vod v kombinaci se závlahou aj.

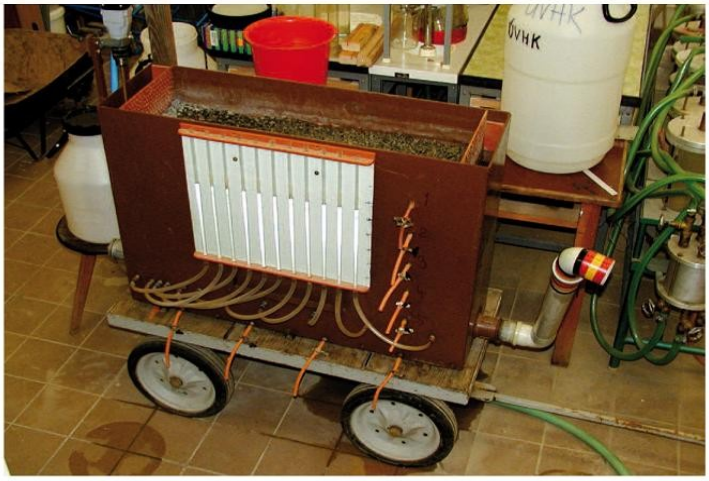
Čištění znečištěných vod ve filtračním prostředí zemních filtrů spočívá ve využití samočisticích vlastností porézního prostředí, které tvoří komplex fyzikálních, chemických a biologických procesů. K rozhodujícím fyzikálním procesům patří filtrace a sedimentace. K hlavním fyzikálně-chemickým procesům patří vazba řady složek na sorpční komplex filtračního materiálu. Z chemických procesů jedná se o komplex oxidačních a redukčních pochodů závisejících na obsahu kyslíku ve filtračním prostředí. V zemních filtrech při filtraci odpadních vod dochází k rozkladným procesům, syntéze nových sloučenin, bližší podrobnosti uvádějí Šálek a Tlapák (2006).

Náplň příspěvku je zaměřená na využití beztlakových zemních filtrů využívaných u menších decentralizovaných staveb a zařízení, na úpravu srážkových vod a čištění především splaškových vod.

1. Rozdělení zemních (půdních) filtrů využívaných u decentralizovaných staveb

Půdní filtry se dělí podle možností (způsobů) využití, konstrukčního uspořádání, technologie provozu, směru a druhu proudění aj.

Podle způsobu využití se zemní filtry dělí na zařízení určená:



Obr.1 a 2 – Stanovení hydraulické vodivosti ve vertikálním a horizontálním směru

- úpravu srážkových vod z relativně čistých ploch, kterými jsou střechy, čisté chodníky aj. zpevněné plochy;
- úpravu srážkových vod odtékajících z domovních parkovišť a příjezdových cest;
- čištění mechanicky předčištěných splaškových odpadních vod z domácností;
- dočištění mechanicko-biologicky čištěných odpadních vod;
- čištění vody z domovních bazénů využívaných ke koupání;
- částečnému čištění srážkových vod odtékajících z parkovišť a nízko zatížených veřejných komunikací;

Podle konstrukčního uspořádání se rozdělují zemní filtry do dvou základních skupin, a to na zemní filtry s prouděním horizontálním a vertikálním, směrem dolů a směrem vzhůru.

Podle technologie čištění se člení půdní filtry do následujících skupin:

- proudění vertikálním směrem dolů v nenasyceném filtračním prostředí;
- proudění vertikálním směrem dolů v nasyceném filtračním prostředí;
- proudění vertikálním směrem dolů s impulsním plněním nebo prázdněním, proměnlivě nasyceném a nenasyceném filtračním prostředí;
- uměle periodicky, nebo průběžně provzdušovaném filtračním prostředí;
- se zpětným promýváním a regenerací filtračního materiálu.

Podle mocnosti (hloubky) porézního filtračního prostředí se dělí zemní filtry:

- mělké zemní filtry do maximální hloubky h = 0,6 až 0,8 m, vhodné pro úpravu srážkových vod ze střech a dočištění znečištěných povrchových vod po mechanickém čištění;
- středně hluboké zemní filtry o hloubce h = 0,8 až 1,6 m. Mělčí se používají jako druhý stupeň biologického čištění odpadních vod, hlubší na prvý stupeň biologického čištění;
- hluboké nad h = 1,6 m se navrhují vícevrstvé, jsou vhodné jako prvý stupeň biologického čištění odpadních vod.

Pro čištění splaškových vod se převážně projektují středně hluboké zemní filtry. Z hlediska celkového uspořádání se zemní filtry navrhují:

- jako samostatné jednotky průběžně zatěžované mechanicky čištěnou odpadní vodou;
- dvojice až trojice sériově propojených zemních filtrů průběžně zatěžovaných odpadní vodou (kaskádovité uspořádání);
- minimálně jedna dvojice zemních filtrů ve střídavém zatěžování, kdy jeden filtr je v provozu a druhý je vyprázdněn, přičemž se intenzivně provzdušuje (prokysličuje);
- kombinace sériově zapojených půdních filtrů zajišťujících na prvém stupni anaerobní až fakultativní režim čištění, v druhém stupni aerobní proces s intenzivní nitrifikací a třetí stupeň anaerobní s intenzivní denitrifikací.

Zemní filtry se navrhují otevřené a kryté (tepelně izolované), které umožňují bezporuchový zimní provoz. Přednosti a slabší místa zemních filtrů jsou heslovitě uvedené v tab.1.

Tabulka 1 – Přednosti a určitá slabší místa zemních filtrů

Přednosti využití zemních filtrů	Slabší místa využití zemních filtrů
Jednoduché uspořádání, přírodní charakter	Větší nároky na plochu
Úspora energie ve srovnání se strojními ČOV	Zimní provoz vyžaduje tepelnou izolaci
Čistí i silně naředěné odpadní vody	Určité typy nedostatečně odstraňují amoniak
Příznivý čisticí účinek od samého počátku	Případná potřeba vyrovnávací nádrže
Možnost krátkodobého přetížení a dlouhodobého přerušení provozu	Možnost zakolmatování filtračního prostředí při nedostatečném mechanickém předčištění

2. Filtrační náplň zemních filtrů

Filtrační náplně zemních filtrů se liší zrnitostí, použitým materiálem, chemickým složením, umělou úpravou vlastností apod. Stručný přehled používaných materiálů a metody zkoušení jejich vlastností je uvedený v tab.2

Vlastnosti filtračních materiálů se stanoví ve specializovaných laboratořích. Vybraná testovací zařízení používaná ke stanovení hydraulické vodivosti v laboratoři Ústavu vodního hospodářství krajiny FAST VUT v Brně jsou uvedená na obr. 1 a 2. Filtrační válce na obr. 1 jsou určené k laboratornímu stanovení hydraulické vodivosti nenarušených a narušených vzorků při vertikálním proudění vody. Zařízení na obr. 2 se využívá ke stanovení hydraulické vodivosti „sypaných" vzorků a případně i uměle hutněných filtračních materiálů při horizontálním proudění vody.

Pro předběžný návrh, resp. posouzení je možné použít orientační hodnoty hydraulické vodivosti podle ČSN 75 6404 uvedené v tab. 3, včetně doporučených údajů hydraulického zatížení půdních filtrů.

Požadavky na zrnitostní složení zemních filtrů se stanoví v závislosti na druhu a rozsahu znečištění vody, velikosti zatížení, konstrukčním uspořádání aj. Doporučené složení zemních filtrů podle návrhu HDP Praha je uvedené v tab. 4.

V Rakousku podle ÖNORM B2505 z roku 2003 navrhují krycí 5cm vrstvu ze štěrku frakce 4/8 mm, min. 60cm vrstvu ze směsi frakcí písek/štěrk 0/4mm a 4/8 mm (po 50 %), pod ní přechodovou vrstvu výšky 10 cm ze štěrku 4/8 mm a 20 cm vysokou drenážní vrstvu ze štěrku frakce 16/32 mm. Drenážní potrubí navrhují o průměru DN 100 mm.

Vícevrstvé, uměle provzdušované, impulsně plněné a prázdněné zemní filtry je vhodné předem odzkoušet pro konkrétní podmínky na laboratorních nebo poloprovozních modelech, použitá zařízení jsou znázorněná na obr. 3 a 4.

Podrobnosti výběru vhodného filtračního materiálu, vycházející ze zkušeností ve Francii a Švédsku, uvádí TNI CEN/TR 12566-5 – Část 5: Filtrační systémy pro předčištěné (splaškové) odpadní vody.

Obr. 3 – Laboratorní modely zemních filtrů

Obr. 4 – Poloprovozní terénní model zemního filtru s vegetací a bez vegetace

3. Návrh dimenzí zemních filtrů

K základním návrhovým parametrům patří stanovení filtrační plochy, výšky porézního filtračního prostředí, určení fyzikálních vlastností filtračního materiálu, zatížení filtru, filtrační rychlost, způsob zatěžování filtru apod. Velmi důležité jsou sorpční vlastnosti filtračního materiálu, zejména schopnost poutat fosfor a případně i těžké kovy. Plocha zemního filtru S_f se vypočte ze vztahu

$$S_f = n \,.\, Q \,.\, k \,/h \,..... \,(m^2),$$

kde je n – počet připojených obyvatel, Q – produkce odpadních vod (m^3/osoba.den), k – součinitel charakterizující místní podmínky (k = 1.0 až 1.6), h-denní nápustná výška-zatížení (m/d)

Orientační hodnoty zatížení zemních filtrů, při produkci 0,100 až 0,150 m^3d^{-1} odpadních vod, zpracované podle řady autorů a vlastních laboratorních a poloprovozních šetření (Šálek–Kriška–Malý 2004, 2005), jsou uvedené v tab. 5. Přesnější údaje se stanoví přímým odzkoušením na testovacích kolonách pro konkrétní podmínky.

4. Konstrukční uspořádání zemních filtrů

Zemní filtry se umísťují do těsněné zemní jímky, těsněné rýhy nebo prizmatické nádrže ze železobetonu, plastů aj., půdorysně čtvercového, kruhového, obdélníkového i nepravidelného tvaru. Jímka se vyplňuje filtračním ma-

Tabulka 2 – Druhy filtračních materiálů a metody stanovení jejich vlastností

Druhy filtračních materiálů zemních filtrů	Důležité sledované vlastnosti
Tříděný říční písek a kamenivo, převážně křemičitého složení	Zrnitostní složení, struktura, textura, nasákavost, mrazuvzdornost
Tříděné drcené lomové kamenivo	Chemické složení, obsah železa a manganu
Drcená vysokopecní struska a vhodné druhy drcené škváry	Hydraulická vodivost, pórovitost, měrná a objemová hmotnost
Filtrační materiály vyrobené na bázi plastů	Dostupnost filtračních materiálů, cena
Filtrační materiály upravených vlastností	Obsah jemných prachových částic

Tabulka 3 – Hodnoty hydraulické vodivosti různých zemin podle ČSN 756404

Druh zeminy	K_f – hydraulická vodivost stanovená v laboratoři		K_{fc} určená infiltrometrem	Hydraulické zatížení filtru
	$m.d^{-1}$	$m.s^{-1}$	$m.d^{-1}$	$l.m^{-2}.s^{-1}$
Střední a hrubý štěrk	>100	$>1.10^{-3}$	Nelze určit	Nepoužitelný
Jemný štěrk a hrubý písek	1–100	1.10^{-5}–1.10^{-3}	1,5–12	20–50
Jemný až prachovitý písek	0,5–10	6.10^{-6}–1.10^{-4}	0,5–1,2	15–30
Písčitý silt až silt (prach)	0,1–1	1.10^{-7}–1.10^{-5}	0,15–0,5	10–15
Jílovitá hlína se siltem	0,01–0,1	1.10^{-7}–1.10^{-6}	0,15	10
Jíl, resp. jíl se siltem	<0,001	$< 1.10^{-8}$	< 0,15	Nepoužitelný

Pozn.: K_f - hydraulická vodivost stanovená v odběrných válečcích v laboratoři
K_{fc} - hydraulická vodivost stanovená infiltrometrem s konstantní hladinou

Tab. 4 – Doporučené zrnitostní složení půdních filtrů podle návrhu HDP Praha

a) dvě filtrační vrstvy	
Půdní povrch – travní porost	
h_1 = 400–700 mm	Krycí vrstva zeminy
h_2 = 100 mm	Pískový pás s geotextilií
h_3 = 400 mm	Štěrkový pás D8/16 s rozdělovacím perforovaným potrubím
h_4 = 200 mm	Filtrační betonářský písek D2/4
h_5 = 500 mm	Filtrační betonářský písek D 1/2
h_6 = 300 mm	Štěrkový pás D 8/16 s drénem DN 100
Geotextilie a těsnicí fólie z PVC,PE	

b) jedna filtrační vrstva	
Půdní povrch – travní porost (dlažba)	
h_1 = 400–700 mm	Krycí vrstva zeminy
h_2 = 100 mm	Pískový pás s geotextilií
h_3 = 400 mm	Štěrkový pás D8/16 s rozdělovacím perforovaným potrubím
h_4 = 700 mm	Filtrační betonářský písek D 2/4
h_5 = 300 mm	Štěrkový pás D 8/16 s drénem DN100
Geotextilie a těsnicí fólie z PVC, PE	

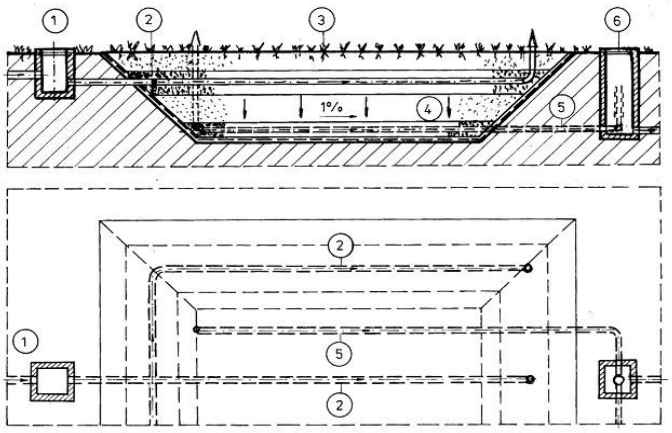
Tabulka 5 – Orientační hodnoty zatížení zemních filtrů h v závislosti na zrnitostním složení

Filtrační prostředí	Použití filtru	Zatížení filtru h (m.d^{-1})	
		Průměrné	Maximálně
Písčité půdy s příměsí drobného štěrku	Úprava srážkových vod ze střech, nepravidelný provoz	0,15 až 0,25	0,30
Jemné písky (1až 2 mm)	Dočištění mechanicko-biologicky čištěných odp. vod	0,02 až 0,05	0,10
Hrubé písky (2až 4 mm)	Čištění mechanicky předčištěných odpadních vod	0,03 až 0,07	0,12
Štěrkopísky – směs 50% D 4–8, 50% písek	Čištění mechanicky předčištěných odpadních vod	0,04 až 0,08	0,14

Pozn.: a) Požaduje-li se nitrifikace amoniaku v čištěných odpadních vodách, je nezbytné zatížení snížit o 15 až 30 % (podle rozsahu znečištění), používat nižší hodnoty, zemní filtr doplnit impulsním prázdněním části filtračního prostředí, případně provzdušením;

b) maximální hodnota zatížení odpovídající krátkodobému, jednorázovému přetížení, nedoporučují se používat k dimenzování zemních filtrů;

c) údaje neplatí pro vícevrstvé zemní filtry z různých frakcí.

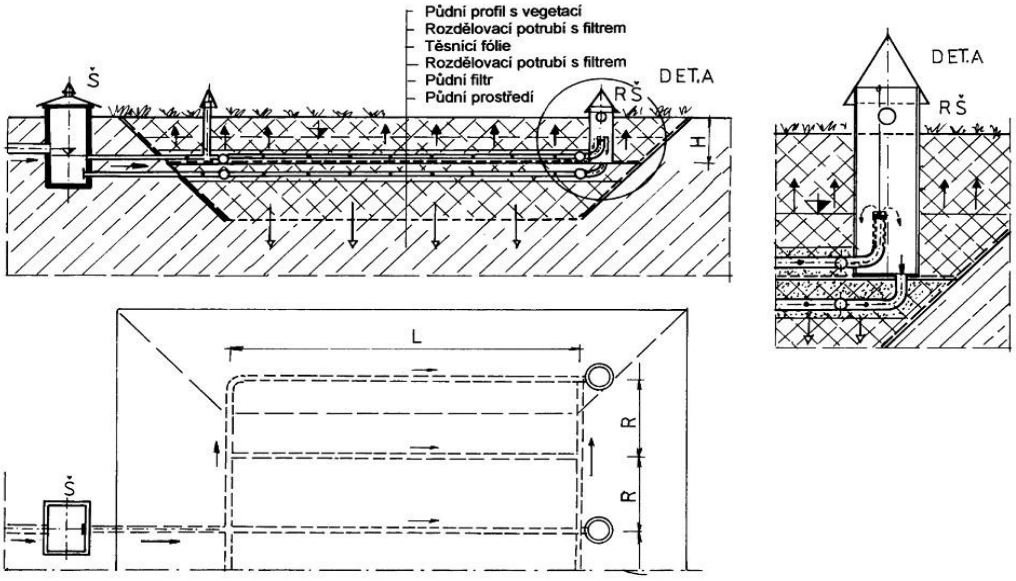


Obr. 5 – Schéma jednoduchého půdního filtru
1 – regulační šachtice, 2 – rozdělovací potrubí, 3 – travní porost, 4 – filtrační náplň, 5 – jímací potrubí, 6 – kontrolní a regulační šachtice

teriálem; výběr a zásady návrhu jsou uvedené v předchozích kapitolách. K těsnění zemních jímek a rýh použijí se těsnicí fólie z plastů tloušťky 1,5 až 2 mm. V současné době se dává přednost fóliím z vysokohustotního PE. Je-li v dostupné vzdálenosti vhodný jílový materiál ($K_f \leq 10^{-8}$ ms^{-1}), navrhne se odpovídající mocnost jílového těsnění. K ochraně těsnicích fólií a jako přechodové vrstvy mezi jílovým těsněním a filtrační náplní se použijí krycí a ochranné geotextilie.

Přívodní a rozdělovací potrubí se navrhuje z PE nebo PVC, opatří se výtokovými otvory s krytkami proti ucpání obsypovým materiálem. Sběrné potrubí se navrhuje rovněž z perforovaného potrubí nebo flexibilních drénů z PVC. Konce rozdělovacího potrubí se vyúsťují nad terén a na konci se opatřují větracím komínkem. Uspořádání jednoduchého půdního filtru umístěného v těsněných rýhách je znázorněno v obr. 5.

Zemní filtr, znázorněný na obrázku 6, využívá ve vegetačním období horní rozdělovací potrubí, které navlažuje krycí vrstvu s vegetací. Výška hladiny se reguluje nastavitelnou dlužovou stěnou umístěnou v šachtici. Nevyužitá odpadní voda přepadá přes dlužovou stěnu a přitéká do níže položeného potrubí, kterým je rozdělována po povrchu dolního zemního filtru, a infiltruje do podloží. Infiltrace čištěných odpadních vod musí být řešená v souladu se zákonem č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), vyhláškou č. 5/2011 Sb. o vymezení hydrogeologických rajonů a nařízením vlády č. 416/2010 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.



Obr. 6 – Schéma uspořádání kombinovaného zemního filtru

V případech, kdy tato možnost nebude realizovatelná, se jímka utěsní, v dolní části se umístí perforované jímací potrubí a filtrovaná odpadní voda se odvede přes revizní šachtici do vodního toku, nebo se využije např. v letním období k závlaze. V zimním období, za mrazu, se odpadní voda přivádí přímo do níže umístěného rozdělovacího potrubí a čistí se pouze v dolní části zemního filtru. V obou případech je nezbytné dobré provzdušení filtračního lože, vybavení rozdělovacího potrubí přechodovým filtrem a jeho zához vhodnou písčitohlinitou až hlinitou zeminou.

Uspořádání zemních filtrů umístěných v prismatické nádrži, např. z polypropylenových tvárnic, je znázorněné na obrázku 7a, b. V prvém případě ad a) vertikální proudění vody probíhá v nenasyceném filtračním prostředí, ve druhém uspořádání ad b) se jedná o filtraci převážně v nasyceném prostředí. Toto řešení je možné doplnit násoskou nebo elektricky ovládaným uzávěrem, které umožní impulsní prázdnění a postupné plnění filtračního prostředí. Při impulsním prázdnění dochází ke vzniku pístového tahu a prokysličení filtračního prostředí. Proces může být i opačný, nejprve probíhá postupné prázdnění a na ně navazuje impulsní plnění; při této úpravě je nezbytná předřazená vyrovnávací nádrž.

Při celoročním provozu je nezbytné svrchní část zemních filtrů tepelně izolovat zásypem vhodnou zeminou, kombinací tepelně izolačních panelů se zásypem zeminou apod.

Zemní filtry je možné navrhovat s vertikálním prouděním směrem vzhůru.

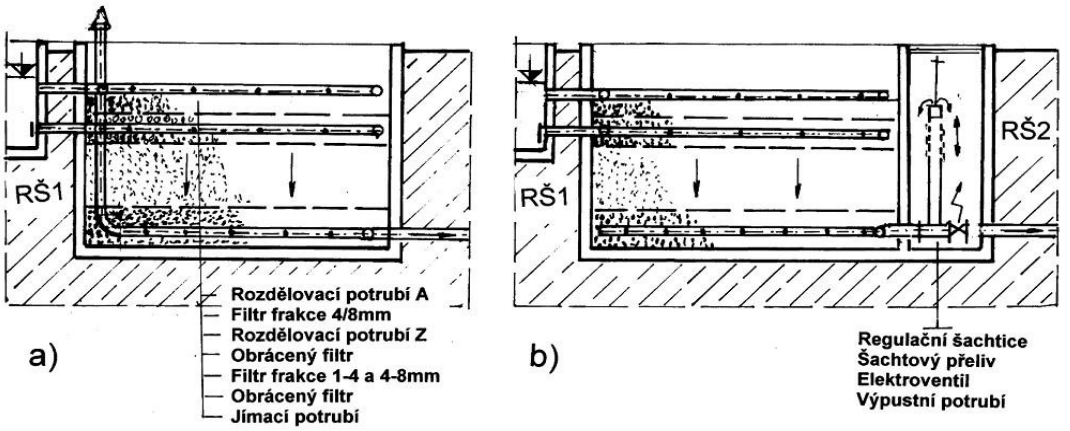
Navržené uspořádání je vhodné pro čištění odpadních vod v bezmrazovém období, např. u rekreačních zařízení používaných v letním období. Při celoročním provozu je nezbytná jejich tepelná izolace. Schéma upořádání je znázorněné v obr. 8.

Pro úpravu mírně znečištěných srážkových vod je možné použít zemní filtry doplněné retenčním prostorem na zachycení odtoku z přívalových srážek. Uspořádání je znázorněné na obr. 9.

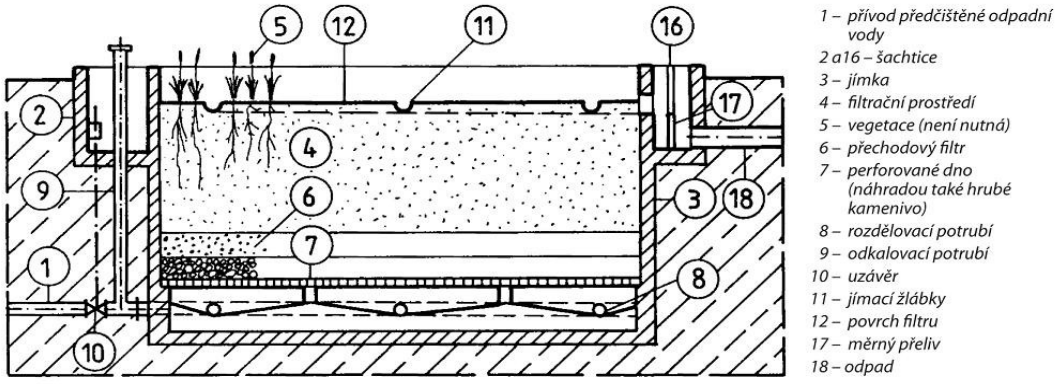
Před vtok do zemního filtru se doporučuje umístit spádové síto na zachycení hrubších nečistot a v nezbytných případech i jednoduchou usazovací nádrž.

5. Závěr

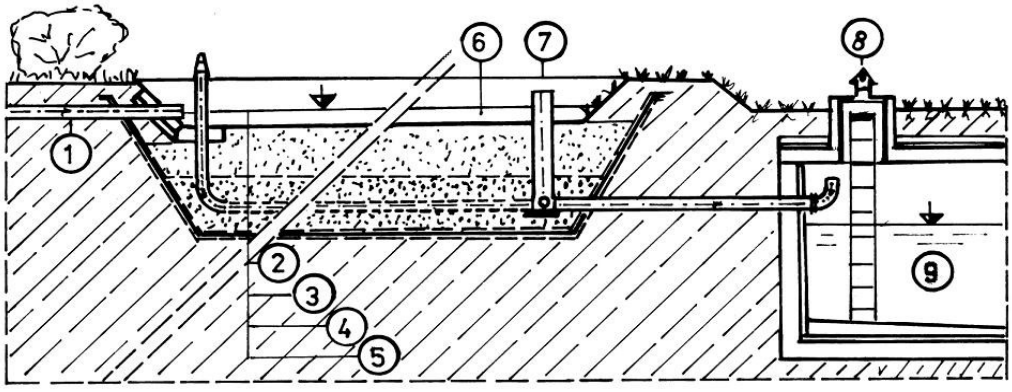
Zemní filtry nacházejí uplatnění především u nejmenších producentů a v kombinaci s dobře fungujícími biologickými septiky. V předloženém referátu je poukázáno na jejich značnou různorodost jak po stránce konstrukční, tak i technologické. Tato různorodost umožňuje vybrat pro dané podmínky řešení, které se bude co nejvíce blížit optimálnímu. V současné době hlavní úsilí je věnováno minimalizaci negativního dopadu kolmatace a odstraňování amoniakálního znečištění.



Obr. 7 – Schéma uspořádání zemních filtrů s prouděním v nenasyceném filtračním prostředí a nasyceném půdním prostředí RŠ – regulační šachzice



Obr. 8 – Schéma uspořádání zemního filtru s prouděním směrem vzhůru



Obr. 9 – Jednoduchý zemní filtr na úpravu srážkových vod
1 – přívod vody, 2 – retenční prostor, 3 – filtrační prostředí, 4 – obrácený filtr, 5 – perforované potrubí, 6 – opevnění svahů, 7 – revizní šachtice, 8 – vstup do akumulační nádrže, 9 – akumulační nádrž

6. Literatura

[1] Dočišťování odpadní vody zemními filtry. Typizační studie HDP. Praha: MZ ČR, 1995, 48 s.

[2] EFFENBERGER, M., MATTIELLO, E.: Zemní filtry. Praha: MŽP, 1990, 64 s.

[3] EICHINGER J.: et all. Nachgeschaltete denitrifikation im sandfilter. 47, Wasser und Boden, 1995, č. 5, s. 10–14.

[4] MAYER V.: Die Laufzeit aufwarts durchstromter Schnellsandfilter bei der Suspendsaentnahme aus biologisch gereinigtem Abwasser Die Wasserwirtschaft, 1980, č. 6, s. 221–226

[5] MLEJNSKÁ, E., ROZKOŠNÝ, M., BAUDIŠOVÁ, D., VÁŇA, M., WANNER, F., KUČERA, J.: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Praha: VÚVTGM, 2009, 119 s.

[6] ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M., ŠÁLEK, J.: Možnosti využití přírodních způsobů čištění odpadních vod a posouzení vlivu předčištění. Vodní hospodářství, 2010, č. 5, s. 116 až 121

[7] ŠÁLEK, J.: Návrh a využití biologických nádrží na čištění odpadních vod. Praha: ÚVTIZ, 1994, Metodika č. 15, 44 s.

[8] Šálek, J.: Navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren, Praha: ÚZPI MZČR, 1999, č. 2, 54 s.

[9] ŠÁLEK, J., MALÝ, J., KRIŠKA, M., DUNAJSKÝ, M.: Modelový výzkum vertikálních půdních filtrů na čištění splaškových odpadních vod. 4. vodohospodářská konference. Brno: Práce a studie ÚVS FAST VUT, 2004, Sešit 6, s. 435 – 441

[10] ŠÁLEK, J., KRIŠKA, M.: Vegetační kořenové čistírny s vertikálním prouděním II. In: Přírodní způsoby čištění odpadních vod IV. Brno: KŽP ÚVHK FAST VUT, 2005, s. 55-60

[11] ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: ČKAIT, 2006, 283 s.

[12] ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P.: Přírodní způsoby čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. Brno: ERA, 2008, 115 s.