

## KOLMATACE – VÝZNAMNÉ OMEZENÍ FUNKČNOSTI UMĚLÝCH MOKŘADŮ – JAK JÍ PŘEDCHÁZET, JAK JI ODSTRANIT?

Eva Mlejnská<sup>17</sup>

### Abstrakt

Kolmatace je všeobecným problémem porézních materiálů, kterými proudí srážkové, průsakové nebo odpadní vody. U horizontálně a vertikálně protékaných umělých mokřadů, které jsou v malých obcích do 500 obyvatel využívány k čištění komunálních odpadních vod, je problém kolmatace poměrně častým a významným jevem.

Prvním cílem příspěvku je shrnutí možných příčin vzniku kolmatace. Protože je proces kolmatace velmi složitý a názory na jeho vznik nejsou zcela jednotné, je důležité popsat fyzikální, chemické a biologické procesy, které vedou ke snižování propustnosti porézních materiálů.

Druhým cílem příspěvku je popsat, jak kolmataci co nejlépe předcházet, nebo jak ji účinně odstranit. Cestou k omezení jejího vzniku je kvalitnější a lépe provozované mechanické předčištění. Mezi nejčastěji využívanou metodou odstranění kolmatace patřila v minulosti výměna části nebo celé filtrační náplně, ale v současné době začínají být více využívány in-situ metody, založené na chemickém nebo bakteriálním rozkladu.

### Úvod

Kolmatace je proces snižování porosity a propustnosti systému (Siriwardene a kol., 2007). Tento proces je velmi složitý a názory na jeho vznik nejsou zcela jednotné. Jde o souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů (Winter a Goetz, 2003; Siriwardene a kol., 2007; Schwarz a kol., 2006; Reddi a kol., 2000), které vedou nejen ke snížení propustnosti filtračního lože, tzn. ke snížení hydraulické vodivosti a porosity zrnitého materiálu (Pedescoll a kol., 2009), ale také významně ovlivňují přenos kyslíku ze vzduchu do vody (Kayser a Kunst, 2005; Hua a kol., 2010a). Obě tyto skutečnosti mají za následek významný pokles schopnosti systému čistit odpadní vody.

Kolmatace patří k častým provozním problémům systémů čistících srážkové, průsakové a odpadní vody, mezi které lze zařadit také extenzivní technologie čištění odpadních vod, zejména pak horizontálně a vertikálně protékané umělé mokřady. Zde jde hlavně o kolmataci porézního filtračního prostředí nerozpuštěnými látkami, především jemnými zemitými a organickými částicemi z povrchových smyvů a kalem vyplavovaným ze stokové sítě a mechanického stupně čištění (Šálek a kol., 2008). Rozsah kolmatace závisí na množství těchto látek (vyjádřeno ukazateli  $CHSK_{Cr}$ , nerozpuštěné látky) v přitékající odpadní vodě (Winter a Goetz, 2003), hydraulickém zatížení (Schwarz a kol., 2006), zrnitostním složením porézního filtračního prostředí, jeho struktuře a textuře, době provozu umělého mokřadu apod.

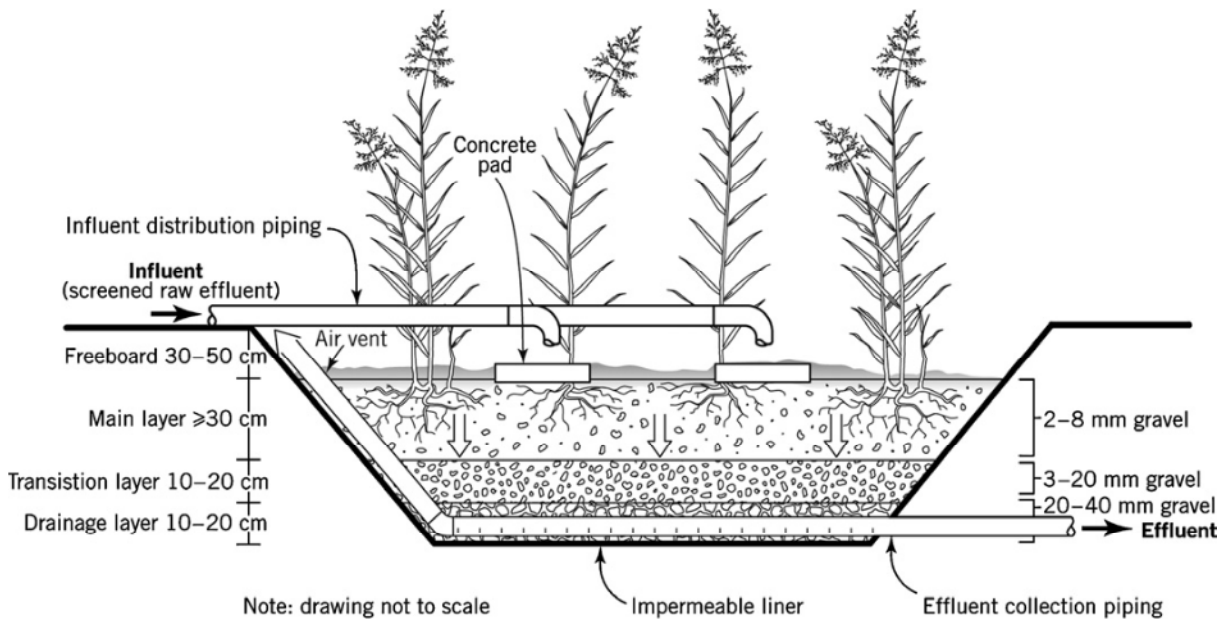
Ke kolmataci filtračního prostředí dochází buď nárazovým uvolněním těchto částic např. při přivalových deštích, nebo pozvolným zakolmatováním, které způsobuje především nevhodná volba nebo konstrukce usazovacích nádrží nebo jejich nesprávné provozování a údržba, tzn.

---

<sup>17</sup> Ing. Eva Mlejnská, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel. 220197316, e-mail: [eva\\_mlejnska@vuv.cz](mailto:eva_mlejnska@vuv.cz)

nedostatečné průběžné vyvážení usazeného kalu (Turon a kol., 2009). Příčinou může být i nevhodně zvolený materiál filtračního prostředí.

Kolmatace je doprovázena nejen zhoršením účinnosti čištění, ale také hydraulickými poruchami, jako je zaplavování povrchu systému odpadní vodou, tzn. preferenční tok vody po mokřadu (viz obrázek 1) nebo vznik zkratového proudění nevyčištěné odpadní vody filtrační náplní (Pedescoll a kol., 2009; Knowles a kol., 2011). Zaplavování povrchu mokřadu má mimo jiné za následek zvýšení zápachu a také možnost zvýšeného výskytu komárů. Pokročilá kolmatace vyžaduje sanaci zakolmatované náplně a tak limituje životnost celého systému.



Obr. 1 Profil vertikálně protékající kořenové čistírny se sěrčkovým substrátem (Knowles a kol., 2011)

## Mechanismy vzniku kolmatace

Ke kolmataci umělých mokřadů dochází v důsledku akumulace různých materiálů, které mají přímou spojitost s čištěním (externí zdroje) a ostatních provozních faktorů (vedlejší a interní zdroje). Množství a složení kolmatačního materiálu závisí na externích i interních zdrojích. Obvykle ho tvoří vysoce hydratované gely a kaly (často více než 70 % vody) s anorganickými a organickými pevnými látkami. Mezi nevodné složky kolmatačního materiálu patří organické pevné látky z externích zdrojů – odpadní vody nebo interních zdrojů – růstu biomasy, kořenů rostlin, detritu z biofilmu a rostlin a pevné látky zanešené během výstavby umělého mokřadu. Ke kolmataci mohou přispívat i anorganické pevné látky, které dle autorů Pedescoll a kol. (2009) tvořily více než 75 % z celkového množství nerozpuštěných látek. Ty mohou být opět z externích zdrojů – odpadní vody, chemického srážení, nebo interních zdrojů – z chemické eroze sěrčku a zanešené během výstavby. Tento materiál se může kumulovat na povrchu filtrační náplně nebo pod ní. Brání tak pronikání odpadní vody do umělého mokřadu a snižuje podpovrchovou hydraulickou vodivost.

Hydraulická vodivost půd závisí na množství hydraulicky využitelného objemu pórů filtrační náplně. Ten ovlivňují (Platzer a Mauch, 1997; Blazejewski a Murat-Blazejewska, 1997;

Suliman a kol., 2006; Langergraber a kol., 2003; Winter a Goetz, 2003; Hua a kol., 2010b) následující mechanismy, které mají vliv na snižování objemu pórů a infiltrační rychlosti:

- Akumulace suspendovaných organických a anorganických látek na povrchu filtrační náplně a v pórech vertikálně protékanych umělých mokřadů s postupným rozvojem kolmatačního koláče. To vede k vnější i vnitřní blokaci pórů, tedy k omezení povrchové filtrace i filtračního objemu. Rychlost ucpání závisí na účinnosti mechanického předčištění a na vlastní filtrační náplni. Infiltrované organické látky mohou být částečně rozloženy mikroorganismy.
- Produkce a exkrece biomasy způsobená konstantními dodávkami nutrientů v odpadní vodě. Biofilm vytváří elastickou plástvovou strukturu v důsledku gelovatění extracelulárních polymerních látek produkovaných bakteriemi, díky tomu je odolný vůči vnějším smykovým silám. Tyto struktury snižují volný prostor porézního materiálu. S postupujícím časem se povrchová plocha a komplexní struktura biofilmu snižuje a stává se hladší. Pokud má být zabráněno biologické kolmataci, musí být růst mikroorganismů a rozklad biomasy v rovnovážném stavu.
- Chemické srážení a ukládání v pórech, zejména blokování pórů způsobené anorganickým gelem vzniklým reakcí vápníku obsaženého ve vápenci s křemíkem obsaženým v odpadní vodě, dále peptizace půdních koloidů a zanesení pórů těmito agregáty, srážení a ukládání uhličitanu vápenatého při nízkých hodnotách pH. Dalšími ukládanými sraženinami mohou být hydroxidy železa a hliníku a oxidy hořčíku.
- Další faktory, jako je růst oddenků a kořenů rostlin, tvorba a akumulace huminových látek, tvorba plynu a zhutnění kolmatační vrstvy, hrají minimální roli.

#### Fáze procesu kolmatace

Proces kolmatace lze rozdělit do tří základních fází:

- iniciační perioda, která je charakterizována infiltračními konstantami pohybujícími se v blízkosti výchozí úrovně,
- fáze podstatného a trvalého poklesu,
- fáze přerušovaného a pak stálého zaplavení povrchu.

#### Ovlivňující parametry

Parametry ovlivňující proces kolmatace filtrační náplně jsou následující (Langergraber a kol., 2003):

- Substrát hlavní vrstvy – je zřejmé, že distribuce velikosti štěrku má vliv na distribuci velikosti pórů, hydraulickou aktivitu objemu pórů, tudíž na samotný proces kolmatace. Distribuce velikosti štěrku je tedy důležitá pro obnovu substrátu po zakolmatování. Autoři Hua a kol. (2010a) uvádějí, že větší velikost částic náplně filtru může zabránit nebo zpozdit jeho ucpání. Stejně závěry uvádějí i autoři McIsaac a Rowe (2007) pro štěrk o velikosti 38 mm v porovnání se štěrkem velikosti 19 mm. Reddi a kol. (2000) dospěli k závěru, že velikost částic unášených kapalným médiem není rozhodující, protože ke kolmataci dochází jak velkými, tak malými částicemi, důležitější jsou změny v koncentraci těchto částic.

- Zatížení nerozpuštěnými látkami – hlavní ovlivňující parametr, ale je jen málo informací, jaké je maximální akceptovatelné zatížení, hodnoty většinou pouze pro jeden specifický substrát.
- Látkové zatížení – nepřímo vede k produkci kalu, který se může akumulovat v horních vrstvách umělého mokřadu, pokud je překročena rychlost autolýzy. Literární data přijatelného látkového zatížení se pohybují v širokém rozmezí.
- Dávkovací strategie – k dosažení vyváženého rozdělení na povrchu substrátu a k zajištění konvektivního transportu kyslíku do hlavní filtrační vrstvy je vhodné vertikálně protékané umělé mokřady plnit přerušovaně.

## Metody omezení a odstranění kolmatace

Kolmataci je možné omezit především volbou vhodného a dostatečně dimenzovaného mechanického předčištění, zejména pak septiku nebo usazovací nádrže, a také dostatečně častým vyklizením kalového prostoru. Příklady nedostatečně čištěných nebo nevhodně konstrukčně uspořádaných usazovacích nádrží znázorňuje obrázek 2. Na obrázku vlevo je vidět plovoucí kal na hladině, který je při zvýšení průtoku vyplavován dále do systému. Na obrázku vpravo je opět vidět plovoucí kal na hladině, tato usazovací nádrž je navíc nezakrytá, takže v letním období dochází k rozvoji sekundárního znečištění (řas), které je opět vyplavováno dále do systému.



Obr. 2 Usazovací nádrže (foto archiv VÚV)

Pokud dostatečně nefungují preventivní opatření, která zahrnují využití septiku nebo usazovací nádrže, správné provozování mechanického předčištění, nastavení vstupních a zatěžovacích parametrů a vhodných změn v hydraulickém zatížení (přerušovaný provoz, promývání, obrácený směr toku odpadní vody apod.), a dojde ke kolmataci filtrační náplně, je třeba přikročit k nápravným opatřením (Nivala a kol., 2012; Hua a kol., 2010b). V současné době existuje několik metod sanace ucpaných filtračních náplní. V minulosti se však nejčastěji používala prostá výměna většinou části filtrační náplně. V tomto případě je třeba před realizací vyhodnotit rozsah kolmatace a určit část filtrační náplně nutné k výměně. Předpokládá se maximální rozsah významnější kolmatace do 1/2 kořenového filtru, tzn. do vzdálenosti cca 6 m od vtoku odpadní vody do mokřadu. Výměna šterkové náplně spočívá v kompletním odstranění kolmatované části kořenového filtru a nahrazení novým praným kamenivem stejných nebo upravených frakcí.

Další možností je vymrznutí šterkové náplně. To spočívá ve vyjmutí kolmatované části filtrační náplně, jejím uložení přes zimní období na zpevněnou odvodněnou plochu, ručním propláchnutí kameniva po zimním období a jeho zpětném uložení do kořenového filtru.

Během výměny nebo regenerace filtrační náplně dochází k vyřazení umělého mokřadu z provozu, což sebou přináší i problém s nakládáním s přitékající odpadní vodou po dobu regenerace filtrační náplně.

Jako alternativní metoda regenerace kolmatovaného filtračního lože se v poslední době zkouší in-situ aplikace různých druhů přípravků, které by odstranily usazeniny a uvolnily filtrační lože bez nutnosti jeho mechanického čištění nebo výměny. Autoři Nivala a Rousseau (2009) popisují dvě případové studie regenerace filtračního lože umělých mokřadů za použití 35% roztoku peroxidu vodíku, který je schopen oxidovat jinak biologicky neodbouratelné části biofilmu, které mohou tvořit více než 60 až 75 % hmotnosti biomasy. Doba zdržení vody v prvním mokřadu byla vypočítána na 10 dní, průtok mokřadem byl 8 m<sup>3</sup>/den, analytický monitoring byl proveden v čase 0, po 10 dnech, po 15 dnech a po 20 dnech. Autoři zjistili, že se sanace filtrační náplně peroxidem vodíku zdá být nadějnou metodou odstranění kolmatace v podpovrchově protékaných umělých mokřadech. Obecně nedošlo ani k jasnému zlepšení ani zhoršení kvality odtékající odpadní vody po aplikaci peroxidu vodíku. Vzhledem k tomu, že výsledky zprůchodnění byly velmi dobré, lze předpokládat jejich dosažení i při menší aplikované dávce peroxidu vodíku.

Autoři Hua a kol. (2010b) se zabývali možnostmi odstranění usazenin z filtračního lože kořenové čistírny za pomoci dávkování čtyř různých roztoků a to konkrétně roztoku hydroxidu sodného (NaOH 5,0 g/l), chlornanu sodného (NaClO 5,0 ml/l), kyseliny chlorovodíkové (HCl 5,0 ml/l) a speciálně připraveného detergentu (Diao Brand, 5,0 g/l). Tyto roztoky byly aplikovány do osázených modelových mokřadů, ponechány 8 hodin a poté vypuštěny, tento postup se opakoval každý den do ustálení infiltrační rychlosti. Efektivní porozita i infiltrační rychlost se nejrychleji a nejvíce zlepšovala při použití roztoku chlornanu sodného (ustálení po 5 dnech). Při použití vodovodní vody (srovnávací roztok) se efektivní porozita téměř neměnila a rychlost infiltrace jen velmi nepatrně stoupala. Proteiny a polysacharidy byly rozpuštěny hlavně roztokem hydroxidu a chlornanu. Anaerobně vytvořený plyn uložený v pórech byl uvolněn roztokem kyseliny chlorovodíkové. Kolmatace byla podstatně redukována a rozpouštědla neměla dlouhodobý negativní efekt na rostliny a biofilm umělého mokřadu, ale po aplikaci těchto přípravků nutně následovalo období cca 1 měsíce regenerace biofilmu filtračního lože.



Obr. 3 Ukázky vzestupu hladiny vody v kolmatované přítokové zóně (foto archiv VÚV)



VÚV v současné době připravuje aplikaci speciálně připravené směsi bakterií a enzymů k uvolnění zakolmatované filtrační náplně dvou horizontálně protékanych umělých mokřadů pro 150 EO, které jsou v provozu od roku 2001 resp. 2004. Podobný preparát byl již s úspěchem použit na kolmatovaném zemním filtru (Wanner a Mlejnská, 2010). Výsledky experimentu budou prezentovány na konferenci Voda v Poděbradech.

## Závěr

Kolmatace je závažným provozním problémem umělých mokřadů. Pokud je kolmatace masivní a ovlivňuje účinnost čištění, existují vedle výměny části náplně i jiné metody, jako např. in-situ aplikace roztoků chemických sloučenin. Jak prokazují studie, dosahují tyto metody dobrou účinnost regenerace zakolmatovaného filtračního lože, ale je třeba brát v úvahu i skutečnost, že jejich vlivem dochází k dočasnému poškození biofilmu a také kořenů rostlin. U aplikace bakteriálně-enzymatických přípravků toto riziko nehrozí.

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TA02020128 - Výzkum možností optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií, který je řešen s finanční podporou TA ČR v rámci programu Alfa.

## Literatura

1. Blazejewski, R., Murat-Blazejewska, S. (1997) *Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow*. Water Science and Technology, Vol. 35, Issue 5, s. 183-188.
2. Hua, G.F., Zhu, W., Zhao, L.F., Huang, J.Y. (2010a) *Clogging pattern in vertical-flow constructed wetlands: Insight from a laboratory study*. Journal of Hazardous Materials, Vol. 180, Issue 1-3, s. 668-674.
3. Hua, G., Zhu, W., Zhao, L., Zhang, Y. (2010b) *Applying solubilisation treatment to reverse clogging in laboratory-scale vertical flow constructed wetlands*. Water Science and Technology, Vol. 61, Issue 6, s. 1479-1487.
4. Kayser, K., Kunst, S. (2005) *Processes in vertical-flow reed beds: nitrification, oxygen transfer and soil clogging*. Water Science and Technology, Vol. 51, Issue 9, s. 177-184.
5. Knowles, P., Dotro, G., Nivala, J., García, J. (2011) *Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors*. Ecological Engineering, Vol. 37, Issue 2, s. 99-112.
6. Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J., Pressl, A. (2003) *Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands*. Water Science and Technology, Vol. 48, Issue 5, s. 25-34.
7. McIsaac, R., Rowe, R.K. (2007) *Clogging of gravel drainage layers permeated with landfill leachate*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, No. 8, s. 1026-1039.
8. Nivala, J., Knowles, P., Dotro, G., García, J., Wallace, S. (2012) *Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modelling and management*. Water Research, Vol. 46, Issue 6, s. 1625-1640.

9. Nivala, J., Rousseau, D.P.L. (2009) *Reversing clogging in subsurface-flow constructed wetlands by hydrogen peroxide treatment: two case studies*. Water Science and Technology, Vol. 59, Issue 10, s. 2037-2046.
10. Pedescoll, A., Uggetti, E., Llorens, E., Granés, F., García, D., García, J. (2009) *Practical method based on saturated hydraulic conductivity used to assess clogging in subsurface flow constructed wetlands*. Ecological Engineering, Vol. 35, Issue 8, s. 1216-1224.
11. Platzer, Ch., Mauch, K. (1997) *Soil clogging in vertical flow reed beds – Mechanisms, parameters, consequences and ..... solutions?* Water Science and Technology, Vol. 35, Issue 5, s. 175-181.
12. Reddi, L.N., Xiao, M., Hajra, M.G., Lee, I.M. (2000) *Permeability reduction of soil filters due to physical clogging*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 3, s. 236-247.
13. Schwarz, M., Fuchs, S., Hahn, H.H. (2006) *Nucleic acids: indicators for dynamic processes of clogging in soil filter systems*. Water Science and Technology, Vol. 54, Issue 11-12, s. 183-189.
14. Siriwardene, N.R., Deletic, A., Fletcher, T.D. (2007) *Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study*. Water Research, Vol. 41, Issue 7, s. 1433-1440.
15. Suliman, F., French, H.K., Haugen, L.E., Søvik, A.K. (2006) *Change in flow and transport patterns in horizontal subsurface flow constructed wetlands as a result of biological growth*. Ecological Engineering, Vol. 27, Issue 2, s. 124-133.
16. Šálek, J., Rozkošný, M., Křiška, M. (2008) *Poznatky z průzkumu kořenových čistíren odpadních vod v moravských krajích a částí kraje Vysočina*. Výzkumná zpráva pro MŽP OOV. VÚV T.G.M. Brno, 40 s.
17. Turon, C., Comas, J., Poch, M. (2009) *Constructed wetland clogging: A proposal for the integration and reuse of existing knowledge*. Ecological Engineering, Vol. 35, Issue 12, s. 1710-1718.
18. Wanner, F., Mlejnská, E. (2010) *Uvolnění zakolmatovaného lože zemního filtru in-situ aplikací enzymů*. Vodní hospodářství, Vol. 52, Issue 12, s. 15-18.
19. Winter, K.J., Goetz, D. (2003) *The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands*. Water Science and Technology, Vol. 48, Issue 5, s. 9-14.