

Lake restoration Rekultivace eutrofizovaných nádrží metodou srážení fosforu hlinítymi solemi

Vladimír Klouček, Ivana Vaverová

Klíčová slova

eutrofizace – nutrienty – lake restoration – srážení fosforu – síran hlinitý – polyaluminiumchlorid

Souhm

Eutrofizace vodních ploch je v dnešní době jedním z vážných ekologických problémů a je důsledkem enormního rozvoje průmyslu a zemědělství v posledních desetiletích. Vysoká zátěž povrchových vod nutrienty, zejména fosforem, urychlila eutrofizaci vod a významně snížila jejich ekologickou a rekreační hodnotu. Nadměrný rozvoj řas, nízká průhlednost vody, zápach, nízký obsah kyslíku způsobující vymírání ryb, jsou důsledkem vysokého obsahu živin. Lake restoration je obecný pojem, zahrnující celou řadu rekultivačních metod, které se v dnešní době ve světě běžně používají pro obnovu eutrofizovaných jezer. Mezi tyto metody patří srážecí metoda, při které aplikací hlinitého koagulantu do vodní plochy nebo přímo do dnových sedimentů dojde k vysrážení nadměrného množství fosforu z vody a k jeho trvalé fixaci v dnových sedimentech. V článku je velmi stručně popsána metoda chemického srážení fosforu hlinítymi solemi.



Nutrienty, zejména fosfor, mají zásadní vliv na kvalitu vody v nádržích a proces eutrofizace. Při přebytku fosforu dochází k rozvoji fytoplanktonu s negativními vlivy na kvalitu vody a zastoupení jednotlivých organismů. Voda ztrácí průhlednost, dochází k rozvoji toxických sinic, vymizí vyšší rostliny, rybí osádka se vyvíjí směrem k méně žádoucím druhům, sníží se vliv zooplanktonu na fytoplankton apod.

Pro snížení eutrofizace vodních ploch je potřeba redukovat jak externí tak interní přísun živin, ale i po zamezení externího přísunu živin přetrvává problém eutrofizace řadu let nebo desetiletí. Je to způsobeno interním cyklem fosforu v nádržích, kdy se fosfor nashromážděný v sedimentech uvolňuje zpět do vody, zejména při anaerobních podmínkách [1].

Mezi metody používané pro obnovu jezer a ostatních vodních nádrží patří např. [2]

- umělá cirkulace (destratifikace), např. mechanickými míchadly
- aerace, příp. oxygenace hypolimnia
- vytěžení a deponování sedimentu
- zředování slabě trofických vodami, příp. velkým objemem vody
- čerpání silně trofických vod bez obsahu kyslíku z oblasti u dna
- biomanipulace – řízený rozvoj vybraných druhů ryb a vegetace
- použití algicidů
- **srážecí metody za použití hlinítych, železítých nebo vápenatých solí.**

Každá z uvedených metod má své výhody i nevýhody. Z výsledků výzkumů a dlouhodobých praktických zkušeností vyplývá, že metoda srážení hlinítymi (případně železítými) solemi je jednou z nejpříjemnějších metod jak z ekonomického a ekologického hlediska, tak také z pohledu jednoduchosti provedení a dlouhodobosti účinku. Srážení fosforu hlinítymi solemi má oproti použití železítých solí výhodu ve vyloučení rizika zpětného uvolňování fosforu v případě anaerobních podmínek [3].

Tato metoda byla vyvinuta ve Švédsku v letech 1960-1970, v prvních letech byla aplikována nesprávně s nízkými dávkami koagulantu nebo v jezerech, kde bylo dominantní externí zatížení fosforem. Na základě prvních zkušeností pak byla tato metoda rozvinuta a aplikována, např. koncem sedmdesátých let na řadě jezer v USA s velmi dobrými výsledky. Americká EPA (agentura pro ochranu životního prostředí) ji vyhodnotila ve svých materiálech jako efektivní metodu s pozitivními krátkodobými a dlouhodobými efekty při nízkých nákladech a současně nízké úrovni rizika [4].

Princip metody

Pro praktickou aplikaci metody chemického srážení fosforu hlinítymi solemi přichází v úvahu síran hlinitý, chlorid hlinitý nebo polyaluminiumchlorid (PAX, PAC). Vzhledem ke zpravidla dostatečné tlumivé kapacitě vody v eutrofizovaných nádržích je z ekonomického hlediska nevhodnější síran hlinitý. V případě nutnosti aplikovat vyšší dávky na překrytí sedimentu je vhodnější aplikace polyaluminiumchloridu, které mají výrazně menší vliv na pokles pH, než síran hlinitý.

Oba uvedené koagulanty jsou netoxické látky, používané v obrovském rozsahu pro úpravu pitné vody. V procesu lake restoration mají kromě čířícího účinku především účinek na vysrážení fosforu. Při nadávkování do vody hliník hydrolyzuje za tvorby vloček hydroxidu hlinitého a zároveň tvoří nerozpustné komplexy s fosforem. Tyto sloučeniny již nejsou zdrojem živin. Vločky hydroxidu hlinitého sedimentují, přitom odstraňují z vodního sloupce dispergované nečistoty, řasy a sinice. Voda se tak stává výrazně čistší. Vločky odsedimentované na dně vytvářejí bariéru proti uvolňování fosforu ze sedimentů do vody.

Hliník v sedimentech

Zemská kůra obsahuje velké množství křemíku a hliníku. Vedle hliníku, kterého je v zemské kůře obsaženo cca 8 %, jsou také železo a vápník běžnými prvky. To je také důvodem, proč jsou tyto kovy hojně zastoupeny v půdě, vodě a sedimentech. Jsou ve vodě rozpustné a mohou být tedy transportovány z půdy prostřednictvím povrchové a podzemní vody do vodních toků a nakonec usazeny v sedimentech jako životně důležité složky pro vodní organismy.

Ve všech vodách tyto kovy (železo, hořčík, hliník a vápník) přirozenou cestou srážejí fosfor. Za předpokladu nízkého obsahu kyslíku se fosfor vázaný na železo nebo hořčík zpětně uvolňuje a železo je pak vázáno převážně ve formě sulfidů, které mají velmi nízkou rozpustnost. To vede k nedostatku kovů schopných vázat fosfor a k růstu obsahu fosforu ve vodě. Vápník vyžaduje k efektivnímu vázání fosforu extrémně vysoké pH. Hliník má tu výhodu, že se váže na fosforečnany velmi pevně a nedochází ke zpětnému uvolňování fosforu i v případě, že je ve vodě nízký obsah kyslíku. To je také důvodem proč je hliník účinný pro ošetření vody i v blízkosti dna i v případě že dojde k vyčerpání kyslíku a proč se tedy pro metodu srážení nejčastěji používají koagulanty na bázi hliníku [3].

Jak již bylo uvedeno výše, je hliník nejrozšířenějším kovem v zemské kůře, jak v půdě, tak v sedimentech. Sedimenty v eutrofizovaných jezerech ve Švédsku obsahují okolo 2-4 % hliníku v přepočtu na sušinu. To znamená, že povrchová vrstva sedimentu (0-10cm) obsahuje několik stovek g Al/m². Ošetření jezera dávkou hliníku 25-50 g Al/m² znamená tedy relativně velmi malý přírůstek hliníku [4,5].

Hliník ve vodě

Ve vodě se hliník vyskytuje v mnoha různých formách. V kyselém prostředí (pH <5,5) je hliník rozpustný ve formě toxických iontů Al³⁺, při vyšším pH (pH 9-10) je součástí různých komplexů a tvoří např. fosforečnany a hydroxidy. Při velmi vysokém pH je hliník opět rozpustný v iontové formě. Voda, která není acidifikovaná, obsahuje pouze malé koncentrace volného hliníku, díky uvedené tvorbě komplexů. Je-li pH vyšší než 5,5, vytváří hliník komplexy, které nejsou toxické. Jedná se o krátkodobou reakci, při které se po přidání hliníku do vody vytváří netoxické vločky hydroxidu hlinitého. Byla provedena řada studií zaměřených na toxicitu hliníku na ryby a vodní organismy [6] se závěry, že při dodržení správného rozmezí pH jsou i vysoké dávky hliníku pro vodní organismy bezpečné. **Pro úspěšné a bezpečné ošetření vodní plochy hlinítem koagulantem je tedy nutné udržet pH v intervalu 5,5 – 9.**

Vliv srážecí metody na vodní prostředí

V průběhu aplikací srážecích metod nebyl pozorován negativní vliv na ryby, protože jezera vybraná pro srážecí metodu mají hodnotu pH i alkalitu dostatečně vysokou a jsou dobře „pufrující“, tzn. že přidávek koagulantu pH ani alkalitu vody výrazně neovlivní. Složení rybích druhů závisí na trofickém potenciálu jezera. Nízká průhlednost vody typická pro eutrofní vody obvykle vyhovuje plevným rybám (kaprovitým), naopak průhlednější voda rybám jako štika nebo okoun. Po aplikaci koagulantu dochází ke zvýšení průhlednosti vody a rozvoji ušlechtilějších druhů ryb.

Byl pozorován dočasný vliv **na plankton**, který byl zachycen do vloček během jejich sedimentace. Dnová fauna se s tímto novým prostředím vyrovná a larvy využívají vločky k tvorbě cestiček. Po aplikaci koagulantu má plankton méně živin. To vede ke změně produkce a složení druhů. Dojde také ke snížení uvolňování fosforu ze sedimentů, což přispívá ke snížení obsahu fosforu v celém objemu vody. Aby bylo dosaženo dlouhodobého účinku, musí být všechny externí zdroje fosforu omezeny. Jako důsledek snížení obsahu fosforu dojde ke snížení produkce fytoplanktonu a tím ke zvýšení průhlednosti

vody při měření Secchiho deskou. Snížení produkce fytoplanktonu vede ke zmenšení množství sedimentu organické hmoty na dně. Tím dojde ke snížení spotřeby kyslíku během letního a zimního období. To vše vede k celkově lepší kyslíkové situaci vodní plochy. Může trvat několik let, než bude obsah kyslíku ve vodě u dna dostatečný během celého letního období, avšak anoxická období se významně zkrátí a anoxické oblasti zmenší. Podvodní vegetace pravděpodobně získá v důsledku zvýšené čistoty a průhlednosti vody, dojde k většímu rozvoji makrofyt. Se zvýšeným obsahem kyslíku budou v jezeře výrazně lepší životní podmínky, jezero se dostane do **ekologické rovnováhy**.

V důsledku zvýšené čistoty vody, omezení rozvoje toxických sinic a oživení ušlechtilými rybami se významně zvýší **rekreační hodnota** jak pro koupání tak pro rybaření. Jezero v rovnováze má také velký význam jako krajinotvorný prvek [4].

Efektivita metody, doba účinku.

K dispozici je množství případových studií. Vyplývá z nich vysoká efektivnost a dlouhodobost účinku metody v naprosté většině případů po dobu 8-15 let. Na hlubokých a stratifikovaných jezerech je doba účinku delší, než na mělkých nádržích. Snížení obsahu fosforu, uvolňovaného interním cyklem ze sedimentů se pohybovalo průběžně okolo 80 % [7]. Je však třeba zdůraznit zásadní vliv externího přísunu fosforu na dlouhodobost účinku.

Praktická realizace srážecí metody

Pro úspěšné provedení této rekultivační metody je nezbytných několik postupných kroků:

- **Posouzení vhodnosti** lokality a prozkoumání místních podmínek (analýzy vody, sedimentů, ovlivnění rybí osádky (dle možností snížení populace bentofágních ryb), omezení externího přísunu živin, apod.)

- **Stanovení optimální dávky koagulantu** – na základě znalostí o obsahu fosforu ve vodě a sedimentech, složení vody (alkalita), laboratorních testů, praktických zkušenostech z obdobných aplikací a požadovaném efektu

- **Aplikace** - tekutý koagulant se může do vody aplikovat z plující motorové lodi dávkováním např. do blízkosti lodního šroubu. Tato metoda může být vyhovující pro menší plochy. Pro ošetření velkých ploch je vhodné použít speciální techniku se širokým záběrem, dávkováním podle rychlosti a hloubky, přesnou GPS navigací, aj. Náročnější metodou je aplikace přímo do dnových sedimentů, která vyžaduje speciální techniku [1,4,5].

- **Sledování po aplikaci** – odběr vzorků a sledování poklesu obsahu fosforu, stanovení změn v průhlednosti vody (např. Secchiho deskou) a celkových změn

- **Vyhodnocení** – shrnutí dosažených výsledků a porovnání stavu před a po aplikaci

Výhody srážecí metody

Ve srovnání s ostatními metodami poskytuje metoda chemického srážení řadu výhod [2,8]

- **Ekonomika** – relativně levná metoda (řádově levnější než např. bagrování sedimentů)

- **Krátkodobý efekt** – výborný, účinek lze pozorovat v horizontu několika dní

- **Dlouhodobý efekt** – výborný, metoda poskytuje efekt zpravidla po několika letech (v závislosti na dané lokalitě, zvolené dávce koagulantu a omezení externího přísunu živin)

- **Jednoduchost provedení**

- **Nepatrná míra rizika pro životní prostředí**

Závěr

Jedna z řady metod procesu lake restoration, metoda chemického srážení fosforu, je relativně jednoduchou, dostupnou a mnohokrát osvědčenou metodou jak pro krátkodobé, tak dlouhodobé řešení problematiky eutrofizovaných jezer a nádrží. Metodou je možné snížit obsah fosforu a zamezit tak nežádoucímu rozvoji řas a toxických sinic. Cílem článku je přiblížit velmi stručně tuto metodu odborné veřejnosti jako prakticky použitelnou variantu řešení stále více aktuální problematiky eutrofizace vodních ploch v České republice.

Literatura

- [1] Carlsson, Sten-Ake: Precipitation of lakes, Workshop Řešení problematiky Máchova jezera, Doksy, březen 2005
- [2] US-EPA, The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, EPA-440/4-90-006
- [3] Klapper, H., Technologies for lake restoration, Papers from Bolse-na Conference (2002). Residence time in lakes: Science, Management, Education J. Limnol., 62(Suppl. 1): 73-90, 2003
- [4] Carlsson, Sten-Ake: Precipitation of lakes, Vattenresurs AB, Tjusta, SE-19793 Bro, Sweden
- [5] Bergstrom, G: Aluminium gel bed brings new life to Lake Turingen, Water Mirror 1/2004
- [6] Freeman, R.A. and W.H.Everhart, 1971. Toxicity of Aluminium Hydroxide Complexes in neutral and basic media to rainbow trout. Transactions of the American Fisheries Society 100:644-658
- [7] Cooke, G. D., Welch, 1999. Effectiveness and longevity of phosphorus inactivation with alum. J.Lake and reserv.manag. 15:3-27
- [8] Cooke at all., 1993, Comparison of Alternative Lake Restoration Methods

Doplňková literatura k tomuto tématu je k dispozici u autorů

Ing. Vladimír Klouček, Ing. Ivana Vaverová
Kemwater ProChemie s.r.o.
úpravna vody Bradlec, 293 06 Kosmonosy
tel.: 326 724 034
v.kloucek@prochemie.cz
ivana.vaverova@prochemie.cz

Lake Restoration – Method of Phosphorus Chemical Precipitation by Using of Aluminium Salts (Klouček, V., Vaverová I.)

Key Words

eutrophication – nutrients – lake restoration – phosphorus precipitation – aluminium sulphate – polyaluminiumchloride

At the present time lake eutrophication is one of the most serious environmental problems. It is a result of the enormous development of industry and agriculture in the last decades. The high load of nutrients, especially phosphorus, caused the water eutrophication and decreased significantly its environmental and recreational use. High algal bloom, low secchidepth, bad odour, low oxygen content and dying of fish are the results of high nutrient load. Lake restoration is a common name for many restoration methods, used worldwide for restoration of eutrophic lakes. The precipitation of phosphorus by using aluminium based coagulant is one of these methods. After the application of aluminium to water or directly to the sediment, the phosphorus is bound in aluminium complexes and permanently fixed in the bottom sediments. This article describes very shortly using of aluminium salts for phosphorus precipitation.

Moderní systémy pro měření průtoku v otevřených kanálech

seminář v areálu Holešovického výstaviště
v rámci výstavy Vodovody a kanalizace,
24.5.2005 od 14,00 hodin.

Další informace Michaela Povýšilová,
TECHNOPROCUR CZ, spol. s r.o.
Lojovická 414/33, 142 00 Praha 4
tel: +420 241716010, mobil: +420 728 051 541
e-mail:michaela.povysilova@technoprocur.cz



**ŠEVČÍK-VODOHOSPODÁŘSKÁ
ZAŘÍZENÍ**

VÝROBA - OPRAVY - MONTÁŽE - KONSTRUKČNÍ PRÁCE

Zařízení pro vodní hospodářství:

- stavidla, hradidla
- česle a čisticí stroje česlí
- jezové uzávěry - klapkové, segmentové, tabulové, válcové
- potrubní uzávěry - klapkové, segmentové, rozstřikovací, kuželové
- plovoucí zařízení
- automatické vodní filtry
- čerpací stanice
- plavební komory

Radek Ševčík, Kotvrdovice 280, 679 07 Blansko, Tel.+fax: 516 442 044
m.t.: 728 727 403, e-mail: sevcik@vodohospodarska-zarizeni.cz
http://www.vodohospodarska-zarizeni.cz