

Nárosty v umělých mokřadech používaných pro odstraňování fosforu ve floridských Everglades

Periphyton in constructed wetlands designed for phosphorus removal in the Florida Everglades

Jan V y m a z a l

Říčanova 40, 169 00 Praha 6

Abstract

Everglades Forever Act of 1994 requires that water released from the Everglades Agricultural Area (EAA), south to the Water Conservation Areas (WCAs), meet a total phosphorus (TP) threshold discharge limit that protects the natural ecosystem of the remaining Everglades. To fulfill this requirement over 16 000 m² of macrophyte-based stormwater treatment areas (STAs) were designed and constructed. These wetland marshes are designed to reduce concentrations of TP in waters released from the EAA to the WCAs to comply with an interim standard of 50 µg.l⁻¹. However, it has been found that this interim TP standard may not be low enough to prevent alteration of the aquatic and wetland ecosystems downstream in the remaining Everglade; some primary research in the Everglades has suggested that the ultimate protective TP threshold could be as low as 10 µg.l⁻¹.

In 1998 it has been decided to test periphyton-based stormwater treatment areas (PSTAs) as an advanced treatment technology within the framework of STAs. Evaluation remains focused on PSTAs as post-STA treatment units intended to help achieve compliance with anticipated ultimate TP criterion of 10 µg.l⁻¹. In concept, the periphyton complex is hypothesized as being capable of extracting available P in the water introduced into the system and incorporation of that P into the biomass of the periphyton mat. Settling of detrital matter contributes to the long-term P storage. Additionally, because of the high primary productivity of these periphyton systems, water quality conditions favor P precipitation and binding into newly formed sediments.

In 1999, twenty four small mesocosm units (Porta PSTA) were fabricated with the size of 6 x 1 x 1 m. Porta PSTA treatments focused on the following primary design variables: substrate type (organic soil-peat and calcareous material-shellrock), water depth and hydraulic loading rate. Large-scale experiments were performed at existing 0.2 ha cells. During 18 month operation the average inflow TP concentrations for all test units varied between 19 and 28 µg.l⁻¹ and outflow concentrations varied between 11.5 and 20.0 µg.l⁻¹. The treatment effect varied between 16 and 52%.

The evaluation of periphyton composition revealed that at the beginning the major part of the biomass was formed by diatoms with dominant species *Mastogloia smithii* and *Rhopalodia gibba*. After one month of operation diatoms formed 79 to 97% of the biomass in Porta units and between 61 and 99% in large-scale units. During the course of the experiment, diatoms were gradually replaced by blue-green algae, namely *Scytonema* spp. and *Synechococcus* spp. – after 18 months blue-green algae averaged 58.1% of the periphyton biomass

Úvod

Z historického hlediska lze Everglades zařadit mezi ombrotrofní mokřady, tj. systémy, kde jediným zdrojem vody a živin jsou atmosférické srážky (DAVIS 1943, SWIFT & NICHOLAS 1987). Tato situace je však změnila poté, co severní část původních Everglades byla postupně v průběhu 20. století vysušena a přeměněna na zemědělskou půdu (podrobnosti viz VYMAZAL et al. v tomto sborníku).

V roce 1994 bylo rozhodnuto (tzv. Everglades Forever Act, EFA), že voda, která je vypouštěna ze zemědělských oblastí (z tzv. Everglades Agricultural Area, EAA, podrobnosti viz VYMAZAL et al. v tomto sborníku) do jižních částí Everglades (tzv. Water Conservation areas, WCAs) musí mít takovou kvalitu, aby byla chráněna rostlinná společenstva ve WCAs. Kvalita vody byla především dána koncentrací celkového fosforu, který je v těchto oblastech limitním prvkem celého ekosystému. V první fázi projektu bylo rozhodnuto vybudovat více než 16 000 m² umělých mokřadů (tzv. Stormwater Treatment Areas, STA) na hranici mezi EAA a WCAs, které měly za účel snížit koncentraci celkového fosforu pod hranici 50 µg.l⁻¹. Rozmístění jednotlivých STA je na obr.1 – části 1W, 2, 5 a 6 byly uvedeny do provozu v roce 1999, část 1E bude dokončena v roce 2002 a největší část 3/4 bude dokončena v roce 2003.

Intenzivní výzkumy prováděné v Everglades v 90. letech 20. století (např. MCCORMICK & O'DELL 1996, MCCORMICK et al. 1998, VYMAZAL et al. 1994) však naznačily, že koncentrace fosforu, které mohou působit změny v přirozeném složení nárůstů a vyšších vodních rostlin, mohou být podstatně nižší, dokonce 10 µg.l⁻¹. Proto bylo v roce 1998 rozhodnuto vyzkoušet další způsoby odstraňování fosforu z vod, které přitékají z EAA do WCAs. Jednou z možných variant bylo i použití systémů, jejichž jednou z hlavních komponent jsou nárůstová společenstva. Tato společenstva jsou tvořena v oblastech s nízkými koncentracemi fosforu především rozsivkami a sinicemi. V oblastech s vyššími koncentracemi fosforu je častý výskyt zelených vláknitých řas (BROWDER et al. 1994, VYMAZAL & RICHARDSON 1995, VYMAZAL et al. 2000). V případě výskytu sinic, jsou nárůstové většinou silně kalcifikovány, přičemž obsah vápníku může dosahovat až 30% sušiny (např. VYMAZAL & RICHARDSON 1995).

Nárůstové se vyskytují jednak ve formě plovoucích shluků (tzv. *algal mats*), jednak ve formě mohutných epifytických nárůstů (tzv. *periphyton sheaths* nebo „*sweaters*“) a jednak ve formě bentické. Tento typ mokřadu byl nazván PSTA (z angl. Periphyton Stormwater Treatment Area). Základním principem odstraňování fosforu v PSTA je jeho vazba na kalcifikované vrstvy, tj. na CaCO₃. Usazování kalcifikované hmoty pak představuje dlouhodobou inaktivaci fosforu. Výzkum PSTA systémů byl rozdělen do dvou částí, experimentální a ověřovací (plnoprovozní). Experimentální část zahrnovala pokusy v malých zkušebních

modelech a v již dříve používaných poloprovozních plochách (ENR) v oblasti STA 1-W (Obr. 2). Ověřovací fáze (Field scale PSTA) se bude provádět nově vybudovaných mokřadech v oblasti STA-2 (Obr. 2).

Experimentální jednotky

V první fázi bylo v roce 1999 vybudováno celkem 24 malých pokusných laminátových jednotek (Porta PSTA, z angl. *portable*). Dvacet dva jednotek bylo zhotoveno s rozměry 6 x 1 x 1 m, zbývající dvě jednotky byly široké 3 m a byly určeny pro sledování vlivu poměru délka:šířka. Základní rozdělení jednotek bylo podle použitého substrátu (organická zemina, „*shellrock*“, což je hornina vzniklá usazováním na původním mořském dně a velmi hojná na Floridě a písek), podle hloubky vody (30 a 60 cm) a podle přítomnosti či nepřítomnosti vyšších rostlin (*Eleocharis cellulosa*, *Utricularia* spp.) Většina variant byla třikrát opakována. Navíc byl ve dvou jednotkách použit tzv. Aquashade, což je barvivo, které po rozpuštění ve vodě zabraňuje růstu řas. S malými obměnami, byly jednotky provozovány v období duben 1999 až říjen 2000.

Poloprovozní pokusy byly prováděny na tzv. ENR (Everglades Nutrient Removal) plochách, kterých je celkem 15 a které slouží k různým pokusům již od roku 1994. Pro tento úkol byly využity a upraveny 3 stávající plochy o rozměrech 80 x 28 m. Jako substráty byly opět použity organická zemina a *shellrock* a stejné byly i ostatní parametry (tj. hloubka, doba zdržení, průtok, vyšší rostliny). Tyto pokusné jednotky byly sledovány v období únor 1999 až říjen 2000. Do pokusných jednotek byly přiváděny vody ze sběrných kanálů, které odvádějí vodu ze STAs. Tato voda je již „předčištěná“ a vykazuje podstatně nižší koncentrace TP ve srovnání s vodou, která přitéká z oblastí EAA.

Průměrná dlouhodobá koncentrace celkového fosforu na vtoku se pohybovala v rozmezí 18,8 až 28,2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro Porta jednotky a 21,8 až 27,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro ENR jednotky. Dlouhodobá průměrná koncentrace TP na odtoku se pohybovala v rozmezí 11,4 až 19,5 $\mu\text{g/l}$ pro Porta jednotky a 11,7 až 20,0 $\mu\text{g/l}$ pro ENR jednotky. Procentická účinnost Porta jednotek se pohybovala od 16,5% do 46,9%, účinnost ENR jednotek se pohybovala v rozmezí od 15,8% do 52,4%. Z uvedeného vyplývá, že ani v jednom případě nebylo dosaženo koncentrace celkového fosforu 10 $\mu\text{g.l}^{-1}$, což je předpokládaná hodnota maximální koncentrace stanovená pro oblast WCAs.

Vzorkování nárostových společenstev

I když byl celý projekt jednoznačně zaměřen na snížení koncentrace fosforu a optimalizaci návrhových parametrů mokřadních systémů, bylo v průběhu celého

období sledováno složení nárostového společenstva. Jednotlivé odběry byly prováděny jednou za dva měsíce. Plovoucí shluky byly odebírány pomocí plastového kruhu o ploše 250 cm². Kruh byl náhodně umístěn na hladinu a veškeré plovoucí nárosty uvnitř tohoto kruhu byly odebrány. Epifyton, metafyton a bentické nárosty byly odebírány pomocí plastové trubky o průměru 3,8 cm (odběrová plocha 11,4 cm²). Z každé jednotky (Porta i ENR) byly odebrány tři vzorky, ze kterých byl smícháním vytvořen jeden konečný vzorek.

Ve vzorcích bylo kromě identifikace druhů prováděna i stanovení sušiny, organické sušiny, objemu mokré biomasy, chlorofylu a obsahu fosforu a vápníku v sušině nárostů.

Předběžné výsledky a diskuse

Rozbory prokázaly minimální rozdíly ve složení nárostů v jednotlivých pokusných jednotkách. Také složení nárostů v Porta jednotkách bylo druhově velmi podobné složení nárostů v ENR jednotkách. Tato podobnost byla očekávána, neboť i složení přitékající vody bylo prakticky shodné.

Na začátku pokusů byly ve všech jednotkách nejvíce zastoupeny (podle objemu mokré biomasy) rozsivky, především pak *Mastogloia smithii*. Další hojně se vyskytující druhy byly *Rhopalodia gibba*, *Surirella elegans*, *Amphora lineolata* a *Denticula kuetzingii*. *Mastogloia smithii* je považována za typický příklad rozsivky, která je citlivá na vyšší koncentrace fosforu, a proto je nalézána pouze v těch oblastech Everglades, které nejsou ovlivněny vodami z EAA (SWIFT & NICHOLAS 1987, BROWDER et al. 1994, MCCORMICK & STEVENSON 1998). *Rhopalodia gibba* je na druhé straně pokládána za rozsivku, která toleruje i vyšší koncentrace fosforu (MCCORMICK & STEVENSON 1998). Naprostá převaha rozsivek v nárostovém společenstvu na začátku experimentu byla zcela nezávislá na použitém substrátu, hydraulickém zatížení (tj. množství proteklé vody za jednotku času) či výšce vodního sloupce. Po prvním měsíci provozu jednotek tvořily rozsivky 78,8 – 97,4% mokré biomasy v malých jednotkách (Porta) a 60,8 – 98,4% ve velkých, ENR plochách. Dominantním druhem byla *Mastogloia smithii*, která tvořila největší objem v deseti Porta jednotkách, ve zbývajících dvou byla dominantní *Rhopalodia gibba*. Ve třech ENR byly dominantní *Mastogloia smithii*, *Rhopalodia gibba* a *Lyngbya limnetica*.

V průběhu experimentu však docházelo k postupnému nahrazování rozsivek sinicemi, především pak sinicemi rodu *Scytonema* sp. a *Synechococcus* sp. které byly po 18 měsících provozu dominantní v 8 ze 12 Porta jednotkách. *Scytonema*, obdobně jako *Mastogloia smithii*, je uváděna jako příklad sinic vyskytujících se v oblastech s nízkými koncentracemi celkového fosforu (BROWDER et al. 1994, MCCORMICK & STEVENSON 1998). Příklad této sukcese je zobrazen na obr. 3.

Nárůst biomasy sinic byl však velmi pomalý – po 6 měsících provozu Porta jednotek tvořily sinice v průměru 23,2% biomasy (0,5 – 64,7%), po 18 měsících provozu tvořily sinice již 58,1% biomasy nárostů (18,5 – 83,6%).

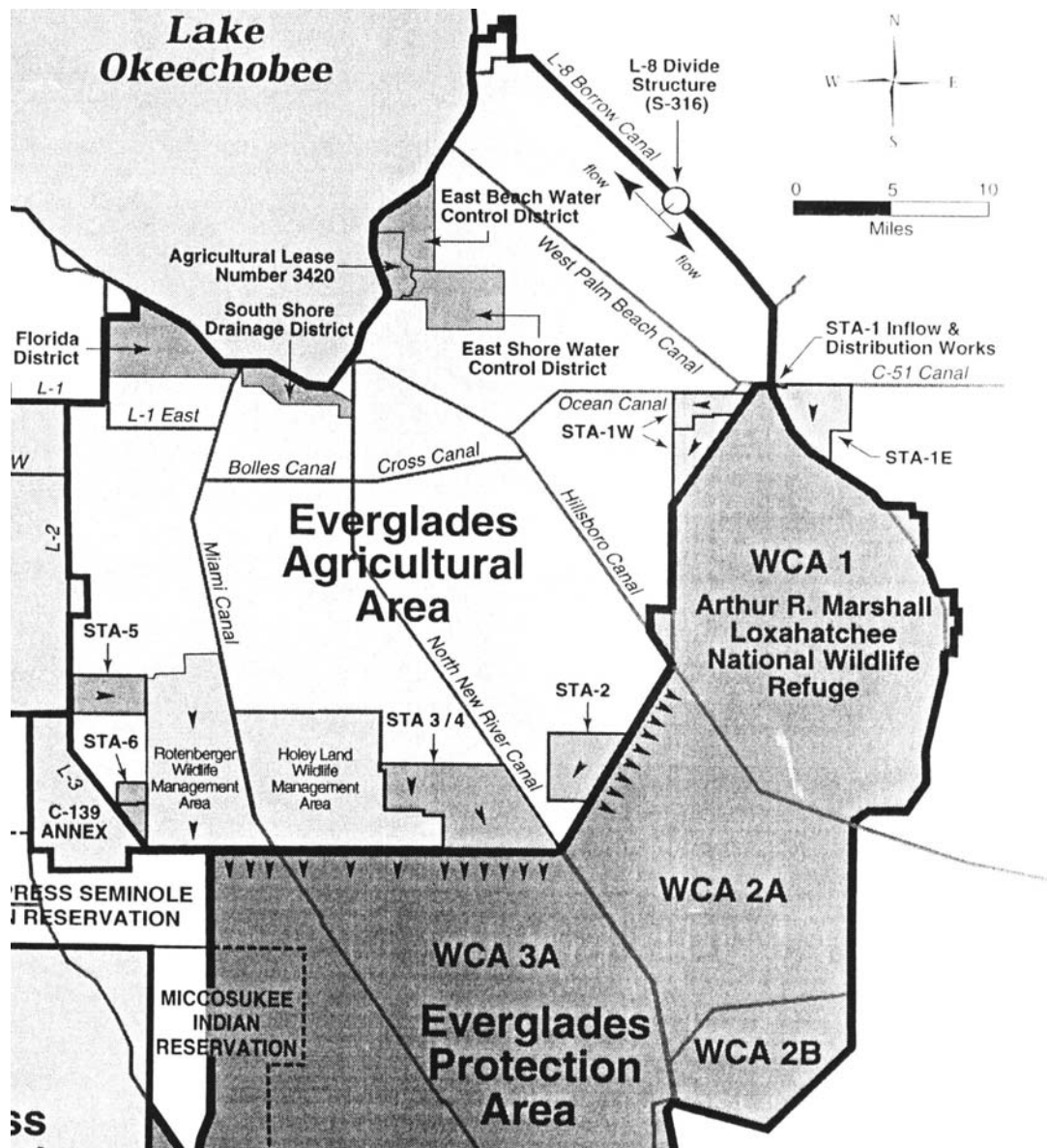
Postupný nárůst sinic nebyl pozorován v jednotkách, kde bylo aplikováno barvivo Aquashade. Po 6 měsících provozu dvou Porta jednotek tvořily sinice pouze 0,5 a 8,7% celkové biomasy. Poté, co bylo zastaveno dávkování tohoto barviva, podíl sinic na celkové biomase se začal výrazně zvyšovat (Obr. 4). Menší zastoupení sinic, které výrazně kalcifikují, se také projevuje na obsahu popelovin v nárostech. Zatímco u nárostů bez Aquashade tvořily popeloviny v průměru 61,7% v Porta jednotkách a 66,5% v ENR jednotkách, v Porta jednotkách s Aquashade tvořily popeloviny 47,3%.

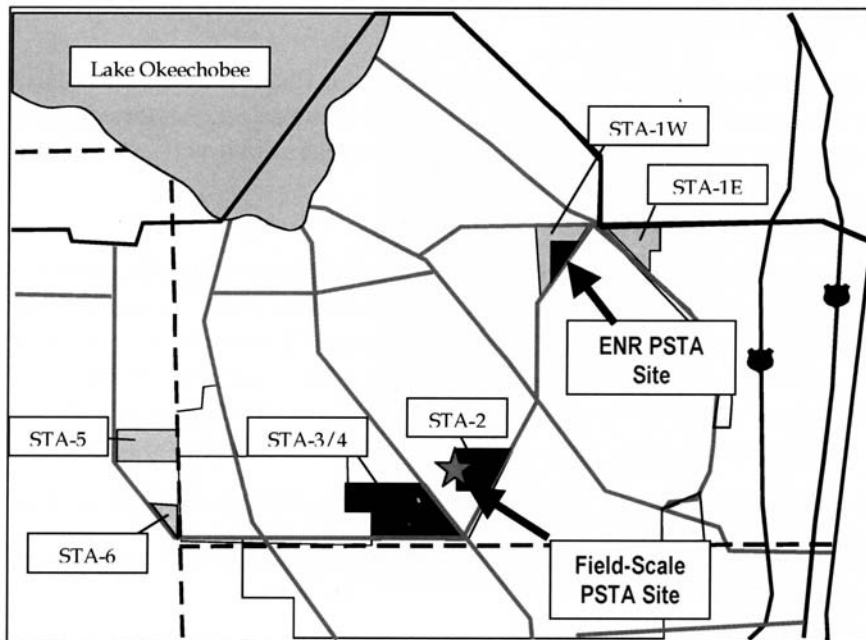
Literatura

- BROWDER J.A., GLEASON P.J. & SWIFT, D.R. (1994): In: DAVIS, S.M. & OGDEN, J.C. (ed.): Everglades-The ecosystem and its restoration, St. Lucie Press, Delray Beach, 379-418.
- DAVIS, J.H. (1943): The natural features of Southern Florida, especially the vegetation and the Everglades. – Geol. Bull. 25, Florida Department of Conservation and Florida Geological Survey, Tallahassee, 311pp.
- MCCORMICK, P.V. & O'DELL, M.B. (1996): Quantifying periphyton responses to phosphorus in the Florida Everglades: a synoptic – experimental approach. - J. North Amer. Benthol. Soc. 15: 450-468.
- MCCORMICK, P.V. & STEVENSON, R.J. (1998): Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. - J. Phycol. 34: 726-733.
- MCCORMICK, P.V., SHUFORD, R.B., BACKUS, J.G. & KENNEDY, W.C. (1998): Spatial and seasonal patterns of periphyton biomass and productivity in the Northern Everglades, Florida, USA. – Hydrobiologia 362: 185-208.
- SWIFT, D.R. & NICHOLAS, R.B. (1987): Periphyton and water quality relationships in the Everglades Water Conservation Areas 1978-1982. - South Florida Water Management District Tech. Publ. 87-2, 44 pp.
- VYMAZAL, J., CRAFT, C.B. & RICHARDSON, C.J. (1994): Periphyton response to nitrogen and phosphorus additions in Florida Everglades. - Algol. Studies 73: 75-97.
- VYMAZAL, J. & RICHARDSON, C.J. (1995): Species composition, biomass and nutrient content of periphyton in the Florida Everglades. - J. Phycol. 31: 343-354.
- VYMAZAL, J., KOMÁRKOVÁ, J., KUBEČKOVÁ, K., KAŠTOVSKÝ, J. & BASTL, M. (2000): Species composition of periphyton growing on artificial substrata along the C-transect of the Everglades WCA-2A. Part 2: Periphyton biovolume-biomass. - Závěrečná zpráva pro Duke University Wetland Center, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Durham, Severní Karolína, 69 pp.

Obr. 1. Umístění umělých mokřadů (STA) pro čištění splachových vod z se zemědělské oblasti (Everglades Agricultural Area).

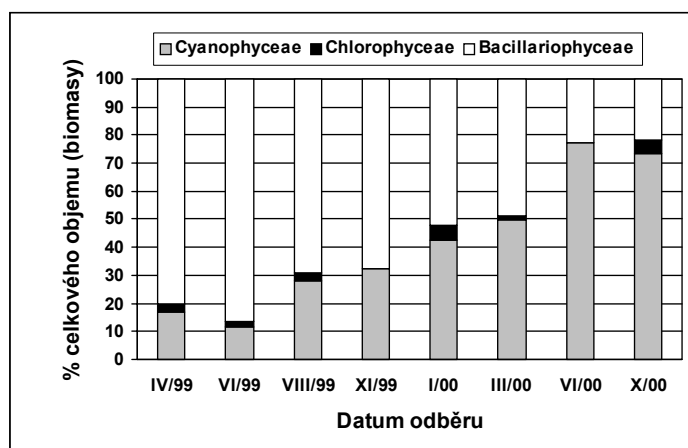
Fig. 1. Stormwater Treatment Areas (STAs) between Everglades Agricultural area and Water Conservation Areas (WCAs)





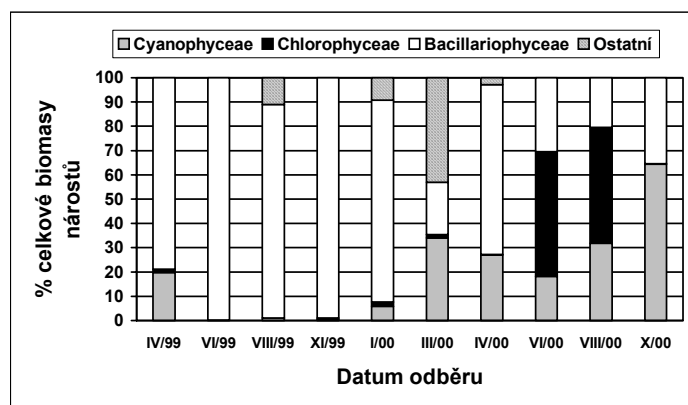
Obr. 2. Umístění ENR jednotek předpokládané umístění plnoprovozních ploch (Field scale PSTA Site).

Fig. 2. Location of ENR cells and Field scale PSTA site.



Obr. 3. Procentické složení biomasy nárůstů v jedné z Porta jednotek.

Fig. 3. Percentual composition of periphyton in one of the Porta PSTa units.



Obr. 4. Složení nárůstů při aplikaci barviva Aquashade (IV/99 – XI/99) a bez barviva (I/00 – X/00).

Fig. 4. Periphyton composition with Aquashade (IV/99 – XI/99) and without Aquashade (I/00 – X/00).