**Mokřady v zemědělské krajině**

Hubačíková, V.

**Úvod**

Mokřady, jeden z nejproduktivnějších systémů na světě, poskytují základní služby pro biologickou rozmanitost a pozitivně přispívají k blahu společnosti. Mokřadní biotopy hrají v krajině mnoho rolí. Navzdory důležité roli mokřadů v naší společnosti jsou neustále ohrožovány lidskou činností. Narušení mokřadů může navíc zkomplikovat zavádění invazivních druhů a vymizení původních druhů.

Uměle vybudované mokřady se používají jako účinná opatření ke zlepšení kvality vody a snížení odtoku živin ze zemědělství. Jejich role jako alternativních chovných míst pro různé druhy obojživelníků se však zkoumá jen zřídka.

**Uměle vybudované mokřady jako potenciální hnízdiště obojživelníků v zemědělské krajině: případová studie**

Zemědělsky upravené krajiny často postrádají složky stanovišť, které jsou pro obojživelníky životně důležité. Rozsáhlý rozvoj drenážních systémů usnadňujících zemědělskou produkci významně změnil hydrologii krajiny ve srovnání s historickými podmínkami. V důsledku toho došlo k největším ztrátám mokřadů v zemědělské krajině, což snižuje produktivitu a početnost obojživelníků prostřednictvím sníženého počtu a hustoty míst k rozmnožování. V zemědělsky upravené krajině nahradily přírodní vodní útvary převážně otevřené příkopy. Kromě toho byly zřízeny umělé mokřady, které mají zmírnit dopad difúzního znečištění, omezit odtok živin z orné půdy a zlepšit kvalitu povrchových vod. Přestože otevřené příkopy mohou u některých obojživelníků poskytovat hnízdiště, mnoho druhů preferuje jako místa reprodukce přírodní mokřady (např. deprese, zatopené oblasti, mělká dočasná jezera a bobří rybníky). Umělé mokřady, které jsou určeny ke zmírnění znečištění vody v zemědělské krajině, často připomínají přírodní mokřady s mělkými okraji a bohatou vegetací, takže mají potenciál hrát multifunkční roli zahrnující úpravu vody a biologickou rozmanitost. Takové vodní útvary mohou poskytovat další výhody nad rámec ochrany vod, jako je vytváření stanovišť pro ptáky a makro bezobratlé. Jejich role jako potenciálního hnízdiště obojživelníků však zatím není jasná. Většina umělých mokřadů zarůstá homogenními a rychle rostoucími makrofyty, jako jsou *Typha spp*., *Phragmites spp*., *Schoenoplectus spp*. atd., což může snížit jejich vhodnost pro chov obojživelníků. Kvalita vody umělých mokřadů může také ovlivnit reprodukci obojživelníků, zejména při vysokých koncentracích živin, což může vést k eutrofizaci, zvýšení primární produktivity a tím i ke snížení obsahu kyslíku. Některé studie ukázaly, že zvýšené koncentrace dusíku se mohou stát toxickými pro obojživelníky a vysoké koncentrace fosfátů v povrchových vodách mohou zvýšit úmrtnost obojživelníků a patogenní infekce. Proto se ne všechny uměle vybudované mokřady, které jsou postaveny tak, aby omezovaly difúzní znečištění v zemědělství, stanou místem rozmnožování obojživelníků.

Ve studii byl, po dobu 4 let, zkoumán nově vybudovaný in-stream mokřad v intenzivně obhospodařované orné půdě v jihovýchodním Estonsku. In-stream (někdy nazývané také jako on-stream) umělé mokřady jsou zakládány přímo na tocích/příkopech zachycujících veškerou vodu proudící v toku a prosakující z podzemních vod, zatímco odtokové mokřady jsou umístěny mimo proudy a je v nich zachycována pouze část vody.

V této oblasti se vyskytuje sedm z 11 druhů obojživelníků přítomných v Estonsku: čolek obecný (*Lissotriton vulgaris L.*), čolek velký (*Triturus cristatus Laur.*), blatnice skvrnitá (*Pelobates fuscus Wagler*), ropucha obecná (*Bufo bufo L.*), skokan hnědý (*Rana temporaria L.*), skokan ostronosý (*R. arvalis Nilsson*) a skokan krátkonohý (*Pelophylax lessonae Camerano*). Většina těchto druhů je v Estonsku rozšířená a početná, s výjimkou ropuchy obecné a čolka obecného, ​​které jsou ohroženy na národní úrovni. Hlavním cílem studie bylo zjistit, zda umělé mokřady určené ke snížení odtoku živin z orné půdy a ke zlepšení kvality povrchových vod, mohou také poskytnout živnou půdu obojživelníkům a pokud ano, které druhy z toho mají největší prospěch. V intenzivně využívané zemědělské krajině obecně chybí mělké chovné vody, proto je znalost rolí umělých mokřadů jako potenciálních míst rozmnožování velmi důležitá. Rovněž byly zkoumány parametry kvality vody a vývoj makrofytů v mokřadech jako důležité aspekty ovlivňující reprodukci obojživelníků.

Studie byla provedena na umělých mokřadech na toku Vända nacházejícího se v povodí řeky Porijõgi v jihovýchodním Estonsku. Plocha dílčího povodí Vända je 2,2 km2, z čehož přibližně 62% tvoří orná půda, 32% přírodní oblasti (lesy a slatiny) a asi 8% jiné typy využití půdy. Před stavbou mokřadů byla tato oblast pokryta hustou vegetací a malým potokem spojeným sedimentačním rybníkem s řekou Porijõgi. Soustava byla postavena v roce 2015 a obsahuje sedimentační rybník (zřízený v roce 1985 a rekonstruovaný v roce 2015, 1700 m2) následovaný dvěma mělkými mokřady (2219 m2 a, 2140 m2) propojenými potokem. Průměrná hloubka mokřadu se pohybuje od 0,1 m do 1 m, ačkoli ve většině oblastí je průměrná hloubka kolem 0,3 m. Oba mokřady obsahují několik přepážek vytvořených za účelem zlepšení hydraulické účinnosti a doby zdržení. Po vytvoření v roce 2015 byl mokřad 1 osázen orobincem šikokolistým (*Typha latifolia L.*), zatímco mokřad 2 byl ponechán přirozené kolonizaci. Průměrný denní průtok vody se pohybuje od 38 do 1246 m3, přičemž hydrologický retenční čas dosahuje od několika hodin do 4 dnů. Sedimentační rybník má strmé svahy (průměr 45°) a je hlubší (≥ 2 m) než oba mokřady.

Monitorování obojživelníků bylo zahájeno na jaře po vybudování mokřadů v roce 2016. Za čtyři roky (2016–2019) bylo celkem 27 pozorovacích dnů (od dubna do července), 5–10 za rok. V každém roce od dubna do května byl identifikován nový, přidaný potěr obojživelníků a jejich počet byl počítán podle druhů. To bylo provedeno vizuálními pozorováními procházejícími pobřežní oblastí každého vodního útvaru. Po vylíhnutí vajec byla v každém vodním útvaru na 15 minut ponořena síť a byly pokryty všechny důležité mikrohabitaty pro obojživelníky. Ulovené larvy byly spočítány po každém zametání sítě a byly stanoveny jejich druhy. V případě vysoké četnosti byl například registrován pouze přibližný počet ve formě > 100. Poté byli pulci vypuštěni do svého rodného vodního útvaru. Při každé návštěvě byl také zaznamenán počet mladistvých a dospělých pozorovaných v rybníku a mokřadech nebo na jejich březích (jejich počet byl započítán). Přítomnost ryb byla stanovena pomocí kombinovaných dat vizuálního pozorování, sítě a informací od místních lidí. Pro analýzu vegetace a chemii vody byly odebírány vzorky vody jednou za dva týdny od března 2017 do prosince 2019 z přítoku a odtoku sedimentačního rybníka a z přítoku a odtoku mokřadu 1 a mokřadu 2. Na rozdíl od mokřadů byl sedimentační rybník osazen rybami (karas stříbřitý *Carassius auratus gibelio* a amur bílý *Ctenopharyngodon idella*). V pozorovaných vodních útvarech bylo detekováno pět druhů obojživelníků: čolek obecný, ropucha obecná, skokan hnědý, skokan ostronosý a skokan krátkonohý. Všechny druhy se rozmnožovaly v umělých mokřadech, ale ne v sedimentačním rybníku. Žába obecná se úspěšně odchovala již v prvním roce po vybudování mokřadů, chov skokana krátkonohého byl zjištěn od druhého roku. V sedimentačním rybníku byl v roce 2016 odchycen pouze jeden pulec skokana ostronosého, běžné žáby v něm nebyly zjištěny, což naznačuje, že sedimentační rybník nebyl pro tyto druhy optimálním chovným místem. V mokřadu 1 byl zachycen velký počet larev ropuchy obecné až v roce 2017 po silné bouřce v červnu, kdy se průtok náhle zvýšil z přibližně 2 l.s−1 na > 100 l.s−1. Larvy nebyly před bouřkou přítomny v mokřadu 1 ani v mokřadu 2 a po silných deštích se počet detekovaných larev zvýšil na ≥ 100, respektive ≥ 200. Současně se počet larev v sedimentačním rybníku výrazně snížil. Proto lze předpokládat, že byly larvy přeneseny ze sedimentačního jezírka do mokřadu 1 a mokřadu 2 s rychle se zvyšujícím průtokem vody. Chov skokana ostronosého byl zjištěn v letech 2016 a 2017 v sedimentačním rybníku a v roce 2017 v mokřadu 2. Přítomnost dospělých ve všech vodních útvarech však naznačuje existenci malé populace.

Analýzy vody ukázaly, že medián koncentrace NO3-N v sedimentačním jezírku a v mokřadu 1 a mokřadu 2 byl 3,67 mg.l−1, respektive 3,65 mg.l−1, respektive 5,25 mg.l−1. Maximální koncentrace po dobu 3 let ze stejných studijních míst byla 6,37 mg.l−1, 6,65 mg.l−1, respektive 14,2 mg.l−1. Zatímco koncentrace NO3-N byla relativně vysoká, pokud jde o kvalitu povrchových vod, koncentrace NO2-N byla velmi nízká ve všech lokalitách, se střední koncentrací 0,03 mg.l−1 pro sedimentační rybník a 0,04 mg.l−1 pro mokřad 1 a mokřad 2. Maximální koncentrace byla zaznamenána v sedimentačním jezírku, kde dosahovala až 0,14 mg.l−1. Během období studie bylo zjištěno, že koncentrace NH4-N ve všech studijních místech byla zanedbatelná a ve většině případů pod 1 mg.l−1, a proto nebyla provedena žádná dlouhodobá měření. Koncentrace PO4-P byla relativně stabilní a podobná ve všech studijních místech, kde byl medián koncentrace 0,04 mg.l−1 v sedimentačním jezírku a v mokřadu 1 a 0,03 mg.l−1 v mokřadu 2. Maximální koncentrace dosáhla až 0,22 mg.l−1, ke kterému došlo během silné bouřky v červnu 2017. Vysoká teplota v letních měsících od června do srpna snižovala koncentraci kyslíku, stále však zůstávala nad 8 mg O2 l-1. Zákal byl nejvyšší v sedimentačním jezírku, kde střední hodnota za celé období studie byla 22,9 NTU (jednotka nefelometrické turbidity) s maximální hodnotou 62,9 NTU. Medián hodnot zákalu v mokřadu 1 a mokřadu 2 byl 8,7 NTU, respektive 6,0 NTU. Odpovídající maximální hodnoty byly 55,1 NTU a 28,6 NTU.

Pokrytí makrofyt mokřadů se během čtyřleté studie rychle zvýšilo z přibližně 30 % v roce 2016 v mokřadu 1 (původně vysazeno) na 41,0 % v roce 2017, 52,0 % v roce 2018 a 66,3 % v roce 2019; a v mokřadu 2 (původně nezasazeno) z 1 % v roce 2016 na 2,5 % v roce 2017, 10,5 % v roce 2018 a 49,5 % v roce 2019. Exponenciální nárůst je pozorovatelný v obou mokřadech, i když v důsledku počátečního vysazení křivky v mokřadu 1 je plošší než v mokřadu 2, kde se vegetační pokrytí rychle zvýšilo z 10,5 % v září 2018 na 49,5 % v září 2019.

Ukázalo se, že mokřadní oblast Vända poskytuje krátkodobě živnou půdu pro běžné obojživelníky, ale její dlouhodobá funkce reprodukčního místa je nejasná. Zvláště s ohledem na skutečnost, že kromě vodních stanovišť vyžadují obojživelníci také vysoce kvalitní suchozemská stanoviště. Vzhledem k tomu, že hlavním účelem umělých mokřadů je snížení difúzního znečištění a odtoku živin z orné půdy, mohou být podmínky těchto vodních útvarů časem pro obojživelníky nevhodné, protože mohou přijímat vyšší koncentrace živin, jako je dusík a fosfor. Akutní toxické účinky dusíkatých a fosforitých sloučenin na obojživelníky jsou široce známé. Zrychlená eutrofizace vodních ekosystémů v důsledku akumulace dusíku a fosforu je navíc spojena s přímým a nepřímým výskytem chorob. Bylo prokázáno, že koncentrace NO3-N, která přesahuje 10 mg.l−1, je již toxická pro většinu obojživelníků. Toxická koncentrace fosfátů je považována za vyšší než 10 mg.l−1, což je charakterističtější pro čistírny odpadních vod a není použitelné pro většinu vybudovaných mokřadů, které přijímají odtok pouze z orné půdy. I při silných bouřkách, které způsobí velký příliv sedimentu do mokřadu, byla koncentrace stále pod 0,25 mg.l−1. Tato koncentrace je z hlediska kvality povrchových vod vysoká, ale neměla by představovat žádné riziko pro obojživelníky. Expozice pesticidů může navíc způsobit metamorfózu a/nebo vývojovou retardaci larev obojživelníků, a proto by měla být také považována za jeden z rizikových faktorů. Mokřady, které jsou navrženy tak, aby omezovaly difúzní znečištění v zemědělství, přijmou více sedimentů a zvýší zákal, který by mohl ovlivnit podmínky stanoviště obojživelníků. Studie však ukázaly, že i když podmínky umělých mokřadů nejsou tak dobré jako v přírodních mokřadech, budou stále důležitou alternativou pro chov stanovišť obojživelníků v intenzivně obhospodařovaných zemědělských oblastech, kde jsou přírodní mokřady vzácné.

Oba mokřady vykazovaly rychlý vývoj vegetace. Během prvních čtyř let pokryly makrofyty více než polovinu mokřadu 1 a téměř polovinu mokřadu 2 a jeho růst a šíření pokračuje. Na druhé straně vysoký a hustý vegetační porost nepříznivě ovlivňuje výběr místa rozmnožování obojživelníků, což negativně ovlivňuje vývoj larev.

Aby byla zachována funkce uměle budovaných mokřadů jako systému úpravy vody a také jako místa rozmnožování obojživelníků, je třeba zvážit pravidelné odstraňování sedimentů a silného krytu makrofytů. Vegetace by měla být odstraněna na konci podzimu, kdy larvy všech druhů prošly metamorfózami, aby se zabránilo rušivým obojživelníkům a eliminovala maximální koncentrace živin nahromaděných v rostlinné biomase. Pokud pozdní podzimní sklizeň není možná, doporučuje se zimní sklizeň. To však platí pouze pro země, které mají po určitou dobu roku méně než nula stupňů a trvalou ledovou pokrývku.

Kromě ochrany vody mohou vybudované mokřady na intenzivně využívané zemědělské půdě přinejmenším krátkodobě poskytnout živnou půdu pro obojživelníky. Na podporu více druhů by se tyto mokřady měly podobat těm přírodním, jako jsou deprese nebo bobří nádrže s mělkou rychle se prohřívající vodou bez ryb. Aby však bylo zajištěno dlouhodobé fungování vybudovaných mokřadů jako živné půdy pro obojživelníky, doporučuje se před mokřadními systémy vybudovat sedimentační rybníky, aby se snížilo množství sedimentů vstupujících do systému a také se stabilizoval průtok. Odstranění sedimentu a vegetace nahromaděné v průběhu času by navíc zlepšilo účinnost umělých mokřadů a podmínky chovu obojživelníků.

**Integrace indikátorů krajiny a struktury do webového geoinformačního systému pro hodnocení stavu mokřadů**

Pokroky v technologii otevřely možnost získávat velké a cenné množství dat, zejména ze satelitů (např. Global Navigation Systems, radarové systémy se syntetickou clonou, optické senzory), které mohou podporovat environmentální studie. Aby však bylo možné plně využít dostupné informace poskytované těmito technologiemi, je třeba shromážděné údaje integrovat do společného systému pro generování indikátorů usnadňujících rozhodování. Systémy zonace a Marxan jsou příklady populárního softwaru, který kombinuje více dat pro plánování ochrany krajiny. První používá pro stanovení priorit v plánování ochrany více parametrů. Zonační nástroje mohou poskytovat informace o konektivitě druhů pomocí distribučních modelů a mohou být použity ke studiu stanovišť, která byla velmi nebo mírně narušena. Tento systém je omezen v tom smyslu, že vyžaduje specifickou strukturu dat použitých jako vstup a nepodporuje vektorové mapy. Druhý systém (Marxan) byl původně vyvinut pro zachování biologické rozmanitosti moří, ale od svého zavedení se zejména vyvíjel a byl používán v řadě aplikací. Navzdory svému potenciálu nebyla původní verze softwaru schopna přiřadit více zón (např. zóny udržitelného využívání, rekreační oblasti, rybolovné oblasti, přísně chráněné oblasti, oblasti těžby) s definovanými náklady a konkrétními omezeními v dané zeměpisné oblasti. Tyto schopnosti byly rozšířeny v „Marxan se zónami“; počet zón a jejich vlastnosti je však třeba jasně definovat na základě předem stanovených cílů a přístupných údajů pro proces plánování. Informace poskytnuté těmito metodami jsou zásadní pro správu založenou na ekosystémech. Obecně platí, že většina prostorových dat požadovaných tímto softwarem musí být předem zpracována a vizualizována externím geografickým informačním systémem (GIS).

Navzdory užitečnosti metodik založených na GIS pro řízení a rozhodování o ochraně ekosystémů vyžadují efektivní programy také nástroje, které umožňují šíření a interakci s kritickými informacemi, aby se podpořilo povědomí veřejnosti o významu mokřadů a hrozbách, které jim hrozí.

Nástup internetu a mobilních zařízení výrazně ovlivnil způsob přenosu informací. Zejména platformy Web-GIS přinesly revoluci ve způsobu sdílení, výměny a vizualizace geografických dat. Webový GIS umožňuje přístup k funkcím užitečným pro analýzu a shrnutí komplexních dat širšímu publiku bez potřeby efektivních desktopových GIS systémů. Integrace a sdílení nových funkcí a dat geoprocesu prostřednictvím běžných webových aplikací může navíc výrazně zlepšit stupeň ochrany mokřadů. V roce 2016 byla zavedena nová iniciativa nazvaná Satelitní služba pozorování mokřadů (SWOS), jejímž cílem je doplnění Globálního systému pozorování mokřadů (GWOS), který je podporován Ramsarskou úmluvou o mokřadech. Tento systém v zásadě umožňuje vizualizaci mokřadů v Evropě a pro konkrétní lokality jsou k dispozici ukazatele odvozené ze satelitu, které lze použít jako měřítko zdraví mokřadů (např. chlorofyl, suspendované sedimenty). Podobně nový přístupný nástroj Local Ecological Footprinting Tool využívá dostupná data dálkového průzkumu a globální databáze k poskytování obecných map ekologických hodnot v relativně dobrém rozlišení, v závislosti na regionu. Dále byl představen předběžný open source systém Web-GIS a databáze, která umožňuje první vyhodnocení stavu mokřadů a biologické rozmanitosti v provincii Quebec ve východní Kanadě.

Práce představuje evoluci tohoto systému, který poskytuje nové funkce založené na konceptech spojených s metapopulacemi a maticí integrity vytvořenou z krajinných prvků. Nové ukazatele byly vyvinuty podle pokynů kanadské vlády a vlády Quebeku pro ochranu přirozeného prostředí. Úsilí se soustřeďuje na udržování a/nebo obnovu funkcí přirozeného prostředí a na vývoj adekvátních opatření ke zlepšení ekologické odolnosti ekosystémů a biologické rozmanitosti. Fragmentace, metapopulace a prostorová konfigurace (hustota, blízkost) zbývajících stanovišť jsou důležitými prvky zohledněnými ve vládních pokynech. Aktualizovaná verze aplikace poskytuje více prostorových indikátorů pro rychlé vyhodnocení stavu mokřadů, které mohou zlepšit rozhodování správců ekosystémů a poskytnout různorodé komunitě uživatelů jasnější pohled na stav mokřadů v Quebecu, se specializovaným softwarem. Autoři zdůrazňují, že navrhovaný nástroj může doplňovat plánování ochrany ve velkém měřítku, ale k překonání výzev ochrany měst jsou zapotřebí další systematické přístupy.

Open-source multi-scale Web-GIS prototyp vyvinutý Silesem a kol. nabízí možnost provést předběžnou analýzu stavu mokřadů a biologické rozmanitosti v provincii Quebec. Za tímto účelem tento systém integruje vícezdrojová a víceformátová data do společné databáze, což umožňuje jejich geovisualizaci a kombinované vyhodnocení prostřednictvím interaktivního rozhraní. Mokřady, jejichž ekologické funkce mohou být ovlivněny blízkými průmyslovými komplexy, doly a jinými antropogenními aktivitami, lze navíc detekovat pomocí vyrovnávacího postupu. Zahrnutí komplexních indikátorů do prototypu je omezeno omezeným přístupem k určitým datům potřebným pro jejich implementaci. S cílem zachování a obnovy přírodních stanovišť kanadská vláda navrhla pokyny zaměřené na zachování základních ekosystémových služeb a udržení minimálních podmínek pro divokou zvěř, zejména pro metapopulace.

S pokrokem antropogenních aktivit mokřadů se mění jejich prostorové charakteristiky, jako je velikost, tvar a jejich služby pro blaho člověka. Ačkoli není vždy možné tyto činnosti ukončit, lze učinit opatření ke zmírnění jejich účinků, aby populace mohly komunikovat mezi roztříštěnými stanovišti, aby přežily, a dokonce znovu pozměnily mozaiku. Pokud jsou vzdálenosti mezi rozptýlenými mokřady velmi velké, může omezený přístup k potravinovým a vodním zdrojům bránit přežití některých organismů, které nejsou schopny tyto vzdálenosti překonat.

Přestože vzdálenost mezi mokřady (blízkost) již poskytuje důležité informace o izolaci těchto stanovišť, jejich hustota je také relevantní prostorovou proměnnou, kterou je třeba měřit, protože je přímo spojena se strukturami metapopulace.

Udržitelnost metapopulací by mohla být ohrožena omezeními v důsledku velkých rozptylových vzdáleností bioty mezi mokřady. Z této studie je pro ochranu biologické rozmanitosti navržena minimální vzdálenost 500 m mezi mokřadními plochami. Snížená prostorová konektivita a relativně velké rozptylové vzdálenosti mohou způsobit obtížnou agregaci a reklonizaci druhů, což by nakonec mohlo vést k vyhynutí místních mokřadních organismů. Tímto způsobem jsou identifikována potenciální stanoviště populačních struktur, která se nacházejí v minimální vzdálenosti 500 m od sebe. Jakmile jsou stanovena cílová stanoviště, odhadne se euklidovská vzdálenost mezi nimi a použije se jako indikátor blízkosti. Výstup tvoří skupiny mokřadů zařazených do pěti tříd (izolované, alespoň jedna mokřad, dvě mokřady, tři mokřady, čtyři nebo více mokřadů), které jsou definovány počtem stanovišť nalezených v blízkosti (do 500 m) od referenčního mokřadu.

Z hlediska hustoty mokřadů se nejprve polygony mokřadů převádějí na rastrová data, aby se poté provedla fokální statistika na výsledné matici (s rozlišením 50 m). Fokální analýzy spočívají v sousedské operaci, která odhaduje počet mokřadních entit v pohyblivém okně 1 km na 1 km. Výběr velikosti okna je založen na analýze hustoty, který naznačuje, že většina procesů metapopulací v mokřadech probíhala v prostorovém měřítku 1 km2. Poté se provede zonální statistická operace s použitím výsledné matice z fokálních statistik k identifikaci a extrahování maximální hodnoty na povrchu každého mokřadu. Postup se opakuje pro každou entitu třídy mokřadů. Stejně jako v indikátoru blízkosti jsou výstupní mokřady rozděleny do pěti tříd (izolované, minimální práh, střední hustota, vysoká hustota, velmi vysoká hustota), které umožňují rychlou interpretaci prostorové dispozice mokřadů.

Prvním krokem při konstrukci matice integrity je rastrování vektoru prvků, které byly identifikovány jako důležité antropogenní stresory mokřadů v Quebecu. Tyto prvky byly rozděleny do tří hlavních tříd: a) doprava, b) městský a průmyslový rozvoj a c) řízená a upravená krajinná pokrývka. Jakmile jsou všechna vektorová data rastrována, odhadne se euklidovská vzdálenost od středu každého stresoru. Tyto hodnoty jsou poté aplikovány na odhadovanou matici euklidovské vzdálenosti pro každý stresor. Nakonec jsou matice rozpadu odpovídající každému stresoru přiřazeny ke skóre (nebo hmotnosti) a uspořádány, přičemž jsou zachovány pouze minimální hodnoty na pixel pro generování konečné matice integrity. Vybraná skóre jsou založena na vnímaném dopadu na stav mokřadů. Jakmile je matice integrity odhadnuta, jsou na matici aplikovány rekurzivní zonální statistiky, aby se získala průměrná relativní integrita odpovídající každému mokřadu. Relativní integrita je rozdělena do pěti tříd (velmi nízká, nízká, střední, vysoká a velmi vysoká).

Z výsledků studie vyplývá, že indikátor „blízkost“ poskytuje správcům ekosystémů rychle zásadní informace k detekci izolovaných mokřadů a k přijetí rychlých a účinných opatření na ochranu přidružených druhů. Výstupy z tohoto nástroje spolu s informacemi poskytovanými indexem relativní integrity lze použít k definování předběžných ochranných zón k ochraně komplexů mokřadů.

Indikátor „hustoty“ udává počet mokřadů na 1 km2 ve zvoleném regionu. Tento ukazatel mohl být velmi užitečný pro management půdy, aby měli obecnou představu o relativní hustotě mokřadů v daném regionu a aby rozvíjeli udržitelnější využívání půdy směrem k ochraně zbývajících mokřadů a možné obnově degradovaných půd. Stejně tak, by správci ekosystémů mohli identifikovat možná ohrožená stanoviště a soustředit na ně své úsilí k jejich zachování, aby zabránili ztrátě místních druhů.

Indikátor „relativní integrity“ byl odhadnut z matice integrity generované přes urbanizovanou až venkovskou oblast. Tento indikátor odhadovaný z matice lze použít jako zástupce ekologického stavu mokřadů. Mokřady, jejichž relativní integrita by mohla být ohrožena, jsou snadněji detekovány.

Klasifikace mokřadů podle ukazatelů „blízkosti“ a „hustoty“ by mohla přispět k pochopení prostorových mechanismů, které by případně mohly změnit vzorce strukturovaných populací. Existuje řada stresorů, které zhoršují funkce mokřadů, které jsou nezbytné pro přežití místních a stěhovavých druhů populací. Urbanizace, zemědělské činnosti, silnice a elektrické vedení patří mezi prominentní stresory, které v Quebecu mění kritické prostorové charakteristiky mokřadů (např. velikost, tvar). Změny v prostorové konfiguraci mokřadů a komplexů mokřadů mohou vést ke změnám v metapopulacích.

Použití indikátoru „integrity“, který přibližně odráží ekologickou kvalitu mokřadů, může přispět k analýze změn v těchto populacích. V souladu s tím lze důležité prostorové charakteristiky pro přežití a rozvoj metapopulací získat z kombinované analýzy indikátorů navržených skutečnou platformou. Z těchto ukazatelů lze ve vztahu k metapopulacím uvažovat dva hlavní typy prostorové dispozice mokřadů: příznivé a nepříznivé.

Nové geoprocesové nástroje poskytované platformou mohou také detekovat a globálně zkoumat nepříznivou prostorovou konfiguraci mokřadů pro strukturované populace. Tento typ uspořádání krajiny by mohl negativně ovlivnit dynamiku metapopulace v důsledku nepříznivé geometrie, která může snížit propojení mezi mozaikou mokřadů. Navíc z nich lze odvodit pohledy na možné modifikace metapopulací související s prostorovou konfigurací těchto přírodních stanovišť. Využitím těchto nových funkcí je možné získat rychlý a rozumný první obraz možných vysoce ohrožených mokřadů bez jakýchkoli specializovaných znalostí nebo odborných znalostí. Kromě toho lze nová data snadno začlenit do databáze a dosáhnout tak dalšího zkoumání. Velikost mokřadů by také byla cenným ukazatelem, který by bylo možné začlenit do prototypu. Přestože bylo prokázáno, že funkce nového systému mají potenciál podporovat udržitelný rozvoj půdy, stále je třeba zlepšovat optimalizaci doby zpracování a také vektorizaci tříd produkčních mokřadů. Současná implementace může být podpůrným nástrojem k ochraně mokřadů - klasifikací mokřadů, které mají být obnoveny nebo chráněny, poté, co byly poprvé identifikovány jako významné součásti regionální ochranářské sítě.

Literatura:

MITSCH, W.J., BERNAL, B., HERNANDEZ, M.E. (2015), Ecosystem services of wetlands. Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag. 11 (1), 1–4,

https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250.

Estonian Nature Information Systém, (2020), https://infoleht.keskkonnainfo.ee/default.aspx? id=1525036761&state=2;1525036761;eng;eelisand (accessed 6, April 2020).

BOISSINOT, A., BESNARD, A., LOURDAIS, O., (2019), Amphibian diversity in farmlands: combined influences of breeding-site and landscape attributes in Western France. Agric.

Ecosyst. Environ. 269, 51–61.

BLANN, K.L., ANDERSON, J.L., SANDS, G.R., VONDRACEK, B., (2009), Effects of agricultural drainage on aquatic ecosystems: a review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 39, 909–1001.

RANNAP, R., KAART, M. M., KAART, T., KILL, K., UUEMAA, E., MANDERD, U., KASAK, K., (2020), Constructed wetlands as potential breeding sites for amphibians in agricultural landscapes: A case study, Ecological Engineering, Volume 158, ELSEVIER, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106077.

ARNTZEN, J.W., ABRAHAMS, C., MEILINK, W.R.M., IOSIF, R., ZUIDERWIJK, A., (2017), Amphibian decline, pond loss and reduced population connectivity under agricultural intensification over a 38 year period. Biodivers. Conserv. 26, 1411–1430.

KASAK, K., MOTLEP, R., TRUU, M., TRUU, J., KOIV-VAINIK, M., ESPENBERG, M., et al., (2016), Hydrated oil shale ash mitigates greenhouse gas emissions from horizontal subsurface flow filters for wastewater treatment. Water Air Soil Pollut. 227.

KASAK, K., KILL, K., PARN, J., MANDER, U., (2018), Efficiency of a newly established in-stream constructed wetland treating diffuse agricultural pollution. Ecol. Eng. 119, 1–7.

KASAK, K., VALACH, A.C., REY-SANCHEZ, C., KILL, K., SHORTT, R., LIU, J., DRONOVA, I., MANDER, U., SZUTU, D., VERFAILLIE, J., BALDOCCHI, D.D., (2020), Experimental harvesting of wetland plants to evaluate trade-offs between reducing methane emissions and removing nutrients accumulated to the biomass in constructed wetlands. Sci. Total Environ. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136920.

MITCHELL, J.C., (2016), Restored wetlands in Mid-Atlantic agricultural landscapes enhance species richness of amphibian assemblages. J. Fish Wildl. Manag. 7, 490–498.

BECERRA-JURADO, G., HARRINGTON, R., KELLY-QUINN, M., (2012), A review of the potential of surface flow constructed wetlands to enhance macroinvertebrate diversity in agricultural landscapes with particular reference to Integrated Constructed Wetlands (ICWs). Hydrobiologia 692, 121–130.

JAROSIEWICZ, A., RADAWIEC, B., HETMANSKI, T., (2014), Influence of water chemistry and habitat parameters on the abundance of pond-breeding amphibians. Pol. J. Environ. Stud. 23 (2), 349–355.

TOURNEBIZE, J., CHAUMONT, C., MANDER, U., (2017), Implications for constructed wetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drained watersheds. Ecol. Eng. 103, 415–425.

RANNAP, R., (2019), Decline and conservation of amphibians in Estonia. In: Heatwole, H., Wilkinson, J.W. (Eds.), Amphibian Biology. Volume 11: Status of Conservation and Decline of Amphibians: Eastern Hemisphere, Part 5, (Northern Europe).

MULKEEN, C.J., GIBSON-BRABAZON, S., CARLIN, C., WILLIAMS, C.D., HEALY, M.G., MACKEY, P., GORMALLY, M.J., (2017), Habitat suitability assessment of constructed wetlands for the smooth newt (*Lissotriton vulgaris* [Linnaeus, 1758]): a comparison with natural wetlands. J. Biol. Eng. 106, 532–540.

WAGNER, N., LOTTERS, S., (2013), Possible correlation of the worldwide amphibian decline and the increasing use of glyphosate in the agrarian industry. BfN Scripten 343.

CALDERON, M.R., ALMEIDA, C.A., CONZALEZ, P., JOFRE, M.B., (2019), Influence of water quality and habitat conditions on amphibian community metrics in rivers affected by urban activity. Urban Ecosyst. 22, 743–755.

MOILANEN, A., WILSON, K.A., POSSINGHAM, H.P., (2009), Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools. Oxford Univ. Press.

POSSINGHAM, H.P., BALL, I.R., ANDELMAN, S.J., (2000), Mathematical methods for identifying representative reserve networks. In: Ferson, S., Burgman, M.A. (Eds.), Quantitative Methods for Conservation Biology. Springer-Verlag, New York, pp. 291–305.

CIMON-MORIN, J., POULIN, M., (2018), Setting conservation priorities in cities: approaches, targets and planning units adapted to wetland biodiversity and ecosystem services. Landsc. Ecol. https://doi.org/10.1007/s10980-018-0707-z.

WATTS, M.E., BALL, I.R., STEWART, R.S., KLEIN, C.J., WILSON, K., STEINBACK, C., REINALDO, L., KIRCHER, L., POSSINGHAM, H.P., (2009), Marxan with zones: software for optimal conservation based land- and sea-use zoning. Environ. Model. Softw. 24, 1513–1521.

SILES, G., CHARLAND, A., VOIRIN, Y., BENIÉ, G. B., (2019), Integration of landscape and structure indicators into a web-based geoinformation system for assessing wetlands status, Ecological Informatics, Volume 52, 166–176, ELSEVIER, https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.05.011

LANZAS, M., HERMOSO, V., DE-MIGUEL, S., BOTA, G., BROTONS, L., (2019), Designing a network of green infrastructure to enhance the conservation value of protected areas and maintain ecosystem services. Sci. Total Environ. 651 (2019), 541–550. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.164.

HAN, R., CAO, J., MA, S.Q., (2014), In: Cao, B.Y., ma, S.Q., Cao, H. (Eds.), Ecosystem Assessment and Fuzzy Systems Management. Advances in Intelligent Systems and Computing 254 Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03449-2\_2. Geomatics in ecosystem assessment and management.

LONG, P.R., BENZ, D., MARTIN, A.C., HOLLAND, P.W.A., MARCIAS-FAURIA, M., SEDDON, A.W.R., HAGEMANN, R., FROST, T.K., SIMPSON, A., POWER, D.J., SLAYMAKER, M.A., WILLIS, K.J., (2017), A web-based tool for the remote measurement and estimation of ecological value across global landscapes. Methods Ecol. Evol. 9, 571–579. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12924.

SILES, G., VOIRIN, Y., BENIÉ, G.B., (2017), Open-source based geo-platform to support management of wetlands and biodiversity in Quebec. Ecol. Inform. 84–95.

ENVIRONNEMENT CANADA, (2013), Quand l'habitat est-il suffisant ? Troisième édition. Environnement Canada, Toronto, Ontario (138 p).

MFFP, (2015), Lignes directrices pour la conservation des habitats fauniques (4e édition), Direction générale de la valorisation du patrimoine naturel. 41 p. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP).

DUDGEON, D., ARTHINGTON, A.H., GESSNER, M.O., KAWABATA, Z.‐I., KNOWLER, D.J., LÉVÊQUE, C., NAIMAN, R.J., PRIEUR‐RICHARD, A.‐H., SOTO, D., (2006), Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 81. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950.

STRAUCH, A., GELLER, G., GROBICKI, A., HILARIDES, L., MURO, J., PAGANINI, M., WEISE, K., (2016), Towards a global wetland observation system: the GEO-WETLANDS initiative. In: Living Planet Symposium 2016. Prague, Czech Republic (9-13 May 2016).

UDEN, D.R., HELLMAN, M.L., ANGELER, D.G., ALLEN, C.R., (2014), The role of reserves and anthropogenic habitats for functional connectivity and resilience of ephemeral wetlands. Ecol. Appl. 24, 1569–1582.

Gibbs, J.P., 2000. Wetland loss and biodiversity conservation. Conserv. Biol. 14, 314–317.

**Klíčová slova:** mokřady, obojživelníci, makrofyta**,** indikátor krajiny, geoprocesové nástroje

**Zpracovala:** Věra Hubačíková, Mendelova univerzita v Brně, verah@mendelu.cz