



**Metodika hodnocení environmentálního rizika
pro poskytování ekosystémových služeb**

Obsah

Seznam tabulek a obrázků	3
Seznam zkratk.....	4
1 Cíl a zaměření metodiky	5
2 Základní pojmy	8
3 Základní charakteristika zdrojů rizika.....	9
4 Postup pilotního integrovaného hodnocení rizika v České republice.....	10
4.1 Vymezení rámce.....	10
4.2 Data a metody	11
5 Mapová aplikace a software	15
6 Stav v České republice.....	16
7 Stanovení bezpečnostních standardů pro ekosystémy	19
Použitá literatura.....	22

Zpracováno v rámci projektu VG20122015091 Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky (2012-2015, MV0/VG).

Autoři: Adam Pártl, Blanka Loučková, Tomáš Hák, Svatava Janoušková, Eliška Krkoška Lorencová, Lenka Rejentová, Zbyněk Stein, David Vačkář

Seznam tabulek a obrázků

Tabulka 1. Příklady zdrojů rizik a jejich environmentálních a socioekonomických dopadů.	9
Tabulka 2. Přehled použitých indikátorů a dat pro analýzu environmentálních rizik pro poskytování ekosystémových služeb.....	11
Tabulka 3. Ohodnocení rizika pro závislost hlavních užitků a benefitů z ekosystémů v České republice. Červená barva vyjadřuje vysoké riziko, oranžová střední a zelená nízké.....	18
Tabulka 4 Přehled navžených standardů pro jednotlivé stupně na škále environmentální bezpečnosti.....	21
Obrázek 1. Skupiny rizik relevantních k bezpečnosti ekosystémů a ekosystémových služeb.	6
Obrázek 2. Schéma postupu analýzy rizika pro poskytování ekosystémových služeb.	12
Obrázek 3. Užitky z ekosystémových služeb, které jsou spojeny s vysokým rizikem.	17

Seznam zkratk

CBD	Úmluva o biologické rozmanitosti
CLC	Corine Land Cover
ČR	Česká republika
ES	Ekosystémové služby
GIS	Geografický informační systém
ESP	Partnerství pro ekosystémové služby
KVES	Konsolidovaná vrstva ekosystémů ČR
MA	Miléniové hodnocení ekosystémů
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
TEEB	Ekonomika ekosystémů a biodiverzity

1 Cíl a zaměření metodiky

Cílem této metodiky je stanovit základní postupy a použitelné nástroje pro posouzení environmentálních rizik pro poskytování ekosystémových služeb v České republice. Představený postup vychází zejména ze zahraničních odborných a vědeckých studií zabývajících se posuzováním rizika na regionální i národní úrovni.

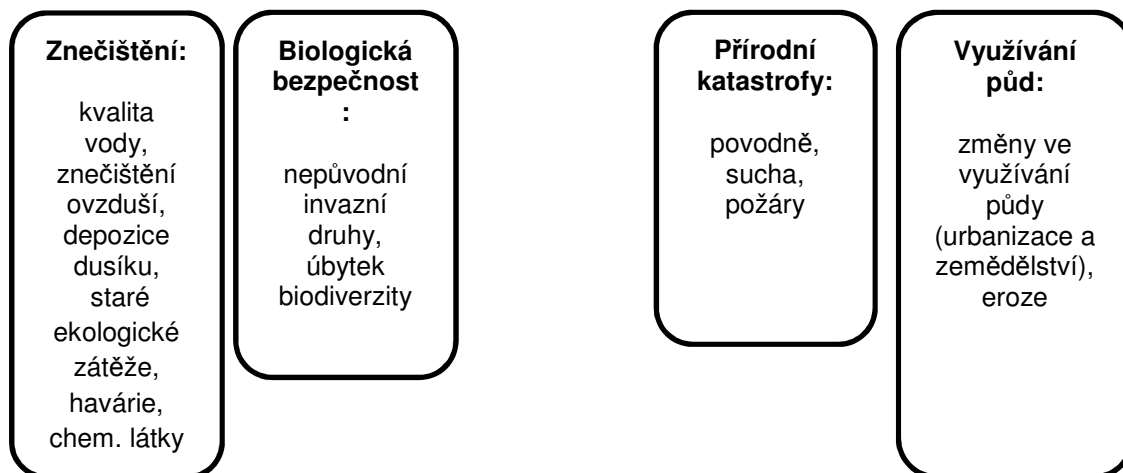
Metodika je vzhledem ke svému zaměření na hodnocení rizik pro poskytování ekosystémových služeb určena odborné veřejnosti a subjektům zabývajícím se především územnímu plánování, ochranou přírody a krajiny a bezpečností.

Metodika vychází z **Akčního rámce z Hyogo 2005-2015**: Vytváření resilientních národů a komunit vůči pohromám, zejména ze strategického cíle o integrování snižování rizik do politik udržitelnosti a udržitelného plánování a také zároveň ze **Sendajského rámce pro omezování důsledků katastrof 2015-2030** a klade především důraz na zapojení dalších zainteresovaných stran. Výsledky této metodiky by tudíž měly přispět k plnění prioritních kroků zahrnujících zejména identifikaci, hodnocení a monitoring rizik z Akčního plánu a priorit porozumění rizikům katastrof a posilování vedení a zvládání rizik ze Sendajského rámce (více v následující kapitole Kontext metodiky integrovaného hodnocení rizika).

Náplní metodiky je charakteristika rizik relevantních zejména k *bezpečnosti ekosystémů a ekosystémových služeb* (Obrázek 1. Skupiny rizik relevantních k bezpečnosti ekosystémů a ekosystémových služeb) v kontextu globální změny v České republice. Metodika upřesňuje jaký postup konkrétně využít pro hodnocení celkového rizika pro ekosystémové služby v kontextu hlavních rizik a globálních změn. Metodice odpovídá mapová aplikace pro analýzu rizik dostupná na <http://envisec.cenia.cz>. Aplikace umožňuje prohlížení mapových vrstev s výsledky hodnocení rizik a stažení toolboxů¹ pro provedení analýzy na uživatelských datech (více viz v kapitole 8).

¹ Toolboxu odpovídá Python skript, který představuje konkrétní nástroj pro výpočet např. rizika, ohrožení apod.

Bezpečnost ekosystémů a ekosystémových služeb



Obrázek 1. Skupiny rizik relevantních k bezpečnosti ekosystémů a ekosystémových služeb.

Metodika je členěna do ucelených kapitol, které jsou vždy tematicky zaměřeny. Následující druhá kapitola popisuje kontext metodiky v rámci českých a mezinárodních strategických dokumentů, úmluv a studií. Kapitoly 3 a 4 pokračují s vysvětlením, v čem je nový metodický postup nový a stanovením obecných cílů integrovaného hodnocení. Základní koncepty a používané pojmy jsou stručně vysvětleny v kapitole 5, na kterou navazuje kapitola 6 představující základní charakteristiku zdrojů rizika dotčených metodickým postupem. Podrobný postup vlastní analýzy rizika včetně popisu použitých datových zdrojů je popsán v kapitole 7. Následuje část podrobněji pojednávající o mapové aplikaci a softwaru, který odráží analytickou část metodiky dostupnou online a vlastní hodnocení. Kapitola 9 přináší popis hlavních užitků z ekosystémových služeb v ČR a jejich provázání s ekosystémy spolu s naznačením rizika pro jejich poskytování. Metodiku poté uzavírá kapitola stanovení bezpečnostních standardů pro ekosystémy pomocí integrované škály.

Cílem metodiky je představení postupu hodnocení celkového rizika pro ekosystémové služby v kontextu hlavních rizik a globálních změn. Metodika navazuje na koncepční materiály Ministerstva životního prostředí jako **Koncepce environmentální bezpečnosti 2012-2015 s výhledem do roku 2020**, která popisuje nutnost vytvořit systémový přístup pro určování vzniku krizových situací kdy je ohroženo životní prostředí. Dále například stanovování mezních hodnot, kdy dochází k nevratnému poškození ekosystémů a biodiverzity je podstatné i z hlediska

naplňování cílů **Strategie udržitelného rozvoje České republiky**. Dále samozřejmě tematicky navazuje také na legislativu týkající se krizového řízení – „**krizový zákon**“ (č. 240/2000 Sb., Zákon o krizovém řízení a o změně některých zákonů), neboť podrobněji rozpracovává problematiku mimořádných událostí, které ohrožují životy, zdraví lidí, jejich majetek a životní prostředí.

Jedná se o zcela nový metodický postup z hlediska kontextu České republiky, který vychází z řady zahraničních odborných – vědeckých i aplikovaných – studií, které jsou zaměřeny na hodnocení rizika na různých úrovních. Integrované hodnocení environmentálního rizika pro poskytování ekosystémových služeb zatím nebylo v ČR uskutečněno a pro jeho provedení také zatím nebyla vypracována ani žádná metodika či metodický návod. Navržený metodický postup je ilustrován na základě analýzy dostupných prostorových dat o výskytu zdrojů rizik zpracovaných v projektu EnviSec. Metodika však může být využita i pro analýzu dalších zdrojů rizik a dalších prostorových dat. Rovněž provázanost metodiky s mapovou aplikací a softwarovými toolboxy poskytují flexibilní nástroj pro integrované hodnocení rizika z hlediska zranitelnosti a ohrožení ekosystémových služeb.

Integrovaného hodnocení rizika pro poskytování ekosystémových služeb v ČR je zejména zhodnocení potencionálního ohrožení pro ekosystémy a benefity, které poskytují lidské společnosti. Dalším krokem by mělo být začlenění závěrů z hodnocení do rozhodovacích procesů. Jde o následující cíle:

1. **Rozšíření znalostí.** Stále existují značné mezery v našich znalostech o tom, co přesně stojí za mnohými změnami ekosystémů a dopady, které změny v rámci ekosystémů mají na služby, které poskytují.
2. **Začleňování do rozhodovacích procesů.** I přes to, že se v integrovaném hodnocení rizika může být informace o dílčím ohrožení v nepoměru k ostatním faktorům hodnocení, představuje tato metoda dostupný způsob jak určit např. hot-spots (či cold-spots rizika), které zasluhují větší pozornost z hlediska plánování a představují tak cenou informaci pro možná opatření snižující riziko.
3. **Hodnota pro budoucnost.** Současná správa plně nezohledňuje hodnoty ekosystémů a možnost ohrožení dodávek jejich služeb, které představují benefity pro lidskou společnost. Začlenění informací a závěrů z hodnocení představuje jednu z cest ke snížení celkové zranitelnosti a snadnější cestu k zachování hodnoty ekosystémů a jejich služeb pro budoucí generace.
4. **Budování kapacity.** Integrované hodnocení rizika by mělo přispět k budování kapacity a připravenosti pro efektivní odpověď na různých úrovních pro management pohrom a rizik prostřednictvím dostupných dat a postupů v České republice.

2 Základní pojmy

Ohrožení (nebo také **zdroj rizika**) představuje nějaký stresor (hnací sílu) nebo kombinaci, která svým působením ovlivňuje ekosystémy a/nebo lidskou populaci. Skrze působení hnacích sil na ekosystémy jsou také ovlivňovány ekosystémové služby. Často nastává situace, kdy např. jeden zdroj rizika má dopad na více ekosystémových služeb dohromady.

Zranitelnost lze charakterizovat jako určitou citlivost prostředí, lidské společnosti, ekosystémů, anebo jejich služeb vůči vnějším faktorům (zdrojům rizik). Zranitelnost je určena potenciálem pro škody či poškození, případně narušení ekosystémů či lidské populace prostřednictvím konkrétního zdroje rizika.

Riziko je obvykle chápáno jako kombinace expozice lidské populace k různým ohrožením a její zranitelnosti, která vyjadřuje kapacitu k přípravě, odpovědi nebo k obnově po události, která způsobuje ohrožení. V tomto případě představuje environmentální riziko expozici dodávek ekosystémových služeb k environmentálním rizikům jako je znečištění, přírodní ohrožení a dopady antropogenních aktivit.

Ekosystémové služby označují přínosy a užitky, které lidská společnost a populace získává prostřednictvím ekosystémů. Jedná se například o potraviny a vodu (zásobovací služby), regulační služby jako regulace povodní, sucha anebo kulturní služby jako rekreace, spirituální a náboženské benefity.

Ekosystém lze popsat jako dynamický komplex rostlin, živočichů a komunit mikroorganismů a neživých součástí prostředí, které spolu dohromady tvoří funkční jednotku. Lidé jsou neoddelitelnou součástí ekosystémů. Obecně se mohou ekosystémy velmi lišit co do rozlohy – za ekosystém lze považovat přechodnou tůň i oceánské pobřeží.

Resilience je schopnost systému nebo společnosti odolávat, zmírňovat, přijímat a obnovovat následky účinků nebezpečí včasným a účinným způsobem, včetně zachování a obnovy jeho nezbytné základní struktury a funkcí.

Hot-spots (cold-spots) představují nejen místa s vysokou (resp. nízkou) mírou environmentálního rizika pro poskytování ekosystémových služeb, ale i nadto označují území, kde se prostorově tato místa významně shlukují. Tato území vyžadují větší pozornost, protože označují místa, kde může negativně změnit úroveň poskytování ekosystémových služeb. Naproti tomu cold-spots naznačují, že v daném území vybrané zdroje rizik nepředstavují větší hrozbu.

3 Základní charakteristika zdrojů rizika

Obecně lze rozlišovat mezi přímými a nepřímými zdroji rizika, které dělíme na: demografické (např. nárůst lidské populace), ekonomické (energetická a materiálová náročnost), sociopolitické (míra zapojení veřejnosti v rozhodování), kulturní a náboženské (spotřební chování), věda a technologie (intenzifikace zemědělské produkce).

Tato metodika se zaměřuje na přímé hnací síly – zdroje rizika, které se vyznačují tím, že ovlivňují ekosystémy, a mohou být identifikovány a jejich účinek lze s větší či menší přesností kvantifikovat. Skrze působení na ekosystémy a jejich vlastnosti (kvalita, funkce, apod.) je ovlivněna i produkce a poskytování služeb.

Zdroje rizika můžeme například rozdělit na:

- a) Změna a variabilita klimatu (změna teploty, srážek, výraznější extrémy,...)
- b) Aplikace živin na zemědělské ekosystémy (nadměrná aplikace, eutrofizace,...)
- c) Změna využití území (odlesňování, urbanizace,...)
- d) Biologické invaze a choroby (invazivní nepůvodní druhy, choroby,...)

Protože většinou převažují studie zaměřené na hodnocení rizika vyplývajícího z jednoho konkrétního ohrožení a na jeho konkrétní dopady, prakticky neexistuje žádná ucelená obvykle používaná klasifikace zdrojů rizik kromě výše uvedených rámcových rozdělení. Pro větší názornost jsou v následující tabulce stručně charakterizovány zdroje rizik, které byly hodnocené v rámci pilotního hodnocení v České republice, spolu s environmentálními a socioekonomickými dopady.

Tabulka 1. Příklady zdrojů rizik a jejich environmentálních a socioekonomických dopadů.

Zdroj rizika	Environmentální dopady	Socioekonomické dopady
Eroze	Zhoršená kvalita půdy a vody, přeměna ekosystémů	Degradace půdy
Znečištění ovzduší	Omezené ukládání uhlíku, depozice kyselých látek, acidifikace, eutrofizace, úbytek druhové diverzity	Zdravotní riziko, náklady na snížení znečištění, snižování fertility (polo)přirozených ekosystémů
Zhoršená kvalita vody	Eutrofizace, změny ve stratifikaci a produktivitě fytoplanktonu, změny v druhovém složení	Zamořené vodní toky (kontaminace), úniky odpadních vody, zvýšené náklady na dodávky pitné vody

Povodně	Znečištění	Škody na majetku, lidské životy, zavlečení nemocí, zhoršená kvalita pitné vody
Nepůvodní invazivní druhy	Změny druhové početnosti, změny funkčních vlastností ekosystémů	Ztráty přírodních zdrojů a služeb, náklady na management
Urbanizace	Fragmentace krajiny, ztráta produkční schopnosti půdy, emise skleníkových plynů	Znečištění ovzduší, hluk
Kontaminace (staré ekologické zátěže, úniky nebezpečných látek)	Znečištění vodních toků a podzemních vod, zamoření potravního řetězce, ovzduší a půdy	Zdravotní riziko (akutní a chronické otravy)

4 Postup pilotního integrovaného hodnocení rizika v České republice

4.1 Vymezení rámce

Pro hodnocení rizik a dopadů se běžně používají různé metody. V případě prostorového hodnocení rizik vyplývajících z environmentálního ohrožení pro lidskou populaci je to například model „integrovaného hodnocení více různých ohrožení“, anebo model pro hodnocení „místního ohrožení“. Modely většinou využívají základní pseudorovnici: $R = N \times Z$ (riziko = nebezpečí x zranitelnost).

Těmto integrovaným hodnocením je společné začlenění antropogenních hrozeb a hrozeb vzešlých z přírodního prostředí. Pro samotný model hodnocení je důležité, aby jednotlivé zdroje rizika měly prostorové určení, resp. data s prostorovou referencí, které je možné zpracovat pomocí geografických informačních systémů (GIS) do finálního především mapového výstupu. Vzhledem k rozdílným charakteristikám (míra působení a dopadů, frekvence, apod.) jednotlivých zdrojů rizik je vhodné je klasifikovat samostatně. Pro integrované hodnocení rizik neexistuje žádná spolehlivá metodologie, jaké dávat jednotlivým hrozbám váhy podle důležitosti, proto jsou v analýze považovány za stejně významné.

Pro potřeby hodnocení rizika pro dodávky a poskytování ekosystémových služeb - se zdá jako nejvhodnější vyjít z metod integrujících různé zdroje rizika a případně je ještě upravit a doplnit o indikátor hodnoty ekosystémových služeb. Ohrožení

představuje v modelu expozici, tedy zdroj rizika pro strukturu a fungování ekosystémů (resp. konkrétní krajinný pokryv), který představuje základní jednotku z hlediska mapování ekosystémových služeb a jejich hodnoty. Zdroje rizika představují rušivé faktory pro regionální ekosystémy, zranitelnost potom vyjadřuje míru citlivosti ekosystému vůči tomuto ohrožení.

4.2 Data a metody

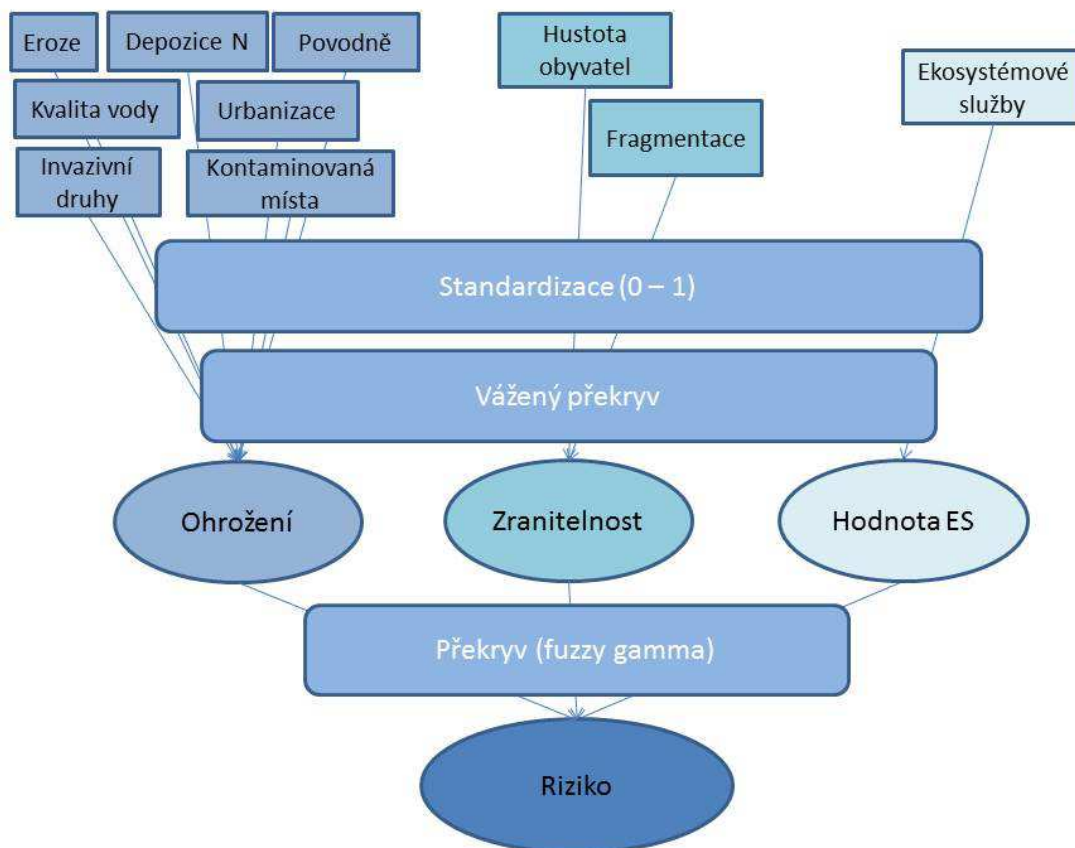
Pro analýzu ohrožení ekosystémových služeb lze využít různá zdrojová data rizik dostupná pro ČR. Přehled zdrojových dat shrnuje Tabulka 2. Přehled použitých indikátorů a dat pro analýzu environmentálních rizik pro poskytování ekosystémových služeb.

Tabulka 2. Přehled použitých indikátorů a dat pro analýzu environmentálních rizik pro poskytování ekosystémových služeb.

	Data
Ohrožení	Eroze (Průměrný roční erozní smyv)
	Kvalita vody (BSK5)
	Depozice dusíku (Celková depozice dusíku)
	Povodně (Frekvence opakování povodně)
	Invazivní druhy (% zastoupení invazivních druhů na (polo-) přírodním stanovišti)
	Urbanizace (% změna plochy krajinného pokryvu na urbánní)
	Kontaminovaná místa (stupeň ohrožení)
Zranitelnost	Hustota obyvatelstva (počet obyvatel/ km ²)
	Fragmentace (% zastoupení přírodního pokryvu v oblasti 25 x 25 km)
Ekosystémové služby	Celková hodnota ekosystémových služeb (EUR/ha/rok) (KVES)

Pro zranitelnost konkrétního území lze použít data o hustotě obyvatelstva a fragmentace krajinného pokryvu (% pokryvu přírodní vegetací v rámci 25 x 25 km). Ekosystémové služby jsou v analýze zastoupeny prostřednictvím dat o celkové hodnotě služeb určitého krajinného pokryvu.

Vzhledem k rozdílnému původu a zdroji dat (např. invazivní druhy: grid 250 m, bodová data kontaminovaných míst, data erozního ohrožení: grid 1 km,...) je nutné data sjednotit na stejný 1 km grid pro celé území České republiky. Jako celková hodnota ES se uvažuje průměr z hodnot v určitém čtverci gridu pro všechny dostupná data. V případě, že se v dané buňce nachází krajinný pokryv s neznámou hodnotou, pro další výpočty je tato neznámá ignorována.



Obrázek 2. Schéma postupu analýzy rizika pro poskytování ekosystémových služeb.

Standardizace dat

Pro přímé srovnání indikátorů je nutné data k jednotlivým zdrojům rizik nejprve standardizovat na škálu 0 až 1,00 (čím vyšší hodnota, tím vyšší ohrožení; resp. zranitelnost, hodnota ES). V případě, že se jedná o data, která již byla nějakým způsobem kvalitativně klasifikována – invazivní druhy, povodně, kontaminovaná místa – byla pro jednotlivé míry ohrožení nejdříve použita odpovídající číselná hodnota (1-5), která byla poté také stejným způsobem standardizována. Stejným

způsobem se standardizují i data o hustotě obyvatel, fragmentace a celkové hodnoty ES.

$$s = \frac{x - \min_x}{\max_x - \min_x} \quad (1)$$

(x je původní nestandardizovaná hodnota, \min_x je minimum a \max_x je maximum z celého souboru dat konkrétního ohrožení; resp. dílčí součásti zranitelnosti)

Celková monetární hodnota ES se standardizuje podle maximální celkové hodnoty ES a pro každou část gridu vypočítá podle váženého průměru vzhledem k procentuálnímu zastoupení konkrétního krajinného pokryvu.

Vlastní hodnocení

Pro složení celkového ohrožení (zranitelnosti) se použije vážený překryv se stejnými váhami jednotlivých indexů (pomocí ArcGIS) představujících dílčí součásti ohrožení (zranitelnosti). Po standardizaci se z původních dat vypočítají dílčí indikátory O (ohrožení) a Z (zranitelnost) (rovnice (2)-(4)): E (eroze), KV (kvalita vody), DD (depozice dusíku), P (povodně), ID (invazivní druhy), U (urbanizace), KM (kontaminovaná místa), HO (hustota obyvatelstva), FK (fragmentace krajiny). Indikátor hodnoty ekosystémových služeb (HES) je přímo roven CHES (celková hodnota ekosystémových služeb) a není třeba dalších matematických operací.

$$O = E + KV + DD + P + ID + U + KM \quad (2)$$

$$Z = HO + FK \quad (3)$$

$$HES = CHES \quad (4)$$

Celkové environmentální riziko pro poskytování ekosystémových služeb je pak funkcí ohrožení, zranitelnosti a ekosystémových služeb a vypočítá se takto (rovnice (5)):

$$R = f(O, Z, HES) = \mu_{\text{sum}}^{\gamma} \cdot \mu_{\text{product}}^{\gamma-1} \quad (5)$$

Kde μ_{sum} je fuzzy součet, μ_{product} je fuzzy součin, γ je parametr (rozsah 0-1). Pro stanovení celkového rizika se vychází s předpokladu, že největší riziko je v oblastech, kde dochází k výskytu a prostorovému překryvu oblastí s vysokými

hodnotami (ohrožení, zranitelnost, ekosystémové služby). Výsledné riziko je logicky nejvyšší v oblastech, kde jsou zranitelnost, ohrožení a hodnota ES nejvyšší.

Analýza hot-spots

V rámci analýzy hot-spots (případně „cold-spots“, tedy míst kde je celkové riziko nejmenší) je nutné nejdříve zjistit, zda se data výsledného rizika shlukují, nebo jsou náhodně či rozptýleně rozmístěna. Pro tyto výpočty se běžně zjišťuje Getisovo G_i , Gearyho C , nebo globální Moranovo I . Díky výsledné hodnotě statistiky a odpovídajícímu z -skóre na určité hladině významnosti lze zamítnout nulovou hypotézu o náhodném uspořádání dat. V našem případě bylo použito Moranovo I :

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (6)$$

Kde z_i je odchylka indikátoru pro I z průměru ($x_i - \bar{X}$), $w_{i,j}$ je prostorový vážený indikátor pro hodnotu mezi i and j , n se rovná celkové hodnotě všech veličin, a S_0 je agregovaná hodnota všech prostorových vážených hodnot:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (7)$$

Z_i -skóre se vypočítá podle:

$$z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (8)$$

Kde:

$$E[I] = -\frac{1}{n-1} \quad (9)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (10)$$

Obecně, hodnoty Moranova I blízko $+1$ naznačují shlukování, na druhou stranu hodnoty blízko -1 vypovídají o náhodnosti.

Aby bylo místo důležitý a významný hot spot musí být také prostorově obklopeno dalšími místy s vysokým rizikem (analogicky pro cold-spots). Pro zjištění lokální autokorelace se využívá Getis-Ordovo G_i^* popřípadě výpočet lokálního Moranova I . Lokální autokorelace je oproti globální více zaměřená na distribuci lokální heterogenity a dokáže lépe testovat vztahy regionálních fenoménů na lokální úrovni

(měřítko) a přilehlých oblast. Pro výpočty statistiky Getis-Ord G_i^* byl opět použit ArcGIS toolbox:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (11)$$

Kde x_j je atribut hodnoty pro veličinu j , $w_{i,j}$ je prostorový vážený indikátor pro veličiny mezi i a j , n je celkový počet veličin:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (12)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (13)$$

Výsledkem G_i^* statistiky je z-skóre. Hot-spot je tedy určen statisticky významnými hodnotami z-skóre, kde je intenzivní shlukování naznačeno jeho vysokými hodnotami. Na druhou stranu, cold-spot je tvořen statisticky významnými zápornými hodnotami z-skóre, kde je intenzivní shlukování naznačeno jeho nízkými hodnotami.

5 Mapová aplikace a software

Mapová aplikace a software přímo odráží vlastní analýzu hodnocení rizika v ČR. Byla vyvinuta specializovaná mapová aplikace dostupná na adrese <http://envisec.cenia.cz>. Mapová aplikace a software doprovází metodiku, protože umožňuje praktické použití a zobrazení výsledků pro širší (odbornou) veřejnost - přiblížit se na libovolné zájmové území, ovládat zobrazení vrstev podle potřeby a vytvářet si vlastní mapové kompozice kombinací různých tematických a podkladových vrstev a jejich prolínání. Tematické vrstvy odpovídají výsledným mapovým vrstvám z předchozí analýzy rizika, ohrožení a zranitelnosti. Aplikace umožňuje i zobrazení podkladových referenčních dat, jimiž jsou popisky, ortofotomapa, automapa a stínovaný reliéf.

Stěžejními mapami jsou vrstvy vytvořené prostorovými analýzami vstupních dat pocházejících od nejrůznějších poskytovatelů dat, zařazené pod záložku Mapy rizik: Celkové riziko, které představuje expozici dodávek ekosystémových služeb k environmentálním rizikům jako je znečištění, přírodní ohrožení a dopady

antropogenních aktivit. Je výchozí mapou, která se zobrazí po spuštění aplikace; Hodnota ekosystémových služeb, která představuje součet všech ekosystémových služeb pro konkrétní krajinný pokryv v určitém území; Hot-spots, která zobrazuje nejen místa s vysokou (resp. nízkou) mírou environmentálního rizika pro poskytování ekosystémových služeb, ale i nadto označují území, kde se prostorově tato místa významně shlukují; Ohrožení ekosystémů kombinuje různé environmentální zdroje rizik jako je znečištění (depozice dusíku, kvalita vody), přírodní ohrožení (eroze, povodně, invazivní druhy) a dopady antropogenních aktivit (urbanizace, kontaminovaná místa); Zranitelnost ekosystémů vystihuje citlivost vůči vnějším faktorům, jako jsou vybrané environmentální zdroje rizik.

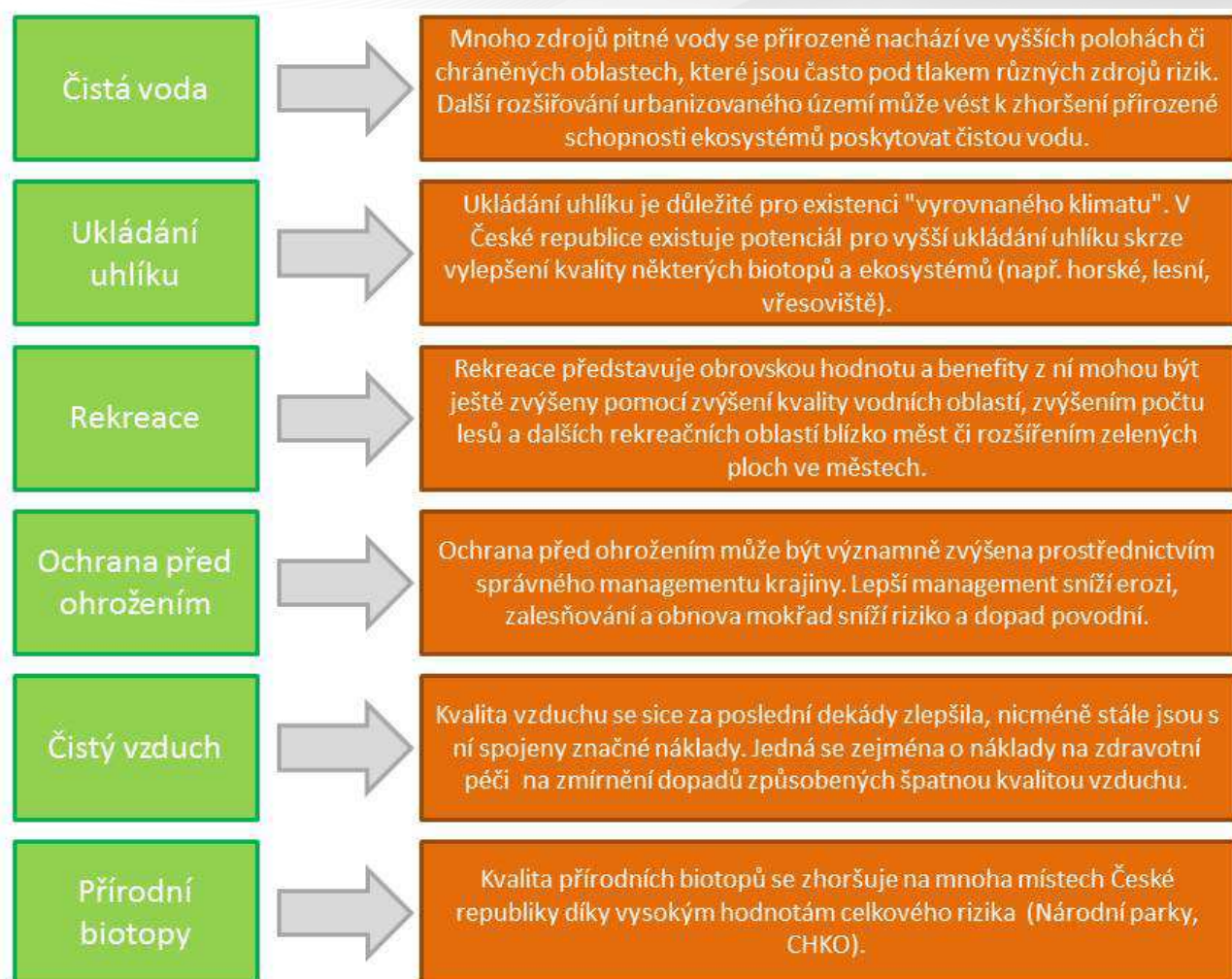
Záložka Toolboxy obsahuje nástroje a postupy pro zpracování vstupních dat do výsledných vrstev zobrazovaných mapovou aplikací. Pro každou výslednou vrstvu byl v softwaru Esri Model-Builder vytvořen soubor modelů, které obsahují jednotlivé kroky zpracování zdrojových dat. Hlavním účelem je umožnění polo-automatizované aktualizace výstupních vrstev. Model zajistí konzistentnost zpracování dat, jediným předpokladem je poskytnutí vstupních dat v modelem očekávaném formátu a struktuře.

Mapové služby využívané v aplikaci jsou publikovány ArcGIS Serverem využívaným v rámci Národního geoportálu INSPIRE. Kromě Esri REST a SOAP služeb jsou data EnviSec dostupná i prostřednictvím standardizované WMS/INSPIRE prohlížečské služby. Každý uživatel si služby může připojit do libovolného GIS software podporujícího některý z publikovaných formátů služeb a vytvářet si z nich vlastní mapové kompozice.

Aplikace je postavena nad REST službami ArcGIS Serveru a byla napsána v prostředí Adobe Flash Builder v jazyku Actionscript s využitím Esri Flex API (*Application Programming Interface*) pro ArcGIS Server. Pro uživatele se aplikace jeví jako jakákoliv jiná flashová aplikace, potřebuje tedy ke svému běhu v prohlížeči nainstalované rozšíření Adobe Flash Player. Výhodou tohoto řešení jsou stejný vzhled a funkčnost aplikace napříč různými platformami (Windows, Mac OS X, Linux), o které se stará právě Flash Player.

6 Stav v České republice

Hodnota přírodního kapitálu pro lidskou společnost spočívá v benefitech a užitcích, které poskytuje. Například díky samočisticí schopnosti vodních toků a půdy nejsou třeba vysoké náklady čistou vodu. Některé z těchto užitků jsou však pod narůstajícím tlakem z nejrůznějších zdrojů rizik (Obrázek 3. Užitky z ekosystémových služeb, které jsou spojeny s vysokým rizikem.).



Obrázek 3. Užítky z ekosystémových služeb, které jsou spojeny s vysokým rizikem.

Na základě pilotního hodnocení environmentálního rizika pro poskytování ekosystémových služeb a uvážení vazeb ekosystémů na benefity, které lidská společnost získává, bylo ohodnoceno riziko dopadu, kdy by došlo ke změně v kvalitě, kvantitě a prostorové konfiguraci dotčených ekosystémů (podle NCC 2014).

Tabulka 3. Ohodnocení rizika pro závislost hlavních užitků a benefitů z ekosystémů v České republice. Červená barva vyjadřuje vysoké riziko, oranžová střední a zelená nízké.

EKOSYSTÉMY / BENEFITY	Zemědělské	Lesní	Travné	Mokřady	Vodní	Městské
Potrava, vlákna						
Čistá voda						
Čisté ovzduší						
Rekreace						
Estetika						
Ochrana před ohrožením						
Stálé klima						

7 Stanovení bezpečnostních standardů pro ekosystémy

Přístup k integraci indikátorů a standardů do podoby škály

Jedním z cílů metodiky je i navrhnout a ověřit integrované hodnocení environmentální bezpečnosti tak, aby uživatel výsledků tohoto hodnocení snadno přijal opatření, která by vedla buďto k postupné eliminaci rizik, tam kde je to možné, či ke snížení dopadů rizik z poškození ekosystémů a ekosystémových služeb na životní prostředí. Integrované hodnocení lze provést tak, že dílčí indikátory a k nim stanovené dílčí standardy budou integrovány do složených indikátorů/indexů a následně převedeny na jednotnou škálu, jež umožní složené indexy a standardy integrovat do výsledného indexu environmentální bezpečnosti.

Celý postup začíná integrací ukazatelů. K té existují v zásadě dva přístupy: Prvním přístupem je tzv. **agregace indikátorů**, druhým pak **tvorba indexů**. Agregací rozumíme zpravidla sumaci hodnot jednotlivých indikátorů, které spolu nějakým způsobem souvisejí a pro něž vytváříme jeden složený indikátor nazývaný agregovaný indikátor. K takovému sloučení může dojít za předpokladu, že agregované indikátory mají stejnou jednotku. Pokud by tedy šlo např. o vytvoření standardu pro množství celkové biomasy v povrchových vodách, pak bychom sčítali hodnoty (hmotnosti, objemy) jednotlivých součástí biomasy. Takové agregované ukazatele a k nim příslušející standardy se však v navržené sadě nevyskytují.

Častějším přístupem, který je užíván při tvorbě složených indexů, je tvorba specifického algoritmu, který umožní sloučit dohromady indikátory, které postihují více faktů vztahujících se k dané problematice. Takové indikátory nemívají stejnou jednotku a mohou být i bezrozměrné. Bezrozměrný je pak zpravidla výsledný složený indikátor, který je nazýván indexem.

Příkladem použité integrace je tvorba multimetrických indexů pro určení třídy kvality povrchových vod. Algoritmus, kterým je tento index zpracován (např. pro fytoplankton), vychází ze 4 dílčích indikátorů, pro něž je stanoven standard nejvyšší a nejnižší kvality (horní a dolní mez). Standard je nejprve první kalkulací převeden na tzv. EQR index a ten další kalkulací na MMI index (indexy saprobity). Podobně je postupováno v případě dalších biologických ukazatelů kvality povrchových vod – fytozobentosu a makrozoobentosu.

Integrace indikátorů pomocí matematických algoritmů má však své limity. Čím více indikátorů má být integrováno do složeného indikátoru či indexu, pro něž má být vytvořen složený (celkový, výsledný) standard, tím složitější je najít správný algoritmus. Jestliže pak má být hodnocen celý komplexní systém jakým je např.

ovzduší či voda, nebo dokonce poškození ekosystému, pak je to prakticky nemožné. Přesto je nutné nějakým způsobem vyhodnotit celkový stav dané složky prostředí. Kde selhává schopnost vytvořit algoritmus integrace indikátorů (i standardů), tam pak zpravidla nastupuje nutnost kvalitativního popisu daného tématu. Takový popis se pak snaží maximálně zohlednit již navržené hodnoty standardů vztahované k indexům. Pro odlišení jednotlivých stupňů kvality systému má popis zpravidla formu ordinální škály.

Ordinální škála umožňuje fakta podle sledované vlastnosti nejen rozlišovat, ale také uspořádat. Nelze tedy mezi sousedními hodnotami vyjádřit vzdálenost, hodnoty však lze seřadit a určit relaci mezi dvojicemi ve smyslu vztahů "je větší / je menší" nebo "předchází / následuje".

Jednotlivé pětistupňové škály reflektují závažnost rizika tak, aby jednotlivá rizika identifikovaných faktů byla vzájemně porovnatelná. Tedy, pokud nabývají dva různé fakty na této škále stejného stupně, měly by pro ekosystém představovat přibližně shodně závažné riziko jeho narušení. Pokud je např. index eroze půdy stanoven na 2. stupni škály a ekologický stav vody je vyhodnocen jako velmi dobrý, což představuje rovněž 2. stupeň škály, pak celkové poškození ekosystému (stávající či očekávané) je rovněž na 2. stupni.

Je však nutné podotknout, že vzhledem k tomu, že přístup ke tvorbě standardů je velmi různorodý a míru poškození ekosystému či ekosystémové služby není možné jednoduše určit, existuje zde nejistota v nastavení stupňů škály. Není proto účelné zavádět příliš mnoho bodů na škále, protože čím by byla škála podrobnější, tím větší by byla nejistota se stanovením míry rizika na škále. Pět stupňů je tak přijatelným kompromisem mezi požadavkem na dostatečnou podrobnost a s tím spojenou interpretovatelností každého stupně a náročností stanovení parametrů škály pro jednotlivá rizika.

Tabulka 4 Přehled navržených standardů pro jednotlivé stupně na škále environmentální bezpečnosti.

Stupeň na škále environmentální bezpečnosti	Název stupně	Kvalitativní popis
1	Standard	Jedná se stav, kdy ekosystému či ekosystémové službě nehrozí žádné, velmi malé, nebo pouze přirozené narušení zpravidla vratné povahy. Ekosystém či jeho služba se tedy nachází ve stavu blízkém přírodním podmínkám, tedy bez zásahu člověka. Tento stupeň odpovídá standardu environmentální bezpečnosti. Jakékoliv překročení tohoto standardu se projeví hodnocením na vyšším stupni této škály.
2	Mírná závažnost rizika	V tomto stavu je pravděpodobnost závažného poškození ekosystému či jeho služby stále nízká, již je ale pravděpodobné mírné poškození ekosystému. Znamená to např., že je vysoká pravděpodobnost, že v ekosystému nebudou plně zastoupeny všechny přirozené druhy, či jejich početnost bude nižší (platí zejména pro druhy s nízkou ekologickou valencí), případně, že ekosystémová služba nebude zcela plnit svou funkci.
3	Střední závažnost rizika	Pravděpodobnost závažného poškození ekosystému narůstá a je téměř jisté nezávažné poškození ekosystému či ekosystémové služby. Dochází k překročení více standardem stanovených hodnot. Společenstva organismů jsou více narušena a středně se odchylují od přírodních společenstev – druhová rozmanitost klesá. Ekosystémová služba je významněji narušena.
4	Vysoká závažnost rizika	Ekosystém může v těchto podmínkách existovat, je ale velmi pravděpodobné, že je nebo bude vážně poškozen. Hodnoty většiny ukazatelů překračují standardem stanovené hodnoty. Společenstva se podstatně liší od společenstev přírodních.
5	Extrémní závažnost rizika	Je téměř jisté, že ekosystém již není schopen v takových podmínkách existovat a bude vážně poškozen nebo zcela zničen.

Použitá literatura

Bobbink R, Hicks K, G.J., 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecol. Appl.* 20, 30–59.

Brown, I., Ridder, B., Alumbaugh, P., Barnett, C., Brooks, A., Duffy, L., et al. (2011). Climate change risk assessment for the biodiversity and ecosystem services sector. Final Report to Defra - UK Climate Change Risk Assessment, 471, 51–57.

ČHMÚ (2011). Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí výsledků projektu 2007-2011. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Collins, T.W., Grineski, S.E., Aguilar, M. de L. R., (2009). Vulnerability to environmental hazards in the Ciudad Juarez (Mexico) – El Paso (USA) metropolis: A model for spatial risk assessment in transnational context, *Applied Geography* 29:448-461.

Cutter, S.L., Mitchell, J.T., Scott, M.S., (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4):713-737.

EEA (2014). Air quality in Europe – 2014 report. EEA, Copenhagen.

Faber, J.H., van Wensem, J., 2012. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soils. *Sci. Total Environ.* 415, 3–8.

Frélichová, J., Vačkář, D., Pártl, A., Loučková, B., Harmáčková, Z. V., 2014. Integrated assessment of ecosystem services in the Czech Republic. *Ecosystem Services* 8, 110–117.

Getis, A., Ord, J.K., 1992. The Analysis of Spatial Association 24.

Greiving, S., Fleischhauer, M., & Luckenkotter, J. (2006). A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards. *Journal of Environmental Planning and Management*, 49(1), 1–19.

Greiving, S. et al. (2011). ESPON Climate. Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies, ESPON.

http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIM ATE/inceptionreport_final.pdf

- Grimm, M., Jones, R., Montanarella, L., (2001). Soil erosion risk in Europe. Ispra.
- Grulich, V. (2012). Red List of vascular plants of the Czech Republic: 3rd edition. *Preslia* 84(3), 631–645.
- Chytrý et al. (2009). Maps of the level of invasion of the Czech Republic by alien plants. *Preslia*, 8, 187–207.
- Chytrý, M., Wild, J., Pyšek, P., Jarošík, V., Dendoncker, N., Reginster, I., Pino, J., et al. (2012). Projecting trends in plant invasions in Europe under different scenarios of future land-use change. *Global Ecol. Biogeogr.* 21, 75–87.
- Langhammer, J. (2010). Water quality changes in the Elbe River basin, Czech Republic, in the context of the post-socialist economic transition. *GeoJournal* 75 (2), 185-198.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., Kaspar, F., 2006. Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. *Clim. Change* 75, 273–299.
- Liu, Y., Li, J., Zhang, H., 2012. An ecosystem service valuation of land use change in Taiyuan City, China. *Ecol. Modell.* 225, 127–132. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.11.017
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing*:
- McCLEAN, C.J., Berg, L.J.L., Ashmore, M.R., Preston, C.D., 2011. Atmospheric nitrogen deposition explains patterns of plant species loss. *Glob. Chang. Biol.* 17, 2882–2892.
- Natural Capital Committee (NCC) (2014). *The State of Natural Capital: Restoring our Natural Assets*. Second report to the Economic Affairs Committee. London.
- Plesník, J., Hanzal, V., Brejšková, L. (Eds.), 2003. Červený seznam ohrožených druhů České republiky: obratlovci. Red List of Threatened Species in the Czech Republic: Vertebrates. *Příroda* 22.
- Pyšek, P., Chytrý, M., Pergl, J., Sádlo, J., Wild, J. (2012). Plant invasions in the Czech Republic: current state, introduction dynamics, invasive species and invaded habitats. *Preslia* 84, 575-629.
- Sandvik, H., Sæther, B.-E., Holmern, T., Tufto, J., Engen, S., Roy, H. (2013). Towards a generic ecological impact assessment of alien species in Norway: a semi-quantitative set of criteria. *Biodiversity and Conservation* 22, 37-62.

Shi, Z.H., Ai, L., Fang, N.F., Zhu, H.D., 2012. Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: A case study in the Three Gorges Area, China. *J. Hydrol.* 438, 156–167.

TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2013). Guidance Manual for TEEB Country Studies. Version 1.0.

Tesař, J. Sanace ekologických zátěží jsou nákladné, ale nutné. ASB-portal. Odborný stavební portál. <http://www.asb-portal.cz/architektura/stavby-a-budovy/brownfieldy/sanace-ekologickych-zatezi-jsou-nakladne-ale-nutne>. 26.11.2013.

Tetzlaff, B., Friedrich, K., Vorderbrügge, T., Vereecken, H., Wendland, F., 2013. Distributed modelling of mean annual soil erosion and sediment delivery rates to surface waters. *CATENA* 102, 13–20.

Thomsen, M., Faber, J.H., Sorensen, P.B., 2012. Soil ecosystem health and services – Evaluation of ecological indicators susceptible to chemical stressors. *Ecol. Indic.* 16, 67–75.

VÚV TGM, 2011. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i., Praha, 91 str.

Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R., Kernan, M., Wade, A. (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences* 54, 101–123.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., 2003 *At Risk – Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge, London.

Wu, K., Ye, X., Qi, Z., Zhang, H., 2013. Impacts of land use/land cover change and socioeconomic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China. *Cities* 31, 276–284.

Xie, H., Wang, P., Huang, H., 2013. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang Lake Eco-economic Zone, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10, 328–46.