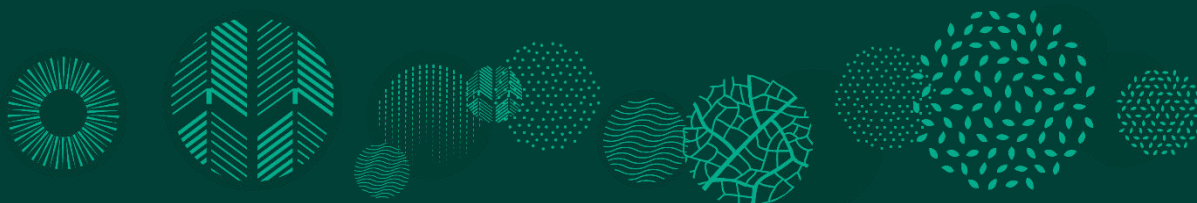


PODKLAD PRO ZPRACOVÁNÍ ANALÝZY MZCHÚ V PODMÍNKÁCH KLIMATICKÝCH ZMĚN



**Metodika postupu určení rizik
a zranitelnosti v maloplošných zvláště
chráněných územích v souvislosti
s dopady změny klimatu**



OBJEDNATEL

Moravskoslezský kraj
28. října 117, 702 00 Ostrava

ZHOTOVITEL

Ostravská univerzita
Dvořákova 138/7, 702 00 Ostrava

AUTOR

Jan Hradecký

DATUM

31.1.2023



T A
Č R

1 OBSAH

1	Obsah	2
2	Úvod	4
2.1	Účel metodiky	4
2.2	Základní pojmy	5
3	Změna klimatu, ochrana přírody a zranitelnost	6
3.1	Širší kontext dané problematiky	6
3.2	Ochrana přírody, ekosystémové funkce a zranitelnost	6
4	Hodnocení zranitelnosti	10
4.1	Schéma pracovního postupu	12
4.2	Predikce vývoje hlavních klimatických charakteristik	14
4.2.1	Metodická východiska a zdroje dat.....	14
4.2.2	Predikce vývoje hlavních klimatických charakteristik – návrh metodického postupu....	15
4.3	Funkce krajiny a Předmět ochrany ve MZCHÚ	19
4.3.1	Funkce krajiny - předmět ochrany - východiska	19
4.3.2	Stanovení hlavních funkcí krajiny a skupin předmětů ochrany ve MZCHÚ	21
4.4	Hlavní typy biotopů	23
4.5	Identifikace hlavních rizik pro jednotlivé funkce krajiny a biotopy	23
4.5.1	Charakteristika možných rizik pro jednotlivé funkce krajiny a biotopy v rámci MZCHÚ	23
4.5.2	Hodnocení rizik v řešeném MZCHÚ	24
4.6	Návrh adaptačních opatření pro hlavní rizika a dopady	24
4.7	Monitorování změn klimatu prostřednictvím rostlinných indikačních modelových druhů	25
4.8	Monitoring živočišných druhů v souvislosti s klimatickou změnou	25
4.9	Komentář k odhadovaným ekonomickým nákladům pro uplatnění jednotlivých metodických kroků	25
5	Souhrn	27
6	Použité zdroje literatury	28
7	Příloha č. 1: Šablona pro provedení predikcí vývoje klimatu, hodnocení zranitelnosti a návrhu adaptačních opatření	31
8	Příloha č. 3: Vybrané metodické postupy pro hodnocení dopadů a rizik ve vybraných zájmových oblastech	32
8.1	Hodnocení změn klimatu prostřednictvím rostlinných indikačních modelových druhů	32
8.2	Zpracování dopadů změn klimatu na vybrané povodí.....	39
8.3	Stanovení empirických kritických zátěží dusíku jako indikátoru rizika změny biodiverzity lesního porostu	41
8.4	Zranitelnost lesních porostů s ohledem na predikované změny klimatu	41
8.5	Zranitelnost vybraných hydrobiocenóz na predikované změny klimatu	42

2 ÚVOD

Metodika vychází z metodiky aplikované na velkoplošná ZCHÚ (podpořené projektem Technologické agentury ČR, Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON) projektu č. TH02030509 „Identifikace zranitelnosti a možnosti podpory přirozených funkcí krajiny v podmínkách změněného klimatu ve velkoplošných zvláště chráněných územích.“ Na základě objednávky Krajského úřadu Moravskoslezského kraje byla tato metodika upravena pro potřeby managementu maloplošných ZCHÚ a reflektuje postupy a nároky zpracování plánů péče stanovené AOPK ČR (viz Osnova plánů péče, AOPK ČR, 2019). Velmi důležitou otázkou tvorby plánů péče o MZCHÚ a jejich managementu je respektování procesů, které se v krajině odehrávají v souvislosti s globální klimatickou změnou. Je zřejmé, že v souvislosti s měnícím se klimatem dojde a v mnoha případech již dochází ke změně i dalších parametrů prostředí. Důsledkem je potenciální ohrožení předmětu ochrany a funkce maloplošných ZCHÚ. Moderní ochrannářský management si musí být těchto změn prostředí vědom a měl by na probíhající klimatické změny a jejich dopady do ekosystémů reagovat, a to i implementací moderních poznatků do základních koncepčních dokumentů, kterými jsou plány péče. Reálné projevy měnícího se klimatu v MZCHÚ je možné identifikovat prostřednictvím monitoringu (parametrů abiotického prostředí, charakteristik populací apod.). Modely popisující vývoj klimatické změny v budoucnosti by měly být, vzhledem ke střednědobé strategii správy chráněných území, zahrnuty do úvah a přípravy budoucích managementových opatření.

2.1 ÚČEL METODIKY

Smyslem metodiky je koncepce rámcového **zhodnocení zranitelnosti předmětů ochrany (biotopů, ekosystémů, populací) vůči dopadům změny klimatu v rámci maloplošných zvláště chráněných území ve správě MSK**. Vlastní hodnocení slouží jako podklady pro další koncepční práci v území, zejména plánování péče v území, přípravu plánu péče, popř. vyjadřování se k územně-plánovací dokumentaci, vydávání stanovisek apod.

Metodika je primárně určena správcům území MZCHÚ, popřípadě zpracovatelům hodnocení nebo podkladů pro plány péče MZCHÚ. Vzhledem k různorodosti předmětů ochrany je nutné trvat na participaci specialistů v jednotlivých biologických a environmentálních oborech, aby bylo možné odhalit potenciální zvláštnosti v reakci jednotlivých skupin organismů nebo abiotických předmětů ochrany na projevy klimatické změny. Předložená metodika rozhodně nedisponuje instantní a automatizovanou formou hodnocení a interpretace, ale vyžaduje hlubokou znalost ekologie.

Základním předpokladem je, že metodika bude správcům poskytovat účelný nástroj pro správu území a s úzkým propojením na obsah plánů péče případně zásad péče a s respektem ke všem platným legislativním nástrojům řízení a správy MZCHÚ.

Výsledky metodiky by měly přispět k lepšímu poznání problematiky změn klimatu ve vztahu k ochraně přírody, přinést uživatelsky přístupný nástroj pro hodnocení zranitelnosti a přispět k návrhu systémových kroků k udržení nebo optimalizaci péče o předměty ochrany v zájmovém území. Tyto výstupy je možno využívat např. jako podklad pro plány péče MZCHÚ, konkrétně pro rozborovou část při analýze činitelů ovlivňujících předměty ochrany a v návrhové části následně při stanovování návrhů zásad správy MZCHÚ.

Nedílnou základní součástí metodiky je také soubor „Priloha 1_metodika_sablona.xlsx“, který je hlavní přílohou a slouží pro hodnocení zranitelnosti konkrétního zvláště chráněného území. Dílčí pasáže tohoto metodického postupu se odkazují právě na tuto přílohu.

Vzhledem k pestrosti zastoupených chráněných fenoménů je nutné, aby byly zohledněny další metodické postupy, které obsahují níže uvedené metodiky, jejichž znalost pro hodnotitele je vhodným komplementárním doplňkem (výčet vhodných metodik a pokynů není kompletní a vzhledem k předmětu ochrany a času může být rozšiřován):

1. Kolektiv, 2019: Metodický pokyn sekce ochrany přírody a krajiny MŽP k přípravě a zpracování plánů péče o národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, národní přírodní památky, přírodní památky a jejich ochranná pásma“. MŽP ČR, 2019.
2. Kolektiv, 2016: Příprava a zavedení sledování stavu předmětů ochrany evropsky významných lokalit, ČZU, Ekologické služby, s.r.o.
3. Kolektiv, 2021: Metodika hodnocení vlivu vysychání toků na biodiverzitu tekoucích vod pro cílené navrhování zásahů a opatření k omezení negativních dopadů vysychání toků na biodiverzitu, Masarykova univerzita.

2.2 ZÁKLADNÍ POJMY

Níže uvádíme (na základě Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR) základní pojmy, se kterými je v rámci dané problematiky pracováno nebo se v oblasti managementu a klimatické změny běžně používají:

- **Adaptace na změnu klimatu** – Dle IPPC (2014): „Proces přizpůsobení se aktuálnímu nebo očekávanému klimatu a jeho účinkům. Tento proces se skládá z preventivních opatření, opatření pro zvyšování odolnosti systému, přípravných opatření, reakce na nepříznivou událost a aktivit vedoucích k obnovení funkce systému.
- **Adaptační opatření** – Soubor možných opatření v rámci přírodního nebo antropogenního systému vůči skutečné nebo předpokládané změně klimatu a jejím dopadům.
- **Katastrofa** – Závažné přerušování fungování společnosti zahrnující škody a dopady, které není schopna zvládnout vlastními prostředky. Ve smyslu legislativy ČR je pojem katastrofa chápán a užíván jako krizová situace.
- **Klimatická změna/změna klimatu** – Změna stavu klimatického systému, kterou lze identifikovat prostřednictvím změn jeho vlastností po dobu alespoň několika desetiletí, bez ohledu na to, je-li vyvolána přirozenými změnami nebo lidskou činností nebo také veškeré změny klimatu, včetně jeho
 - přirozené variability.
- **Mimořádná událost** – Škodlivé působení sil a jevů vyvolaných činností člověka, přírodními vlivy, a také havárie, které ohrožují život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a vyžadují provedení záchranných a likvidačních prací [viz Zákon č. 239/2000 Sb., § 2, písmeno b)].
- **Mitigace/mitigační opatření** – V kontextu změny klimatu je mitigace soubor opatření ke snížení emisí, působení člověka na snižování zdrojů emisí (skleníkových plynů) a zvyšování jejich propadů.
- **Resilience** – 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.
- **Riziko** – Pravděpodobnost výskytu nežádoucí události s nežádoucími následky.
- **Zranitelnost** – Zranitelnost je míra vnímavosti určitého systému na nepříznivé účinky změny klimatu, včetně klimatické variability a extrémních jevů, nebo míra neschopnosti těmto účinkům čelit. Zranitelnost závisí na charakteru, závažnosti a rychlosti změny klimatu a kolísání, jemuž je systém vystaven, jeho citlivosti a jeho schopnosti adaptace. (dle MŽP, 2015)

3 ZMĚNA KLIMATU, OCHRANA PŘÍRODY A ZRANITELNOST

3.1 ŠIRŠÍ KONTEXT DANÉ PROBLEMATIKY

Změny klimatu a jejich dopady na úrovni ČR byly v posledních letech řešeny v rámci několika projektů. Podrobně se jim věnoval např. projekt „**Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření**“ (Pretel, 2011). Projekt byl zaměřen na zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů vývoje klimatu na území ČR pro období v časových horizontech 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099.

Dále je zde projekt **Czechadapt – tj. systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a území ČR**. Výstupy tohoto projektu jsou přehledně uvedeny na webových stránkách www.klimatickazmena.cz.

Dopadům změny klimatu a zejména adaptacím v zastavěných územích se věnuje projekt **UrbanAdapt**, v rámci kterého byly také zpracovány predikce vývoje změn klimatu. Ty jsou shrnuty v publikaci **Výstupy regionálních klimatických modelů na území ČR pro období 2015 až 2060** (Belda, 2015).

V roce 2015 vznikl klíčový dokument pro národní úroveň, a to „**Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR**“, kterou připravilo MŽP. Z ní vychází také Národní akční plán adaptace na změnu klimatu (NAP).

Podkladem pro přípravu Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR a pro další rozhodování v jednotlivých sektorech byla také **Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015** (ČHMÚ, 2019).

Kontinuálně se rozšiřující zdroje informací o klimatické změně a adaptačních opatření přinášejí i specializované instituce a projekty v rámci ČR, ale i v zahraničí. Především lze doporučit výstupy ČHMÚ (<https://www.chmi.cz/>), Czech Globe, AV ČR v.v.i. (<https://www.czechglobe.cz/cs/>), nebo projekty Perun (<https://www.perun-klima.cz/>) nebo Intersucho (<https://www.intersucho.cz/>).

3.2 OCHRANA PŘÍRODY, EKOSYSTÉMOVÉ FUNKCE A ZRANITELNOST

Oblast ochrany přírody ve vztahu ke zranitelnosti byla řešena např. jako součást výše uvedené „**Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015**“ (Machar, 2019). Ta se zabývá touto problematikou na úrovni ČR. Z této studie zde uvádíme hlavní zestručněný souhrn vybraných informací pro potřeby uživatelů metodiky.

Redistribuce biodiverzity a degradace ekosystémů

Výrazné změny geografického rozšíření organismů vlivem globálních klimatických změn vedou k redistribuci biodiverzity v měřítku globálního ekosystému (biosféry) (tzv. *rangeshiftsof species*), která vede např. k degradaci stávajících ekosystémů. Dokumentované globální změny vegetačního pokryvu Země indikují bezprecedentní změny distribuce planetárních biomů, naprosto nesrovnatelné s jakýmkoliv jinými změnami globálního ekosystému od skončení poslední doby ledové (Gonzales et al. 2010). Tyto změny mohou směřovat ke vzniku nových společenstev a následně k rychlým změnám ekosystémových služeb.

U terestrických ekosystémů je pozorován výrazný globální trend v posunu areálů rozšíření směrem k pólům a do vyšších a klimaticky chladnějších nadmořských výšek. Průměrný posun geografických areálů druhů vlivem změny klimatu směrem k pólům činí 17 km za dekádu (Chen et al. 2011). Je pravděpodobné, že řada biologických druhů nebude schopna na změnu klimatu reagovat změnou areálu rozšíření (Warren et al. 2001), a to z vnitřních příčin (daných například přílišnou specializací

druhu v rámci ekosystému) nebo z vnějších příčin (jimiž mohou být například antropogenní bariéry pohybu druhů v krajině). Dosavadní mezidruhové interakce v rámci společenstev a ekosystémů jsou změnou klimatu narušovány v nebývalém rozsahu a nové ekologické interakce vznikají, např. neobvykle rychlým a úspěšným šířením některých invazních druhů (Walther et al. 2009).

Dopady změn klimatu na ekosystémové služby

Klimaticky podmíněná redistribuce biodiverzity může směřovat ke vzniku nových společenstev a následně k rychlým změnám ekosystémových služeb (Civantos et al. 2012). Významné ztráty se předpokládají zejména u zásobovacích ekosystémových služeb.

Ovlivnění přirozené sekvestrace uhlíku

Pravděpodobně nejvýznamnější ekosystémovou službou s přímým vztahem k biodiverzitě a změnám klimatu je ukládání uhlíku v ekosystémech. Terestrické ekosystémy jsou považovány za biologickou pumpu atmosférického uhlíku a současně i za jeho potenciální úložiště. I když část uhlíku vázaného fotosyntézou v ekosystému se přirozeně uvolní zase zpět do, značná část uhlíkové bilance ekosystémů je tvořena uhlíkem dlouhodobě deponovaným do živé i mrtvé biomasy organismů a do půdy. Tato schopnost je velmi významná pro zmírňování negativních dopadů globálních klimatických změn na lidskou společnost.

Čistá produkce ekosystémů (Net Ecosystem Production, NEP) vyjadřuje reálnou schopnost ekosystémů dlouhodobě vázat uhlík (a zmírňovat změnu klimatu). Z tohoto úhlu pohledu je podstatné, že biom opadavých lesů mírného klimatického pásma, v němž se nachází i Česká republika, byl identifikován jako významné uhlíkové úložiště (Janssens et al. 2003).

Ukládání uhlíku má bezprostřední vazbu na biodiverzitu ekosystémů. V agroekosystémech jsou zásoby uhlíku minimální a jejich udržení závisí na obsahu organické (uhlíkaté) hmoty v půdním prostředí, protože vyprodukovaná biomasa je zde pravidelně sklízena. V lesních ekosystémech, s velmi dlouhou produkční dobou (až 140 let u lesů s dominancí dubu) a s relativně vysokou biodiverzitou (tedy nikoliv v monokulturách s relativně nízkou biodiverzitou) jsou zásoby uhlíku značně vysoké.

Pro management ekosystémů v krajině v kontextu ochrany biodiverzity vyplývá několik závěrů:

- Pro podporu ukládání uhlíku v lesních ekosystémech ČR je snaha o dosažení cílové dřevinné skladby hospodářských lesů vyhovující strategií. Z hlediska zájmů vlastníků lesů se cílová druhová skladba lesů jeví jako vhodný kompromis mezi současným a přirozeným stavem, který realisticky není dosažitelný. Z hlediska udržení a obnovy biodiverzity lesní přírody představuje cílová dřevinná skladba v současných hospodářských lesích výrazně pozitivní cíl (Machar et al. 2012).
- Pro ukládání uhlíku v řízených agroekosystémech v zemědělské krajině je zásadní udržet a pokud možno nadlepšovat množství organických látek v půdě, což je možné pouze pomocí agrotechnických opatření zohledňujících zásady správné zemědělské praxe, zaměřené na udržitelnou péči o zemědělskou krajinu (Sluis et al. 2016).

Ovlivnění globálního cyklu dusíku

Ovlivnění cyklu dusíku je hodnoceno v synergii s globální změnou klimatu jako největší globální nepřítel biodiverzity (Cílek, 2009). Ekosystémy přirozeného bezlesí v Evropě dramaticky rychle zarůstají několika málo druhy bylin v důsledku přebytku dusíku, což souvisí se změnami v zemědělství. Lesy střední Evropy dnes dostávají desetinásobně více reaktivního dusíku než před sto lety, což v kombinaci se zvýšenou intenzitou fotosyntézy v důsledku globálního oteplování způsobuje neočekávaně rychlé přírůsty lesních stromů, ohrožující statickou i ekologickou stabilitu porostů (Pretzsch et al. 2014).

Rozsáhlé holiny, vznikající v některých regionech ČR v důsledku plošného hynutí smrků suchem a jako následek kůrovcové kalamity. Na holinách se dominantně prosazují nitrofilní druhy několika málo kompetičně silných bylin a keřů, které vytlačují původní lesní vegetaci a na ni vázaný hmyz.

Fragmentace ekosystémů

Procesy změny klimatu a fragmentace spolu souvisí na úrovni metapopulací a druhových areálů rozšíření. V krajinách s relativně vysokou mírou fragmentace, která znemožňuje fungování

metapopulační dynamiky většiny druhů, je posun geografických areálů druhů vlivem změny klimatu zablokovan a tento stav vede k lokálnímu až regionálnímu vymírání druhů.

Změna fenofází

Nárůstem teplot dochází k výrazné změně fenofází u mnoha druhů rostlin a živočichů. Řada druhů motýlů se líhne o týden dříve, objevují se studie o masivním poklesu biomasy hmyzu v chráněných územích, tažní ptáci přilétají na hnízdiště o několik týdnů dříve, začátek hnízdění ptáků je časnější atd.

Ohrožení přírodních stanovišť

Zánikem jsou nejvíce ohrožena vzácná přírodní stanoviště, která se zachovala na malých rozlohách a která jsou vázána na specifické místní podmínky (Kučera 2012). Změna klimatu tak přímo ohrožuje přírodní stanoviště skalních výchozů sudetských karů (kód A5 podle Katalogu biotopů ČR, sněhová výležiska a subalpínské křoviny s vrbou laponskou. Mezi přírodní stanoviště, která jsou ohrožována změnou klimatu v synergii s jinými negativními vlivy (např. zátěží dusíkem), bychom mohli zařadit také mnohé další typy přírodních stanovišť (druhově bohaté louky, vřesoviště i mezotrofní mokřady ohrožené zarůstáním konkurenčně silných druhů trav, ústup šídlatek z oligotrofních horských jezer atd.).

Ohrožení druhů

Některé druhy jsou přirozeně vzácné tím, že obývají plošně málo rozšířená a ekologicky vyhraněná stanoviště. Část z těchto druhů má povahu tzv. reliktnů. Významný problém je u tzv. glaciálních reliktnů. Jde např. o krkonošského střevlíčka *Nebriagyllenhali* nebo o roztoče *Rhagidiagelidaz* promrzajících sutí. Tyto druhy pod tlakem změny klimatu s největší pravděpodobností na území ČR vymřou.

Pro biodiverzitu by největší ztrátu znamenalo vymření endemitů, z nichž v ČR jsou změnami klimatu přímo ohroženy především rostlinné endemické druhy vysokohorských stanovišť, které nemají reálnou možnost migrovat v důsledku oteplení do vhodnějších lokalit. Jedná se o zvonek český (*Campanula bohémika*) a jeřáb sudetský (*Sorbussudetica*) v Krkonoších či zvonek jesenický (*Campanulagelida*) a lipnici jesenickou (*Poariphaea*) v Hrubém Jeseníku.

Sucho a úbytek vody

Opakování period sucha v jarním a časně letním období může znamenat zánik biotopů pro rozmnožování obojživelníků v nížinných a pahorkatinných oblastech. Některé druhy obojživelníků využívají v kulturní krajině jako biotopy pro rozmnožování louže vznikající po jarních deštích v prohlubních. Tyto antropogenní, pro přežití některých obojživelníků kritické, biotopy v suchých periodách počasí vůbec nevznikají. Stejný problém platí u mělkých mokřadů v krajině nebo periodických tůň v lužních lesích, které hostí zcela unikátní společenstva kriticky ohrožených druhů koryšů.

Šíření invazních druhů

Očekáván příchod nových nepůvodních druhů organismů. Mezi ty, jejichž šíření na naše území je spojováno se změnou klimatu, patří např. plzák španělský (*Arion vulgaris*), který utlačuje naše domácí druhy měkkýšů.

Posun vegetační stupňovitosti

Regionální scénář trendu změn klimatických podmínek pro vegetační stupňovitost Česka indikuje pro predikční období roku 2030 znatelný nárůst ploch území s environmentálními podmínkami nižších vegetačních stupňů (prvního až čtvrtého). Zřetelně se sníží výměra území s podmínkami vyšších vegetačních stupňů (pátého až osmého). Zejména plocha s environmentálními podmínkami pátého (jedlobukového) podhorského vegetačního stupně poklesne oproti současnosti o téměř 14 %. (např. Machar et al. 2017).

Na území ČR jsou z hlediska biodiverzity změnou klimatu jednoznačně nejohroženější tři vysokohorské regiony nad horní hranicí lesa (v Krkonoších, Hrubém Jeseníku, Kralickém Sněžníku). I malý nárůst průměrné teploty ve vegetační sezoně v kombinaci s jinými antropogenními vlivy (např. turistické využití) v těchto rozlohou velmi malých územích může vést, a pravděpodobně skutečně povede, k zániku některých biologických druhů a specifických biotopů jedinečných v měřítku celé ČR. Specializovaným

ochranářským managementem (např. odstraňování nepůvodních porostů kleče) můžeme tento proces pravděpodobně zpomalit, nikoliv však zastavit.

(zpracováno s využitím Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015 – část Biodiverzita a ekosystémové služby, ČHMÚ 2019)

Informace byly v rámci tohoto metodického postupu kvůli velkému rozsahu dané problematiky a potřebnosti zachování přehlednosti metodiky zestručněny. Výše uvedená rizika byla při přípravě metodiky dále prověřována a následně byla zahrnuta do navrženého metodického postupu. Informace o jednotlivých rizicích sloužily např. při vytvoření tabulek v Příloze č. 1 v souboru „Priloha 1_metodika_sablona.xlsx“, zejména v rámci sloupců „**Celkový obecný popis rizik, východisek aj.**“, ve kterém jsou rizika pro jednotlivé typy biotopů definována.

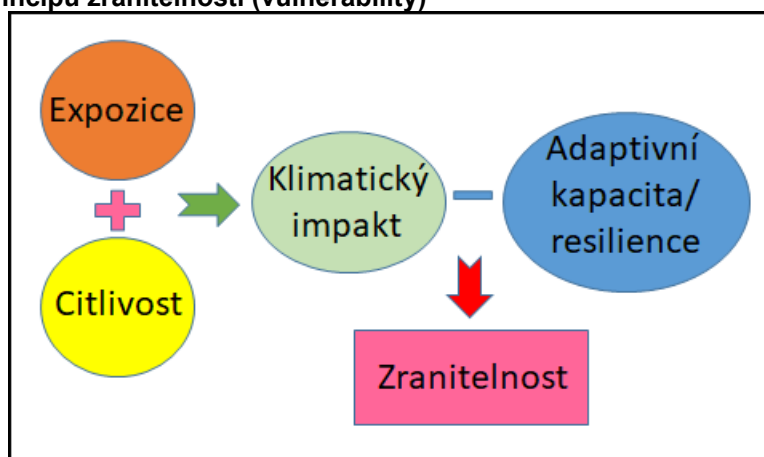
4 HODNOCENÍ ZRANITELNOSTI

Problematika globální klimatické změny je v České republice studována z různých aspektů a otázky predikcí, dopadů, mitigačních a adaptačních opatření řeší celá řada výzkumných týmů. Je třeba konstatovat, že každoročně k tématu přibývají desítky až stovky nových vědeckých výstupů, stejně tak se objevuje řada specializovaných projektů, které se zaměřují na specifické aplikované aspekty probíhající klimatické změny a jejich odrazy v české krajině. Cílem této části není komplexní výčet publikací a výzkumných zpráv, které v dané oblasti vznikly, ale upozornění na některé výzkumné aktivity, na jejichž poznatcích metodika staví, anebo které mohou být předmětem zájmu managementu velkoplošných i maloplošných ZCHŮ.

Na začátek bychom rádi zmínili existenci výzkumných skupin nebo projektů, které se trvale věnují různým otázkám klimatické změny, anebo jsou ze zákona organizacemi monitorujícími stav atmosféry, ale i dalších komponent klimatického systému na území ČR. Jedná se především o ČHMÚ (portal.chmi.cz; <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>). Významné výzkumné počiny vznikají v rámci Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. (<http://www.czechglobe.cz/cs/>). Specializovaný interdisciplinárně orientovaný výzkum Intersucho (<https://www.intersucho.cz/>) řeší otázky monitoringu a klimatologie sucha. Klíčové poznatky v cyklu uhlíku řešil projekt CzechCarbo. Problematiku využití krajiny, monitoringu a bilance jednotlivých krajinných pokryvů řešil projekt CzechTerra ([czechterra.cz](http://www.czechglobe.cz/cs/)). Problematikou adaptačních opatření se zabývá např. projekt Nadace Partnerství Adaptterra (<http://www.czechglobe.cz/cs/>). Sledování těchto institucí a ústavů je doporučeným zdrojem aktuálních informací v otázkách globální klimatické změny. Nové informace mohou vstupovat do metodického rámce a dále ho rozšiřovat, například ve vztahu ke specifickým stanovištím nebo různým funkcím krajinného systému.

Stanovení zranitelnosti (vulnerability) ve vztahu ke globální klimatické změně je zpracovávána ve světě pro různé typy potenciálně nebo již reálně ohrožených ekosystémů, od limnických, fluvialních a marinních po ekosystémy terestrické. Existuje celá řada manuálů, které od počátku 21. století řeší otázku určení zranitelnosti. Odlišují se měřítkem a detailností určení zranitelnosti. Metodiky se vyznačují interdisciplinárním přístupem s respektováním principů udržitelnosti (Weißhuhn et al. 2018) a využívají paradigma ekosystémových služeb. Cílem hodnocení zranitelnosti je pochopení slabých stránek jednotlivých ekosystémů a hodnocení směřuje k určení ohrožení, která mohou systémy potenciálně poškodit (Wisner et al. 2004). Jedna z definic chápe zranitelnost jako určení míry neschopnosti systému tolerovat působení stresového/disturbančního faktoru v prostoru a čase (Williams, Kapustka 2000). Zcela obecně můžeme konstatovat, že zranitelnost vyjadřuje potenciál ke ztrátě typických vlastností (např. Adger 2006). Janssen et al. (2006) definuje zranitelnost vycházejíc z teorie přírodních hrozeb/rizik. Významný nárůst studií je spojen s aplikací zranitelnosti ve studiích týkajících se globální klimatické změny, což je zřejmé i ze zpráv IPCC. Rozvoj koncepčních přístupů akcentuje zranitelnost jako funkci expozice (působení rizikového procesu), citlivosti a adaptivní kapacity (např. Frazier et al. 2014). V komplexním přehledu Weißhuhn et al. (2018) nahlíží na zranitelnost na základě tří pilířů: expozice (pravděpodobnost existence/vzniku hrozby – disturbance, stresu); citlivosti (míra náchylnosti k účinkům hrozby) a adaptivní kapacity (schopnost vyrovnávat působení hrozby). Problematika adaptivní kapacity je jednou z klíčových otázek, avšak ne vždy zcela známe reakce ekosystémů na disturbanční nebo stresovou zátěž. Ohodnocení míry snášenlivosti se velmi často řeší na úrovni druhů nebo společenstev (např. Ofori et al. 2017, Foden et al. 2018). Klasické přístupy při stanovení zranitelnosti najdeme ve studiích řešící velké vegetační jednotky na větších plochách (např. Comer et al. 2019). Otázky jsou v tomto případě vázány na projevy klimatické změny ve vztahu k původnosti vegetačních jednotek, invazním druhům, akceleraci disturbancí (např. častější výskyt požárů), výskyt patogenů apod.

Obr. č. 1 Pilíře principu zranitelnosti (vulnerability)



Zdroj: Natural Solutions; <http://awsassets.panda.org>

Transformující se přírodní prostředí a dlouhodobé působení antropogenních aktivit v prostředí vedlo ke vzniku celé řady kritických situací, které následkem synergických fenoménů akcelerují potenciální ohrožení ekosystémů. Tyto jevy a situace vedou k hlubší analýze, jak s ekosystémy a jejich funkcemi nakládat v nedaleké budoucnosti a cílem je nacházet řešení celé řady krizí (Lopoukhine et al. 2012), mimo jiné i těch, které v ohrožení ekosystémů v chráněných územích akceleruje globální klimatická změna. Bezesporu důležitým nástrojem k hodnocení stavu správy chráněných území jsou i analýzy adaptačních opatření a jejich efektivnosti v jednotlivých typech chráněných území, a to právě ve vztahu ke globální klimatické změně. Jedním z přístupů je stanovení robustnosti (climate change-robustness). Zranitelnost je v tomto směru jedním z nástrojů stanovení vhodného managementu v různých fázích klimatické změny (Geyer et al. 2017).

Níže uvádíme přehled některých metodik, které řeší otázky zranitelnosti ekosystémů ve vztahu ke globální klimatické změně, a to i z hlediska celé řady dopadů do humánního subsystému krajiny:

Manual for Climate Change Vulnerability Assessment of Coastal and Marine Protected Areas (CMPAS) (http://awsassets.panda.org/downloads/va_manual_for_cmpa.pdf)

Spatial Planning for Protected Areas in Response to Climate Change Conservation Biodiversity (<http://www.sparc-website.org/>)

The Refugee Vulnerability Assessment and Alternatives Technical Guide (<https://www.natureserve.org/biodiversity-science/publications/refuge-vulnerability-assessment-and-alternatives-technical-guide>)

Scanning the Conservation Horizon A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment (<https://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Climate-Smart-Conservation/NWFScanningtheConservationHorizonFINAL92311.ashx>)

Assesing Vulnerability and Resilience of Major Vegetation Types of the Western Interior U.S. Forest & Woodland (<https://www.natureserve.org/biodiversity-science/publications/assessing-vulnerability-and-resilience-major-vegetation-types-0>)

Local Vulnerability Indicators and Adaptation to Climate Change (<https://publications.iadb.org/publications/english/document/Local-Vulnerability-Indicators-and-Adaptation-to-Climate-Change-A-Survey.pdf>)

Climate Change Vulnerability Assessment for Natural Resources Management: Toolbox of Methods with Case Studies (<https://www.fws.gov/home/climatechange/pdf/Guide-to-Vulnerability-Assessment%20Methods-Version-2-0.pdf>)

Climate change vulnerability and adaptation in the Carpathian region (<https://edepot.wur.nl/351036>)

Assessing species and area vulnerability to climate change for the Oregon Conservation Strategy: Willamette Valley Ecoregion

(http://defenders.org/sites/default/files/publications/assessing_species_and_area_vulnerability_to_climate_change_for_the_oregon_conservation_strategy_willamette_valley_ecoregion.pdf)

North American Marine Protected Area Rapid Vulnerability Assessment Tool
 (<http://www3.cec.org/islandora/en/item/11733-north-american-marine-protected-area-rapid-vulnerability-assessment-tool-en.pdf>)

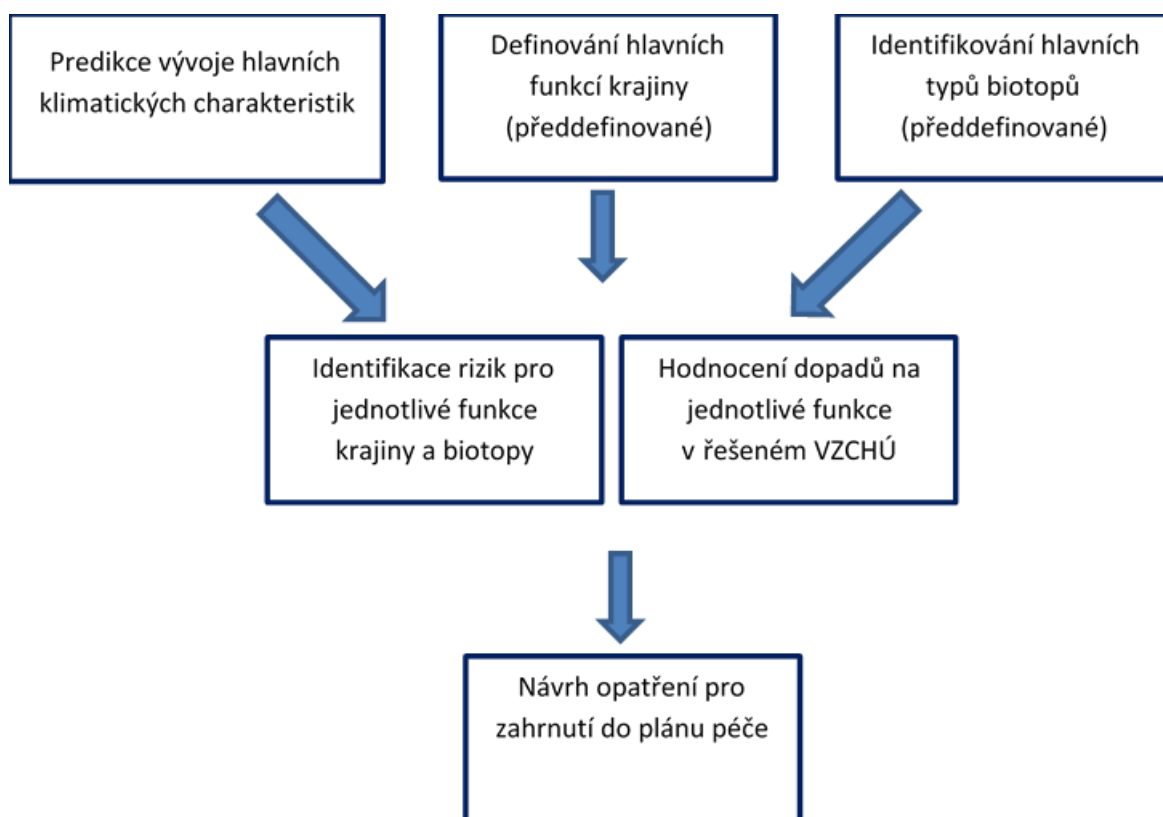
Protected Areas: Buffering nature against climate change

(<https://www.iucn.org/content/protected-areas-buffering-nature-against-climate-change>)

4.1 SCHÉMA PRACOVNÍHO POSTUPU

V této části je uvedeno základní schéma hodnotícího postupu. Jednotlivé kroky řešení jsou podrobněji popsány dále v textu. Pro výběr vhodných charakteristik v jednotlivých fázích pracovního postupu lze využít obecný model jejich výběru.

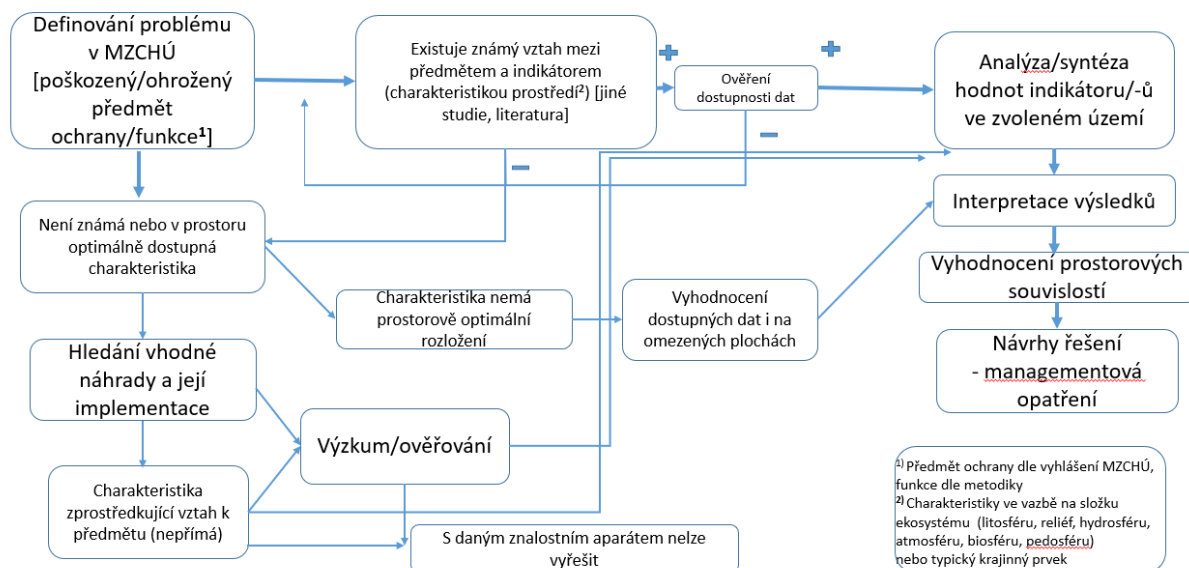
Obr. č. 2 Schéma pracovního postupu identifikace rizik a dopadů na jednotlivé funkce krajiny a předmět ochrany a návrh opatření



Nedílnou základní součástí pracovního postupu je také soubor „Priloha 1_metodika_sablona.xlsx“, který je hlavní přílohou a slouží pro hodnocení zranitelnosti konkrétního zvláště chráněného území. Dílčí pasáže tohoto metodického postupu se odkazují právě na tuto přílohu.

Obr. č. 3 Obecný postup při výběru vhodných indikátorů

Obecný postup při výběru vhodných indikátorů



4.2 PREDIKCE VÝVOJE HLAVNÍCH KLIMATICKÝCH CHARAKTERISTIK

4.2.1 Metodická východiska a zdroje dat

Charakteristiky současného stavu

Data o současném stavu jednotlivých klimatických a z nich odvozených charakteristik, respektive průměrných hodnotách za období 1981-2010, jsou celoplošně dobře dostupná na webu www.klimatickazmena.cz. Výhodou je jednoduchá dostupnost, dostupnost hodnot za referenční období 1981-2010 a nulové náklady při získávání informací.

Podrobnější informace za konkrétní lokality nebo vybrané území poskytuje ČHMÚ. Část zdrojů je dostupných veřejně a bez poplatku. Tato data jsou dostupná online přímo na webu ČHMÚ v sekci Historická data – Meteorologie a klimatologie (k roku 2019 dostupné na <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani>). Další část dat je na vyžádání a ve většině případů zpoplatněna.

Predikce budoucího vývoje

Predikcím budoucího vývoje meteorologických charakteristik se v posledních letech věnovalo několik projektů. Patří mezi ně tyto:

- **„Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ (Pretel, 2011)** - Projekt byl zaměřen na zpřesnění a aktualizace regionálních scénářů vývoje klimatu na území ČR pro období v časových horizontech 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Hodnocen byl také vývoj pro referenční období 1961–1990.
- **Czechadapt** – systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a území ČR. Výstupy tohoto projektu jsou přehledně uvedeny na webových stránkách www.klimatickazmena.cz. Zde je pracováno s časovými obdobími, respektive roky:
 - 1981–2010 – referenční období (! Vždy je nutné reflektovat aktuální ref. období!)
 - 2030 – krátkodobý výhled
 - 2050 – střednědobý výhled
 - 2090 – dlouhodobý výhled
- **UrbanAdapt** – v rámci projektu byly také zpracovány predikce vývoje změn klimatu. Ty jsou shrnuty v publikaci Výstupy regionálních klimatických modelů na území ČR pro období 2015 až 2060 (UK, 2015).
- **Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR** (ČHMÚ, 2019) – zde jsou pro úroveň ČR uvedeny predikce budoucího vývoje do roku 2100, srovnání s normálem v období 1991-1990, a srovnání vývoje v obdobích 1981-2010 a u některých charakteristik také vývoj v období 2001-2016.

Pro predikci budoucího vývoje a srovnání se současným stavem jsou z těchto uvedených veřejně nejlépe dostupné a využitelné údaje z webu www.klimatickazmena.cz. Informace zde uvedené vychází z 5 regionálních klimatických modelů¹, které reprezentují celou šíři klimatického spektra:

¹Jedná se o počítačové modely klimatického systému, které slouží pro výpočet pravděpodobných budoucích klimatických podmínek. Jsou založeny na řešení pohybových a termodynamických rovnic, které popisují procesy v

- **IPSL (verze IPSL-CM5A-MR)** – model reprezentující medián všech testovaných GCM nejlépe;
- **HadGEM (verze HadGEM2-ES)** – model reprezentující výraznější změnu rozložení srážek v našem regionu (úbytek letních a podzimních srážek a nárůst jarních srážek);
- **CNRM (verze CNRM-CM5)** – model s podobnou změnou teplot jako HadGEM, ale nárůstem srážek ve všech měsících zejména na jaře a na podzim;
- **BNU (verze BNU-ESM)** - reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a redukci srážek ve všech měsících kromě léta;
- **MRI (verze MRI-CGCM3)** – reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a nárůst srážek s výjimkou konce léta a podzimu. (dle údajů z www.klimatickazmena.cz)

Dále vychází z tzv. Emisních scénářů, které popisují různé směry vývoje ve 21. století pro emise skleníkových plynů a jejich koncentrace v atmosféře, emise látek znečišťujících ovzduší a využívání půdy. Na webu www.klimatickazmena.cz jsou výstupy představovány ve třech emisních scénářích.

- Nízké emise (odborně nazývány jako RCP 2,6) - značí razantní omezení vývoje koncentrace skleníkového plynu oxidu uhličitého v nadcházejících letech;
- Střední emise (RCP 4,5) - značí tzv. přechodný scénář budoucího vývoje, kdy emise nebudou striktně omezeny, ale zároveň bude regulován jejich růst;
- Vysoké emise (RCP 8,5) - značí scénář s velmi vysokými emisemi oxidu uhličitého v budoucích letech, které nebudou nijak omezeny v budoucích letech. (dle údajů z www.klimatickazmena.cz)

4.2.2 *Predikce vývoje hlavních klimatických charakteristik – návrh metodického postupu*

Níže jsou navrženy klimatické a některé z nich odvozené charakteristiky, které je doporučeno sledovat pro potřeby hodnocení zranitelnosti ve velkoplošných zvláště chráněných územích.

V tabulce jsou uvedeny charakteristiky, které jsou dobře veřejně dostupné s nulovými nebo minimálními náklady. Dostupné jsou jak pro současný stav, tak pro predikci budoucího vývoje.

Zdroje dat jsou následující:

- www.klimatickazmena.cz – pro většinu údajů
- <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani> - pro informace o měsíčních charakteristikách a některých doplňkových (počet dní se srážkami alespoň 1 mm) *

Uvedené charakteristiky je možno doplnit dalšími specifickými na základě uvážení a potřeb daného MZCHÚ, a to doporučeně buď ve spolupráci s ČHMÚ (současné meteorologické charakteristiky) nebo ve spolupráci s CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., (predikce budoucího vývoje)².

klimatickém systému, pomocí metod numerické matematiky. Regionální klimatické modely (RCM z angl. RegionalClimate Model) patří mezi techniky tzv. downscalingu, tedy zmenšování měřítka, čímž je dosaženo většího rozlišení modelu a výpočty jsou prováděny pro vybrané regiony (např. pro oblast střední Evropy).

² Pro potřeby územně přesnější a detailnější predikce vývoje základních klimatických charakteristik lze využít také např. data z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.. Ta jsou poskytována v různých formátech (geotiff aj). Predikce lze zacílit přímo na konkrétní MZCHÚ, zohlednit vertikální území a další charakteristiky. Omezením je finanční náročnost pro zajištění výstupních dat, nutnost jejich dalšího zpracování a úprav a a obtížnější zajištění některých klimatických charakteristik pro referenční období 1981-2010 z důvodu smluvních

Pro vyplnění přehledu základních charakteristik slouží tabulka č. 1 níže. Tato tabulka je součástí metodiky ve formátu xlsx, tj. Příloha 1_metodika_sablona.xlsx – list Predikce.

Komentář k tabulce:

V tabulce jsou pro referenční hodnoty uvedeny „Nejnižší hodnota“, „Převažující hodnota“ a „Nejvyšší hodnota“. Je to dáno tím, že velká část MZCHÚ v ČR je plošně rozsáhlá a současně vertikálně členitá, takže i klimatické charakteristiky se zde vyskytují často na široké škále.

- **Nejnižší hodnota** – vyjadřuje nejnižší hodnotu dané charakteristiky v rámci MZCHÚ.
- **Převažující hodnota** – vyjadřuje plošně nejrozsáhlejší, tj. převažující, hodnotu dané charakteristiky v rámci MZCHÚ.
- **Nejvyšší hodnota** – vyjadřuje nejvyšší hodnotu dané charakteristiky v rámci MZCHÚ.

U predikcí je řešena pouze převažující hodnota, přičemž je předpokládáno, že šíře rozpětí hodnot (nejnižší/nejvyšší) by byla obdobná jako u současného stavu.

* Charakteristiky dostupné z webu ČHMÚ – viz uvedený odkaz – jsou v tabulce označeny *. Jejich hodnoty nejsou vyjádřitelné plošně, ale lze je znázornit graficky – tj. hodnotou v jednotlivých měsících. Lze využít grafu z nejbližší meteorologické stanice uvedené v mapě v rámci odkazu.

vztahů mezi poskytovatelem a ČHMÚ. Z těchto důvodů je v rámci metodiky doporučeno využívat jednodušší postup, dostupný prostředkem správ MZCHÚ.

Tabulka 1: Doporučené sledované meteorologické a klimatické charakteristiky v území

Charakteristika / Období	Referenční období - 1981-2010			Predikce vývoje (převažující hodnota)		
	Nejnižší hodnota	Převažující hodnota	Nejvyšší hodnota	2030	2050	2090
Teplotní charakteristiky						
Průměrná roční teplota						
Průměrná roční maximální teplota vzduchu						
Průměrná roční minimální teplota vzduchu						
Průměrná teplota vzduchu v létě						
Počet tropických dní						
Počet letních dní						
Počet mrazových dní						
Počet ledových dní						
Průměrná doba trvání horkých vln						
Riziko výskytu horkých nebo suchých period						
Průměrná měsíční teplota vzduchu*	Graf/tabulkové vyjádření			Odvoditelné od ostatních charakteristik		
Průměrná měsíční maximální teplota vzduchu*	Graf/tabulkové vyjádření			Odvoditelné od ostatních charakteristik		
Průměrná měsíční minimální teplota vzduchu*	Graf/tabulkové vyjádření			Odvoditelné od ostatních charakteristik		
Srážkové charakteristiky						
Průměrný úhrn ročních srážek						
Průměrný úhrn srážek v létě						
Počet dní se srážkami alespoň 1 mm*	Graf/tabulkové vyjádření			Odvoditelné od ostatních charakteristik		
Počet dní se srážkou nad 10 mm						
Průměrný měsíční úhrn srážek*	Graf/tabulkové vyjádření			Odvoditelné od ostatních charakteristik		
Sněhové charakteristiky						
Počet dní se sněhovou pokrývkou nad 3 mm						
Počet dní se sněhovou pokrývkou nad 30 mm						
Průměrná výška sněhu v dubnu						
Další charakteristiky						
Délka vegetační sezóny						
Vodní bilance v krajině z a vegetační sezónu						
Pravděpodobnost výskytu extrémního sucha						

METODIKA POSTUPU URČENÍ RIZIK A ZRANITELNOSTI V MZCHÚ V SOUVISLOSTI S DOPADY ZMĚNY KLIMATU

Charakteristika / Období	Referenční období - 1981-2010			Predikce vývoje (převažující hodnota)		
	Nejnižší hodnota	Převažující hodnota	Nejvyšší hodnota	2030	2050	2090
Změny klimatických podmínek pro růst smrku ztepilého v lesních vegetačních stupních (LVS)						

4.3 FUNKCE KRAJINY A PŘEDMĚT OCHRANY VE MZCHÚ

4.3.1 Funkce krajiny - předmět ochrany - východiska

Problematika funkcí krajiny byla řešena ve Státní politice životního prostředí ČR 2012–2020 a objevuje se i v návazné Státní politice životního prostředí České republiky 2030 s výhledem do 2050. Velmi důležitou součástí je i ochrana biodiverzity a dalších přírodních hodnot. SPŽP je zásadní referenční dokument pro ostatní sektorové i regionální politiky z hlediska životního prostředí. Z tohoto důvodu je z ní zde vycházeno.

Jednou z tematických oblastí SPŽP je také:

- **Ochrana přírody a krajiny spočívající především v ochraně a posílení ekologických funkcí krajiny, zachování přírodních a krajinných hodnot a zlepšení kvality prostředí ve městech.**

Nová politika 2030 přináší v této oblasti i hlavní cíle, a to i v oblasti biologické rozmanitosti, tak aby byla zachována v mezích tlaku změny klimatu. Nemalá pozornost je udržitelosti, a především obnově biotopů a ekosystémů věnována i v rámci evropské environmentální politiky. V tomto směru je třeba upozornit na problematiku budoucí implementace Nature Conservation Law (2022). V této oblasti je nutné sledovat i posuny v platné české legislativě, která jistě dojde úprav a usouladění s komunitárním právem. Zároveň existují i strategické dokumenty EU v oblasti biodiverzity (EU's biodiversity strategy for 2030).

Problematika funkcí krajiny je řešena v rámci části řešící ochranu přírody. Trendy ve využívání krajiny i změna klimatu ovlivňuje **odolnost ekosystémů**. Odolnost ekosystémů klesá především vinou přetrvávajících důsledků intenzifikace zemědělského hospodaření ve 2. polovině 20. století doprovázené unifikací takto využívané krajiny, přetrvávajícího významného podílu lesních porostů s nevyváženou druhovou, věkovou a prostorovou skladbou, přetrvávající degradace lesních půd zatížených imisemi, regulace a fragmentace vodních toků a stále rychleji pokračující fragmentace krajiny především dopravou a výstavbou.

Pokles odolnosti ekosystémů se projevuje snižováním jejich schopnosti eliminovat či absorbovat vnější vlivy včetně šíření nežádoucích (nepůvodních, invazních, případně škodlivých) druhů organismů, nepříznivým stavem řady planě rostoucích druhů rostlin a volně žijících živočichů (včetně evropsky významných druhů rostlin a živočichů) i úbytkem vzácných druhů, snižováním početnosti a vitality populací běžných druhů mimo jiné v souvislosti s omezením prostupnosti krajiny i přerušením migračních tras a zvýšením stresu rostlin i živočichů. (SPŽP, s. 14)

Problematika funkcí krajiny je řešena v **Tematické oblasti 3) Ochrana přírody a krajiny** a v rámci strategických cílů/priorit, ke kterým jsou stanoveny specifické cíle:

- 3.1 Ochrana a posílení ekologické stability krajiny a udržitelné hospodaření v krajině
 - 3.1.1 Zvýšení ekologické stability krajiny
 - 3.1.2 Obnova vodního režimu krajiny
 - 3.1.3 Omezení a zmírnění dopadů fragmentace krajiny
 - 3.1.4 Zachování a posílení mimoprodukčních funkcí zemědělské krajiny a lesů
- 3.2 Zachování přírodních a krajinných hodnot
 - 3.2.1 Zajištění ochrany a péče o nejcennější části přírody a krajiny
 - 3.2.2 Zastavení úbytku původních druhů a přírodních stanovišť
 - 3.2.3 Omezení negativního vlivu invazních druhů a zajištění účinných opatření k jejich regulaci

Tyto cíle na obecnější úrovni předurčují hlavní funkce krajiny na úrovni ČR a cíle jejich ochrany.

V důsledku současného trendu dlouhodobě neudržitelného využívání jednotlivých složek krajiny, dochází k celkovému zhoršení jejich přirozených funkcí.

K nejvýznamnějším jevům, které působí negativně na ekologickou stabilitu krajiny, patří:

- **rostoucí fragmentace** – související s rozvojem sídel, dopravní a další infrastruktury (včetně fragmentace říčních toků).
- **snížení retenční schopnosti krajiny**
- **náhlé a výrazné změny ve využívání krajiny**
- **nešetrné využívání přírodních zdrojů**
- **intenzivní způsob zemědělského a lesnického hospodaření**
- **ovlivňování a poškozování ekosystémů a narušení jejich funkčního propojení**

Pro předcházení výše uvedených problémů je třeba **zajistit zachování nezbytných ekologických funkcí krajiny**, a to jak **zachováním existujících ekologicky stabilních ploch**, tak podporou **rozšiřování a funkčního propojování takových ploch v krajině** a podporou obnovy ekosystémů.

Zhoršující se stanovištní podmínky a zmenšování či zánik přirozených stanovišť způsobuje degradaci ekosystémů, **pokles druhové rozmanitosti** a její postupnou unifikaci ve prospěch druhů invazních a více přizpůsobivých, a to v mnoha případech také díky nastavené ochraně některých druhů živočichů. Tyto jevy výrazně narušují přirozenou regenerační schopnost ekosystémů a celé krajiny i jejich potenciál odolávat zvyšující se četnosti extrémních klimatických jevů.

Schopnost krajiny zpomalit a akumulovat odtok povrchové vody je nepříznivě ovlivněn zejména nevhodným hospodařením na zemědělské půdě a nárůstem zastavěných ploch.

Ztráta přirozené morfologie koryt vodních toků provedenými úpravami, zejména napřímením, opevněním a zatrubněním drobných vodních toků a degradace říčních niv s sebou nese pokles rozmanitosti vodních a na vodu vázaných ekosystémů.

V důsledku **zrychleného povrchového odtoku vody** dochází k půdní erozi, odvodňování pozemků snižuje přirozenou schopnost krajiny zadržovat vodu. Nedostatečná retence vody v krajině však postihuje všechny ekosystémy, zároveň i potřeby člověka a umocňuje negativní projevy změny klimatu. Proto je třeba usilovat o **obnovu přirozeného vodního režimu krajiny**, což vyžaduje komplexní přístup využívající protierozních, revitalizačních a přírodě blízkých protipovodňových opatření a zahrnující modifikaci způsobů hospodaření v krajině.

Posílení ekologických funkcí krajiny lze dosáhnout prostřednictvím vhodně nastavených a optimalizovaných legislativních, ekonomických a administrativně-organizačních opatření, která budou podporovat přirozené funkce krajiny a zachování služeb ekosystémů. Pro posílení mimoprodukčních funkcí krajiny má významný potenciál vhodná dotační politika. Ta by měla přinášet maximální efekty také z hlediska stability krajiny a zachování její biologické rozmanitosti.

(text zpracován s využitím Státní politiky životního prostředí ČR 2012-2020, MŽP, 2016)

V oblasti ochrany biodiverzity uvádí několik klíčových oblastí, které jsou úzce napojené **na předmět ochrany MZCHÚ**, ale i těch velkoplošných. Jedná se především o:

(SPŽP 2030; Zdroj:

[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/3B6673E016FB1765C12587A4003C722F/\\$file/SPZP_2030_web.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/3B6673E016FB1765C12587A4003C722F/$file/SPZP_2030_web.pdf))

Strategický cíl 3.2 Biologická rozmanitost je zachovávána v mezích tlaku změny klimatu;

Specifický cíl 3.2.1 Stav přírodních stanovišť se zlepšuje a ochrana druhů je zajištěna;

Mezi typová opatření, která mají zajistit naplnění cílů náleží především:

- Zajištění péče o ohrožené přírodní stanoviště a druhy (ohrožené sukcesí, ústupem od tradičního hospodaření aj.).

- Ochrana přírodních biotopů, biotopů vzniklých přirozenou sukcesí a přechodových ploch, tzv. ekotonů.
- Využití potenciálu těžebních prostor, případně jiných lidských aktivit, pro vznik a zachování cenných stanovišť – vhodná rekultivace těžebních prostor, narušování půdního povrchu těžkou technikou apod.
- Realizace programů ochrany ohrožených společenstev (biotopů).
- Zajištění plošného a kontinuálního monitoringu a vyhodnocování stavu druhů a stanovišť.

Specifický cíl 3.2.2 Ochrana a péče o nejcennější části přírody a krajiny je zajištěna.

Mezi typová opatření, která mají zajistit naplnění cíle náleží především:

- Zajištění reprezentativního podchycení nejcennějších částí přírody a krajiny v soustavě ZCHÚ a Natura 2000.
- Zajištění propojenosti chráněných území s ostatními částmi krajiny s vyšší mírou ekologické stability.
- Ochrana krajinných fenoménů a prvků neživé přírody jako je geomorfologie, geologie.
- Zajištění péče o chráněná území v souladu s cílem ochrany těchto území, včetně zakotvení dané péče v plánovací dokumentaci (plán péče, zásady péče, souhrn doporučených opatření).
- Management návštěvnosti a turistického ruchu zejména v národních parcích a chráněných krajinných oblastech a navazujících oblastech.
- Nastavení soustavného a plošného monitoringu přírody a krajiny, které umožní vyhodnotit stav a trend ve vývoji předmětů ochrany ZCHÚ.
- Nastavení soustavného a plošného monitoringu a vyhodnocování dopadů cestovního ruchu na přírodu a krajinu a kvalitu života místních obyvatel v ZCHÚ.
- Nastavení monitoringu a hodnocení stavu předmětů ochrany lokalit soustavy Natura 2000.

Specifický cíl 3.2.3 Negativní vliv nepůvodních invazních druhů je omezen

Mezi typová opatření, která mají zajistit naplnění cíle náleží především:

- Zajištění eradikace, případně izolace, a regulace invazních nepůvodních druhů.
- V rámci výzkumu vyhodnocování dopadů invazních nepůvodních druhů na krajinu, metod a přístupů k omezení rizik, jež s nimi souvisí a dále identifikace potenciálně invazních druhů na území ČR.
- Identifikace rizik a priorit nad rámec unijního seznamu invazních nepůvodních druhů na národní úrovni.

4.3.2 Stanovení hlavních funkcí krajiny a skupin předmětů ochrany ve MZCHÚ

Pro potřeby metodiky byly na základě výše uvedeného stanoveny funkce krajiny obecněji tak, aby byly uplatnitelné na území většiny velkoplošných zvláště chráněných území v ČR. V popisu a vymezení funkcí krajiny je rovněž zohledněn „Metodický pokyn sekce ochrany přírody a krajiny, kterým se stanoví obsah plánů péče o chráněné krajinné oblasti, postup jejich zpracování, projednávání a schvalování“. (Věstník MŽP, leden 2019)

Jedná se o tyto funkce (včetně základní charakteristiky):

- Přírodní (mimoprodukční) – funkce ekosystému, která reguluje či katalyzuje přírodní procesy, a to tím směrem, který je pro nás žádoucí. Lze je rozdělit na:
 - **Hydrologická** – např. ve vztahu k retenci vody a z ní vyplývající tlumení povodní či zásobování krajiny vodou v období sucha. Nebo při čištění vody, znečištěné např. negativními externalitami antropogenní činnosti.
 - **Klimatická** – např. udržování stabilního mikro a mezo klimatu. Čištění vzduchu, znečištěného především negativními externalitami antropogenní činnosti.
 - **Uhlíková bilance** – sekvestrace uhlíku.
 - **Ekostabilizační** – ekologická stabilita je zde vnímána jako schopnost systému udržovat a replikovat svůj stav a funkce s minimálním vstupem antropogenní energie. (Systém si poradí sám, nemusím do něj investovat energii.) Má dvě roviny – první je ekostabilizační pro sebe sama. Druhá, teprve když je systém stabilní pro sebe sám, může tuto funkci poskytovat svému okolí. To, že se systém funguje sám, či dokonce zlepšuje stav svého okolí, je profitem pro společnost. Součástí této funkce je také migrační propustnost.

- **Habitatová/Stanovištní funkce** – stanoviště organismů. Specificky především těch organismů, které nebudou patřit do ekostabilizační funkce, se zvýšeným zřetelem na předměty ochrany. Patří zde nejenom jedinci, populace, ale i jejich genetická informace.

- **Kulturní funkce** – postihuje následující oblasti:
 - Rekreční funkce – procesy či stav systému mající vliv na rekreační atraktivitu.
 - Estetická funkce – procesy či stav systému mající vliv na estetický prožitek či inspiraci.
 - Duchovní a spirituální funkce – patří sem propojenost daného biotopu se sakrálními stavbami. Rituály v daném biotopu prováděné a lidová mytologie k danému biotopu se vázající.
 - Vědecká a vzdělávací funkce – význam pro vědu a vzdělávání

Pro funkce, které jsou zvýrazněny tučně a podtržením, byly v rámci metodiky připraveny jednotlivé listy v excelovské tabulce, která je součástí metodiky (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx). Listy pro jednotlivé funkce jsou předvyplněny, postup pro vyplnění dílčích údajů je uveden v další části textu.

4.4 HLAVNÍ TYPY BIOTOPŮ

Hodnocení rizik je vztaženo na jednotlivé typy biotopů. Toto rozdělení by mělo zahrnout všechny hlavní typy biotopů na území velkoplošných zvláště chráněných území, vychází z Katalogu biotopů (AOPK, 2010, druhé vydání) a je kompatibilní s v něm uvedenými formačními skupinami. Výhodou je možnost využití aktuální dostupné vrstvy mapování biotopů, která je dostupná pro celé území ČR.

Základní rozdělení bylo provedeno na lesy a bezlesí, specifickým stanovištěm jsou prameniště. U lesů je provedeno rozdělení na lesy v 1.-3. lesním vegetačním stupni a 4. a vyšším lesním vegetačním stupni.

Jako hlavní typy biotopů byly vybrány tyto:

- Les
 - 1. - 3. lesní vegetační stupeň
 - 4. lesní vegetační stupeň a výše
- Bezlesí
 - Travinobylinná společenstva
 - Mokřady/Prameniště
 - Vodní toky a nádrže
 - Extrémní stanoviště

Tyto typy biotopů by měly pokrývat převážnou většinu přírodně hodnotnějších lokalit všech velkoplošných zvláště chráněných území v ČR. Předmětem řešení nebylo zastavěné území, respektive intravilány obcí, které se nacházejí převážně ve IV., případně III. zóně ochrany CHKO.

Typy biotopů jsou v tabulkách pro jednotlivé funkce (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx) předdefinovány. Pokud se v rámci daného MZCHÚ nenacházejí, je možno tuto informaci uvést ve sloupcích „Hodnocení“ a údaje pro tyto biotopy nevyplňovat.

4.5 IDENTIFIKACE HLAVNÍCH RIZIK PRO JEDNOTLIVÉ FUNKCE KRAJINY A BIOTOPY

Základním krokem celkového hodnocení je identifikace rizik na jednotlivé funkce krajiny v zájmovém MZCHÚ. Hodnocení je nastaveno tak, aby postihovalo identifikaci rizik z hlediska dané funkce a současně pro konkrétní typ biotopu.

Identifikaci hlavních rizik by měla zajišťovat správa daného MZCHÚ, případně s ní spolupracující externí odborníci. Doporučena je spolupráce více specialistů zaměřených na vybrané oblasti. Zejména je nutná specializace na oblast lesního hospodářství, žádoucí je také účast botanika, případně jiných specializovaných profesí (vodní hospodářství, krajinář, speleolog ...) dle potřeb předmětů ochrany daného MZCHÚ.

V rámci navržených tabulek (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx) jsou pro hodnocení rizik připraveny sloupce D, E a F, které jsou v rámci metodiky klíčové, tj.:

- D – Celkový obecný popis rizik, východisek aj.
- E, F
 - E – Hodnocení (z nabídnuté škály)
 - F – Doprovodný komentář

4.5.1 Charakteristika možných rizik pro jednotlivé funkce krajiny a biotopy v rámci MZCHÚ

V tabulkách funkcí (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx) ve sloupci D – Celkový obecný popis rizik, východisek aj. jsou pro potřeby hodnocení uvedena potenciální rizika do budoucna predikovaných změn klimatu na jednotlivé funkce krajiny a ve vztahu ke konkrétním biotopům.

Potenciální rizika jsou zde tedy popsána pro každou funkci a biotop. Popis je rozsáhlejší a zároveň obecnější tak, aby byla pokryta většina možných hlavních rizik ve všech velkoplošných zvláště chráněných územích vyskytujících se na území České republiky.

Údaje uvedené v tomto sloupci jsou neměnné a slouží jako hlavní východiska pro zpracovatele hodnocení a pro vyplnění navazujících sloupců v tabulce E a F, která již slouží pro hodnocení rizik v konkrétním MZCHÚ.

4.5.2 Hodnocení rizik v řešeném MZCHÚ

Sloupce E – Hodnocení a F – Doprovodný komentář (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx), jsou nastaveny k vyplnění za dané MZCHÚ. Toto může být provedeno přímo pracovníky příslušného pracoviště spravujícího MZCHÚ nebo ve spolupráci s externími specialisty či pracovišti (např. univerzita).

Hodnocení v sloupci E je nastaveno na číselné škále 1-5, kdy jednotlivé hodnoty vyjadřují následující:

- 1) žádný/marginální vliv
- 2) pozorovatelný vliv, který nebude zásadně limitovat poskytování dané funkce
- 3) vliv na danou funkci, citelné snížení poskytované funkce
- 4) zásadnější dopad na funkce, nastávají degradační procesy, systém poskytuje danou funkci pouze omezeně
- 5) systém danou funkci přestal poskytovat

Číselné hodnocení má za cíl usnadnit orientaci v tabulkách, identifikovat podstatnější rizika a navést zpracovatele na vhodná opatření aplikovatelná do činnosti příslušné správy MZCHÚ, do plánu péče, případně zásad péče a vytvořit podklad pro rozhodování, vydávání stanovisek apod.

Komentář by měl dané riziko/problém/dopad konkrétně vyjádřit a zdůvodnit, aby bylo zřejmé, v čem konkrétně v daném MZCHÚ spočívá, jaké funkce a biotopy jsou ohroženy, případně konkrétněji lokalizovat apod.

4.6 NÁVRH ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ PRO HLAVNÍ RIZIKA A DOPADY

Opatření pro předcházení rizikům vyplývajících ze změn klimatu, tj. adaptační opatření, jsou řešena v rámci sloupců G až I (viz Priloha 1_metodika_sablona.xlsx).

Sloupec G – Opatření (Soubor opatření) je přednastaven zpracovateli metodiky jako návod a obecnější východisko pro návrh adaptačních opatření pro danou funkci a biotop. Tento návrh je přednastaven univerzálněji s určitou mírou obecnosti pro potřeby všech MZCHÚ v ČR a měl by reagovat na většinu možných rizik.

Platí, že význam má reagovat pouze na ta rizika, jejichž dopad na funkci je významnější. Tj. v tomto případě ta, která měla v hodnocení rizik (sloupec E) hodnocení:

- 1) vliv na danou funkci, citelné snížení poskytované funkce
- 2) zásadnější dopad na funkce, nastávají degradační procesy, systém poskytuje danou funkci pouze omezeně
- 3) systém danou funkci přestal poskytovat

Naopak pro hodnoty „1 – žádný/marginální vliv“ a „2 - pozorovatelný vliv, který nebude zásadně limitovat poskytování dané funkce“ není s ohledem na minimální/nízké dopady třeba navrhovat adaptační opatření.

K tomuto účelu slouží sloupec „H – Potřebnost s ohledem na rizika“. Ta vyjadřuje, jestli je nutné k identifikovaným rizikům navrhnout adaptační opatření. V základu platí, že při hodnotách 1 nebo 2 ve sloupci F nová adaptační opatření nejsou nutná, při vyšších hodnotách by již měla být plánována. Jedná se o návodné rozdělení, závisí zde hlavně na úvaze odborného zpracovatele. Ten může např. s ohledem na nerealizovatelnost adaptačních opatření v daném MZCHÚ nebo z jiných důvodů své hodnocení přizpůsobit.

Poslední sloupec „I – Komentář/specifikace“ slouží ke specifikaci vhodných adaptačních opatření pro dané MZCHÚ, která reflektují v předchozích krocích zjištěná rizika. Ten by měl být vyplněn ze strany zpracovatele tabulky. Cílem je stručná a přehledná základní specifikace adaptačních opatření, jejich zaměření, lokalizace, případná konkretizace prioritních druhů, biotopů apod.

Uvést je zde vhodné rovněž způsob realizace/zajištění daného opatření. Možností je např. zahrnutí do plánu péče, případně zásad péče či LHP, zohlednění v rámci vydávání stanovisek a další.

Není zde cílem vytvořit vyčerpávající a obsáhlý přehled všech možných kroků, ale základní výčet a specifikace hlavních uplatnitelných adaptačních opatření.

4.7 MONITOROVÁNÍ ZMĚN KLIMATU PROSTŘEDNICTVÍM ROSTLINNÝCH INDIKAČNÍCH MODELOVÝCH DRUHŮ

Indikační druhy jsou živé organismy, jejichž stav ukazuje nebo predikuje přítomnost určitého činitele v prostředí a naznačuje změny, které v něm. Podstatou bioindikace je využití výskytu taxonu, pro nějž platí, že reaguje na změny podmínek prostředí, je dobře rozeznatelný a poměrně běžný. Dobrý bioindikátor je druh s úzkou ekologickou valencí vůči jednomu nebo více faktorům prostředí.

Monitorování změn klimatu pomocí indikačních druhů je možným způsobem, jak tuto problematiku sledovat v daném MZCHÚ v prostoru a čase. Tato problematika je metodologicky podrobně popsána v příloze, která tvoří rozšíření této hlavní části metodiky.

4.8 MONITORING ŽIVOČIŠNÝCH DRUHŮ V SOUVISLOSTI S KLIMATICKOU ZMĚNOU

V rámci metodiky byla využita skupina hydrobiontů, které kriticky reagují na projevy změn v rámci vodního prostředí (viz dále). Pro potřeby monitoringu reakce dalších skupin živočichů na projevy klimatické změny lze doporučit postupy uvedené v práci: Kolektiv, 2016: Příprava a zavedení sledování stavu předmětů ochrany evropsky významných lokalit, ČZU, Ekologické služby, s.r.o.

4.9 KOMENTÁŘ K ODHADOVANÝM EKONOMICKÝM NÁKLADŮM PRO UPLATNĚNÍ JEDNOTLIVÝCH METODICKÝCH KROKŮ

Metodický postup je navržen ve dvou úrovních. První je základní úroveň, jíž je věnována hlavní část metodiky a nástavbová, která je podrobněji uvedena jako možná/doporučená v rámci Přílohy č. 3.

Základní část byla navržena tak, aby byla pro uživatele metodiky náročná co nejméně, a to jak časově, tak i finančně, a současně byla naplnitelná odborníky v rámci pracovišť jednotlivých CHKO či správ NP. Odhadovaná časová náročnost je uvedena v tabulce níže.

Konkrétní časová náročnost bude záviset na typu a velikosti chráněného území, množství zapojených specialistů, případně podrobnosti výstupů.

Tabulka 2: Odhad časové náročnosti zpracování jednotlivých částí metodického postupu

Činnost	Odhadovaná časová náročnost (člověkohodiny)
1) Predikce vývoje hlavních klimatických charakteristik	8-16
2) Identifikace hlavních rizik pro jednotlivé funkce a biotopy	24-40
3) Výběr a doporučení adaptačních opatření	16-24
Celkový odhad časové náročnosti	48-80

Základní hodnocení zranitelnosti je možno doplnit o další nastavbové aktivity dle úvahy, potřeb a možností jednotlivých uživatelů. Případně je možné některé z uvedených kroků zajistit centrálně pro více území.

Časovou náročnost jednotlivých nastavbových kroků metodiky nelze plošně určit, bude záviset na konkrétní potřebě daného území a míře podrobnosti a využití požadovaných výstupů.

5 SOUHRN

Účelem metodiky je zhodnocení primárně zranitelnosti velkoplošných zvláště chráněných území vůči dopadům změny klimatu, ale v úpravách a doplněních i maloplošných zvláště chráněných území. Toto hodnocení zranitelnosti, dopadů a rizik by mělo sloužit jako podklad pro navazující práci v území, zejména při řešení pravidelného managementu území, přípravě plánů péče, případně zásad péče, vyjadřování se k územně-plánovací dokumentaci, vydávání stanovisek, hospodaření v lesích apod. Metodika by měla přispět pro lepší poznání problematiky změn klimatu ve vztahu k ochraně přírody a funkcím krajiny, přinést uživatelsky přístupný nástroj pro hodnocení zranitelnosti a směřovat k návrhu opatření pro zajištění péče o předměty ochrany v zájmovém území.

Základní metodika uživatele navádí ke zdrojům dobře dostupných dat o současném stavu hlavních klimatických charakteristik a predkcím vývoje do budoucna. Následně navazuje řešením a hodnocením zranitelnosti a rizik pro konkrétní předem nadefinované funkce krajiny a hlavní biotopy. Z hodnocení zranitelnosti by měly vyplynout hlavní okruhy, které je třeba řešit a navrhopat k nim pro dané MZCHÚ konkrétní adaptační opatření.

Tato hlavní část je následně v přílohách doplněna podrobnějšími metodickými postupy zaměřenými na řešení vybraných dílčích oblastí na podrobnější úrovni. Zatímco hlavní část je řešitelná kapacitami zaměstnanců příslušných správ MZCHÚ, v případě metodických příloh se již počítá i s využitím externích pracovišť.

Metodika je primárně určena správám národních parků a chráněných krajinných oblastí, respektive Agentuře ochrany přírody a krajiny ČR.

6 POUŽITÉ ZDROJE LITERATURY

- Adger, W.N. 2006. Vulnerability. *Glob Environ Change* 16:268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- Belda, M., Pišoft, P., Žák, M., 2015. Výstupy regionálních klimatických modelů na území ČR pro období 2015–2060. Katedra fyziky atmosféry, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze.
- Cílek, V., 2009. Ochrana biodiverzity na sklonu novověku. *Ochrana přírody*, zvláštní číslo, 1/5-5/5.
- Civantos, E., et al., 2012. Potential Impacts of Climate Change on Ecosystem Services in Europe: The Case of Pst Control by Vertebrates. *Bioscience* 62:658-666.
- Comer, P.J. et al. 2019. Habitat climate change vulnerability index applied to major vegetation types of the Western Interior United States. *Land*, 8, 108, doi:10.3390/land8070108
- ČHMÚ, 2019: Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015. Praha, 385 s. Dostupné online: https://www.mzp.cz/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu
- Foden, W.B. et al. 2018. Climate change vulnerability assessment of species. *WIREs Clim Change*. 2019;10:e551.
- Frazier, T.G., Thompson, C.M., Dezzani, R.J. 2014. A framework for the development of the SERV model: a spatially explicit resilience/vulnerability model. *Appl Geogr* 51:158–172. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04.004>
- Geyer, J., Kreft, S., Jeltsch, F., Ibsch, P.L. 2017. Assessing climate change-robustness of protected area management plans – The case of Germany. *PLOS ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185972>
- Gonzales, P., Neilson, R. P., Lenihan, J. M., Drapek, R. J., 2010. Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shift due to climate change. *Global Ecology & Biogeography*, 19, pp 755-768.
- Chen, I. C., et al., 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 333:1024-1026.
- Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V. & Lustyk P. (eds) (2010): Katalog biotopů České republiky. Ed. 2. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Janssen, M.A., Schoon, M.L., Ke W, Börner, K. 2006. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Glob Environ Change* 16:240–252.
- Janssens, I. A., Freibauer, A., Ciais, P., 2003. Europe's terrestrial biosphere absorbs 7-12 % of European anthropogenic CO2 emissions. *Science*, 300:1538-1542.
- Kolektiv, 2016: Příprava a zavedení sledování stavu předmětů ochrany evropsky významných lokalit, ČZU, Ekologické služby, s.r.o.
- Lopoukhine, N., Crawhall, N., Dudley, N., Figgis, C., Karibuhoye, D.L., Londono, J.M., MacKinnon, K., Sandwith, T. 2012. Protected areas: providing natural solutions to 21st Century challenges. *S.A.P.I.E.N.S*, 5, 1-19.
- Machar I. (2019): Biodiverzita a ekosystémové služby. In: ČHMÚ, 2019: Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015, s. 127-144.
- Machar, I., 2012. Protection of nature and landscapes in the Czech Republic Selected current issues and possibilities of their solution. In: Machar, I., Drobilová, L., eds., 2012. *Ochrana přírody a krajiny v České republice*, Vols I and II., Palacky University, Olomouc.
- Machar, I., Voženílek, V., Kirchner, K., Vlčková, V., Buček, A., 2017. Biogeographic model of climate conditions for vegetation zones in Czechia. *Geografie*, 122 (1), pp 64-82.

- MŽP, 2019. Metodický pokyn sekce ochrany přírody a krajiny, kterým se stanoví obsah plánů péče o chráněné krajinné oblasti, postup jejich zpracování, projednávání a schvalování. Věstník MŽP, ROČNÍK XXIX – leden 2019 – ČÁSTKA 1, s. 2-29.
- MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2015. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Praha, 130 s. Dostupné online: https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie
- MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2016. Národní akční plán adaptace na změnu klimatu. Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (2015). Praha, 113 s. Dostupné online: https://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu
- MŽP (Ministerstvo životního prostředí), 2016. Státní politika životního prostředí 2012–2020. Praha, 112 s. Dostupné online: https://www.mzp.cz/cz/statni_politika_zivotniho_prostredi
- Pretzsch, H., et al., 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nature Communications. doi: 10.1038/ncomms5967.
- Sluis, T., Pedroli, B., Kristensen, S. B. P., Cosor, G. L., Pavlis, E., 2016. Changing land use intensity in Europe – Recent processes in selected case studies. Land Use Policy, 57:777-785.
- Walther, G. R., et al., 2009. Alien species in a warmer world: risks and opportunities. Trends in Ecology and Evolution, 24:686-693.
- Warren, M. S., et al., 2001. Rapid response of British butterflies to opposing forces of climate and habitat changes. Nature, 414:65-69.
- Weißhuhn, P., Müller, F., Wiggering, H. 2018. Ecosystem Vulnerability Review: Proposal of an Interdisciplinary Ecosystem Assessment Approach. Environmental Management, 61:904–915.
- Williams, L.R.R., Kapustka, L.A. 2000. Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. Environ Toxicol Chem 19:1055–1058.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. 2004. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. edn 2, London, New York, Routledge.

Přílohy

7 PŘÍLOHA Č. 1: ŠABLONA PRO PROVEDENÍ PREDIKCÍ VÝVOJE KLIMATU, HODNOCENÍ ZRANITELNOSTI A NÁVRHU ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ

Šablona tabulek pro zpracování predikce vývoje hlavních klimatických charakteristik, hodnocení zranitelnosti a rizik a návrhu adaptačních opatření pro předcházení rizik je samostatnou přílohou metodiky a je přiložena v souboru „Priloha 1_metodika_sablona.xlsx“.

8 PŘÍLOHA Č. 3: VYBRANÉ METODICKÉ POSTUPY PRO HODNOCENÍ DOPADŮ A RIZIK VE VYBRANÝCH ZÁJMOVÝCH OBLASTECH

8.1 HODNOCENÍ ZMĚN KLIMATU PROSTŘEDNICTVÍM ROSTLINNÝCH INDIKAČNÍCH MODELOVÝCH DRUHŮ

Bioindikace a rostlinné indikátory

Indikační druhy jsou živé organismy, jejichž stav ukazuje nebo predikuje přítomnost určitého činitele v prostředí a naznačuje změny, které v něm probíhají (Bartell 2006; Burger 2006, McGeoch 2007). Podstatou bioindikace je využití výskytu taxonu, pro nějž platí, že reaguje na změny podmínek prostředí, je dobře rozeznatelný a poměrně běžný. Většina druhů poskytuje unimodální odpověď na proměnnou prostředí, jelikož má optimum při určité hladině environmentálních proměnné (Diekmann 2003). Dobrý bioindikátor je proto druh s úzkou ekologickou valencí vůči jednomu nebo více faktorům prostředí (McGeoch 2007).

Výhoda využití jednotlivých druhů jako bioindikátorů spočívá v usnadnění monitorování včetně možnosti predikce klimatických změn (Weber et al. 2004). Zhodnocení změn ve výskytu vybraných druhů usnadňuje identifikaci ohrožených oblastí (Bakkenes et al 2002) a může být prvním ukazatelem počátečních změn vegetace (Spellerberg 2005).

Při dlouhodobém biologickém monitorování se obvykle využívá jedna ze dvou strategií sběru vzorků:

- (i) komplexní monitorování nebo
- (ii) monitorování předběžně vybraných indikačních druhů (Lindenmayer&Likens 2010)

Higa et al. (2013) uvádí, že obě strategie mají své výhody i nevýhody. Při komplexním monitorování pozorujeme na lokalitě co nejvíce možných druhů, a tím získáváme podrobnější informace než při sledování indikátorů. Nicméně tato strategie vyžaduje, aby měl pozorovatel vysokou identifikační schopnost. Při práci v týmu nemusí mít všichni účastníci stejnou znalost a schopnosti určování, což může vést ke špatnému určení druhů na lokalitě a následně ke špatné interpretaci výsledků (Beale&Lennon 2012). Na druhou stranu je používání indikátorů často kritizováno ohledně jejich výběru a reprezentativnosti (Carignan&Villard 2002; Lindenmayer&Likens 2010). Pokud jsou ale indikátory vybrány předběžnou analýzou reakcí druhů na faktory prostředí ze široké škály potenciálních taxonů, mohou pomoci snížit úsilí při pozorování na dané lokalitě a zároveň posoudit obecné dopady změn klimatu pomocí běžných druhů (Carignan&Villard 2002; Urban 2000).

Některé studie doporučují monitorovat ohrožené a chráněné druhy, protože mohou být spojeny s celkovou druhovou bohatostí a mají užitečné indikační vlastnosti (Pearman et al. 2006). Nicméně tyto druhy mohou mít specifické požadavky na stanovištní podmínky, čímž může být omezen jejich výskyt i v místech s vysokou druhovou bohatostí (Chase et al. 2000; Orme et al. 2005). Predikce a hodnocení dopadu klimatických změn pomocí běžných druhů je využívána častěji. Rozsáhlejší areál výskytu lépe informuje o reakci druhů na různé vlivy v porovnání s druhy s omezeným počtem lokalit výskytu (Pearman& Weber 2007). Druhy omezené na jeden nebo několik typů biotopů představují potenciálně lepší ukazatele než stanovištní generalisté a mají větší náchylnost k lokálnímu nebo regionálnímu zániku v důsledku změn prostředí. Změny klimatu by měly mít dopad zejména na druhy, které se:

- a) vyskytují na hranici jejich geografického rozšíření
- b) jsou schopny se rychle přizpůsobit změnou své distribuční oblasti nebo naopak nejsou schopny, a tím se stávají ohrožené zánikem (De Groot et al. 1995).

Při výběru indikačních druhů by měla být vybrána kritéria, která poslouží jako typ "filtru" ke snížení počtu sledovaných druhů v dané oblasti na pouhých několik vhodných indikačních druhů. De Groot et al. (1995) zvolili několik kritérií pro výběr vhodných indikačních druhů klimatických změn:

- (i) citlivost na klima: pro toto kritérium je vhodné vybírat druhy na základě jejich indikačních hodnot pro teplotu

- (ii) bez omezení habitatu: druhy s dostatečným počtem lokalit
- (iii) schopnost disperze: druhy s dobrou disperzní schopností nebo druhy u kterých dochází k expanzi (expanzivní a invazní druhy)
- (iv) vhodnost pro monitorování: mezi indikační druhy by neměly patřit druhy, které lze obtížně monitorovat, např. jsou příliš malé a špatně rozpoznatelné, existují taxonomické problémy s jejich zařazením.

Dosavadní studie shodně naznačují, že reakce druhů na změny klimatu nemohou být dostatečně dobře předpovězeny z jediného znaku, vždy je lépe použít několik vlastností v kombinaci (Barboni et al. 2004, Küster et al. 2008, Pompe et al. 2014).

Ellenbergovy indikační hodnoty (EIH)

Nejpoužívanější metodou pro bioindikace s využitím výskytu rostlin jsou Ellenbergovy indikační hodnoty (dále EIH) přiřazené jednotlivým rostlinným druhům pro střední Evropu (Ellenberg et al. 1992), které jsou zpravidla upravovány pro vegetaci ostatních zemí (Švýcarsko, Maďarsko, Polsko aj.). Pro flóru České republiky byly rovněž vypracovány (Chytrý, 2018). Jedná se o bezjednotkové hodnoty na ordinální škále uvedené pro různé faktory prostředí, jež byly druhům přiděleny na základě terénní zkušenosti. Výpočtem průměrných Ellenbergových hodnot pro druhy přítomné ve fytoocenologickém snímku je možné získat odhad vlastností stanoviště (respektive lokality), na kterém byl zápis pořízen. Pokud nejsou současně se sběrem vegetačních dat měřeny nebo odhadovány hodnoty proměnných prostředí, představují průměrné Ellenbergovy hodnoty jejich potenciální náhradu (Schaffers & Sýkora 2000).

Omezení použití EIH spočívá mimo jiné v tom, že odráží ekologické chování druhu, nikoli jeho fyziologické preference. V jedné hodnotě je zahrnut celý komplex environmentálních proměnných. Například živiny integrují několik ekologických parametrů, a to dostupnost vody, provzdušnění půdy, pH půdy, disturbance. Hodnoty EIH rovněž nereflektují okamžitý stav podmínek, jelikož výskyt taxonu je většinou zpožděn za změnou podmínek prostředí (Schaffers et Sýkora 2000).

Mezi hlavní faktory způsobující změny v rozšíření druhů patří teplota a živiny (Wörz & Thiv 2015). S rostoucí teplotou však dochází k nárůstu druhů s vyššími EIH nejen pro teplotu, ale i pro světlo, což může souviset jak s otevřením lesního zápoje vlivem přirozených disturbancí, tak s managementem (Lenoir et al. 2010). S vyšší teplotou se zvyšuje míra respirace rostlin, což může vést k stresu ze sucha, a to i v případě zvýšení srážek. EIH vlhkosti však není určena srážkami, ale půdní vlhkostí. Zvýšená přítomnost teplomilných druhů rostlin může mít i další příčiny, jako je např. urbanizace. Efekt urbanizace a klimatických změn působí synergicky (Tamis et al. 2005).

K šíření druhů náročných na živiny dochází zejména v souvislosti s eutrofizací lesní půdy depozicí atmosférického dusíku, nitrifikací habitatů a krajiny zvýšeným zemědělstvím a hospodařením s půdou (Wörz & Thiv 2015; Tamis et al. 2005; Lenoir et al. 2010). Zásobení dusíkem se na většině stanovišť podobá hodnotám půdní reakce, jelikož tyto veličiny spolu korelují (Schaffers et Sýkora 2000 in Krejza 2008). Byl zjištěn pozitivní vztah mezi pH půdy a živinami (Tamis et al. 2005; Van Landuyt et al. 2008). V poslední době byla publikována studie přinášející zpřesnění Ellenbergových parametrů, které je vhodné používat a neustále sledovat jejich úpravy (Tichý et al. 2023) (další informace lze dohledat i zde: floraveg.eu).

Rostlinné znaky (plant traits) a životní formy

Různé environmentální faktory ovlivňují složení vegetace, a tedy i zastoupení kategorií různých rostlinných znaků. Shoda mezi změnami kategorií znaků a podmínkami životního prostředí odráží probíhající změny, adaptaci druhů a jejich fenotypovou plasticitu (Ackerly et al. 2000). Častější výskyt druhů s určitou kategorií rostlinného znaku může být využit pro zhodnocení vlivu různých faktorů a druhy s těmito kategoriemi znaků mohou sloužit jako indikátory změn. Reakce rostlinných druhů na klima je spojena s životní formou a se znaky listů (Lavorel et al. 2007; Van der Veken et al. 2004). Z pohledu životních forem (Raunkiaer 1934) jsou kryptofyty (geofyty a hygroyty) druhy chladnějších oblastí, které chrání své pupeny před nadměrným chladem. S rostoucí teplotou jejich počet ubývá, zatímco přibývá terofytů (Van der Veken et al. 2004). Z rostlinných znaků je významná anatomie listů, která odráží především dostupnost vody na stanovišti (Klotz & Kühn 2002) a je považována za klíčový znak, zvláště citlivý na změny klimatu (Küster et al. 2010). Druhy se skleromorfními listy se vyskytují na místech se sezónními suchy (Ellenberg 1996). Druhy s mezomorfními listy jsou adaptovány na stanoviště středně zásobená vodou a v teplejších klimatických podmínkách by měly prosperovat (Pompe et al. 2008).

Pompe et al. (2008) a Küster et al. (2010) zjistili zvyšující se množství druhů se skleromorfními a mezomorfními listy v průběhu klimatického oteplování. V této souvislosti můžeme očekávat rovněž snižování počtu druhů s hygromorfními, hydromorfními a helomorfními listy, které nemají dostatečné adaptace pro zvyšující se teplotu (Küster et al. 2010). Souvislost s klimatickými proměnnými má i vytrvalost (perzistence) listů, která ovlivňuje konkurenceschopnost rostlin. Je ovlivněna dostupností živin, světla a také teplotou (Klotz&Kühn 2002). Nicméně její vypovídací hodnota v analýzách byla menší než u životní formy (Pompe et al. 2014).

- **Lesní vegetační stupně (LVS)** - LVS jsou vhodným kritériem pro hodnocení vlivů možných klimatických změn na přírodu. Rozhodující váha pro určení LVS se klade na dominantní dřevinnou složku a skladbu souborů živné řady (edafické kategorie), kde je kromě výraznější diferenciace bohatých fytoocenóz i přímější závislost na výškovém klimatu (Plíva 1987). Důsledky změn klimatu na vegetaci se nejdříve projeví v místech ostrých hranic vegetačních formací, kdy probíhá posun různých typů dřevin z nižších nadmořských výšek do vyšších (Kullman 2001).
- **Invazivnost druhů – Změna klimatu** může snížit odolnost ekosystémů vůči biologickým invazím, zatímco biologické invaze mohou podobně snížit odolnost ekosystémů vůči dopadům změny klimatu. Kromě toho se interakce mezi hnacími silami změn výrazně komplikují souhrou různých klimatických jevů (WGISCC 2014). Změna klimatu obvykle zvýhodní nepůvodní invazivní taxony před původními (Dukes&Mooney 1999; Thuiller et al. 2008; Vilá et al. 2007; Walther et al. 2009).
- **Disturbance – Biodiverzita krajiny** je obecně nejvyšší tehdy, pokud disturbance nejsou příliš vzácné, ani příliš časté (Grime 1973). Disturbance patří k tzv. nepřímým vlivům změn klimatu, které mohou zvýšit jejich frekvenci (např. větrné polomy, povodně, lesní požáry). V mnoha oblastech světa lze vývoj intenzity a frekvence disturbance považovat za jeden z nejzásadnějších dopadů klimatických změn na lesní ekosystémy (Dale et al. 2001, Lindner et al. 2010, Turner 2010). Na disturbance reaguje pozitivně také mnoho invazivních druhů (Zouhar et al. 2008), jelikož dochází ke zvýšení dostupnosti zdrojů (Davis et al. 2000).
- **Hemerobie – Hemerobie** vyjadřuje míru antropogenních vlivů, které působí proti přirozené sukcesí, směrem k terminální fázi vývoje ekosystému. Hemerobii lze připsat různým hierarchickým úrovním – druhům, ekosystémům nebo krajinám. Kienberger et al. (2014) zahrnují tento ukazatel do posouzení zranitelnosti krajiny a považují tento faktor jako negativní i ve vztahu ke změně klimatu. Předpokládají, že čím více je krajina udržována v přirozeném stavu, tím menší budou dopady extrémních událostí. Vzhledem k tomu, že přírodní prostředí ve střední Evropě je již omezeno na minimum, je nutné brát tento faktor v úvahu.

Metodika výběru indikačních modelových druhů pro studované území

Zjištění spektra taxonů vyskytujících se v území

Hlavním zdrojem dat k analýze indikačních druhů cévnatých rostlin je Nálezová databáze ochrany přírody NDOP (AOPK ČR) a Česká Národní fytoocenologická databáze (Chytrý & Rafajová 2003), popřípadě další nálezové databáze a zdroje. Jednotlivé nálezy i fytoocenologické snímky pro studované území odfiltrujeme na základě souřadnic v prostředí QGIS (QGIS Development Team 2009, [online]).

Identifikace vlastností druhů a výběr indikačních modelových druhů

Modelové druhy vybíráme vždy s ohledem na charakter posuzovaného území. Primárně vycházíme z vlastností druhů vyskytujících se v území. To znamená z ekologických indikačních hodnot (EIH) a znaků rostlin významných ve vztahu ke klimatu. Jako doplňkové informace k výběru pak slouží vztah

k lesním vegetačním stupňům (LVS), status invazivnosti taxonu nebo jeho vzácnost a další doplňující proměnné.

Postup:

1. Každému taxonu ze studovaného území přiřadíme ekologické indikační hodnoty (Chytrý et al. 2008) pro různé faktory prostředí. Jelikož distribuce druhů je řízena primárně klimatickými faktory (teplotou, vlhkostí, typem půdy aj.), z nichž zejména teplota má až 50 % podíl na změnách výskytu druhů (Tamis et al. 2005), provedeme předvýběr indikačních druhů na základě EIH teploty. Jako indikátory klimatické změny je vhodné vybrat druhy s nízkými hodnotami 1-4 (rostliny indikující chladné teplotní podmínky) nebo naopak s vysokými hodnotami 7-9 (rostliny indikující teplomilné habitaty) (De Groot et al. 1995). Na základě vztahu k dalším indikačním faktorům změn klimatu (vlhkost, živiny, reakce půdy) vybrané druhy dále obdobně rozdělíme na indikátory rostoucí či klesající vlhkosti, živin a půdní reakce.
Pozn.: Do posouzení vhodnosti druhů ke sledování klimatických změn můžeme zahrnout také další faktory, např. průměrnou teplotu v červenci a lednu, průměrné roční srážky, aj. (databáze Ecoflora, Fitter&Peat 1994). Práci se snímky provádíme v programu Juice (Tichý 2002), v němž spočítáme snadno i frekvenci výskytu jednotlivých druhů, jejichž další lokality doplníme o jednotlivé nálezy z dalších zdrojů. Chybějící údaje EIH převezmeme z databáze Pladias (Pladias – database of Czech flora and vegetation, www.pladias.org).
2. Provedeme filtr druhů na základě frekvence výskytu v území. Pro excerpce dalších znaků volíme přednostně ty druhy, které byly v území zaznamenány na dostatečném počtu lokalit (zde záleží na velikosti posuzované oblasti).
3. Zjistíme zastoupení spektra lesních vegetačních stupňů (LVS) ve studovaném území. Výběr druhů poté doplníme na základě LVS tak, že z dominantních a konstantních taxonů přítomných LVS vybereme takové, které se vyskytují pouze v jednom až max. třech vegetačních stupních (Macků 2012).
4. Rešerše znaků rozšíříme o vlastnosti druhů (plant traits) ovlivňující jejich výskyt v souvislosti s klimatem (životní forma, anatomie listů) (databáze Bioflor, Klotz&Kühn 2002). Vhodné je také přidat informace o vztahu taxonů k disturbanci (Herben et al. 2016) a hemerobii (Sukopp 1972). Excerptce uzavřeme stupněm ohrožení, který zjistíme z Červeného seznamu cévnatých rostlin (Grulich & Chobot 2017) a provedeme analýzu skladby z pohledu nepůvodních (zejména invazních) druhů (Pyšek et al 2012).
5. Na základě zjištěných informací vybereme indikační modelové druhy tak, aby reprezentovaly dvě skupiny, jejichž frekvence v posuzovaném typu krajiny by při změně klimatických podmínek měla buď poklesnout, nebo by naopak mohla růst. Indikační druhy vybíráme případně i podle dalších kritérií, jež mohou být pro posuzované území významné. Do výběru je nutné implementovat individuální expertní posouzení a znalost i dalších vlastností, jak samotného indikačního druhu, tak posuzovaného území a jeho specifík. Vždy však volíme druhy podle širšího spektra znaků. Přesnost dalších analýz je pak ovlivněna tím, jak velkou část areálu a šířku niky jednotlivých taxonů jsme schopni postihnout excerptci z nálezových databází. Proto nestačí omezit je na pouhé studované území.

Metodika výběru společenstev pro studované území

Častěji než výskyt jednoho druhu se hodnotí výskyt rostlinného společenstva, jelikož rozsah tolerancí společně se vyskytujících taxonů je menší než u jednoho druhu (Diekmann 2003). Klíčový předpoklad k predikci areálu společenstva je, v souladu s Clementsovým přístupem (Clements 1936; Jiménez-Alfaro et al. 2018), že společenstvo se opakovaně vyskytuje v závislosti na opakovaném výskytu abiotických faktorů.

Postup:

1. Přehled společenstev studovaného území zjistíme z excerptovaných fytoecologických snímků, které analyzujeme expertním systémem (Expertní systém vegetace ČR, [online]) v programu Juice a identifikujeme tak společenstva přítomná ve studovaném území až na úroveň asociací (hodnota FPFI>30).

2. Následně modelujeme změny ekologických nik pro společenstva (různých hierarchických úrovní), u kterých předpokládáme změny a která jsou v daném území nejvíce ohrožená. Tuto analýzu můžeme také propojit s vybranými indikačními druhy tak, že zjistíme jejich výskyt v přítomných společenstvech (skladbu a frekvenci) a pro ně pak uděláme prioritně modely. Vždy je však důležité podchytit co největší část areálu jednotlivých druhů i společenstev. Pokud tomu tak není, snižuje se vypovídací hodnota modelu.

Použitá a doporučená literatura

- Ackerly D.D., Dudley S.A., Sultan S. E., Schmitt J., Coleman, J.S. (2000): The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions – *BioScience*, 50: 979–995.
- AOPK ČR. Názevová databáze ochrany přírody. [on-line databáze; portal.nature.cz]. 2019-06-20; [cit. 2019-06-20]
- Bakkenes M., Alkemade J.R.M., Ihle F., Leemans R., Latour J.B. (2002): Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. - *Global Change Biology*, 8: 390–407.
- Barboni D., Harrison S.P., Bartlein P.J., et al. (2004): Relationships between plant traits and climate in the Mediterranean region: a pollen data analysis. *Journal of Vegetation Science*, 15: 635–646.
- Bartell S.M. (2006): Biomarkers, bioindicators, and ecological risk assessment. A brief review and evaluation. *Environmental Bioindicators*, 1: 39–52.
- Beale C.M. & Lennon J.J. (2012): Incorporating uncertainty in predictive species distribution modelling. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B*, 367: 247–258.
- Burger J. (2006): Bioindicators: types, development, and use in ecological assessment and research. *Environmental Bioindicators*, 1: 22–39.
- Carignan V. & Villard M.A. (2002): Selecting indicator species to monitor ecological integrity. A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78: 45–61.
- Clements F.E. (1936): Nature and structure of the climax. *The Journal of Ecology*, 24, 252. <https://doi.org/10.2307/2256278>
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. (2001): Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 5: 723–734.
- De Groot R.S., Ketner P., Ova A.H. (1995): Selection and use of bio-indicators to assess the possible effects of climate change in Europe. *Journal of Biogeography*, 22: 935–943.
- Diekmann M. (2003): Species indicator values as an important tool in applied plant ecology - a review. *Basic and Applied Ecology*, 4: 493–506.
- Dukes J.S. & Mooney H.A. (1999): Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology and Evolution*, 14: 135–139.
- Ellenberg H., Weber H.E., Drill R.V., Wirth W., Werner W., Paulissen D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica XVIII*, Goltze Verlag, Göttingen.
- Expertní systém vegetace ČR [online]. [citováno 20. 12. 2019]. Dostupné z: http://www.sci.muni.cz/botany/vegsci/expertni_system.php?lang=cz.
- Fitter A.H. & Peat H.J. (1994): The Ecological Flora Database. *Journal of Ecology*, 82: 415–425.
- Gavlasová P. (2018): Rostlinné indikátory klimatických změn modelového území CHKO Beskydy. Diplomová práce. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra biologie a ekologie, 2018-05-15.
- Grulich V. & Chobot K. (eds.) (2017): Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Cévnaté rostliny. *Příroda*, 35: 1–178.
- Herben T., Chytrý M. & Klimešová J. (2016): A quest for species-level indicator values for disturbance. *Journal of Vegetation Science*, 27: 628–636.

- Higa M., Tsuyama I., Nakao K., Nakazono E., Matsui T., Tanaka N. (2013): Influence of non-climatic factors on the habitat prediction of tree species and an assessment of the impact of climate change. *Landscape and Ecological Engineering*, 9: 111–120.
- Hutto R.L. (1998): Using Landbirds as an Indicator Species Group. In: Marzluff J.M. & Sallabanks R. (eds.): *Avian Conservation: Research and Management*. Island Press, Washington (D.C.), pp. 75–91.
- Chase M.K., Kristan W.B., Lynam A.J., Price M.V., Rotenberry J.T. (2000): Single species as indicators of species richness and composition in California coastal sage scrub birds and small-mammals. *Conservation Biology*, 14: 474–487.
- Chytrý M. & Rafajová M. (2003): Czech National Phytosociological Database: basic statistics of available vegetation-plot data. *Preslia*, 75: 1–15.
- Jiménez-Alfaro B., Suárez-Seoane S., Chytrý M., Hennekens S.H., Willner W., Hájek M. et al. (2018). Modelling the distribution and compositional variation of plant communities at the continental scale. *Diversity and Distributions*, 24: 978–990.
- Kienberger S., Contreras D., Zeil, P. (2014): Spatial and Holistic Assessment of social, economic and environmental vulnerability to floods. Lessons from the Salzach River Basin, Austria. In: Birkmann J., Kienberger S., Alexander D. (eds.): *Vulnerability to Natural Hazards. A European Perspective*. Elsevier, USA, 53–74.
- Klotz S. & Kühn I. (2002): Blattmerkmale. In: Klotz S., Kühn I. & Durka W. (eds.): *BIOLFLORE: Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland*. Schriftenreihe Vegetationskunde, 38: 119–126.
- Kullman L. (2001): Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. - *Journal of Ecology*, 90: 68–77.
- Küster, E.C., Kühn, I., Bruehlheide, H. & Klotz, S. (2008): Trait interaction helps explain plant invasion success in the German flora. *Journal of Ecology*, 96: 860–869.
- Küster E.C., Durka W., Kühn I., Klotz S. (2010): Differences in the trait composition of non-indigenous and native plants across Germany. *Biological Invasions*, 12: 2001–2012.
- Lavorel S. et al. (2007): Plant functional types: are we getting any closer to the Holy Grail? In: Lenoir J., Ge'gout J.C., Dupouey J.L., Bert D., Svenning J.C. (2010): Forest plant community changes during 1989–2007 in response to climate warming in the Jura Mountains (France and Switzerland). - *Journal of Vegetation Science*, 21: 949–964.
- Lindenmayer D.B. & Likens G.E. (2010): *Effective Ecological Monitoring*. CSIRO Publishing, Collingwood, pp. 224. ISBN: 97-814-8630-8927.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., et al. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 698–709.
- Macků J. (2012): Konstantní, dominantní a stálostní diagnostické druhy rostlin v LVS a SLT. In: Holušová K. (ed.): *Rozvoj lesnické typologie a její užití v lesnické praxi*. Sborník příspěvků z konference. Brandýs nad Labem. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, pp. 107–113. ISBN 978-80-02-02386-9.
- McGeoch M.A. (2007): The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*, 73: 181–201.
- Orme C.D.L., Davies R.G., Burgess M. et al. (2005): Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature*, 436: 1016–1019.
- Pearman P.B., Penskar M.R., Schools E.H., Enander H.D. (2006): Identifying potential indicator species of conservation value using natural heritage occurrence data. *Ecological Applications*, 16: 186–201.
- Pearman P.B. & Weber D. (2007): Common species determine richness patterns in biodiversity indicator taxa. *Biological Conservation*, 138: 109–119.
- Pladias: Databáze české flóry a vegetace. [Online]. Copyright 2014 [Citace: 12. 03. 2019]. Dostupné z: <https://pladias.cz/>

- Plíva K. (1987): Typologický klasifikační systém ÚHÚL., ÚHÚL., Brandýs nad Labem, pp. 51.
- Pompe S., Hanspach J., Badeck F., Klotz S., Thuiller W., Kühn I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters*, 4: 564–567.
- Pompe S., Hanspach J., Badeck F.W., Klotz S., Bruelheide, H., Kühn I. (2014): Using ecological and life-history characteristics for projecting species responses to climate change. *Frontiers of Biogeography*, 6: 119–131.
- Pyšek P., Danihelka J., Sádlo J., Chrtěk J. Jr., Chytrý M., Jarošík V., Kaplan Z., Krahulec F., Moravcová L., Pergl J., Štajerová K., Tichý L. (2012): Catalogue of alien plants of the Czech Republic (2nd edition): checklist update, taxonomic diversity and invasion patterns. *Preslia*, 84: 155–255.
- QGIS Development Team (2009): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. [online]. [cit. 15. 3. 2018]. Dostupné z: <http://qgis.osgeo.org>
- Raunkiaer C. (1934): The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford.
- Schaffers A.P., Sykora K.V. (2000): Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science*, 11: 225–244.
- Spellerberg I.F. (2005): *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 412. ISBN: 9780521527286.
- Sukopp H. (1972): Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. *Berichte über Landwirtschaft*, 50: 112–139.
- Tamis W.L., van Zelfde M., Van Der Meijden R., De Haes H.A.U. (2005): Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20th century explained by their climatic and other environmental characteristics. *Climatic Change*, 72: 37–56.
- Thuiller, W., Albert, C., Araújo, M.B. et al. (2008): Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9: 137–152.
- Tichý L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. – *Journal of Vegetation Science*, 13: 451–453.
- Tichý L., Axmanová I., Dengler J., Guarino R., Jansen F., Midolo G., Nobis M.P., Van Meerbeek K., Ačić S., Attorre F., Bergmeier E., Biurrun I., Bonari G., Bruelheide H., Campos J.A., Čarni A., Chiarucci A., Čuk M., Čušterevska M., Didukh Y., Dítě D., Dítě Z., Dziuba T., Fanelli G., Fernández-Pascual E., Garbolino E., Gavilán R.G., Gégout J.-C., Graf U., Güler B., Hájek M., Hennekens S.M., Jandt U., Jašková A., Jiménez-Alfaro B., Julve P., Kambach S., Karger D.N., Karrer G., Kavgacı A., Knollová I., Kuzemko A., Kůzmič F., Landucci F., Lengyel A., Lenoir J., Marcenò C., Moeslund J.E., Novák P., Pérez-Haase A., Peterka T., Pielech R., Pignatti A., Rašomavičius V., Růsiņa S., Saatkamp A., Šilc U., Škvorc Ž., Theurillat J.-P., Wohlgemuth T. & Chytrý M. (2023) Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34, e13168. <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
- Turner, M.G. (2010): Disturbance and landscapedynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10): 2833–2849.
- Urban D. (2000): Using model analysis to design monitoring programs for landscape management and impact assessment. *Ecological Applications*, 10: 1820–1832.
- Van Der Veken S., Bossuyt B., Hermy M. (2004): Climate gradient explain changes in plant community composition of the forest understorey: An extrapolation after climate warming. *Belgian Journal of Botany*, 137: 55–69.
- Van Landuyt W, Vanhecke L., Hoste I., Hendrickx F., Bauwens D. (2008): Changes in the distribution area of vascular plants in Flanders (northern Belgium): Eutrophication as a major driving force. *Biodiversity Conservation*, 17: 3045–3060.

- Vilá M., Corbin J.D., Dukes J.S. et al. (2007): Linking plant invasions to global environmental change. In: Canadell, J., Pataki, D., Pitelka, L. (eds.): Terrestrial ecosystems in a changing world. New York, NY: Springer: 93–102.
- Walther G.R., Roques A., Hulme P.E. et al. (2009): Alien species in a warmer world: Risks and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution*, 24: 686–693.
- Weber D., Hintermann U., Zangger A. (2004): Scale and trends in species richness: considerations for monitoring biological diversity for political purposes. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 97–104.
- Working Group on Invasive Species and Climate Change [WGISCC] (2014): Bioinvasions in a changing world: A resource on invasive species-climate change interactions for conservation and natural resource management. [Citace: 12. 03. 2019]. Dostupné z http://www.invasivespeciesinfo.gov/docs/toolkit/bioinvasions_in_a_changing_world.pdf
- Wörz A. & Thiv M. (2015): The temporal dynamics of a regional flora—The effects of global and local impacts. *Flora*, 217: 99–108.

8.2 ZPRACOVÁNÍ DOPADŮ ZMĚN KLIMATU NA VYBRANÉ POVODÍ

Jedněmi s klíčových vlastností, které mají odraz v klimatické změně jsou hydrologické podmínky. Z tohoto důvodu jsou srážko-odtokové poměry významným interpretačním vstupem do stanovení reakce stanovišť na klimatickou změnu. V kontextu maloplošných chráněných území není práce na úrovni povodí příliš relevantní. Navíc, je relevantní především u větších MZCHÚ, kde se poměry povodí projevují, tedy především pak v rámci území, která jsou úzce vázaná na vodní toky a jejich reakci na měnící se klimatické charakteristiky.

Zpracování dopadů změn klimatu na vybrané povodí je doporučeno pomocí hydrologického modelu HEC-HMS, který slouží k simulaci srážko-odtokového procesu v povodí. Program je možné stáhnout z níže uvedeného odkazu:

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>

Je doporučeno použít následovnou strukturu modelu HEC-HMS:

- **Canopy:** Simple canopy / Modul simulace vlivu vegetace: varianta jednoduchých parametrů vegetace
- **Surface:** Simple surface / Modul simulace zadržování vody vlivem depresí – metoda jednoduchého zadržování
- **Loss:** Soil Moisture Accounting / Modul simulace ztráty: metoda schematizace povodí schematizace povodí jako soustavy vertikálně a horizontálně uspořádaných nádrží
- **Transform:** SCS Unit Hydrograph / Modul simulace hydraulické transformace – metoda jednotkového hydrogramu SCS.
- **Baseflow:** Linear Reservoir / Modul simulace základního odtoku – metoda lineární nádrže
- **Routing:** Kinematic wave / Modul hydraulické transformace v korytech – metoda kinematické vlny
- **Snow melt:** Degree-day method / Modul tání sněhu – metoda stupeň-den

Při simulaci je doporučeno použít klimatická data (minimálně alespoň teploty vzduchu, úhrny srážek, příp. minimální a maximální teploty vzduchu, délky slunečního svitu, průměrné vlhkosti vzduchu, průměrné relativní vlhkosti vzduchu a průměrné rychlosti proudění vzduchu – větru) a hydrologická data (průtoky) z ČHMÚ pro minimální období 10 let v denním, případně měsíčním časovém kroku. Dále je doporučeno pro analýzy použít digitální model reliéfu z ČÚZK (DMR4G).

Úhrn srážek je doporučen získat z více stanic nacházejících se v rozličných nadmořských výškách, aby byl zaznamenán trend nárůstu srážek s rostoucí nadmořskou výškou. Dále je doporučen výpočet potenciální evapotranspirace (např. metodou FAO Penman-Monteith). Pro tento výpočet jsou dostačující výše popsaná data z jedné klimatické stanice. Pro přípravu prostorových dat doporučujeme používat program HEC-GeoHMS.

Program je dostupný ze webových stránek: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/downloads.aspx>

Klimatické scénáře je možné získat z veřejně dostupných zdrojů, např. z databáze WORDCLIM (<https://www.worldclim.org/>), případně z CZECHGLOBE. Výběr konkrétního globálního, případně regionálního klimatického modelu, by měl být doložen schopností modelu správně simulovat klimatické charakteristiky v podmínkách České republiky. Informace o jednotlivých modelech je možné získat ve studii (Štěpánek a kol., 2019). Jako výstupy klimatického modelu je doporučeno získat průměrné měsíční teploty vzduchu a úhrny srážek (případně evapotranspiraci) v řešeném území pro vybrané scénáře. Na základě těchto dat následně vypočítat změny v teplotě (absolutní hodnoty v °C) a úhrnu srážek (relativní hodnoty v %) v jednotlivých scénářích oproti současnosti. Následně je potřebné změnit jednotky teplot v časových řadách (z °C na K) a přičíst absolutní změnu teploty v jednotlivých měsících. Po úpravě celé časové řady teploty je opětovně potřebné převést Kelvinův zpátky na °C. Časové řady srážek z řešeného území je nutno upravit tak, aby odpovídaly jednotlivým scénářům na základě změny ve srážkách (%) pro jednotlivé měsíce. Výsledkem jsou upravené časové řady (pro jednotlivé scénáře), které budou po kalibraci a validaci modelu použity pro simulaci změny.

Během kalibrace a validace modelu HEC-HMS je doporučeno využít průtoky z ČHMU a minimálně dvě míry výkonnosti, ze kterých jedna bude schopna hodnotit dynamiku modelu (např. Nash-Sutcliffeefficiency index - NSE) a druhá bilanci (např. Percentualbias - PBIAS). Dále je nutno dodržovat minimální kritéria úspěšnosti modelu (Moriassi a kol., 2007) pro zvolené míry výkonnosti (v případě NSE hodnoty vyšší než 0,5 a menší než ± 10 % u PBIAS). Hodnoty jednotlivých parametrů doporučujeme volit dle manuálu programu HEC-HMS (USAGE, 2016). Časové řady srážek je potřebné rozdělit na kalibrační a validační periodu. Po úspěšné kalibraci je možné simulovat dopady změn srážek a teploty využitím celé periody na vybrané charakteristiky (je doporučeno použít minimálně průtoky, případně základní odtok, vodní hodnotu sněhu a evapotranspiraci).

Hodnocení dopadů změn klimatu na vybrané charakteristiky je doporučeno uskutečnit minimálně pro průměrné roční a průměrné měsíční hodnoty. Pro zpracování výstupů z modelu HEC-HMS je doporučeno využít software MS EXCEL, případně HEC-DSSVue, HEC-SSP, a statistický program R.

S výjimkou MS EXCEL jsou výše zmíněné programy volně dostupné:

HEC-DSSVue: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dssvue/downloads.aspx>

HEC-SSP: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/download.aspx>

R: <https://rstudio.com/products/rstudio/download/>

Literatura:

- Moriassi, D. N. Arnold, J. G. Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE. 50 (3): 885–900.
- Štěpánek P., Trnka, M., Meitner, J., Dubrovský, M., Zahradníček, P., Lhotka, O., Skalák, P., Kyselý, J., Farda, A., Semerádová D., 2019. Očekávané klimatické podmínky v České republice část I. Změna základních parametrů, Vydáno v rámci projektu: „SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797)“, Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno, ISBN. 978 8 87902 28 8 Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/o-nas/aktuality/ocekavane-klimaticke-podminky-v-ceske-republice-cast-i-zmena-zakladnich-parametru/>
- USAGE, 2016. Hydrologic Modelling System, HEC-HMS, User Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre, 598 s.

8.3 STANOVENÍ EMPIRICKÝCH KRITICKÝCH ZÁTĚŽÍ DUSÍKU JAKO INDIKÁTORU RIZIKA ZMĚNY BIODIVERZITY LESNÍHO POROSTU

Cílem je stanovení empirických kritických zátěží dusíku jako indikátoru rizika změny biodiverzity lesního porostu. K řešení lze použít statistický odhad fytoindikace kritické zátěže dusíkem v ekosystémech charakterizujících přirozený region během environmentální změny. Srovnávány jsou prediktory stanovištních podmínek bylin teplota, srážky, deponice dusíku, hustota celkové zápoje vegetace a vlastnosti půdní organické hmoty.

Metodicky je tato část samostatně popsána v závěrečné zprávě pod názvem „Stanovení empirických kritických zátěží dusíku jako indikátoru rizika změny biodiverzity lesního porostu“.

Stanovení kritických zátěží dusíku je pro MZCHÚ nevhodné z hlediska nedostupnosti dat, avšak podmínky spojené s kritickým zatížením eutrofizujícím dusíkem je možné nahradit fytoindikací anebo monitoringem změny složení fytocenóz směrem k nitrofilním skupinám druhů.

8.4 ZRANITELNOST LESNÍCH POROSTŮ S OHLEDEM NA PREDIKOVANÉ ZMĚNY KLIMATU

Zranitelnost lesních porostů byla řešena jako součást projektu. Výstupy a metodický postup jsou shrnuty v průběžných a závěrečných zprávách této části projektu, tj. „Doporučená opatření pro adaptaci území na změny klimatu (2019)“ a „Identifikace a analýza hlavních rizik a zranitelnosti krajiny vyplývajících ze změny klimatu.“

Zranitelnost lesních porostů je komplikovaným projevem klimatické změny a ve směru k předmětu ochrany maloplošných ZCHÚ by bylo nutné identifikovat změny a posuny v průběhu výškových vegetačních stupňů a hydrických řad. Komplexnost přístupu lze odvodit z dílčích analýz a syntéz uvedených v příloze tohoto dokumentu.

8.5 ZRANITELNOST VYBRANÝCH HYDROBIOCENÓZ NA PREDIKOVANÉ ZMĚNY KLIMATU

Data byla zpracovávána v programu R (R Core Team 2018) a balíčku vegan (Oksanen et. al 2019). Pomocí detrendované korespondenční analýzy (DCA) byla určena délka gradientu u obou společenstev chrostíků a pošvatek (Lepš & Šmilauer 2000). Ta odkázala na použití unimodální ordinace, v našem případě tedy kanonické korespondenční analýzy (CCA). V případě CCA se druhová data nestandardizují (Bocard 2011). Byly vyhotoveny samostatné CCA modely pro obě společenstva a vybrané vysvětlující proměnné. Validnost modelů byla testována permutačním testem s 999 iteracemi. Vysvětlená variabilita byla spočítána na základě poměrů setrvačnosti omezených a neomezených os (Palmer 2004). Za účelem ověření, relevantnosti oddělení, či sloučení některých společenstev byly ordinační analýzy vizualizovány ve 3D. Nově byly vypočítány realizované niky jednotlivých druhů a následně provedena analýza vývoje populací sledovaných druhů na základě srovnání recentních klimatických dat za referenční období (průměrná roční teplota, průměrné roční srážky, poměr teploty a srážek) a klimatického predikčního modelu - regionální ALADIN CLIMATE.CZ, ve čtverci 500 x 500 m a scénářem SRES A1B.

Generalizace společenstev pošvatek a chrostíků byla provedena tak, že zčásti byly využity 3D grafy ordinačních analýz společenstev, z nichž bylo zřejmé, že společenstva různých geomorfologických jednotek, Klokočovská hornatina (Magurský příkrov) a Zadní hory (Slezský příkrov), jsou si v základních rysech velmi podobné, resp. že se nejedná o překryv v rámci 2D zobrazení. Dále byla sloučena společenstva, mezi nimiž byla v ordinačním prostoru poměrně velká vzdálenost, avšak jedná se o společenstva na sebe navazující a v základu jsou tvořena týmiž druhy, přičemž hlavní rozdíly jsou v abundancích např. L 1.6. Hypokrenální stružky pahorkatin a L 1.7. Drobné toky pahorkatin.

Literatura:

- Bocard, D., Gillet, F. & Legendre, P. 2011. Numerical Ecology with R. Springer.
- R Core Team 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs, E., Wagner, H. 2019. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Lepš, & Šmilauer 2000. Mnohorozměrná analýza ekologických dat. České Budějovice. Jihočeská univerzita.
- Palmer, M. 2004. Ordination Methods for Ecologists. Botany Department, Oklahoma State University. Available from <<http://ordination.okstate.edu>>.



2022

