

UNIVERZITA PALÁČKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra rozvojových a environmentálních studií



**HODNOCENÍ VLIVU SUCHA NA LESNÍ EKOSYSTÉMY V BIOMU OPADAVÉHO
LESA TEMPERÁTNÍ ZÓNY**

Evaluation of the impact of drought on forest ecosystems of the temperate deciduous biome

BAKALÁŘSKÁ DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala: Tereza ŠRÁMKOVÁ

Vedoucí práce: prof. Ing. Ivo MACHAR, Ph.D.

Olomouc 2021

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Ivo Machara, Ph.D. s použitím všech pramenů uvedených v seznamu literatury.

V Olomouci dne 8. 4. 2021

.....

Tereza Šrámková

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Ivo Macharovi, Ph.D. za ochotu, milá slova i rychlé odpovědi. Dále bych chtěla poděkovat také Mgr. Miroslavu Kubínovi, díky kterému jsem objevila můj zájem o opatření proti suchu, a v neposlední řadě také mé rodině, příteli i přátelům, zejména Ivě Bitalové, za společnou podporu a veselý optimismus.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Tereza Šrámková

Název práce: Hodnocení vlivu sucha na lesní ekosystémy v biomu opadavého lesa temperátní zóny

Typ práce: Bakalářská

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Environmentální studia a udržitelný rozvoj

Pracoviště: Katedra rozvojových a environmentálních studií

Vedoucí práce: prof. Ing. Ivo Machar, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2021

Počet stran: 58

Klíčová slova: sucho, dopad, opadavý les, temperátní zóna, řešení

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zpracováním problematiky dopadů klimatických vlivů, především extrému „sucho“, na ekosystémy lesů v biomu opadavého lesa temperátní klimatické zóny. V úvodní části se zaměřuje na objasnění všech těchto pojmů, hlavní částí práce je pak identifikace komplexních příčinných souvislostí a dynamických změn lesních ekosystémů. Další její část se zabývá uvedením potencionálních možností adaptačních a mitigačních opatření v lesním hospodářství, a ukazuje také možnosti řešení, které naznačují již vytvořené koncepty takzvané smart krajiny.

Bibliographical Identification

Name and surname of the author: Tereza Šrámková

Title of thesis: Evaluation of the impact of drought on forest ecosystems of the temperate deciduous biome

Type of thesis: Bachelor

Degree programme: Geography

Field of study: Environmental studies and sustainable development

Department: Department of Development and Environmental studies

Supervisor: prof. Ing. Ivo Machar, Ph.D.

Year of the presentation: 2021

Number of pages: 58

Keywords: drought, impact, deciduous forest, temperate zone, solution

Abstract:

The bachelor's thesis deals with the elaboration of the issue of the climate change impact, especially effect of extreme drought on the forest ecosystems of the temperate deciduous biome. The introductory part focuses on the clarification of these concepts, the main part of the work is the identification of complex causal links and dynamic changes in forest ecosystems. The last part deals with the presentation of potential possibilities of adaptation and mitigation measures in forestry, and also shows the possibilities of solutions that indicate the smart landscape and forestry concepts.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tereza ŠRÁMKOVÁ**
Osobní číslo: **R18296**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Environmentální studia a udržitelný rozvoj**
Téma práce: **Hodnocení vlivu sucha na lesní ekosystémy v biomu opadavého lesa temperátní zóny**
Zadávající katedra: **Katedra rozvojových a environmentálních studií**

Zásady pro vypracování

Formou odborné rešerše aktuálního stavu poznání Environmentální vědy bude zpracována problematika vlivů klimatického extrému „sucho“ na ekosystémy lesů v biomu opadavého lesa temperátní klimatické zóny. Na základě definovaných výzkumných otázek bude provedeno review vědecké literatury k danému problému, zejména s využitím databáze Web of Science a nepublikovaných zdrojů (např. studie a závěrečné v gesci MŽP, ČHMÚ a Ústavu globální změny AV ČR). Ve vyhodnocení provedené rešerše se autorka kvalifikační práce soustředí na identifikaci (a) komplexních příčinných souvislostí sucha a dynamických změn lesních ekosystémů, na (b) potenciální možnosti mitigačních a adaptačních opatření v lesním hospodářství a na (c) možnosti potenciálních řešení, které naznačují koncepty tzv. smart krajiny.

Rozsah pracovní zprávy: **10 – 15 tisíc slov**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Web of Science, Weby zainteresovaných organizací (ČZÚ Praha, MŽP), Web intersucho.cz, Siegel S.M. (2018): Budiž voda. Izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody. 3. vydání, Aligier, Praha. Hrkal Z. (2018): Voda včera, dnes a zítra. Mladá fronta, Praha. Zelenakov M. a kol. (2019): Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic. Springer, Heidelberg

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ivo Machar, Ph.D.**
Katedra rozvojových a environmentálních studií

Datum zadání bakalářské práce: 7. května 2020
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. dubna 2021

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

doc. RNDr. Pavel Nováček, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 7. května 2020

OBSAH

ÚVOD	10
1 VYSVĚTLENÍ POJMŮ	11
1.1 EKOSYSTÉM	11
1.2 BIOM	12
1.3 BIOM OPADAVÉHO LISTNATÉHO LESA TEMPERÁTNÍ ZÓNY	13
2 SUCHO	15
2.1 DEFINICE SUCHA	15
2.2 DRUHY SUCHA	16
2.3 INDIKÁTORY A HODNOCENÍ VELIKOSTI SUCHA	18
3 KLIMATICKÉ ZMĚNY A LESNÍ EKOSYSTÉMY	20
3.1 ZMĚNA KLIMATU V CELOSVĚTOVÉM KONTEXTU	20
3.2 VÝVOJ KLIMATICKÝCH ZMĚN V BUDOUCNU	21
3.2.1 <i>Vývoj sucha v budoucnu</i>	22
3.3 VLIV ZMĚNY KLIMATU NA LESNÍ EKOSYSTÉMY	23
3.3.1 <i>Vliv změny klimatu na biom opadavých lesů</i>	24
4 MOŽNOSTI ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ	26
4.1 NEVHODNÁ DŘEVINNÁ SKLADBA A NEŽÁDOUCÍ ODTOK VODY Z LESA	26
4.2 KYPŘENÍ TĚŽEBNÍCH PŘIBLIŽOVACÍCH LINEK	27
4.3 ZABEZPEČENÍ LESNÍCH CEST	30
4.4 TŮNĚ NA ZADRŽOVÁNÍ VODY	32
4.4.1 <i>Typy tůní</i>	34
4.4.2 <i>Technické zásady pro návrh tůní</i>	35
5 MOŽNOSTI MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ	37
5.1 NEŽÁDOUCÍ ÚNIK SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ Z LESNICTVÍ	37
5.2 HLAVNÍ MITIGAČNÍ OPATŘENÍ	38
5.3 POTENCIONÁLNÍ MOŽNOSTI MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ	39
6 KONCEPTY CHYTRÉ KRAJINY	40

6.1	PŘEHLED HLAVNÍCH KONCEPTŮ	40
6.1.1	<i>Koncept smart cities (SC)</i>	40
6.1.2	<i>Koncept climate-smart agriculture (CSA)</i>	41
6.1.3	<i>Koncept climate-smart landscapes (CSL)</i>	42
6.2	KONCEPT CLIMATE-SMART FORESTRY	42
6.2.1	<i>Základní principy</i>	43
6.2.2	<i>Příklady opatření</i>	44
6.2.3	<i>Aplikace adaptačních strategií a principů v praxi</i>	44
6.2.4	<i>Aplikace mitigačních strategií a principů v praxi</i>	45
6.2.5	<i>Aplikace zmíněných opatření na lesy ČR</i>	46
6.3	TRVALE UDRŽITELNÉ HOSPODAŘENÍ V LESÍCH	47
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM ZKRATEK	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
	SEZNAM PŘÍLOH	57

ÚVOD

Klimatické změny v souvislosti se změnami probíhajícími v lesích jsou v současnosti jedním z nejvíce viditelných problémů Evropy, a proto také i jedním z nejdiskutovanějších témat mezi širokou veřejností. Nepřírozeně pozměněná skladba druhů stromů v lesích a jejich posunutí mimo přirozené ekologické optimum má za následek větší náchylnost vůči neustále se zvětšujícímu klimatickému stresu, především stresu ze zvětšujícího se extrému sucha. Ve spolupráci s antropogenními vlivy mechanické práce v lesích, kdy se ve velkém narušují přirozené hydrologické i půdní jevy a nedochází tak k řádnému zasakování dešťové vody, dochází k postupnému snižování hladiny spodních vod, celkovému úbytku vody v lesích a tím i celkovým změnám v daných ekosystémech.

V mé bakalářské práci na téma „Hodnocení vlivu sucha na lesní ekosystémy v biomu opadavého lesa temperátní zóny“ bude hlavním cílem v podobě rešeršně-kompilační metody shrnout a ujasnit tuto problematiku týkající se „našich“ lesů, a také se pokusit o nalezení možných řešení.

Práce je rozdělena do šesti kapitol, z nichž se první dvě zabývají vysvětlením daných pojmů, jelikož jejich správné pochopení je klíčové pro ujasnění kapitoly následující, která se týká samotného posouzení vlivu klimatických změn na lesní ekosystémy. Poslední tři kapitoly se týkají samotných nalezených adaptačních a mitigačních opatření, která zde lze praktikovat a pokusit se tak alespoň o částečné zmírnění nevhodných dynamických změn způsobených nedostatkem vody našich lesů.

„Vodu neoceníme, dokud nám nevyschne studna (a to platí o všem v životě).“

Benjamin Franklin

1 VYSVĚTLENÍ POJMŮ

1.1 Ekosystém

Poprvé ekosystém definoval A. G. Tansley (1935) jako soubor organismů a faktorů jejich životního prostředí v jednotě libovolné hierarchické úrovně. Jelikož se jedná o jeden z hlavních a klíčových pojmů ekologie (jakožto vědy zabývající se vztahy mezi organismy), od doby jeho první definice prošel význam ekosystému vývojem a několikrát se změnil.

V dnešní době bývá ekosystém chápán především jako „účelově definovaná soustava živých a neživých složek, spjatých vzájemnými vazbami“. V tomto pojetí nemusí mít ekosystém nutně konkrétní ohraničení v prostoru a jeho vymezení je dáno pouze účelem a metodami výzkumu. Také jej lze chápat jako „reálně existující, relativně samostatnou funkční soustavu živých a neživých složek, které jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací, vzájemně se ovlivňují a vyvíjejí se v určitém prostoru a čase“. V tomto pojetí už hranice ekosystému objektivně existují a úzce souvisejí s dosahem koloběhu látek a toku energie (Plamínek 2017).

V České republice má ekosystém také svoji přesnou definici v zákonu o životním prostředí, udávanou jako „funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací, které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase“ (Zákon č. 17/1992 Sb. §3).

Jednoduše řečeno, ekosystém je jakákoliv část přírody, ve které dochází mezi organismy a samotným prostředím ke koloběhu látek a toku energie. Příkladem může být celé jezero, daný les, louka, vinice, pole, ale i kosmická loď či akvárium. Také žaludek krávy a jeho mikroorganismy můžeme označit za samostatný ekosystém.

V našem případě se bude jednat pouze o ekosystém lesní, konkrétněji o ekosystém biomu opadavého širokolistého lesa.

1.2 Biom

Poprvé byl pojem biom navržen rostlinným ekologem F. E. Clements roku 1916, originálně byl však pouze synonymem pro biocenózu. Poté prošel změnami a úpravou, a svou nynější definici získal až později. Nyní slovník biom definuje jako komplexní biotická společenstva charakterizována typickými rostlinami a zvířaty, udržována klimatickými podmínkami daného regionu. Jsou to především společenstva, která už se vyvinula v klimax, a dosáhla tak finálního stádia sukcese (Dictionary 2021).

Biomy jsou rozsáhlé ekosystémy typické pro velká území planety. Jejich charakter je udáván především autotrofní složkou, což je charakter rostlin, které se v nich vyskytují. Je to taková kolekce zvířat a rostlin, které mají společné nároky na environment. Dále je dán charakter biomu společně se společenstvy životních forem také druhem půdy a klimatem, to je ovlivněno zeměpisnou a nadmořskou šířkou, umístěním na kontinentu, celkovou dostupností vody a biotickými podmínkami (Suchomel et al. 2020).

Hlavní rozlišení biomů se dělí na azonální a zonální. Azonální biomy jsou takové biomy, které jsou na klimatické pásy vázány jen velmi volně, a spíše se u nich společenstva vyvíjejí v závislosti na speciálních vlastnostech stanoviště. Těmito vlastnostmi jsou například nadmořská výška, zamokření půdy či specifický obsah látek v půdě. Mezi azonální biomy patří zamokřené oblasti, jakými jsou mangrovové porosty, mokřady, lužní lesy a rašeliniště, ale také solné půdy nebo skalní biotopy. Zonální biom je oproti tomu takové označení, které se používá především u těch biomů a společenstev, která jsou charakteristická pro území jednotlivých geografických zón. Tyto zóny se dají členit dvojitým způsobem. Prvním členěním jsou zóny horizontální, kde se biomy dělí podle podobné zeměpisné šířky, druhým jsou zóny vertikální pro biomy podle podobné nadmořské výšky, neboli podle vegetačních stupňů (Mezistromy 2021). Vegetační stupně pro ČR a Slovensko dle Zlatníka jsou: dubový, bukodubový, dubobukový, bukový, jedlobukový, smrkojedlobukový, smrkový, klečový, subalpínský a alpínský. Biomy podle horizontálních tropických pásů jsou následující: tropické deštné lesy, savany a savanové lesy, pouště a polopouště, stepi a lesostepi, středozemní tvrdolisté lesy, opadavé širokolisté lesy, boreální jehličnaté lesy (tajga), tundra a polární oblasti (Mezistromy 2021).

1.3 Biom opadavého listnatého lesa temperátní zóny

Biomu, který je hlavním zaměřením této bakalářské práce, se říká biom opadavého listnatého, nebo také opadavého širokolistého lesa. Jak už název napovídá, jedná se o lesy, které v zimních měsících (neboli v obdobích vegetačního klidu) uvolňují své listy a dochází u nich k opadu. Na začátku dalšího vegetačního období na místech starých vyrůstají listy nové. Jedná se o charakteristický rys těchto lesů, které se nacházejí v mírném klimatickém pásu převážně na severní polokouli, respektive v temperátní zóně, kde je to biom potencionálně dominantní.

Temperátní zóna je pevninská oblast podnebného mírného pásu, ležící mezi pásem subtropickým a polárním. Většina biomů této zóny střídá 4 sezóny – jaro, léto, podzim a zimu. Slovník temperátní zónu definuje jako část zemského povrchu ležící mezi obratníkem raka a polárním kruhem na severní polokouli, a mezi obratníkem kozoroha a polárním kruhem na jižní polokouli. Je charakterizována klimatem, který je v letních měsících teplý, v zimních měsících studený, a mírný a vyrovnaný na jaře a na podzim (Dictionary 2021). Temperátní tedy znamená mírný, a stejně taková je i průměrná teplota této zóny, která se zde pohybuje mezi 0° a 20 °C. Ačkoli jsou podnebné podmínky celkově mírné, vyskytují se mezi teplotami v jednotlivých ročních obdobích značné rozdíly. Minimální teplota dokáže klesnout až na -40 °C, zatímco maximální se dokáže vyšplhat až k 40 °C. Délka světelného dne je od 8 hodin v zimních měsících po 12 hodin v letních. Roční srážky se pohybují od 300 po 2 000 mm, s průměrem 800 mm (Meteoblue 2021).

Kromě střední Evropy můžeme biom opadavého listnatého lesa najít také ve východní oblasti Severní Ameriky, ve východní Asii, a také nějakou menší část mezi 35°-40° rovnoběžkou na jižní polokouli v Chile, což je pás u Tichého oceánu (Pančík 2021). Maximální nadmořská výška, do které se tento biom vyskytuje, je 1 000 metrů nad mořem (Mezistromy 2021). Výška tohoto biomu je poměrně vysoká, nejvyšší stromy se pohybují v rozmezí 30–40 metrů. Teplota a srážky závisí na vzdálenosti od oceánu, ale průměrně se v tomto biomu srážky pohybují mezi 500 a 1 500 mm ročně, u teploty je to průměrně kolem 20 °C v nejteplejším měsíci a celoroční průměr je pak 10 °C (Pančík 2021).

Hlavními dřevinami tohoto biomu je zde většina našich dřevin s širokými opadavými listy, převážně to jsou některé druhy dubů, buků a lípy, společně s habrem obecným. Zastoupení

dalších druhů je o něco menší, z těch to jsou především javory a jilmy. Z jehličnatých stromů, také se vyskytujících v tomto prostředí, jsou zde například borovice, tis červený a jedle bělokorá (Pančík 2021).

Fauna je bohatě zastoupená na všech kontinentech z důvodu relativně velkého množství pestré potravy, kterou tento biot nabízí. Listnaté stromy, kmeny v různých stádiích rozkladu a opadané listy je domovem velkého množství bezobratlých živočichů, převážně hmyzu, kteří jsou potravou pro velké množství drobných hmyzožravých ptáků. U nás to jsou především druhy sýkory a drozdů, kos černý, datel černý a další. Z větších dravců, kteří využívají koruny těchto stromů, je to například jestřáb lesní a káně lesní, také orli (občasně se vyskytující v ČR jsou druhy orel královský, orel skalní a orel mořský), poddruhy sokolů a některé druhy sov. Ptáci zde využívají hnízdní dutiny ve stromech. Ze savců se zde vyskytují hlavně savci drobní, patří mezi veverky, plchy a lasice, občasně se zde vyskytují také malé kočkovité šelmy v podobě rysa ostrovida. Z psovitých šelem to jsou převážně lišky obecné a psíci mývalovití, občasně i vlk obecný, z medvědovitých pak medvědi hnědí (kteří jsou poněkud častější u amerického biotu). Dále jsou zde početné druhy vysoké zvěře, především jelen evropský a srnec obecný, dále také prase divoké a dříve také zubr evropský (Pančík 2021).



Obr. 1 – Výskyt opadavých širokolistých lesů, zdroj: Peter Pančík 2021; biopedia.sk

2 SUCHO

2.1 Definice sucha

Sucho je přirozeným jevem naší planety, jedná se ovšem o pojem velmi neurčitý a proměnlivý podle místa a klimatu. V zemích mírnějších klimatických podmínek lze považovat za sucho něco, co by v teplejším klimatu s menším množstvím ročních srážek bylo dlouho ještě na hranici normálu. To je důvodem jeho těžké a rozdílné definice, a občasné také důvodem jeho nesprávného porozumění (Intersucho 2021).

Podle slovníku sestaveného ČMeS (2017) je sucho obecné označení pro nedostatek vody v krajině. Tento nedostatek vody je vyvolán nedostatkem atmosférických srážek, který se vyskytuje během suchých období roku, a je ovlivňován mnoha faktory včetně faktorů antropogenních.

Jednou z nejznámějších a uznávaných definic je definice sucha od Vilibalda Kakose (Sobíšek et al. 1993): „Sucho je velmi neurčitý, avšak v meteorologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo i v atmosféře. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují s ohledem na rozmanitá hlediska meteorologická, hydrologická, zemědělská, bioklimatická a celou řadu dalších i s ohledem na škody v různých oblastech národního hospodářství.“ Podle Jamese H. Critchfielda (1983) je sucho deficit, který nastává, když půdní vlhkost nestačí pokrýt požadavky půdní potenciální evapotranspirace, neboli celkového výparu.

Jednoduše řečeno a shrnuto, sucho je převážně negativní, výrazná a dočasná odchylka od průměrné hodnoty srážek, která trvá značné časové období a postihuje velké oblasti. Může mít trvání od několika dní až po několik měsíců, a často bývá doprovázeno nadprůměrnými teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a také větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je již zmíněná evapotranspirace a další prohlubování nedostatku vody (ČHMÚ 2021). Nedostatek vody lze chápat jako synonymum sucha. Tento jev je ovšem na rozdíl od sucha jevem umělým a jedná se o nerovnováhu, která vzniká v souvislosti s užíváním vodních zdrojů ve vyšší míře, než umožňuje jejich přirozená obnovitelnost (MŽP 2017).

2.2 Druhy sucha

Podle ČHMÚ (2021) neexistují jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení druhů sucha. Rozdělení druhů se mění v závislosti na tom, podle jakých parametrů jej posuzujeme. Můžeme jej hodnotit z hlediska délky jeho trvání, jeho velikosti, intenzity, plošného rozsahu, jeho dopadů či možných příčin.

Podle Sobíška (MŽP 2017) lze sucho rozlišovat v souvislosti s tím, jaká část hydrologického cyklu je jím postižena. Toto rozdělení patří mezi nejznámější a také nejpoužívanější v našich podmínkách, a je to rozdělení na:

1. Meteorologické sucho:

Nebo také sucho klimatické. Je definováno na základě stupně sucha a době trvání suchého období, a je specifické pro každou oblast. Dlouhotrvající meteorologické sucho se promítá do dalších sfér krajiny.

2. Zemědělské (nebo také půdní či agronomické) sucho:

Je charakteristické dlouhodobým nedostatkem vody v půdě potřebné pro produkci zemědělských a lesnických porostů. Jedná se o nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu.

3. Hydrologické sucho:

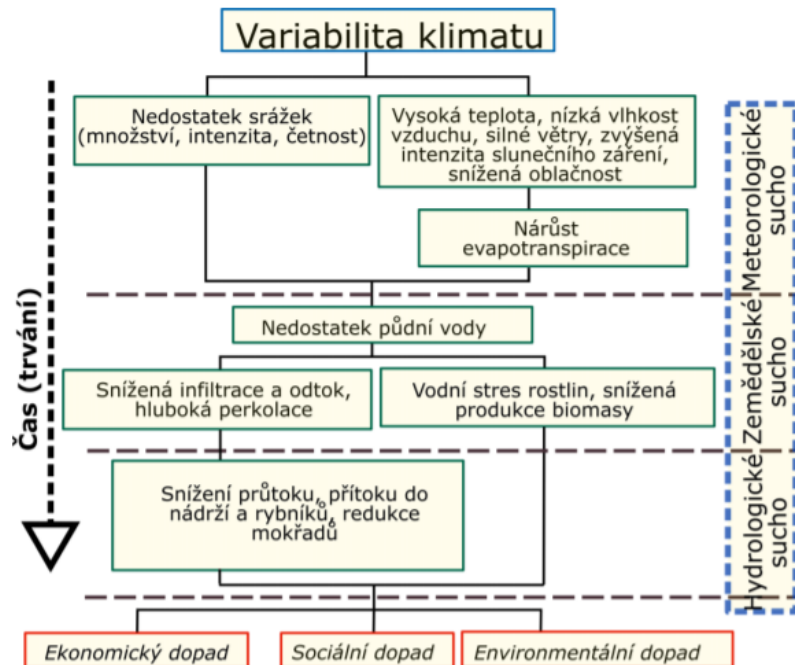
Jedná se o výkyv hydrologického cyklu, zejména kvůli nedostatku srážek. Projevuje se poklesem dostupné vody ve všech svých formách, ovšem přichází s mírným zpožděním.

4. Socioekonomické sucho:

Zde již následkem přírodních procesů dochází k výrazným dopadům na společnost, hospodářství a životní prostředí. Kvůli nedostatku vodních zdrojů poptávka po vodních komoditách přesahuje nabídku. Tento typ sucha se projevuje rozdílně v rozvinutých a v rozvojových zemích planety, kde jsou dopady tohoto typu sucha podstatně dramatičtější.

Na následujícím obrázku číslo 2 je znázorněn proces sucha. Ukazuje, jak se postupně s délkou trvání sucho promítá do dalších částí hydrologického cyklu. Deficit srážkových úhrnů vede k poklesu půdní vlhkosti, ta zase vede ke snížení povrchového a podpovrchového odtoku,

k poklesu doplňování zásob podzemní vody a ve výsledku i snížení velikosti průtoků ve vodních tocích.



Obr. 2 – Postup sucha z jednotlivých do dalších sfér a dále do celého hydrologického cyklu, zdroj: VÚV, ČZÚ; převzato od MŽP 2017

Jiné druhy sucha rozlišoval například C. W. Thornthwaite (ČMeS 2017):

1. Stálé sucho nejsušších klimatických pásem
2. Sezónní sucho některých klimatických pásem a v oblastech monzunového podnebí
3. Nahodilé sucho v důsledku nepravidelných a proměnlivých četností a intenzit výskytu srážek

Velmi podobně vypadá rozdělení podle J. H. Critchfielda (1983), podle kterého také můžeme ve světě rozlišit tři skupiny sucha:

1. Stálé sucho spojené s aridními podnebími¹

¹ ČMeS (2017) vysvětluje ariditu klimatu jako vlastnost klimatu způsobenou neúměrně velkým potenciálním výparem oproti spadlým srážkám. Aridita klimatu (synonymum suchost klimatu) je jeho trvalou vlastností, čímž se liší od sucha. Největší ariditu má klima pouště.

2. Sezónní sucho, které se vyskytuje v podobě zřetelných každoročních období suchého počasí
3. Sucho způsobené proměnlivostí srážek

Obě tyto rozdělení, na rozdíl od toho prvního, jsou si velmi podobné. Důvodem je, že se shodují v parametru posouzení sucha dle délky jeho trvání. Dalším možným roztříděním sucha je například rozdělení dle závažnosti, kterou vzorcem definuje T. T. Munger.

2.3 Indikátory a hodnocení velikosti sucha

Jak už bylo zmíněno dříve, jelikož není definice sucha přesně určená a lze jej chápat v několika významech, velikostech a závažnostech, využívají se k vyhodnocení míry sucha tzv. indikátory, neboli indexy sucha. Těmito indexy lze vyjádřit a definovat například jak moc je stupeň sucha abnormální a jak moc se sucho opakuje v průběhu let, podle některých lze zase zjistit hodnocení vlhkých a vegetačních období. Jinak řečeno, index sucha je veličina pro kvantitativní vyhodnocení sucha, při kterém se vychází z několika hledisek, které spolu velmi často souvisejí. Mnohé indexy jsou založeny na úhrnu srážek nebo míře jejich abnormality, další zohledňují výpar (ČMeS 2017).

My si zde představíme několik indexů, které lze využít pro hodnocení intenzity sucha v lesích.

Jedním z nejrozšířenějších a celosvětově často používaných indexů sucha zohledňujících výpar z půdy je **Palmerův Index intenzity sucha (PDSI)**, navržený Wayne C. Palmerem (1965). Využívá se k hodnocení meteorologického sucha pomocí vodní bilance daného území, zahrnující úhrn srážek za dané období, aktuální obsah vody v půdě a výdejovou evapotranspirační složku. A protože PDSI ukazuje odchylky v přebytku nebo nedostatku vláhy na povrchu s ohledem k průměrům dané lokality, je vhodným indikátorem epizod dlouhodobého sucha. Rozděluje sucho do 4 kategorií od normálního stavu po mimořádné sucho (Stav sucha 2015).

Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) je doporučován WMO a FAO, protože patří k indexům, které využívají rozdíl úhrnu srážek a potencionální evapotranspiraci za danou periodu, a jeho hodnoty mohou být porovnávány pro různá místa a časová období.

Rozděluje sucho také do 4 kategorií – od kategorie „bez výskytu sucha“ až po „mimořádné sucho“ (Stav sucha 2015).

Index nebezpečí požárů (INP) je index vyvinutý a využívaný ČHMÚ. Kombinuje informace o aktuálním počasí a suchu, a k jeho výpočtu jsou využívána meteorologická data jako maximální nárazy větru v daném dni, simulovaná půdní vlhkost v povrchové vrstvě půdy, maximální teploty vzduchu a průměrné relativní vlhkosti vzduchu. Podle těchto ukazatelů se den podle rizika požáru rozdělí do 5 tříd – riziko velmi nízké, nízké, střední, vysoké a velmi vysoké (Stav sucha 2015).

Relativní nasycení povrchové části půdního profilu do hloubky 100 cm (AWR) a 40 cm (AWR1) – tyto dva indikátory jsou založeny na výpočtu půdní vlhkosti s pomocí modelu vodní bilance vyvinutého v rámci společných projektů CzechGlobe, ČHMÚ a MENDELU. Tyto indexy rozdělují sucho na stupnici sedmi kategorií od „normálního stavu“ až po „extrémní sucho“, které se v daném období opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně je nasycení půdy nižší než 50 % po více než 1 měsíc (Stav sucha 2015).

Indikátor hydrologického sucha – povrchové vody (POVI) – tento index zaznamenává čáru překročení denních průtoků a porovnává ji s referenčním obdobím 1981-2010. V závislosti na hodnotě dosažení či podkročení průtoku určitého významu se určují tři stupně sucha – mírné sucho, silné sucho a mimořádné sucho (Stav sucha 2015).

Indikátor podzemních vod (PZVI) nám ukazuje, nakolik se nynější hladina podzemní vody liší od referenčního období z rozpětí let 1981-2010. Tato metoda je ovšem značně nejistá a kategorií „normální hladina“ se označuje až 75 % měření. Dalšími kategoriemi jsou mírné sucho, silné sucho a mimořádné sucho, které se objevuje pouze v 5 % případů (Stav sucha 2015).

3 KLIMATICKÉ ZMĚNY A LESNÍ EKOSYSTÉMY

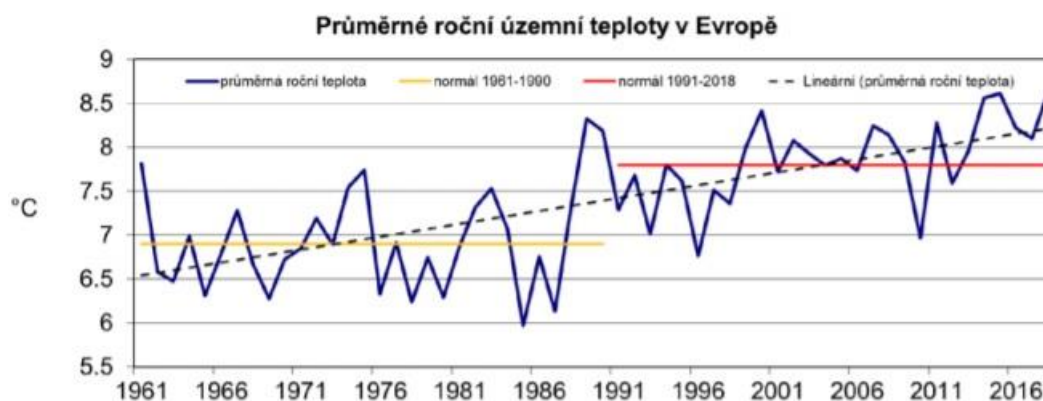
Klima neboli podnebí je definováno jako průměrný dlouhodobý stav atmosféry v určité geografické oblasti. Je to stav ovlivňovaný nejen přirozenou cirkulací atmosféry a charakterem povrchu, ale také nepřirozenými antropogenními zásahy. Klimatickou změnou se rozumí veškeré významné změny klimatu. V následující kapitole si ukážeme, jaký má klimatická změna vliv v rámci celosvětového měřítká, včetně jejího pravděpodobného vývoje v budoucnu a jejího vlivu na lesní ekosystémy, ekosystémy lesů listnatých a lesy hlavně v Evropě a ČR.

3.1 Změna klimatu v celosvětovém kontextu

Aktuální poznatky společně s novými výzkumy vždy jednou za několik let shrnuje Mezivládní panel pro změnu klimatu. V hodnocení probíhajících globálních změn naší planety v roce 2013 byly vyzdviženy a zdůrazněny následující problémy: zvyšování průměrné teploty vzduchu, nárůst koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, oteplování oceánu a zvyšování jeho hladiny, tání velkých pevninských ledovců a značný úbytek mořského zalednění v Arktidě (IPCC 2013). Už od poloviny 20. století se začala objevovat zvýšená pozorování výskytu extrémně teplých dní a horkých vln. Průměrná roční teplota vzduchu se mezi roky 1880 až 2012 zvýšila přibližně o 0,85 °C (IPCC 2013), pro rok 2017 to bylo již kolem 1 °C (IPCC 2018). Tato pozorování jsou výraznější na severní polokouli a jsou více zřetelná nad pevninou než nad hladinou oceánu (IPCC 2013). Ovšem hladina oceánu také prodělává změny. Rychlost vzestupu hladiny výšky oceánu se díky tání a zmenšování váhy ledovců postupně zvyšuje a svrchní vrstva oceánu (0–700 m) se otepluje. Zvyšující se teplota vody omezuje schopnost oceánů pohlcovat z atmosféry uhlík, čímž pomalu přispívá k dalším změnám klimatu (MŽP, ČHMÚ 2020).

Pro Evropu jsou údaje o změně klimatu výrazně přesnější z důvodu větší hustoty dlouhodobě měřících stanic. Je tak tedy vysledováno, že se během posledního století teplota evropského kontinentu v průměru zvýšila o 1,2 °C, z toho o 0,45 °C pouze za posledních třicet let. Díky dané poloze kontinentu a působení okolních vlivů včetně atmosférické cirkulace se objevují v regionálních a časových vlivech značné rozdíly, ale jako celek se Evropa nejvíce otepluje na

jaře a v létě, nejméně v podzimních měsících. U srážkových úhrnů jsou regionální rozdíly větší. V severní Evropě v posledním století přibývá srážkových úhrnů o 10-40 %, zatímco v oblastech jižní Evropy kvůli klimatu poklesl průměrný počet srážek o 20 % (MŽP, ČHMÚ 2020).



Obr. 3 – Změna průměrné roční teploty vzduchu v Evropě za dané časové období dle E-OBS datasetu, zdroj: ČHMÚ 2019

3.2 Vývoj klimatických změn v budoucnu

Na IPCC byly vytvořeny v rámci projektu CMIP5 čtyři hlavní globální klimatické scénáře RCP vyjádřené v celkové míře radiačního působení antropogenních emisí skleníkových plynů, které pracují se čtyřmi různými scénáři vyvíjení klimatických změn v průběhu 21. století. Všechny tyto scénáře předpokládají další nárůst emisí CO₂ do atmosféry a stejně tak zvýšení průměrné teploty vzduchu, kvůli čemuž počítají se snižováním rozsahu i výšky sněhové pokrývky v zaledněných oblastech a tím i se zvýšenou hladinou oceánů, ovšem liší se v jejich individuálních hodnotách (MŽP, ČHMÚ 2020). Na následujícím obrázku je zobrazena tabulka s danými hodnotami pro jednotlivé scénáře, ovšem nutno podotknout, že se nejedná o predikci a stále je nutné počítat s nejistotou a variabilitou procesů, které mohou v budoucnu nastat, a s kterými se při tvoření daných scénářů nepočítalo. Ve výsledném shrnutí lze ale i tak říci, že lze počítat s častějším výskytem výkyvů extrémních jevů počasí a také se zvýšením intenzity jejich projevů.

Scénář	Nárůst teploty (°C)		Zvýšení hladiny oceánů (m)	
	průměr	rozpětí dolní/horní odhad	průměr	rozpětí dolní/horní odhad
RCP2.6	1,0	0,3 – 1,7	0,40	0,26 – 0,55
RCP4.5	1,8	1,1 – 2,6	0,47	0,32 – 0,63
RCP6.0	2,2	1,4 – 3,1	0,48	0,33 – 0,63
RCP8.5	3,7	2,6 – 4,8	0,63	0,45 – 0,82

Obr. 4 – Projekce změn teploty a zvýšení hladin oceánů pro období 2081–2100 v porovnání s obdobím 1986–2005, zdroj: IPCC; převzato od MŽP, ČHMÚ 2020

3.2.1 Vývoj sucha v budoucnu

I přes to, že klimatická změna nepřináší významnější změnu v celkovém úhrnu srážek, mění se jejich intenzita a přerozdělení do jiných časových intervalů i období. Namísto delších period méně silného deště je očekávána zvýšená četnost extrémních srážek a pravděpodobně i bleskových povodní. Tyto druhy deště rychle přijdou i odejdou a celkový počet deštivých dní se tak snižuje, naopak přibývá počet suchých tropických dní. Půda tak nebude mít dostatečně dlouhý interval pro zasakování srážkové vody a nebude docházet k doplňování zásoby podzemních vod, což bude mít za následek postupné vysušování půdy. Ve spojení s postupným zvyšováním průměrné teploty, a tudíž i zvyšováním reálného výparu, bude ubývat vláha a bude se zvyšovat celkové sucho.

Oteplování planety nebude probíhat homogenně, některé části planety se mohou i ochlazovat. Největší zvyšování cyklonální aktivity a tím i kolísání počasí lze předpokládat zejména ve středních zeměpisných šířkách s kontinentální polohou na severní polokouli (tedy především v temperátní zóně), kde se tím prohloubí hydrologické cykly a zvýší se tak riziko výskytu povodní a sucha zároveň. Vlnami vysokých teplot a sucha bude nejvíce postižen Pyrenejský poloostrov a střední Evropa. Nejvýraznější změny v budoucích letech v rámci průběhu roku lze v Evropě očekávat ve východní Evropě a Skandinávii, během letního období naopak nejvíce v jihozápadní Evropě a Středomoří (MŽP, ČHMÚ 2020).

3.3 Vliv změny klimatu na lesní ekosystémy

Lesní ekosystémy poskytují řadu prospěšných ekosystémových služeb a funkcí, z těch nejzákladnějších a nejpřirozenějších je to vyrovnávání extrémů počasí v krajině snižováním teplotních rozdílů, snižováním rychlosti větru a také zachycováním srážkové vody. Poskytují lidstvu také službu ve formě produkce dřeva, kvůli které převažuje hospodářská funkce a umělé složení lesa nad lesy původními a přírodními. Ve většině hospodářských lesů je druhová, věková a prostorová skladba dřevin odlišná od skladby přirozené a doporučené, čímž je narušená přirozená ekologická stabilita lesa a jeho odolnost, a lesní dřeviny jsou na takovém nepůvodním místě pod větším stresem vůči prostředí. Klimatická změna s sebou přináší další stresové faktory, na které nejsou tyto ekosystémy adaptovány, a ve spojení s pozměněnou skladbou lesa dochází ke snižování vitality těchto lesních porostů (MŽP, ČHMÚ 2020).

Mezi nejrizikovější projevy změny klimatu pro lesní ekosystémy patří rostoucí teplota vzduchu, především teploty v jarním a letním období, dále pokles srážek v letním období a celková zvýšená evapotranspirace (ČHMÚ 2019). Tyto faktory vedou k nejrizikovějšímu a nejvýznamnějšímu problému – větší intenzitě sucha, které je kromě zvýšeného rizika vzniku lesních požárů také spouštěčem několika dalších problémů.

Zvláště náchylnou dřevinou, které se fenomén sucha dotkne nejvíce, je druh smrk ztepilý, jehož monokultury jsou jednou z nejrozšířenějších ploch lesů ČR kvůli svému hospodářskému využití (MZE 2018). Díky jeho rychle rostoucímu a rovnému dřevu byl vysazen i do nižších poloh, kde by se normálně ještě nevyskytoval, a byl vytlačen na okraje svého ekologického optima (Cudlín et al. 2004). Protože mají smrky mělký kořenový systém, který jim neumožňuje čerpat vodu z větších hloubek, trpí v nízkých polohách stresem z nedostatků vláhy už pod 600 mm ročního úhrnu srážek (MŽP, ČHMÚ 2020). Nejnáchylnější jsou především v předjaří a v jarních měsících, protože následné letní přísušky působí jako významný predispoziční faktor pro vznik kořenových hnilob a plísni, především kořenovníku vrstevnatého a houby václavky. Stromy s poškozenými kořeny jsou náchylnější na škody způsobené větrem, především na kmenové zlomy a vývraty. Kromě otevření celého porostu vůči větru jsou vyvrácené stromy vhodné pro namnožení a nastartování gradace podkorního hmyzu, vůči kterému okolní suchem oslabené dřeviny nejsou schopny vytvářet obranné látky a snižuje se tak jejich obranyschopnost (Cudlín et al. 2004). Dlouhotrvající extrémní teploty také urychlují vývoj

těchto organismů podkorního, savého a listožravého hmyzu, především běžných druhů kůrovců, a umožňují navýšení počtu generací či šíření dosud u nás nerozšířených druhů, např. lýkožrouta severského (LESY ČR 2020). Z listožravých škůdců lze se zvyšujícím se suchem očekávat zvýšený výskyt druhu bekyně mnišky, pilatek, ploskohřbetek, případně i obalečů, ze savého hmyzu korovnici smrkovou či korovnici pupenovou (Cudlín et al. 2004).

V současné době jsou smrkové porosty nejméně ohrožené v 5. vegetačním stupni. Kromě vlivu na samotné funkce lesních ekosystémů se tak tedy předpokládá také s následky na produkci dřeva, jelikož se smrkové porosty budou přirozeně vracet do větších nadmořských výšek a jejich pěstování bude omezeno především na horské oblasti. Ze 3. a 4. vegetačního stupně je vhodné je jako hospodářskou monokulturu až na výjimky vyloučit (Cudlín et al. 2004). Co se týká změn rozšíření ostatních rostlin a dřevin v reakci na klimatické změny, je z pozorování v minulosti také dost pravděpodobná ve větším převážně jejich postupná migrace, nikoli genetická adaptace. Vegetační stupně se budou posunovat a dojde k rozšíření mnoha druhů dřevin do vyšších nadmořských výšek, odkud v některých případech už nebudou moci migrovat dále a výše, a může tak dojít až k zániku některých druhů vzácnějších biotopů. Pro boreální lesy se může v příštím století jednat o posun až o 150-550 km na sever, ovšem pro hlavní evropské dřeviny se nepředpokládá větší posun než do o 100-200 m větších nadmořských výšek (Janouš 2002).

Kromě smrku suchem trpí také druhy borovice, pro kterou představují biotičtí škůdci (především kůrovci) velké riziko, nebo porosty jasanu a olše, pro které jsou za sucha zvýšeným rizikem houbové patogeny a chřadnutí. V budoucnu lze předpokládat také aktivizaci škůdců na dalších dřevinách, počítá se také se zvýšeným výskytem listožravého škůdce bekyně velkohlavé na dubech (ČHMÚ 2019).

3.3.1 Vliv změny klimatu na biom opadavých lesů

Na biomy opadavých lesů má klimatická změna poněkud opačný vliv. Sice jim se zvětšujícím se suchem také hrozí nedostatek vláhy, zvýšený počet škůdců a chorob, a posun vegetačních stupňů do vyšších poloh, ovšem celkový podíl listnatých opadavých lesů už nyní pozvolna stoupá a bude přibývat i v budoucnu. Vzhledem ke chřadnutí smrku a borovice suchem bude

docházet k dynamické změně v poměru zastoupení listnatých a jehličnatých druhů směrem k přirozenější struktuře lesních porostů (ČHMÚ 2019).

Předpokládá se nárůst významu dubů, kterým sušší podnebí svědčí. Jejich areál rozšíření se bude pravděpodobně posunovat a zvětšovat, stejně jako jejich umělá výsadba. „Zajímavou skutečností je, že na úkor našich druhů dubů mohou na areálu jejich současného výskytu přibývat (nebo mohou být v lesnické činnosti aktivně využívány) jejich středomořští příbuzní (Hlásny 2019).“ U bukových porostů bude díky narůstajícímu suchu docházet k většímu poškození podkorním a defoliačním (neboli listy napadajícím) hmyzem zejména u porostů rostoucích do výšky 500 m. n. m., tudíž se i jejich přirozený výskyt přesune do vyšších poloh. Druhy, které se především u nás budou díky suchu vyskytovat častěji, jsou zároveň druhy, které posilují biodiverzitu a přirozené adaptační mechanismy lesa. Patří mezi ně například jasan zimnář, javor babyka, jeřáb břek či lípa srdčitá, stejně tak jako jehličnatý modřín opadavý (Hlásny 2019). Důležitou součástí přirozeného lesního listnatého ekosystému jsou i druhy jedle, která přispívá k udržení stability lesa. Její podíl na celkové ploše lesů bude také stoupat, ovšem oproti dubu a buku může být její nárůst pomalejší z důvodu jejího náročnějšího pěstování. Nelze ji úspěšně zmlazovat na holosečích, na kterých dnes většina nového osazení vzniká (ČHMÚ 2019).

Ne všechno bude ovšem pro listnaté lesy pozitivní. Zvyšující se sucho má za následek sníženou úspěšnost přirozené regenerace, obranyschopnosti a růstu i u stávajících listnatých druhů, stejně jako zvýšení konkurence plevelů a náletů, a snížení úrodnosti půdy (Kellomaki 2000).

Klimatická změna se týká také lesních školek a pěstírny semen lesních dřevin. Kvůli zvýšenému zájmu a potřebě vysazování většího množství dlouhověkých listnatých stromů se zvětšuje potřebné množství získaných semen, ty jsou ovšem kvůli větším teplotám hůře sehnatelné. Dospělé stromy dubů jsou při dřívějších a zvýšených teplotních obdobích během tvorby semen a plodů obsypány větším množstvím malých plodů, které nejsou schopny udržet a vyživovat, a tak žaludy padají na zem ještě v nedozrálém stádiu. Naopak u buku kvůli dlouhodobému suchu a teplu dozrávají semena o měsíc dříve a předčasně zasychají. Zesiluje se také jejich poškození hmyzem a množství použitelných uzrálých semen se tak snižuje. Jelikož je stálá poptávka po semenáčcích těchto dlouhověkých druhů, částečnou náhradou je zvýšené vysazování krátkověkých druhů, jakými je olše, bříza, jeřáb a osika (LESY ČR 2018).

4 MOŽNOSTI ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ

Dovolím si zde na úvod citovat hlášku projektu KlimatickáZměna.cz: „Existují tři cesty, jak se postavit dopadům změny klimatu. Provádět mitigační opatření, aplikovat adaptační opatření a třetí možností je nedělat nic.“ My se v následující kapitole zaměříme na některá možná adaptační opatření, která lze zavést pro snížení zranitelnosti lesů vůči dopadům klimatických změn, v tomto případě především možnou adaptací na extrém sucha pomocí změny dřevinné skladby a zadržování vody v lese.

4.1 Nevhodná dřevinná skladba a nežádoucí odtok vody z lesa

IPCC definuje adaptaci jako: „Proces přizpůsobení se aktuálnímu nebo očekávanému klimatu a jeho účinkům. V lidských systémech se adaptace snaží zmírnit škodu nebo se jí vyhnout nebo využít příležitosti. V některých přírodních systémech může lidský zásah usnadnit přizpůsobení se očekávanému klimatu a jeho dopadům.“ (IPCC 2014).

Jedno z nejdůležitějších adaptačních řešení, které je vhodné v lesním sektoru praktikovat, je změna dřevinné skladby. Jak už jsme si řekli dříve, na většině místech temperátní zóny v Evropě byla pozměněna druhová skladba lesa z důvodu sázení stromů s lepším hospodářským využitím. Na místech přirozeného výskytu jiných druhů stromů včetně celých biomů opadavého lesa tak byly vysázeny především nepůvodní jehličnaté monokultury, které jsou sice plně hospodářsky využitelné, ale zato výrazněji reagují na dopady klimatické změny. Tyto monokultury mají mělké kořeny a nezvládají tak čerpat vodu z větších hloubek, čímž nedokáží držet krok s klesající hladinou spodních vod a v současnosti tak čím dál více hynou suchem. Jasným i relativně jednoduchým a nejvíce diskutovaným řešením v dnešní době je změna stereotypu sázení stále stejných monokultur a umělé navrácení přirozených druhů dřevin do oblastí svého ekologického optima, popřípadě také sázení druhů z nižších nadmořských výšek za účelem podpoření odolnosti celého ekosystému.

Společně se změnou skladby dřevin je dalším vhodným řešením adaptace také samotné zmírnění vysychání a úhynu stromů a celkové zmírnění sucha v lesích. Jednou z příčin nejen

většího sucha v lesích, ale také snižování spodních vod, vysychání potoků a řek, ale také i občasných záplav (a ve výsledku lze uvažovat i o oteplování planety), jsou pozůstatky po antropogenní činnosti. Každým dnem těchto činností probíhá ve všech lesích velké množství. Stavějí se lesní cesty, které jsou zařezány do svahu kde přerušují vodní kanálky, a probíhá zde těžba dřeva, která je prováděna pomocí velkých a těžkých strojů, které tahají dřevo z lesů. Touto prací se obnažuje a utužuje půda, která poté působením slunečního záření a tepla rychleji vysychá. Albedo² takové plochy se zvyšuje a pohlcuje i vyřazuje více tepla, což ve výsledku otepluje i zemskou atmosféru. Nejzřetelnější je tento fenomén při těžbě lesa ve svazích, po které zůstávají obnaženy celé vrcholky kopce či hory. Déšť, který na tuto holou a utuženou plochu dopadne, už se absencí nekapilárních pórů nedokáže vsáknout a působením gravitace odteče do nížin, čímž nedochází k doplňování hladiny spodních vod a kopec se postupně odvodňuje. Společně s vodou po cestách odchází i zerodovaná půda, především její nejúrodnější část ornice, a s ní i cenné živiny. Tato směs se pod kopcem vlévá do potoka, kde pokračuje do řek, a při deštích může způsobit záplavy (Vaňo 2013).

Zdravý les, nepoškozený lidskou činností, dešťovou vodu svým porostem zachycuje a postupně nechává prosakovat až ke spodním vodám. Častými antropogenními zásahy les tuto schopnost ztrácí a voda uniká. My si zde představíme několik aplikovatelných adaptačních možností, které mohou těmto nežádoucím únikům vody i kvalitní půdy z lesa zabránit – kypřením přibližovacích linek, opravou a stavbou lepších lesních cest a také stavbou tůní zadržujících odtékající vodu.

4.2 Kypření těžebních přibližovacích linek

Při těžbě dřeva za sebou stroje zanechávají v bahně hluboké koleje společně s vyhloubenou a uhlazenou cestou po taženém kmeni. Těmto rýhám a novým cestám se říká těžební a přibližovací linky. Některé jsou využívány opakovaně, ale většina zůstane po těžbě opuštěná. Tyto opuštěné těžební přibližovací linky, které na vytěženém a obnaženém prostranství křížují les, působí ve velkém jako skvělé odvodňovací kanály. Ve většině případů zasahují tyto linky více než půl metru do země, takže se do nich jako do nejnižšího bodu okolí stahuje z okolního

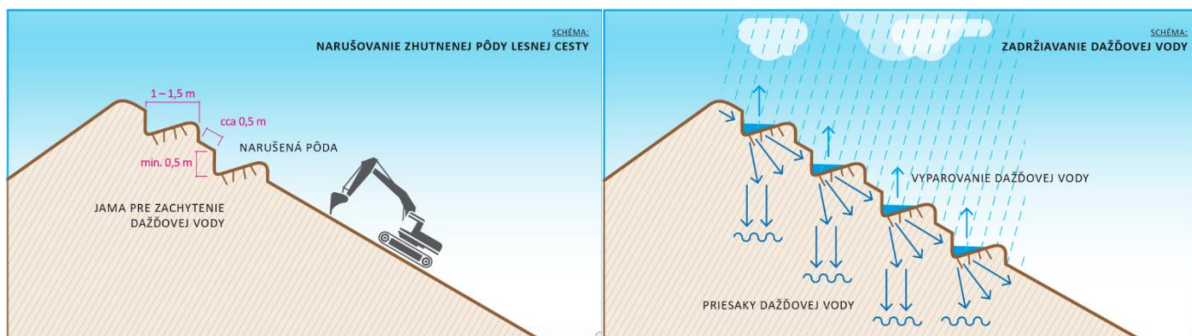
² Albedo znázorňuje poměr celkově dopadajících paprsků a míru odrazivosti plochy.

lesa voda, která by v normálním případě zůstala zachycená půdou a vegetací. Ještě výraznější je tento úkaz za stavu deště, kdy se všechna dešťová voda namísto zachycení a následného zasakování do půdy sklouzne po obnažené, holé a udusané půdě, a bez možnosti dalšího zadržení po této lince odteče pryč. Dochází zde tak i k erozi, jelikož společně s vodou z lesa odchází také půda a cenné živiny, nutné pro jeho obnovu. To způsobuje další prohlubování linek a další odtok vody, a celý proces se neustále a nenávratně zhoršuje.

Tento problém ovšem není tak bezvýchodný, jak by se mohl zdát. Měla jsem tu možnost sledovat projekt zabývající se kypřením těžebních přibližovacích linek, tím tak zadržením dešťové vody a podpořením jejího vsakování do půdy. Projekt je inspirován panem Štefanem Val'om, který tato řešení začal praktikovat na sousedním Slovensku. Princip spočívá ve zničení nevyužívaných linek a jejich navrácení do přírodního stavu.

„Zhutněnou půdu je potřebné na nepoužívaných přibližovacích lesních cestách a stopách po mechanismech narušit rýpadlem od nejvyššího místa po nejnižší, příčně proti svahu a proudu vody tak, aby dešťová voda zůstala tam kde spadne a vsákla se do narušené půdy. Opatření jsou okamžitě účinné, trvale udržitelné a mají minimální náklady na realizaci.“ (Vaľo 2018)

Úprava takovýchto linek probíhá především za pomoci bagru s rýpadlem, který postupuje směrem po svahu a zanechává za sebou zkypřenou těžební linku, nyní v podobě JÁMA-HRÁZ-JÁMA s rozměry jámy nejlépe 3x2x1,2 m a hutněné hráze 0,5-1,5 m (Voda pro les, voda pro lidi 2020). Ovšem rozměry se mohou lišit v závislosti na velikosti a šířce každé linky. Pro narušení zhutněné půdy je ideální hloubka až 1,5 m. Dešťová voda dopadající na takto upravenou půdu zůstane zachycená v jámách, kde si vytvoří kanálky pro odtok a bude se vsakovat do země k pramenům a spodním vodám. Na některých místech může zůstat po delší čas a působit jako zdroj vody pro zvěř a obojživelníky. Po čase začne nyní už bývalá těžební linka opět zarůstat vegetací a opět se stane plnohodnotnou součástí lesa. U těžebních linek, které jsou stále pravidelně využívány, ale uniká po nich velké množství vody, lze v blízkosti přibližovací linky vyhloubit tůň a průlehem do ní vodu svést. Takto zůstane linka zachována, ale po ní tekoucí voda bude končit v tůni, kde se bude moci pomalu vsakovat do půdy a dál napájet les.



Obr. 5 a 6 – Schéma narušování ztuhlé půdy lesní přibližovací linky bagrem, zde s obecnými rozměry, a schéma následného zadržování dešťové vody, zdroj: Štefan Val’o 2018; povodne.sk

V rámci pilotního projektu pro Českou republiku byly AOPK ČR vybrány a financovány dvě lokality – Díly a Sladsko pod Černou horou, na kterých se pomocí bagru rekultivovalo 1 500 m nepoužívaných lesních cest a přibližovacích linek, a vzniklo tak přibližně 615 jam a zasakovacích pásů. Autory projektu bylo vypočítáno, že by bez rekultivace jen po těchto cestách odteklo 4 500 metrů krychlových vody a přibližně jednou tolik z přerušovaných pórů nad cestami (o tomto problému se budeme zabývat v kapitole „Zabezpečení lesních cest“). Realizovaná opatření na zadržení vody stála 95 tisíc Kč bez DPH, zatímco nově vytvořená nádrž na zadržení podobného objemu vody by stála 4,5-8 mil. Kč bez DPH. Jelikož se projekt osvědčil, v roce 2020 proběhlo jeho další kolo, nyní lokalizované na Velkém Javorníku, a následovat budou v budoucnosti také další lokality (Voda pro les, voda pro lidi 2020).



Obr. 7 a 8 – Holé zerodované těžební linky, zdroj: Voda pro les, voda pro lidi 2020

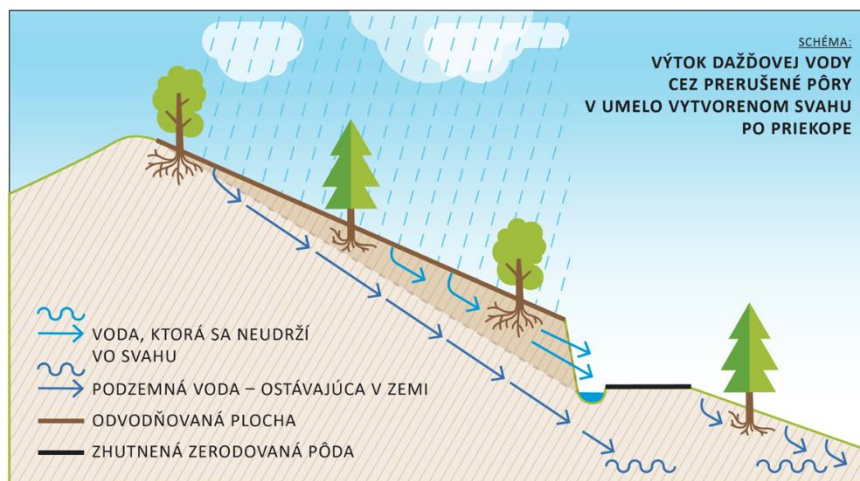


Obr. 9 a 10 – Bagrování linek a výsledná linka po dešti, zdroj: Voda pro les, voda pro lidi 2020

4.3 Zabezpečení lesních cest

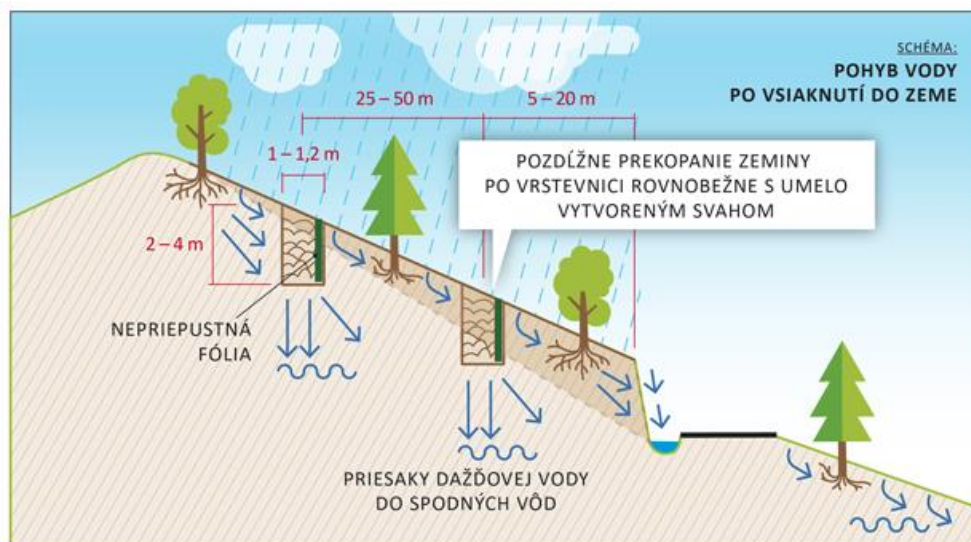
Lesní cesty, které se budují převážně pro převoz kmenů nákladními auty od přibližovacích linek do lesních závodů, ale také kvůli turismu či dopravě, se budují ve svahu s maximálním stoupáním 10 %. Mezi vytvořenou cestou a lesním svahem se tak většinou buduje vyrovnávací rýna, která společně s cestou působí jako odvodňovací objekt a odvádí vodu i sních z půdy kopců do údolí. Takto dokáže odvádět vodu z lesa ještě i několik týdnů po dešti. Do těchto rýn totiž z useknutého svahu vyvěrají přerušené vodní kanálky – z povrchu prosakující vodou vytvořené cestičky, ve kterých voda v půdě putuje ve svahu a postupně prosakuje až ke spodním vodám. Uměle vytvořenou lesní cestou zařezanou do svahu dochází k přerušení a otevření těchto kanálků, což způsobuje, že se tato podzemní voda najednou dostává na povrch a zachytává se v rýně, ze které po povrchu proudí do kanálů či potoka v údolí a končí až v oceánech (Vaňo 2013).

Na ilustraci níže je zobrazen profilový řez svahem kopce, skrz který byla vybudována lesní cesta. Šipkami je zde zobrazena dešťová voda, zachycená neporušenou vegetací, která měla možnost prosáknout ke kořenům a do spodnějších vrstev půdy. Jak je na ilustraci znázorněno, jelikož byla do tohoto svahu vestavěna cesta, tato pod povrchem tekoucí prosakující voda zde naráží na přerušný svah, ze kterého vytéká na povrch a stéká do přichystané rýny. Stává se z ní povrchová voda, která je rýnou odváděna z kopce pryč.



Obr. 11 – Schéma řezu kopce a výtoku dešťové vody skrz přerušené póry v uměle vytvořeném svahu, zdroj: Štefan Val’o 2018; povodne.sk

Navrhovaným možným řešením tohoto problému je překopání zeminy a přerušení pórů ještě nad takto uměle vytvořenými svahy, nad cestami, lesními cestami i dálnicemi. Dojde tak k výtoku kanálků nikoliv na cestu a do rýn, ale do připravených jam, ve kterých si voda bude moci vytvořit nové vertikální kapiláry a bude moci prosakovat až ke spodním vodám. Je nutné překopat zeminu zhruba ve vzdálenosti 5-20 m nad umělým svahem a cestou v šířce zhruba jednoho metru, do hloubky alespoň 2-4 m po celé vrstevnici. Na spodní boční část těchto jam je potřebné vložit nepropustnou fólii, aby se z překopané zeminy v jámě voda znovu nedostala do cestiček pórů po svahu pod jámou a znovu nekončila na cestě a v rýně. V takto připravené realizaci voda vsákne do rozkopané půdy a postupně si udělá cestu do pórů v nižších vrstvách země (Vaľo 2018).



Obr. 12 – Schéma řezu kopce po zavedení navrhovaných opatření, zdroj: Štefan Val’o 2018; povodne.sk

4.4 Tůně na zadržování vody

Jedním ze standardizovaných postupů při péči o přírodu a krajinu, schváleném AOPK ČR, je stavění tůní „proti suchu“ v našich lesích. Tento standard spadá pod řadu B – Voda v krajině, kde je označen jako „Vytváření a obnova tůní“. Jedná se o stavbu různě velkých tůní a průlehů, které mají za úkol zachytávat vodu unikající po udusané zerodované půdě (zapříčiněné většinou člověkem), zadržovat ji a nechávat jí prostor pro její opětovné vsáknutí do půdy. Kromě zadržovací funkce mají také za úkol nahradit vysychající louže, které jsou potřebné pro různé druhy vzácných obojživelníků, vodních rostlin, bezobratlých a měkkýše, a mohou působit pozitivně i pro ostatní lesní zvěř (AOPK ČR 2015). Tyto tůně lze umístit do lesů, do okolí lesních cest i na louky a pastviny.

Těchto tůní je například na různých místech Beskydských a Biskupských lesů v roce 2020/2021 naplánováno vybagrovat až 170 (Voda pro les, voda pro lidi 2020).



Obr. 13 a 14 – Tůně na zadržení a vsakování vody, zdroj: Miroslav Kubín a Voda pro les, voda pro lidi 2020

V daném standardu, kterého je autorem AOPK ČR (2015) ve spolupráci s ČVUT a dalšími, je definice tůně psána jako: „Terénní deprese nebo prohlubeň v terénu, trvale nebo periodicky naplněná vodou. Tůň vzniká přirozeně (např. stará ramena v říčním aluviu) nebo uměle (antropogenním zásahem). Zdrojem vody pro tůně jsou převážně atmosférické srážky, povrchový a podpovrchový odtok vody (plošný nebo soustředěný), podzemní voda, povrchové vodní toky nebo odtok vody z drenážních systémů. Tůně jsou zpravidla zcela zahloubené pod úroveň terénu, nemají hráz ani jiná technická zařízení (výpust, bezpečnostní přeliv), maximální hladina vody v tůni může být dána úrovní okolního terénu. Odtok vody z tůně je řešen přírodě blízkým způsobem.“

4.4.1 Typy tůní

Tůně můžeme rozdělit vždy do několika kategorií v závislosti na tom, podle jakých parametrů se na ně díváme.

Jednou z možností je třídění typů tůní dle způsobu jejich tvorby (AOPK ČR 2015):

- **Tůně ručně hloubené:**

Tento postup je využíván pouze výjimečně, a to pokud je nutno přesně vytvořit podmínky pro určitý druh, nebo se jedná o tůň na technice těžko přístupných místech (například ve svahu či nestabilním terénu).

- **Tůně strojně hloubené:**

Standartní případy, nejčastěji hloubené pomocí bagrů a rypadel s drapákovými lžicemi.

- **Tůně jinak hloubené:**

Vytváří se odstřelem zeminy pouze v případech, kdy je nežádoucí poškození okolí pojezdem techniky.

- **Tůně nehloubené:**

Zde se jedná především o pouze upravení prohlubní, propadů a strží.

Další dělení tůní je podle průtoku vody a vhodnosti pro jednotlivé živočichy (AOPK ČR 2015):

- **Průtočné tůně:**

Jsou nejvhodnější pro ryby, raky a také mloka skvrnitého, který tůně s drobným průtokem přímo vyžaduje. Tyto tůně musí být neustále napájeny buď povrchově, přítokem z toku nebo podpovrchově, a jejich odtok musí být rovnoměrný a stabilizovaný.

- **Neprůtočné tůně:**

Tyto tůně jsou nejvhodnější pro různé druhy žab, například pro ropuchu krátkonohou, ropuchu zelenou a kuňku žlutobřichou, které vyžadují malé, mělké a neprůtočné vodní plochy. Stejně tak jsou vhodné pro čolka karpatského. Neprůtočné tůně vyhledávají i vážky, které ovšem potřebují kvůli larvám tůně alespoň 1 m hluboké, stejně jako čolek velký, čolek dravý a čolek dunajský. Proto je důležitá různá členitost tůní či jejich větší počet a různorodost na jedné lokalitě.

Neprůtočné tůně jsou závislé na hladině podzemní vody a na srážkách, a proto může v suchých měsících docházet k jejich vysušení.

- **Občasné průtočné tůně:**

Jsou nejvhodnější pro žábřonožku letní či listonoha letního, kteří vyžadují malé, často vysychající tůně. Takové tůně jsou průtočné závisle na období roku (například při srážkovém období či na začátku jara, kdy taje největší množství sněhu) a vodu drží méně než 4 měsíce v roce.

4.4.2 Technické zásady pro návrh tůní

Aby tůně plnily co nejlépe svoji funkci zadržování lesní vody a zároveň působily pozitivně pro živočichy, je nutné dodržovat několik zásad. Tyto zásady jsou vypsány v daném standardu vytváření a obnovy tůní několika body (AOPK ČR 2015):

- **Velikost tůně:**

Jelikož je pro některé druhy velikost a hloubka tůní důležitým parametrem, je vhodné na jedné lokalitě vytvořit jednu větší tůň s rozměry i více než 100 m² a několik malých tůní v řádu desítek m² až po 1 m².

- **Tvar tůně:**

Tůně by měly být co nejpřirozenějšího a přírodě blízkého tvaru a rázu, což znamená, že by se měly co nejméně upravovat a měly by obsahovat co nejvíce tvarových nerovností, které mohou posléze působit jako úkryty pro živočichy. Ze stejného důvodu je vhodné v tůních nechávat mrtvé dřevo a kameny.

- **Členitost břehů a dna:**

Tůně by měly být co nejvíce prostorově i hloubkově členité a měly by obsahovat jak plochy velmi mělké, tak i hluboké. Dno by mělo být postupně se svažující či schodkové.

- **Hloubka vody:**

Od rozmezí 0,8 do 1,0 m, tůně hlubší než 1,5 m už nejsou pro živočichy vhodné. Aby tůně správně plnily svou funkci zachycování vody, neměla by jejich hladina být neustále držena na maximální možné úrovni. Zároveň by v nich ale nějaká voda měla kvůli zvěři zůstat po většinu vegetačního období, tedy od začátku dubna po konec července.

- **Sklony břehů a dna:**

Sklon by neměl být větší než 1 : 3, aby tůň nepůsobila jako záchytná jáma pro živočichy.

- **Opevňování tůní:**

Není žádoucí.

- **Litorální a epilitorální pásmo (tj. pobřežní pásmo dané tůně):**

Žádoucí je pozvolný přechod do okolního prostředí, vhodné je i přechodně zaplavované a podmáčené okolí (tzv. zaplavovaný epilitorál).

- **Doprovodná vegetace a oslunění tůní:**

„Pro podporu biodiverzity vodních organismů je vhodné budovat a udržovat tůně plně osluněné, nebo alespoň většinově osluněné, což preferuje většina ohrožených a vzácných druhů.“ (AOPK ČR 2015)

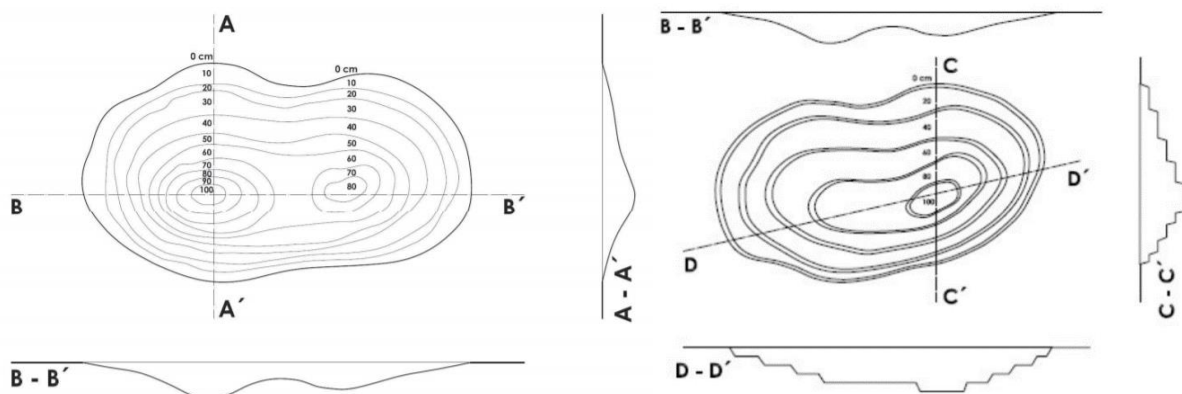
U stínomilných organismů lze mít na daných lokalitách tůně zcela ve stínu.

- **Uložení zeminy z výkopu tůně:**

V nejlepším případě se zemina ponechává v dané lokalitě, kde se rozprostře a nechá se prorůst přirozenou vegetací dané oblasti. V případě dělání zimovišť pro živočichy lze na vybraných místech ponechat zeminu na hromadě. Pokud proběhla kontaminace zeminy cizí látkou či náletovými semeny, je nutný její odvoz.

- **Termín realizace:**

Nejvhodnější je tůně budovat za sucha a mimo sezónu rozmnožování obojživelníků (tedy konec srpna až konec října), ale závisí také na vlastnostech dané lokality.



Obr. 15 a 16 – Navržený plán dna tůně s pozvolným dnem a tůně se schodovitým dnem, zdroj:

AOPK ČR, ČVUT 2014

5 MOŽNOSTI MITIGAČNÍCH OPATŘENÍ

Kromě zavádění adaptačních opatření, která se pouze vyrovnávají s dopady změn klimatu a jsou krátkodobá, ale mají téměř okamžité výhody v lokálním měřítku, je vhodné zároveň provádět také opatření mitigační. Tyto opatření jsou dlouhodobá a mají výsledný efekt v měřítku globálním, což ale také znamená, že se jejich funkčnost neprokáže ihned.

V následující kapitole si tedy představíme samotný význam pojmu mitigace a ukážeme si v její souvislosti několik opatření, která lze v lesích provádět.

5.1 Nežádoucí únik skleníkových plynů z lesnictví

ČMeS (2017) definuje pojem mitigace jako „cílená aktivita člověka omezující zdroje skleníkových plynů nebo snižující jejich koncentrace v ovzduší“. Tato opatření jsou tedy zaváděna proto, aby samotné změny klimatu zmírňovaly a zpomalovaly. Příčinou změny klimatu a nastupujícího sucha, jak už jsme si nastínili dříve, je velmi pravděpodobně zesilování přirozeného skleníkového efektu atmosféry následkem lidské činnosti, a zároveň také nadměrným zvyšováním emisí skleníkových plynů. Proto se mitigační opatření zabývají většinou úsporou energie a snižováním množství úniku těchto aktivních plynů nebo jejich zvýšeným vázáním z atmosféry rostlinami a vegetací (eAGRI 2021).

Mezi aktivní plyny, pocházející z lesnictví a s ním spojeného zemědělství, patří metan (CH_4), oxidy dusíku (především oxid dusný N_2O) a oxid uhličitý (CO_2) (eAGRI 2021).

Lesní ekosystémy mají schopnost dlouhodobě vázat CO_2 . Při svém růstu jej odstraňují z atmosféry a efektivně jej v sobě ukládají. Tato sekvestrace a ukládání uhlíku je považována za součást mitigačních opatření přispívajících ke zmírňování klimatických dopadů a snižování úrovně skleníkových plynů. Nutno ovšem podotknout, že je tato schopnost ovlivňována rozlohou a dlouhověkostí lesů. Toto uložené množství CO_2 se při vypálení a vykácení lesa opět uvolní do atmosféry, a tak je nutné tuto schopnost posílit vhodným lesním hospodařením, zalesňováním a snižováním velikosti odlesňování a průmyslové těžby. Tyto opatření se také považují za mitigační. S odlesňováním souvisí také dva další úniky plynů. N_2O je do atmosféry

uvolňován především z odlesněné orné půdy při procesech koloběhu dusíku, CH₄ je záležitost především živočišné výroby, která je příčinou odlesňování pro získání pastevní a pěstební plochy.

5.2 Hlavní mitigační opatření

Tyto emise a propady hlavních skleníkových plynů jsou v zemích pravidelně kontrolovány Rámcovou úmluvou OSN o změně klimatu formou inventarizace, která je prováděna v souladu s metodikou IPCC (MŽP 2020).

Dle IPCC LULCF jsou v lesnickém sektoru rozlišovány tři hlavní druhy mitigačních opatření (CIFOR 2020):

1. Zalesňování, neboli přeměna dlouhodobě nezalesněné půdy na les
2. Opětovné zalesňování, neboli přeměna krátkodobě nezalesněné půdy zpět na les
3. Vyhýbání se odlesňování, neboli co nejmenší přeměna lesa na půdu nezalesněnou

Dle IPCC AFOLU (2014) lze klimatickou změnu v souvislosti s lesnictvím zredukovat následujícími možnostmi:

- Zachováním konzervace uhlíku v lesní biomase a rašeliništích, především díky ochraně těchto ekosystémů
- Snížením ztrát tohoto uhlíku změnou hospodaření nebo celkově snížením ztrát ekosystémů bohatých na uhlík (například všeobecným snížením odlesňování či navlhčením odvodněných rašelinišť)
- Posílení sekvestrace uhlíku v těchto ekosystémech především zalesňováním a zvýšenou hustotou osazení v lesích
- Posílit na holé lesní půdě albedo, aby se sluneční záření odráželo a neohřívala se tak půda a vzduch
- Poskytování produktů s nízkými emisemi skleníkových plynů oproti výrobků s vyššími (tedy poskytování dřevěných produktů namísto výrobků betonových či z oceli)

5.3 Potencionální možnosti mitigačních opatření

V našich podmínkách temperátní zóny a především ČR, kde je téměř většina lesů hospodářsky využívaná, je nejlepším mitigačním opatřením snížení odlesňování a s tím také spojená změna způsobu těžby. Toho se dá dosáhnout pomocí převedení holosečného způsobu hospodaření na způsob podrostní, kdy nad půdou zůstává trvalý kryt v podobě matečních stromů. Samotná těžba zde bude sice o něco dražší a náročnější, nicméně cena za obnovování lesa bude nižší a výsledná produkce vyšší. Tento způsob má pozitivnější vliv na zachyt vzdušného uhlíku, neboť minimalizuje výkyvy v zásobách nadložního humusu a tím na dané ploše (oproti holosečné těžbě) zvyšuje zachycené množství. Také se prodlužuje doba jeho zachytu. Tomuto způsobu se říká „podrostní a výběrový způsob těžby“ (MŽP, ČHMÚ 2020).

K tomuto postupu je vhodné mít také druhově, věkově a prostorově diverzifikovaný les, který obsahuje jak hospodářsky zajímavé druhy a druhy stabilnější či odolnější na změny klimatu, tak také druhy, které jsou nutné pro přirozenou funkci daného lesa a jsou přitažlivé pro živočichy a zvyšování biodiverzity. Stejně tak je v tomto způsobu hospodaření vhodné upřednostňovat a zajišťovat přirozenou obnovu lesa (u minimálně 20 % plochy) – z tohoto důvodu by bylo vhodné prodloužení zákonné lhůty k zalesnění tak, aby tomuto požadavku více vyhovovala (MŽP, ČHMÚ 2020).

V souvislosti se zalesňováním listnatými stromy v našich podmínkách se lze bavit také o stavu zvěře, především vysoké zvěře se zálibou v okusu. Stav by měl být únosný pro daný lesní ekosystém a v souladu se zákonem o myslivosti by měl být udržován tak, aby byla možná přirozená obnova širokého spektra dřevin (MŽP, ČHMÚ 2020). Pokud se v daném ekosystému vyskytují velké šelmy, je vhodné podpořit jejich ochranu. Pokud se již z antropogenních důvodů nevyskytují, je vhodné podporovat jejich přijetí veřejností a jejich navrácení zpět. Velké šelmy totiž přirozeně udržují stavy vysoké zvěře na hladině únosné pro daný ekosystém a podporují také jejich pohyblivost v celé krajině, čímž přispívají k ochraně před nežádoucím spásáním celých lokalit nových podrostů a sazenic listnatých stromů.

6 KONCEPTY CHYTRÉ KRAJINY

Na poslední schůzi Pařížské dohody (IPCC 2018) byla zdůrazněna urgentní potřeba snížit rychlost klimatické změny a přijít se způsoby jejího zmírnění (Nabuurs et al. 2018). V reakci na tyto požadavky vzniklo několik konceptů, které navrhují způsoby, jak se chovat více klimaticky přívětivěji a snížit oteplování planety v několika různých odvětvích. Tyto koncepty navrhují, jak chytřeji stavět města, pěstovat plodiny či sázet lesy s pomocí obnovitelných zdrojů a menší produkcí skleníkových plynů. Než se dostaneme k pro nás podstatnému konceptu klimaticky chytřejších lesů, postupně si představíme také několik nejhlavnějších konceptů z jiných odvětví. Všechny spolu totiž souvisejí a společně vytvářejí jeden komplex klimaticky chytré či inteligentní krajiny.

6.1 Přehled hlavních konceptů

6.1.1 Koncept smart cities (SC)

Do češtiny přeložitelný jako koncept „chytrého města“ zastřešuje pro Českou republiku MMR ČR, které také vydalo metodiku, kde tento pojem vysvětluje: „Pojmem Smart Cities rozumíme koncept strategického řízení města, resp. obce nebo regionu. Primárním cílem SC je zajištění kvalitního života obyvatelům, kdy jsou jako nástroj využívány moderní technologie pro ovlivňování kvality života ve městě, a následně k dosahování hospodářských a sociálních cílů města (MMR 2018).“ Jedná se o stavbu a úpravu měst tak, aby se zkvalitnil lidský život ve městě, a dbá se především na vyvážení „šedé“ a „zelené“ složky města. Tento koncept SC se skládá z několika pilířů, které společně pojímají skoro vše, co by město ekologicky rozumné a udržitelné i v budoucnu mělo obsahovat. Jedním z těchto pilířů je „chytrý environment“, kde se SC zabývá zelenou infrastrukturou a vodními prvky, atraktivitou a výhodou přírodních podmínek ve městě, znečištěním a odpady, a udržitelným managementem přírodních zdrojů (MMR 2018).

6.1.2 Koncept climate-smart agriculture (CSA)

CSA znamená v českém jazyce koncept „klimaticky chytré zemědělské krajiny“, a je to myšlenka, kterou zastřešuje FAO a The World Bank. Jedná se o přístup k řízení zemědělské krajiny (jak polí a orné půdy, tak i hospodářských zvířat, lesů a rybářství) tak, aby zahrnoval a řešil jak výzvu potravinové bezpečnosti a zajišťování potravin, tak také klimatickou změnu. Jedním z důvodů vzniku byla neustálá potřeba navyšování produkce potravin kvůli zvyšování lidské populace. Dalším důvodem bylo začínající pociťování negativních dopadů klimatické změny v zemědělství, především formou zvyšování teplot, nestability a větší frekvence extrémních výkyvů počasí, invazivních škůdců a plodin, a omezování výnosů (The World Bank 2020).

CSA si klade za cíl v tomto odvětví dosáhnout tří výsledků (The World Bank 2020):

- **Zvýšená produkce:**

S cílem produkovat více kvalitnějších potravin a zvýšit výnosy, především kvůli stále hladovějícím částem světa.

- **Vylepšená odolnost:**

Především zredukování zranitelnosti vůči suchu, škůdcům, chorobám a dalším rizikům, které s sebou přináší klimatická změna. Zároveň také zvýšit odolnost růstu ve stresově náročných podmínkách, jakými jsou nepravidelné vzorce počasí.

- **Zredukování zemědělských emisí přispívajících ke klimatické změně:**

Usilování o snížení emisí na každou kalorii či kilo vyprodukovaných potravin, a současně zabránit odlesňování kvůli zemědělství.

Při usilování o dosažení těchto cílů se bude stavět na dostupných vědomostech, technologiích a principech udržitelného zemědělství, s velkým zaměřením na analýzu dopadů klimatických změn, především pomocí kompromisů, které existují mezi produktivitou, adaptací a zmírňováním dopadů. Zároveň si CSA klade za cíl nalézt nové možnosti financování, aby zmírnila či dokonce odstranila deficit zemědělských investic (The World Bank 2020).

6.1.3 Koncept climate-smart landscapes (CSL)

Aby se dosáhlo v zemědělství co nejlepších výsledků, je vyžadováno zásahů i za hranice polí a farem. U konceptu CSL můžeme mluvit jako o konceptu klimaticky chytré krajiny, a můžeme jej chápat jako rozšíření konceptu CSA svým zaměřením na krajinu jako celek a zdraví ekosystémů. S. J. Scherr (2012) rozděluje tento koncept na tři body: (1) na praxi v měřítku farem a polí, (2) rozmanitost využívání půdy napříč celou krajinou a (3) management využívání půdy v měřítku krajiny. Ve druhém a třetím bodě Scherr popisuje, jak rozmanitost a různorodost využívání půdy v krajině funguje jako mitigační opatření a působí pozitivně pro ekosystémové služby, a ukazuje, proč by tento koncept měl být následován při snaze snížit klimatické dopady (ICRAF 2019).

Nyní, když jsme si vysvětlili tyto příbuzné pojmy, můžeme se přesunout k samotnému konceptu klimaticky chytrých lesů.

6.2 Koncept climate-smart forestry

Jak už jsme si řekli výše, koncept Climate Smart Forestry (CSF), do češtiny přeložitelný jako koncept „klimaticky chytrého lesnictví (nebo také lesů)“, je metodika dosahující cílů IPCC v celém lesním sektoru. Klimatická změna totiž přivádí velké změny také pro lesy, především v podobě negativních dopadů, které snižují délku života samotných stromů i celých lesů. Zvětšuje se výskyt extrémních výkyvů počasí a četnost disturbancí v podobě požárů, větrných a dešťových bouří, škůdců a invazivních druhů, což může vést až ke změně biodiverzity a degradaci lesa.

Koncept CSF spadá pod FAO kvůli jeho spojení se zemědělstvím, se kterým ho spojuje i stejná definice: „Přístup přispívající k dosažení kroků potřebných k transformaci a přeorientování zemědělských systémů tak, aby účinně podporovaly udržitelný rozvoj a zajišťovaly bezpečnost potravin v měnícím se klimatu.“ (FAO 2010). Tento koncept prohlubuje cíle trvale udržitelného hospodaření v lesích (kterým se budeme zabývat níže), převážně v jeho reakci na klimatickou

změnu, a je brán jako jeho další krok. Jedná se především o průvodce pro lesy Evropské Unie, ale je aplikovatelný také pro lesy zbytku světa.

6.2.1 Základní principy

CSF staví na třech základních pilířech a cílech, kterých se snaží dosáhnout. Prvním z nich je redukce uvolňování emisí skleníkových plynů do atmosféry. Druhým cílem je adaptace a zvyšování odolnosti lesů na negativní dopady klimatické změny, a třetí cíl je udržitelným způsobem zvyšovat lesní produkci a ekonomický blahobyt založený na lesnictví (Kauppi et al. 2018).

CSF má při plnění těchto cílů potenciál pomoci do roku 2050 snížit emise oxidu uhličitého pro Evropskou Unii až o 20 % (Nabuurs et al. 2018). Ovšem ačkoliv se zdá nejlepším a nejrychlejším řešením zredukovat odlesňování a zvýšit konzervování uhlíku v lesích, při návrhu řešení pro EU je potřeba přemýšlet v rámci celého světa a opatření navrhovat regionálně. Platí zde heslo, jehož autorství je připisováno J. Ellul: „Mysli globálně, jednej lokálně“. V některých regionech může být prioritou pokles odlesňování a ochrana ekosystému, zatímco v jiných regionech může být upřednostňována udržitelná těžba. Pokud by se totiž výroba dřeva omezila v celé EU, poptávka po lesních produktech by se soustředila mimo Evropu, kde mohou být produkční metody méně efektivní, ekologicky náročnější, méně udržitelné a méně uhlíkově neutrální. Také by se zvětšila uhlíková stopa kvůli dopravě. Cílem tedy není nikoliv celkově omezit těžbu, ale spíše podporovat inovace a zlepšování efektivity využívání zdrojů v rámci regionů a celé EU. Čím více bude tato klimaticky chytrá politika obsahovat a myslet i na 17 cílů udržitelného rozvoje, tím větší budou její výsledky (Kauppi et al. 2018). Toto je cesta, která výrazně přispěje ke zmírňování klimatické změny.

6.2.2 Příklady opatření

Zde si představíme několik opatření, které navrhuje koncept CSF, a o které se v konečném výsledku usiluje (Nabuurs et al. 2018):

- Regenerace plně vzrostlého podrostu
- Podpoření regenerace starých smrkových porostů, které jsou náchylné vůči suchu a škůdcům, a jejich nahrazení druhy více odolnými na změnu klimatu
- Zefektivnění využívání zbytků ze zpracování dřeva
- Podpoření spolupráce s vlastníky lesa, kteří momentálně neinvestují do obnovy a obhospodařování lesů
- Zabraňování odlesňování
- Zredukování rizik disturbancí lesními požáry a bouřemi
- Zalesňování opuštěné zemědělské půdy
- Zvyšování využití dřeva s dlouhodobou životností

6.2.3 Aplikace adaptačních strategií a principů v praxi

Efektivní adaptační strategie do budoucna v lesním hospodářství je sázet už nyní stromy a rostliny méně náchylné na zvýšené teploty a extrémní počasí. Také dostatek stromů v povodí může zpomalit erozi půdy, která jde ruku v ruce se zvýšenými návaly srážek a extrémnějším počasím, které může změna klimatu vyvolat. Stejně tak důležitým krokem je zachování lesních koridorů pro přesun některých zvířat a rostlin, a tím podpoření jejich možného přesunu do vhodnějších poloh. Opomínaným, ale neméně důležitým krokem v boji proti klimatickým změnám je informovanost veřejnosti ohledně klimatických dopadů na lokální úrovni. Tato znalost totiž může vést k hlasitým připomínkám a žádostem, které mohou vést k radikálním krokům a změnám na úrovni lokálních regionů.

Abychom mohli zjistit, co je pro daný les nejlepší volbou, je potřeba nejprve provést hodnocení skládající se z několika kroků (ICRAF 2019):

1. Je potřeba zjistit, jak je daný les ovlivněn klimatickou změnou, a jakou hraje roli v adaptaci na klimatické změny
2. Je potřeba identifikovat nejvhodnější využití pro daný les, které by mohlo pomoci v adaptaci na klimatické změny
3. Následuje rozbor a aplikace rozmanité adaptační strategie
4. Provedení analýzy výzev, kterým čelí dané adaptační opatření
5. Zanalyzování, jak daný les reaguje na klimatickou změnu
6. Navrhnout nové a nejvhodnější adaptační strategie
7. Posledním krokem je sledování, posouzení a vyhodnocení daných adaptací na daném lese

6.2.4 Aplikace mitigačních strategií a principů v praxi

Lesy a celý lesní sektor hraje sám o sobě důležitou roli ve zmírňování klimatických změn, jelikož stromy a dřevo vážou velké množství CO₂. Pokud tedy hledáme možné aplikovatelné mitigační opatření, jednalo by se o co největší zredukování odlesňování a degradaci lesa. Abychom tohoto dosáhli, musíme identifikovat hnací síly odlesňování a nahradit je alternativními možnostmi. K tomu mohou dle CSF dopomoci následující cíle (ICRAF 2019):

1. Reformace sektorové politiky v lesnictví, zemědělství, energetice a dalších sektorů, za účelem zredukování odlesňování a degradace lesů, a jejich přeměňování na jiný druh půdy
2. Zavedení decentralizovaného vlastnictví lesů a platby uživatelům lesů za snížené emise nebo zvýšené propady uhlíku
3. Rozvoj národních programů pro propagaci variety lesnických akcí
4. Vyhnutí se přesídlení z degradovaných do produktivních oblastí půdy
5. Omezení rozsáhlých investic do zemědělství v oblastech přírodních lesů a zamezení tak hledání úrodné půdy

6.2.5 Aplikace zmíněných opatření na lesy ČR

Dovolím si zde zmínit jedno tvrzení od H. L. Menckena: „Pro každý problém je zde řešení, které je prosté, jasné a mylné“. Toto platí i pro aplikaci všech řešení CSF. I když jsou nám známy jasné požadavky na tvorbu a péči o lesy, ne vždy je jejich aplikace jasná a přímá. Často je naopak potřeba individuální přístup a složité propočty (Kauppi et al. 2018). Přesto si zde pomocí CSF metodik pokusíme představit možná řešení, která jsou aplikovatelná na biomy lesů temperátní zóny, přesněji na lesy České republiky.

Lesy ČR jsou z 98 % zařazeny do kategorií hospodářských lesů a lesů zvláštního určení, což znamená, že jsou dostupné a využívané pro těžbu a zásobování dřevem. Kvůli tomuto účelu je zde dominantním druhem smrk ztepilý, který pokrývá 50 % lesní plochy, a druhy borovice, které pokrývají 16 % plochy. Listnaté druhy stromů pokrývají dohromady pouze 27 % plochy, s převahou druhů buku a dubu. Plocha s holinami momentálně zabírá 1,2 % plochy. Převažuje tedy podíl jehličnatých dřevin, ovšem jejich celková plocha se nadále snižuje, a naopak se zvyšuje podíl dřevin listnatých. Přirozená skladba lesů na našem území (bez lesů národních parků) se pochybuje na 34,7 % jehličnatých lesů a 65,3 % listnatých lesů, s 0 % holin (MZE 2018).

Česká republika má tedy potenciál zahrnovat více lesů do kategorie lesů ochranných, za účelem ochrany biodiverzity a zabránění degradace i těžby lesů. Dalším krokem je i nadále pokračovat v trendu nárůstu listnatých druhů a jejich nahrazování druhů jehličnatých, především smrku, který je velice náchylný na disturbance stresem a suchem, a své uplatnění má až ve vyšších nadmořských výškách, které jsou jeho originálním domovem. Velmi důležité je v našich podmínkách také znovu osazování holin zbylých po těžbě, jelikož procento jejich výskytu stoupá. Tyto holé plochy mají zvýšené albedo a pohlcují i vyřazují tak více tepla, čímž z nich uniká více vody.

6.3 Trvale udržitelné hospodaření v lesích

Pro ČR známý koncept také pod zkratkou TUH nebo TUOL, kterému se v originálním jazyce říká Sustainable Forest Management se zkratkou SFM, zastřešuje PEFC a převzalo si jej i FAO. Jedná se o hospodaření v lesích na lokální i globální úrovni pomocí principů udržitelného rozvoje. Jedním z hlavních cílů tohoto konceptu je rozšiřování a zachování lesů i pro budoucí generace a udržování rovnováhy mezi ekologickou, ekonomickou a sociálně kulturní stránkou věci (ICRAF 2019). To znamená, že se TUH snaží vytvářet lesy, které budou sloužit jak k přirozeným funkcím lesa, tak také lidem a společnosti v rámci poskytování ekosystémových služeb. Pokouší se tedy dosáhnout snížení unikání uhlíku a zároveň umožňovat udržitelných funkcí lesa a čerpání jeho produktů. Tímto postojem poskytuje základ pro zmírňování a přizpůsobování se změně klimatu, a různými způsoby přispívá k zajišťování potravin, čímž působí jako základní část konceptu CSF, který má ve TUH svůj základ a dále na něm staví.

Základní kritéria trvale udržitelného lesního hospodářství dle PEFC (2017) jsou:

1. Zachování a přiměřený rozvoj lesních zdrojů a jejich příspěvku do globálního koloběhu uhlíku
2. Zachování zdraví a vitality lesních ekosystémů
3. Zachování a podpora produkční funkce lesů (dřevní a nedřevní produkty)
4. Zachování, ochrana a přiměřený rozvoj biodiverzity lesních ekosystémů
5. Zachování a přiměřený rozvoj ochranných funkcí lesů (zejména půdo-ochranných a vodo-ochranných)
6. Zachování ostatních socioekonomických funkcí a podmínek

Způsob, jakým toho chtějí dosáhnout, je především sazba druhů, které jsou adaptované na lokální klimatické podmínky a zároveň jsou cenné i z hlediska služeb. Dalším způsobem je praktikování agrolesnictví, což je způsob zemědělství, který do svých polních systémů integruje také stromy. Výhodami tohoto přístupu je zlepšení úrodnosti půdy, kontrola eroze, ochrana biologické rozmanitosti a také poskytování lesnických produktů, jakými je dřevo, palivo, míza, guma a další (ICRAF 2019).

Lesy obhospodařované tímto udržitelným způsobem mohou být označeny logem, což slouží jako informace pro veřejnost a nabízí tak možnost pro lidi, kteří chtějí tento typ hospodaření

podporovat a preferují jej u nakupovaných produktů, jakými je dřevo, nábytek a papír, a také u ostatních výrobků ze dřeva. Takové lesy jsou po podání žádosti posouzeny nezávislým certifikačním orgánem, který pomocí definovaného certifikačního systému posoudí, zda dané obhospodařování lesa splňuje podmínky certifikace. Všem žadatelům, kteří stanovená kritéria splní, je vydáno osvědčení platné vždy na tři roky. Takto oceněné lesy a lesní produkty jsou poté přidány na seznam držitelů a mohou užívat daného loga (PEFC 2017).

ZÁVĚR

V bakalářské práci byl shrnut neustále se zvětšující vliv klimatických změn na lesní ekosystémy, především přírodních oblastí biomu opadavého listnatého lesa temperátní zóny, a předpokládaný vývoj těchto změn v budoucnu. Hlavní zaměření zde bylo na působení extrému sucha na tyto ekosystémy a objasnění změn, které s sebou nese vliv nastupujícího nedostatku vody.

Největší vliv těchto změn byl zjištěn především u umělých monokultur jehličnatých stromů, které díky svému hospodářskému využití nahradily původní lesní biomy, a ačkoli byl zjištěn vliv také i na přírodní ekosystémy, jejich reakce na suchu probíhá a probíhat bude o něco méně násilněji. Lesy se budou často navracet do jejich přirozeného stavu ekologického optima a hranice výskytu se budou posunovat do větších nadmořských výšek. Bude docházet k dalším velkým dynamickým změnám a bude probíhat přirozená migrace, ovšem kvůli větší rychlosti nastupujících klimatických změn jsou a budou nutné také cílené antropogenní zásahy.

V práci byly shrnuty možné adaptační i mitigační opatření a zásahy, které lze v lesích k přírodnímu i lidskému prospěchu ekosystémových služeb provádět. Jedná se především o změnu stereotypu sázení stále stejných monokultur a jejich nahrazování přírodními dřevinami a dřevinami odolnějšími vůči suchu, a také o nutnou změnu našeho hospodaření v lesích pomocí cílených zásahů do půdy tak, aby mohla opět zadržovat dešťovou vodu. Pomocí těchto opatření lze přispět k navrácené stabilitě lesních porostů a odolnosti vůči disturbancím, které budou s klimatickou změnou čím dál více přibývat.

SEZNAM ZKRATEK

AFOLU	Zemědělství, lesnictví a další využití půdy
AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
CDM	Mechanismus čistého rozvoje
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČMeS	Česká hydrometeorologická společnost
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
ČZÚ	Česká zemědělská univerzita
FAO	Potravinářská a zemědělská organizace
ICRAF	Institut světového agrolesnictví
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu
LULUCF	Využívání krajiny, změny ve využívání půdy a lesnictví
MMR	Ministerstvo pro místní rozvoj ČR
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PEFC	Program pro schválení certifikace lesů
RCP	Representative Concentration Pathways
REDD(+)	Redukce emisí z odlesňování a degradace lesa
TUH	Trvale udržitelné hospodaření v lesích
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský
WMO	Světová meteorologická organizace

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- AOPK ČR. 2015. Vytváření a obnova tůní: Standardy péče o krajinu. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky: Standardy péče o přírodu a krajinu* [online]. Praha: AOPK ČR, 2015, 16.03.2015 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://standardy.nature.cz/res/archive/414/068339.pdf?seek=1552472666>
- Bowditch, E., Santopuoli, G., Binder, F., Miren del Río, La Porta, N., Kluvankova, T., Lesinski, J., Motta, R., Pach, M., Panzacchi, P., Pretzsch, H., Temperli, Ch., Tonon, G., Smith, M., Velikova, V., Weatherall, A., Tognetti, R. 2020. What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe. *Ecosystem Services*, Volume 43, 2020, ISSN 2212-0416, [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101113>
- CIFOR. 2020. Forests and mitigation. [online]. *Praha: Center for International Forestry Research (CIFOR)*, 2020 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www2.cifor.org/cobam/background/forests-and-mitigation/>
- CRITCHFIELD, H. J. 1983. *General Climatology*. 4. vyd., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 453s. ISBN 0133492176.
- CUDLÍN, P., ČERMÁK, P., JANKOVSKÝ, L. 2004. ANALÝZA RIZIK DESTABILIZACE SMRKOVÝCH POROSTŮ VLIVEM KLIMATICKÉ ZMĚNY. *Česká bioklimatická společnost* [online]. Brno: ČBKS [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: http://www.cbks.cz/SbornikVinicky04/bpd.2004/content/05Sekcia_lesnickej_bioklimatologie/Cudlin.pdf
- ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). 2021. [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2021 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- ČHMÚ. 2019. Aktualizace Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR z roku 2015: ČHMÚ. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: MŽP, 2019 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK-Aktualizovana_studie_2019-20200128.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-Aktualizovana_studie_2019-20200128.pdf)

- ČMeS (*Elektronický meteorologický slovník*). 2017. [online]. Praha: Česká hydrometeorologická společnost. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>
- Dictionary. 2021. Biome. *Dictionary* [online]. Dictionary.com [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.dictionary.com/browse/biome>
- Dictionary. 2021. Temperate zone. *Dictionary* [online]. Dictionary.com [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.dictionary.com/browse/temperate-zone>
- eAGRI. 2021. Zmírňování (mitigace) změny klimatu v ČR v sektoru zemědělství. *EAGRI: Životní prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2021 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/zmena-klimatu/zmirnovani-zmeny-klimatu/>
- FAO. 2017. Climate Smart Agriculture Sourcebook. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/concept/module-a3-landscapes/a3-overview/en/>
- HLÁSNÝ, T., LEHEJČEK, J. 2019. Sucho v lesích střední Evropy. Jak na něj? *Česká zemědělská univerzita v Praze: Fakulta lesnická a dřevařská* [online]. Praha: ČZU, 2019 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.fld.czu.cz/cs/r-6826-veda-a-vyzkum/r-7819-publikacni-aktivity/r-8047-popularizace-vedy/r-11612-sucho-v-lesich-stredni-evropy-jak-na-nej>
- HRKAL, Z. 2018. *Voda včera, dnes a zítra*. Praha: Mladá fronta, ISBN 9788020449894.
- ICRAF. 2019. Climate-Smart Agriculture: Enhancing Resilient Agricultural Systems, Landscapes, and Livelihoods in Ethiopia and Beyond. 2019. Kiros Meles Hadgu, Badege Bishaw, Miyuki Iiyama, Emiru Birhane, Aklilu Negussie, Caryn M. Davis, and Bryan Bernart, Editors. *World Agroforestry (ICRAF)*, Nairobi, Kenya. [cit. 2021-03-12]. str. 16 a 179. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Aklilu-Negussie/publication/334600145_Climate_Smart_Agriculture_for_Ethiopia_and_Beyond/links/5d95c022a6fdccfd0e717f23/Climate-Smart-Agriculture-for-Ethiopia-and-Beyond.pdf
- *Intersucho*. 2021. [online]. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2021 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/>

- IPCC. 2021. *The Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. Ženeva: IPCC, WMO, UNEP, 2021 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/>
- JANOUŠ, D. 2002. PRAVDĚPODOBNÝ DOPAD KLIMATICKÉ ZMĚNY NA EVROPSKÉ LESY. *Lesnická práce* [online]. 2002, 81(2/02) [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-81-2002/lesnicka-prace-c-2-02/pravdepodobny-dopad-klimaticke-zmeny-na-evropske-lesy>
- Kauppi, P., Hanewinkel, M., Lundmark, T., Nabuurs, GJ., Peltola, H., Trasobares, A. and Hetemäki, L. 2018. *Climate Smart Forestry in Europe*. European Forest Institute. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Climate_Smart_Forestry_in_Europe.pdf
- KELLOMAKI, S., KARJALAINEN, T., MOHREN, F., LAPVETELAINEN, T. 2000. Expert Assessments of the Likely Impacts of Climate Change on Forests and Forestry in Europe. *European Forest Institute: Connecting Knowledge to Action* [online]. Finland: EFI, 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/proc34_net.pdf
- *KlimatickáZměna.cz: CzechGlobe*. 2021. [online]. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/>
- LESY ČR. 2018. Kvůli suchu letos nebude taková úroda semen lesních dřevin. *LESY ČR* [online]. Hradec Králové: LESY ČR, 2021, 15.08.2018 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://lesy-cr.cz/tiskova-zprava/kvuli-suchu-letos-nebude-takova-uroda-semen-lesnich-drevin/>
- Meteoblue. 2021. Temperate zone. *Meteoblue: weather close to you* [online]. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://content.meteoblue.com/en/meteoscool/general-climate-zones/temperate-zone>
- Mezistromy. 2021. Typy přirozených porostů (biomů) světa i v ČR. *Mezistromy.cz: vzdělávací portál* [online]. Plzeň: UBK, 2021 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: [https://www.mezistromy.cz/les-a-stromy/typy-prirozenych-porostu-\(biomu\)-sveta-i-v%20cr/odborny](https://www.mezistromy.cz/les-a-stromy/typy-prirozenych-porostu-(biomu)-sveta-i-v%20cr/odborny)
- MMR. 2018. Metodika Smart Cities. *Ministerstvo místního rozvoje* [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z:

<https://mmr.cz/getmedia/f76636e0-88ad-40f9-8e27->

cbb774ea7caf/Metodika_Smart_Cities.pdf.aspx?ext=.pdf

- MZE. 2018. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018. *EAGRI* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/zelenazprava/ZZ_2018.pdf
- MŽP, ČHMÚ. 2020. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/U0VBX01aUDlWNOtfbmF2cmhfNjc0NTE5MDlzMNTc2MjYwNTM0LnBkZg/MZP207K_navrh.pdf
- MŽP. 2017. Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020 [cit. 2021-01-16]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\\$FILE/koncepce_s_ucho_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_s_ucho_material.pdf)
- MŽP. 2020. Mitigace změny klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: MŽP, 2020 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/mitigace_zmeny_klimatu
- Nabuurs, G-J., Verkerk, P. J., Schelhaas, M-J., Olabarria, J. R. G., Trasobares, A., Cienfuegos, E. 2018. Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions. *From Science to Policy 6. European Forest Institute* [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_6_2018.pdf
- PANČÍK, P. 2021 Biómy Zeme. *Biopedia* [online]. Bratislava: Biopedia.sk [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://biopedia.sk/ekologia/biomy-zeme>
- PEFC. 2017. Certifikace trvale udržitelného lesního hospodářství. *Lesy: PEFC Česká republika* [online]. Praha: PEFC ČR, 2017 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.pefc.cz/lesy/#trvale-udrzitelne-hospodareni-v-lesich>
- PLAMÍNEK, J. 2017. Ekosystém. *Sociologická encyklopedie* [online]. Praha: Sociologický ústav AV ČR [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://encyklopedie.soc.cas.cz/w/Ekosyst%C3%A9m>
- SIEGEL, S. M. 2018. *Budiž voda: Izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody*. 3. Praha 4: ALIGIER. ISBN 9788090642058.

- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., Tubiello, F. 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf
- SOBÍŠEK, B. a kolektiv. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Academia, Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 1993. 1. vyd. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.
- Stav sucha. 2015. *Monitoring sucha a jeho dopadů* [online]. ČHMÚ, CzechGlobe, Mendelova Univerzita v Brně, 2015 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://stavsucha.cz/>
- SUCHOMEL, J., KULHAVÝ, J., ZEJDA, J., PLESNÍK J., MENŠÍK, L. 2020. Ekologie lesních ekosystémů. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelu [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Skripta_Ekologie_lesnich_ekosystemu.pdf
- Štefan Vaľo. 2013. Povodne.sk / Povodne a suchá, dva problémy s jedným riešením. *Youtube* [online]. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://youtu.be/2psEDt65dIQ>
- The World Bank. 2020. *Climate-smart Agriculture*. [online]. The World Bank Group, 2021, 22.10.2020 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture>
- Vaľo, Š. 2018. *Povodne.sk: Povodne a suchá, dva problémy s jedným riešením* [online]. Košice: Štefan Vaľo, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://povodne.sk/sk/>
- Voda pro les, voda pro lidi. 2020. *Facebook* [online]. 2021 [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/vodaproles>

- Zákon č. 17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí: §3 Ekosystém. *Zákony pro lidi* [online]. Praha: AION CS, s.r.o, 2021 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>
- ZELENAKOVA, M., FIALOVÁ, J., M. NEGM, A. 2020. *Assessment and Protection of Water Resources in the Czech Republic*. Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2020. ISBN 9783030183622.

SEZNAM PŘÍLOH

- Obrázek 1 – Výskyt opadavých širokolistých lesů, zdroj: Peter Pančík 2021; <https://biopedia.sk/ekologia/biomy-zeme>
- Obrázek 2 – Postup sucha z jednotlivých do dalších sfér a dále do celého hydrologického cyklu, zdroj: VÚV, ČZÚ; převzato od MŽP 2017; [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\\$FILE/koncepce_s_ucho_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_s_ucho_material.pdf)
- Obrázek 3 – Změna průměrné roční teploty vzduchu v Evropě za dané časové období dle E-OBS datasetu, zdroj: ČHMÚ 2019; [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK-Aktualizovana_studie_2019-20200128.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-Aktualizovana_studie_2019-20200128.pdf)
- Obrázek 4 – Projekce změn teploty a zvýšení hladin oceánů pro období 2081–2100 v porovnání s obdobím 1986–2005, zdroj: IPCC; převzato od MŽP, ČHMÚ 2020; https://portal.cenia.cz/eiasea/download/U0VBX01aUDlwN0tfbmF2cmhfNjc0NTE5MDIzNTc2MjYwNTM0LnBkZg/MZP207K_navrh.pdf
- Obrázek 5 a 6 – Schéma narušování zhutněné půdy lesní přibližovací linky bagrem, zde s obecnými rozměry a schéma následného zadržování dešťové vody, zdroj: Štefan Val’o 2018; <https://povodne.sk/sk/riesenie-a-realizacie/navrhovana-uprava-zhutnenych-povrchov>
- Obrázek 7 a 8 – Holé zerodované těžební linky, zdroj: Voda pro les, voda pro lidi 2020; <https://www.facebook.com/vodaproles/posts/395454198492156>
- Obrázek 9 a 10 – Bagrování linek a výsledná linka po dešti, zdroj: Voda pro les, voda pro lidi 2020; <https://www.facebook.com/vodaproles/photos/a.125181372186108/281765963194314>
- Obrázek 11 – Schéma řezu kopce a výtoku dešťové vody skrz přerušené póry v uměle vytvořeném svahu, zdroj: Štefan Val’o 2018; <https://povodne.sk/sk/riesenie-a-realizacie/opatrenie-pre-umelo-vytvorene-svahy>

- Obrázek 12 – Schéma řezu kopce po zavedení navrhovaných opatření, zdroj: Štefan Val’o 2018; <https://povodne.sk/sk/riesenie-a-realizacie/opatrenie-pre-umelo-vytvorene-svahy>
- Obrázek 13 a 14 – Tůně na zadržení a vsakování vody, zdroj: Miroslav Kubín a Voda pro les, voda pro lidi 2020; <https://www.facebook.com/vodaproles/photos/a.125181372186108/392303792140530>
- Obrázek 15 a 16 – Navržený plán dna tůně s pozvolným dnem a tůně se schodovitým dnem, zdroj: AOPK ČR, ČVUT 2014; <https://standardy.nature.cz/res/archive/414/068339.pdf?seek=1552472666>