

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jan Purkyt

ČESKÉ BUDĚJOVICE

2022

Autoreferát disertační práce

Doktorand: **Ing. Jan Purkyt**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Aplikovaná a krajinná ekologie

Název práce: Produkční a evapotranspirační funkce jednotlivých kategorií využití krajiny v měnících se klimatických podmínkách

Školitel: doc. RNDr. Pavel Cudlín, CSc.

Oponenti: prof. RNDr. Hana Čížková, CSc.
doc. Ing. Barbara Stalmachová, CSc.
RNDr. Jan Květ, CSc.

Obhajoba disertační práce se koná dne 29. 3. 2022 v 10 hod. v místnosti vědecké rady ZF JU v Českých Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení ZF JU v Českých Budějovicích.

doc. RNDr. Libor Pechar, CSc.

předseda oborové rady AKE

ZF JU v Českých Budějovicích

1. Úvod

Produkční funkce je jednou ze základních ekosystémových funkcí, která umožňuje člověku získávat a využívat přírodní zdroje jako potravu, krmivo pro zvířata, materiál pro stavby, nebo pro energetické či jiné účely. S produkční funkcí je vzhledem k fungování krajiny spojena i funkce evapotranspirační, která je zásadní pro disipaci sluneční energie, tedy přeměny sluneční energie na skupenské teplo páry, čímž se zabraňuje přehřívání zemského povrchu. Vzhledem k probíhající změně klimatu je patrné, že dojde v budoucnu k nižšímu plnění produkční a evapotranspirační funkce. Plnění produkční a evapotranspirační funkce lze studovat z mnoha hledisek, například v různých měřítkách, místech, nebo časových obdobích. Krajinné měřítko nad rámcem biotopů je zásadní pro lepší pochopení souvislostí, ale zároveň je ještě uchopitelné. Vlastní biotopy jsou naproti tomu snadněji vymezitelné vzhledem k jejich menší velikosti a větší homogenitě ve srovnání s krajinou. Při studiu ekosystémových funkcí je vhodné použít biotopové i krajinné měřítko. Studie se často provádí v malých a středních povodích, která jsou homogenní částečně i z hlediska energo-materiálových toků (tok vody, jeho energie a unášené plaveniny atd.).

Ekosystémové funkce lze chápat jako veškeré projevy ekosystému, vztahů a procesů, které v něm probíhají, až po jeho schopnosti samoregulace a poskytování ekosystémových služeb (Seják et al., 2010). Pokud projevy ekosystémových funkcí mají přímý vliv na lidské zdraví nebo kvalitu života, jsou nazývány ekosystémovými službami (Lyons et al., 2005). Původně byly popsány jako užitky, které lidská populace přímo či nepřímo získává z ekosystémových funkcí (Costanza et al., 1997), nebo jednoduše jako užitky, které lidé získávají z ekosystémů (MA, 2005). Ekosystémové funkce, představující potenciál ekosystémů pro plnění ekosystémových služeb, se hodnotí v tzv. biofyzikálních jednotkách, pomocí zvolených indikátorů, které přímo souvisí se schopností ekosystému poskytovat vybrané ekosystémové služby. Komplexní přístup k hodnocení ekosystémových funkcí a služeb prostřednictvím zavedení integrovaného rámce navrhli například De Groot et al. (2002). V České republice se hodnocení ekosystémových funkcí a služeb a biologického základu jejich poskytování – biodiverzity začal zabývat kolektiv autorů vedený doc. Sejákem již kolem roku 2000 s výstupy v publikacích např. Seják et al. (2003) a Seják et al. (2010). V posledních letech bylo hodnocení ekosystémových služeb řešeno týmem dr. Vačkáře v rámci projektu „Integrované hodnocení ekosystémových služeb v České republice“ (Vačkář et al., 2014), a to včetně finančního hodnocení ekosystémových služeb (Frélichová et al., 2014).

Pro vizualizaci vlivu změn land use na ekosystémové funkce a služby se používají mapy ekosystémových služeb (Goldstein et al., 2012). Pro tyto studie jsou velmi důležité mapy krajinného pokryvu na lokální, regionální a globální úrovni (Fritz et al., 2011). Land use se na globální úrovni hodnotí pomocí GLC-2000 (Global Land Cover) nebo MODIS (MODerate resolution Imaging Spectrometer). Environmentální a ekologické následky změn krajiny jsou ovšem lépe viditelné na přírodních ekosystémech, neboť je ohrožena jejich trvalá udržitelnost, multifunkčnost a hodnota (Schulz et al., 2010). Biotopy (habitáty) byly v Evropě monitorovány díky Evropské směrnici o stanovištích 92/43/EEC, která definovala potřebu

ochrany habitatů a druhů pomocí přijetí vhodných opatření. V rámci ekologické sítě ploch k ochraně Natura 2000 byly přírodní biotopy v období 2001-2004 vymapovány a od té doby se provádí zhruba po 10 letech revize jejich stavu. V České republice byly podklady Natura 2000 použity pro Metodu hodnocení biotopů (BVM – Biotope Valuation Method), která zahrnuje celkem 193 biotopů (Seják et al., 2003), ze kterých je 53 více antropicky ovlivněných a zbytek tvoří přírodní a přírodě blízké biotopy, které jsou převzaté z Katalogu biotopů ČR (Chytrý et al., 2010). Pechanec et al. (2012) využili pro hodnocení ekosystémových služeb v České republice tzv. Detailní kombinovanou vrstvu (DKV), což je vrstva pro podrobné mapování v měřítku 1:10 000, která byla vypracována na Ústavu výzkumu globální změny AV ČR a obsahuje přírodní i nepřírodní biotopy.

Změna klimatu je již řadu let v popředí společenského zájmu. Pátá hodnotící zpráva IPCC (Hartmann et al., 2013) uvádí nárůst globální průměrné teploty (nad povrchy země a oceánů) o 0,85 °C mezi lety 1880–2012. Pro území ČR Zahradníček et al. (2021) uvádějí, že ve srovnání tří dekád následujících po roce 1990 se starým klimatickým normálem 1961–1990 je každá dekáda obecně teplejší než předchozí, se zvláště výrazným oteplováním v posledním období 2011–2019. Klimatická změna je jedním z výrazných příčin ztráty biodiverzity na globální i regionální úrovni. Zvyšující se průměrná teplota posunuje agro-klimatické zóny (Trnka et al., 2009) a významně tak ovlivní zemědělství a produkci potravin (Sala et al., 2000). Neudržitelné zemědělské postupy a měnící se klima by mohly vést k nevratnému poklesu produktivity s ničivými dopady na ekosystémové služby v rozsáhlých oblastech (Trnka et al., 2016). Roli důsledků změny klimatu v procesu probíhající degradace půdy na území ČR zhodnotili v poslední době Pechanec et al. (2021) v rámci stanovení indexu ESAI (Environmental Sensitivity Area Index).

Vzhledem k působení klimatické změny je naprosto zásadní potřeba nejen dále nenarušovat plnění všech významných ekosystémových funkcí v krajině, ale i podporovat jejich obnovu především v místech, kde je daná funkce potřebná z hlediska stability a resilience (schopnost vyrovnat se se změnou a pokračovat v rozvoji) krajiny ve vztahu ke změně klimatu. V tomto kontextu je vhodné aplikovat princip multifunkčních krajin (např. Prokopová et al., 2018), kdy multifunkční krajiny budou hrát vzhledem k probíhajícím změnám ve využívání krajiny i změně klimatu čím dál větší úlohu (Jongman, 2002). V souvislosti s klimatickou změnou je vhodné také zařadit mitigační a adaptační opatření. Mitigační opatření lze obecně chápat jako předcházení dopadům zmírněním daného jevu (Klimatická změna ČR, 2016). Konkrétně je mitigace antropogenní zásah ke snížení zdrojů (úspora energie, výroba zelené energie) nebo posílení propadů skleníkových plynů (IPCC, 2001). Adaptační opatření směřují k řešení dopadů změny klimatu (Klimatická změna v ČR, 2016) a přizpůsobení se novým podmínkám vzhledem ke změně klimatu (Moldan, 2009). Konkrétní adaptační opatření podle Mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC, 2007) jsou například: přizpůsobení doby sadby a variability plodin, zlepšení hospodaření s půdou (protierozní ochrana), rozšířené využívání dešťové vody a opětovné používání vody. Odhad sekvestrace uhlíku související s využíváním půdy je zvláště důležitý na regionální úrovni, kde dochází k zásadním rozhodnutím, jak lépe vyhodnotit dopady změn ve využívání půdy. Vhodným managementem pro zachování a zvýšení půdního uhlíku je omezení zpracování půdy a používání

zemědělských technik podporující jeho ukládání (Janssens et al., 2003), aplikace různých forem dřevěného uhlí do půdy, zlepšení hospodaření s vodou, obnova rašelinišť a degradované půdy (Smith et al., 2014).

V rámci disertační práce jsem samostatně zpracoval mapování krajiny metodou hodnocení biotopů (BVM) v povodí Všeminky. Vv horní části povodí Stropnice jsem provedl revize a upřesnění biotopů pro Detailní kombinovanou vrstvu (DKV). Ve spolupráci s kolegy jsem zpracoval čistou primární produkci (NPP) pro lesní porosty v horní části povodí Stropnice a vypracoval část práce zaměřenou na dynamiku změn krajinného pokryvu, fragmentace a sekvestrace uhlíku. Přispěl jsem k rozvoji databáze údajů uhlíkových zásobníků a s tím souvisejících prací na modelu InVEST a podílel jsem se na práci s modelem Land Change Modeller (LCM) a modelem MARXAN. Pro predikci dalšího vývoje obou funkcí ve studovaných územích jsem využil výsledky klimatických dat od kolegů z Ústavu výzkumu globální změny AVČR, a to teplot a srážek a jejich predikce.

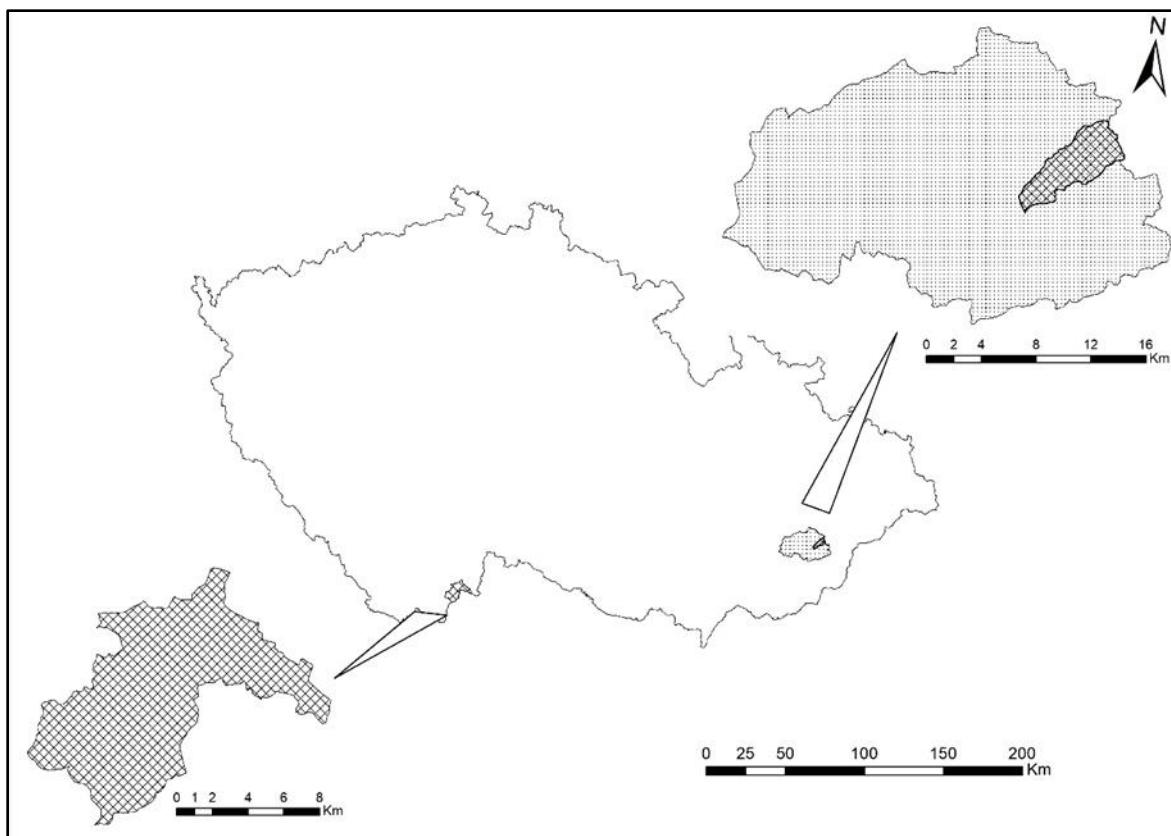
2. Cíl práce a hypotéza

Cílem disertační práce bylo zjistit míru současného plnění produkční a evapotranspirační funkce a pomocí modelů odhadnout, jak se budou tyto funkce měnit vlivem změny klimatu a na základě těchto výsledků navrhnout vhodná území k přírodě bližšímu způsobu obhospodařování pro udržitelné plnění ekosystémových funkcí v zájmových povodí Dřevnice, Všeminky a Stropnice.

Hlavní hypotézou byl předpoklad, že míra udržitelného plnění vybraných ekosystémových funkcí závisí na přirozenosti biotopů; přírodní a přírodě blízké biotopy se budou efektivněji podílet na koloběhu látek a energií a mají vyšší resilienci vůči očekávané environmentální změně (synergické působení klimatické změny a znečištění životního prostředí) než nepřirodní biotopy (biotopy silně ovlivněné nebo přeměněné člověkem). Konkrétně byla testována hypotéza, že dynamika změn krajinného pokryvu, fragmentace, sekvestrace uhlíku a evapotranspirace (míra plnění produkční a evapotranspirační funkce) se odvíjí od krajinných typů dle Löwa (2006), kdy krajinné typy přírodnějšího charakteru (např. lesní krajiny), vykazují menší změny oproti více antropicky pozměněným či vytvořeným krajinám (např. zemědělské nebo urbanizované krajiny).

3. Metodika

Terénní průzkum spočíval ve zjištění změn v zastoupení kategorií využití krajiny a krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Všeminky, které je součástí povodí Dřevnice (obr. 1). Toto mapování krajiny bylo provedeno metodou biotopového hodnocení (Biotope Valuation Method – BVM, Seják et al., 2003).



Obr. 1 Zájmová území povodí Všeminky, povodí Dřevnice a horní části povodí Stropnice.

V zájmovém území horní části povodí Stropnice proběhla revize a upřesnění biotopů pro Detailní kombinovanou vrstvu (DKV). Obě mapování byla prováděna s podklady v měřítku 1 : 10 000 (obr. 1). Vlastní zpracování mapových podkladů získaných z terénního průzkumu zájmového území Všeminky proběhlo v programu ArcGIS 10. X., a to vektorizací podkladů a vytvořením mapového výstupu. Ve zájmových územích Dřevnice a Stropnice byly z mapových podkladů DKV a CORINE LC vytvořeny mapové výstupy pomocí programu ArcGIS 10. X. Jako nejhrubší vrstva mapování bylo využito mapování krajinného pokryvu CORINE Land Cover (CORINE LC), úroveň 3 v měřítku zhruba 1 : 100 000 (CENIA, 2017). Byla využita data CORINE LC pro roky 1990, 2000, 2006 a 2012.

Pro podrobné mapování biotopů v měřítku 1 : 10 000 byla použita Detailní kombinovaná vrstva (DKV), která byla vypracována na Ústavu výzkumu globální změny AV ČR ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. DKV je vytvořena z Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) a Vrstvy mapování biotopů (AOPK ČR, 2014) a dalších datových zdrojů dostupných na úrovni území České republiky, jako ZABAGED (Základní báze geografických dat), DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat), UrbanAtlas (města od 100 tis obyvatel), CORINE Land Cover, HEIS (Hydroekologický informační systém) a LPIS (Land Parcel Identification System – systém pro identifikaci zemědělských pozemků).

Stanovení produkční funkce proběhlo třemi způsoby: i) stanovením zásoby uhlíku kvůli možnosti predikce těchto zásob (zjištění sekvestrace v čase) ve všech zájmových územích, ii) odhadem čisté primární produkce všech biotopů přiřazením tabulkových hodnot k jednotlivým biotopům ve vrstvě DKV a iii) stanovením čisté primární produkce pro lesní porosty v povodí Stropnice.

Data pro stanovení evapotranspirační i produkční funkce biotopů v krajině byla získána z experimentálních měření a z databáze Oddělení ukládání uhlíku v krajině ÚVGZ. Pro 22 funkčních skupin typů biotopů pro všechna zájmová území byly odhady hodnot produkce a evapotranspirace převzaty z publikace Seják et al. (2010). Pro každou třídu CORINE LC 2012 bylo stanoveno zastoupení přírodních biotopů pomocí vrstvy mapování biotopů (AOPK ČR, 2014) a zastoupení nepřírodních biotopů, provedené analýzou využití krajiny nad leteckými snímky pro každou třídu CORINE LC, s využitím dat IFER (Šimová et al., 2009). Ty byly doplněné o vlastní analýzu pomocí náhodně rozmístěných bodů v rámci jednotlivých tříd CORINE LC. Stanovení zastoupení biotopů v jednotlivých kategoriích krajinného pokryvu CORINE LC je uvedeno v publikaci Pechanec et al. (2017).

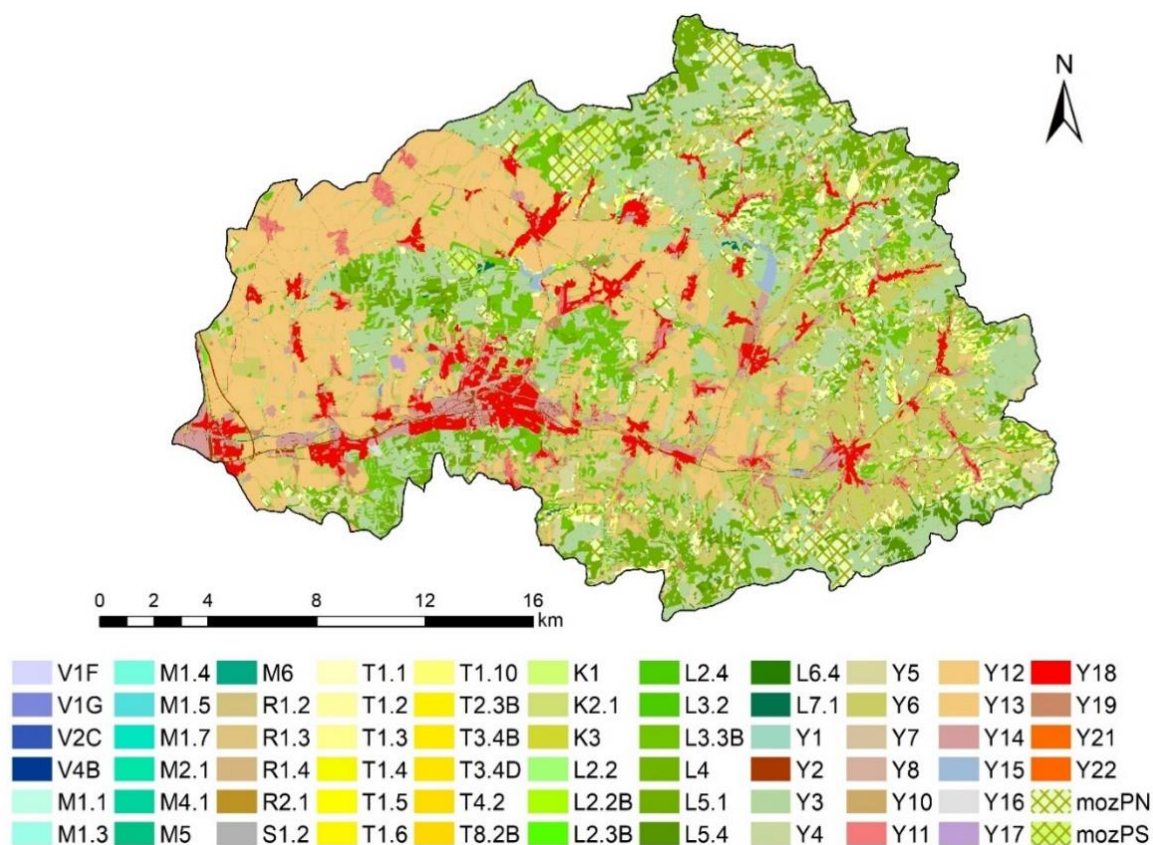
Hypotéza, že dynamika změn využití krajiny/krajinného pokryvu, fragmentace a sekvestrace uhlíku se odvíjí od krajinných typů dle Löwa (2006), kdy krajinné typy přírodnějšího charakteru, jako například lesní krajiny, vykazují menší změny oproti více antropicky pozměněným či vytvořeným krajinám, jako jsou zemědělské nebo urbanizované krajiny, byla testována ve studovaných povodích na základě dat CORINE LC. Pro výpočet indexů krajinných metrik byl využit software ArcGIS 10.X s pomocí extenze Patch Analyst. Pro zjištění uhlíkových zásob byla využita filozofie modelu InVEST se třemi uhlíkovými zásobníky (nadzemní, podzemní a mrtvá biomasa).

Na základě dostupných podkladů a terénního průzkumu byla zpřesněna a verifikována tabulková data produkční funkce jednotlivých typů biotopů v lokálním (zájmové území Všeminky) a regionálním měřítku (zájmová území horní části povodí Stropnice a Dřevnice) a na základě klimatických modelů a modelů změn využití území byly odhadnuty jejich změny do roku 2030 a 2050. Získané výsledky byly použity pro naplnění a částečnou verifikaci a zjištění míry nejistoty scénářových modelů změn využití území, ukládání uhlíku a biodiverzity. Byly testovány a využity následující sady modelů: InVEST - pro hodnocení úrovně ekosystémových služeb a jejich porovnání, Land Change Modeller (LCM) - dynamický prediktivní model využití krajiny, MARXAN - model, který pomáhá při rozhodování v ochranném plánování. Výsledky modelů InVEST, MARXAN a LCM byly získány ve spolupráci s Katedrou geoinformatiky UPOL v rámci společně řešených projektů v zájmových územích.

4. Výsledky a diskuze

Výše popsané metody a postupy byly v rámci předložené práce aplikovány na trojici zájmových území – dvě povodí středně velkých vodních toků (Dřevnice na Zlínsku a Stropnice v jižních Čechách) a dále na povodí drobného vodního toku Všeminka, jakožto levostranného přítoku řeky Dřevnice.

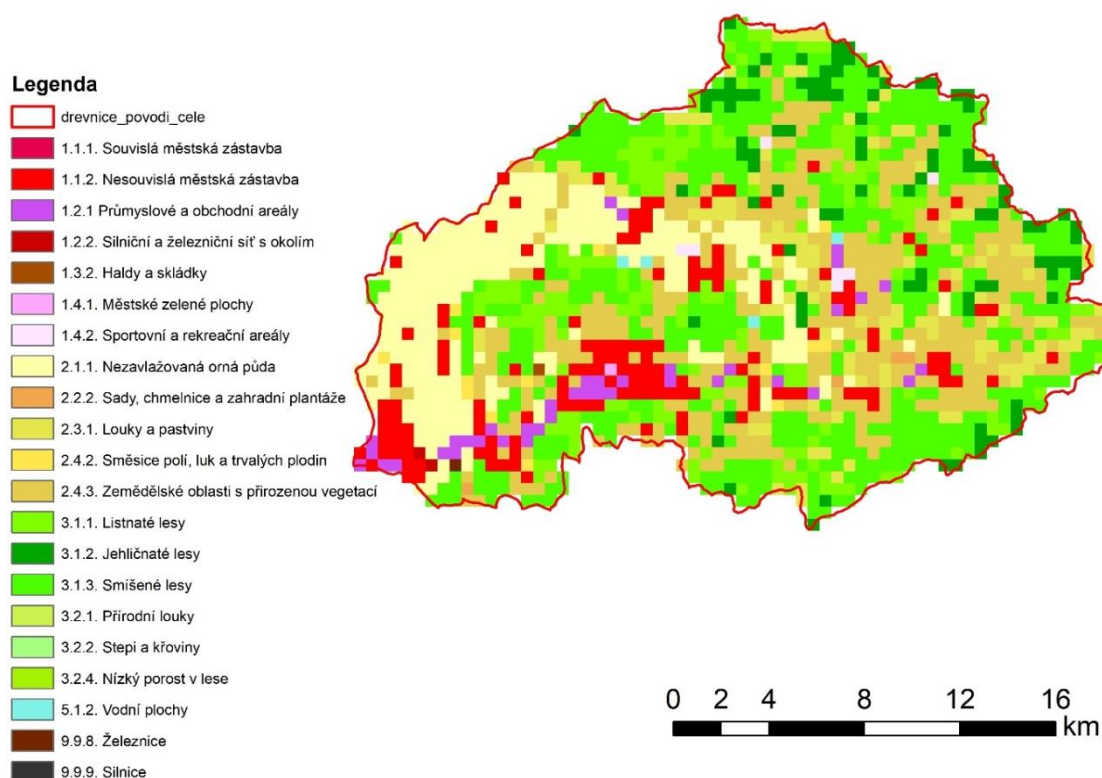
Pro potřeby autoreferátu byly vybrány výsledky modelování pouze pro povodí řeky Dřevnice. Základní přehled o vegetačních poměrech, charakterizovaných prostřednictvím metody hodnocení biotopů DKV („detailní kombinovaná vrstva“) v povodí Dřevnice, je uveden na obr. 2. Obecně lze shrnout, že v povodí převládají zejména antropogenně ovlivněné biotopy (kód „Y“), jedná se převážně o lesozemědělskou až zemědělskou krajinu, v nejvyšších partiích povodí kolem pramenné oblasti Dřevnice potom také o krajinu lesní.



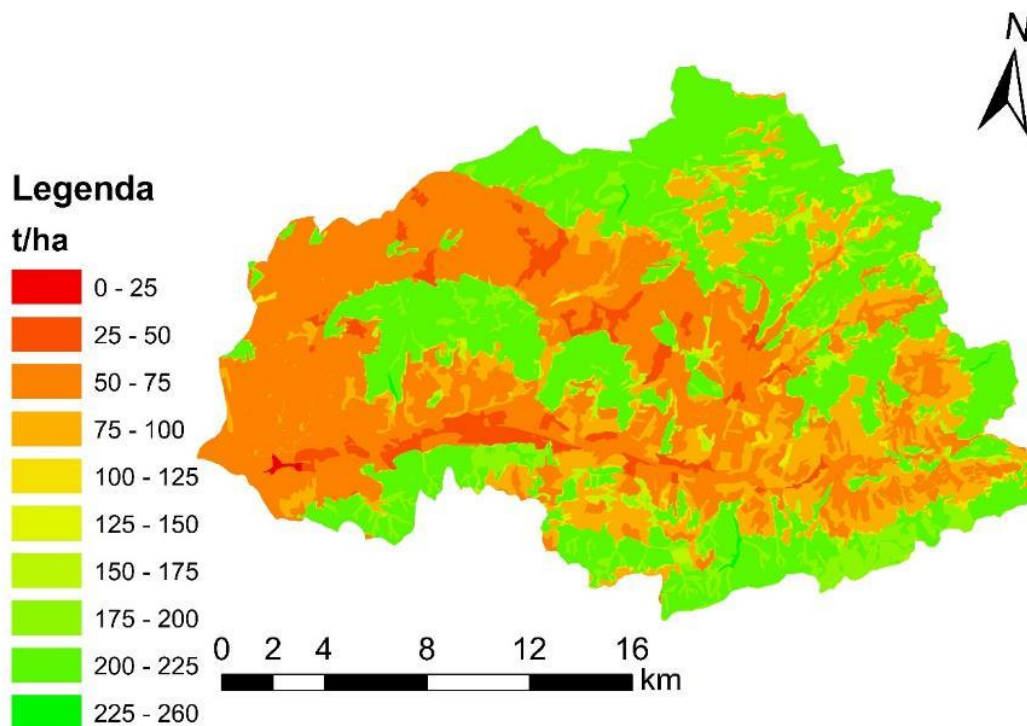
Obr. 2. Biotopy mapované metodou DKV v povodí Dřevnice v roce 2016. Podrobné vysvětlivky ke kódům biotopů jsou v disertační práci, zde jsou uvedeny jen typy biotopů: V - vodní toky a nádrže, M – mokřady a pobřežní vegetace, R – prameniště a rašeliniště, S – skály a sutě, T – sekundární trávníky a vřesoviště, K – křoviny, L – lesy, Y – biotopy ovlivněné lidskou činností.

Pro predikování krajinného pokryvu do budoucna byly pomocí modelu Land Change Modeller (LCM) vytvořeny mapy všech zájmových území pro roky 2030 a 2050. Na obr. 3 je zobrazen modelovaný krajinný pokryv povodí Dřevnice v roce 2050. Detailní informace o algoritmech modelu LCM, jejich nastavení a vstupních datech, použitých pro potřeby modelování, jsou uvedeny v disertační práci. Na základě predikčního modelu se v povodí Dřevnice zvýší plocha s nesouvislou městskou zástavbou v roce 2030 oproti referenčnímu stavu v roce 2012, která ale bude do roku 2050 ubývat a zároveň dojde k nárůstu zemědělských oblastí s přirozenou vegetací a úbytku orné půdy. V případě zvyšování plochy zástavby do roku 2030 se bude pravděpodobně jednat o výstavbu dočasných budov, např. skladů a hal. Model vychází z historického vývoje krajinného pokryvu z map CORINE Land Cover z let 1990, 2000, 2006, 2012 a 2018, kdy docházelo k přeměně orné půdy na louky, nejvíce mezi lety 1990 a 2000 Bičík et Jeleček (2009).

Uhlíkové zásobníky pro povodí Dřevnice, vypočtené na základě vrstvy CORINE Land Cover 2012, obsahující nadzemní biomasu, podzemní biomasu, mrtvou biomasu a půdní uhlík, jsou zobrazeny na obr. 4. Hodnoty uhlíku (C) jsou podle očekávání nejvyšší v lesní krajině a nejnižší v zemědělské krajině, kdy urbanizovaná krajina zahrnuje často i nezanedbatelné množství městské zeleně, a to jak přímo ve městech, tak v příměstské zeleni na města bezprostředně navazující. K tomu přispívá i opouštění zemědělské půdy v okolí měst, která zarůstá vegetací a dochází zde k vyššímu ukládání uhlíku (Lipský et Kukla, 2012).

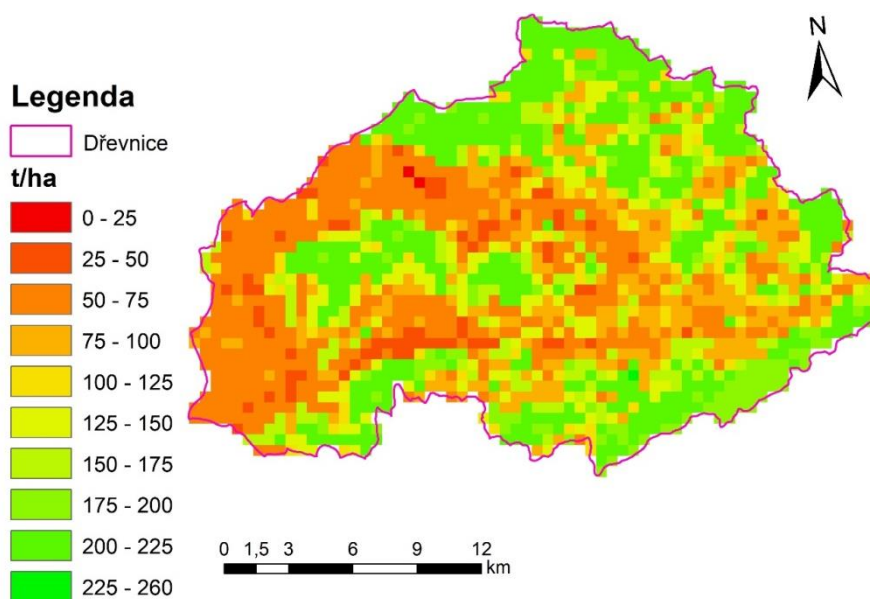


Obr. 3. Krajinný pokryv CORINE Land Cover predikovaný pro rok 2050 modelem LCM na povodí Dřevnice (rastr 500 m).



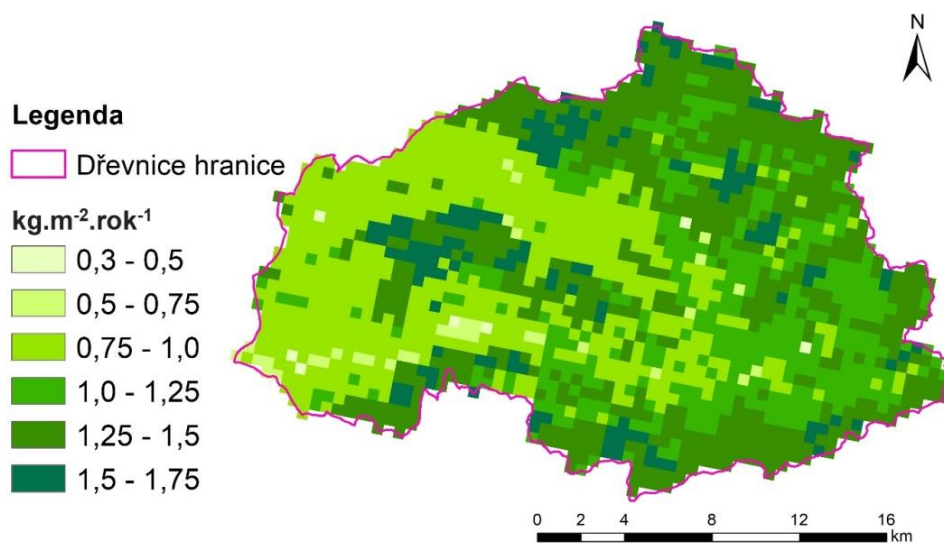
Obr. 4. Celkový uhlík (nadzemní biomasa, podzemní biomasa, mrtvá biomasa a půdní uhlík) v povodí Dřevnice vypočtený na základě vrstvy CORINE Land Cover 2012.

Další krok představovalo modelování uhlíkových zásobníků pro roky 2030 a 2050, rovněž na základě modelu Land Change Modeller (LCM). Pro predikci byl zvolen rastr 500 m, který je v povodí Dřevnice a Stropnice vhodný vzhledem k velikosti území. Ve všech analyzovaných povodích se zásobníky celkového uhlíku mírně zvyšují, protože podle modelu LCM bude až do roku 2050 docházet k mírnému nárůstu zatravnění a zalesňování zemědělské půdy. Výsledné hodnoty pro rok 2050 v povodí Dřevnice zobrazuje obr. 5.

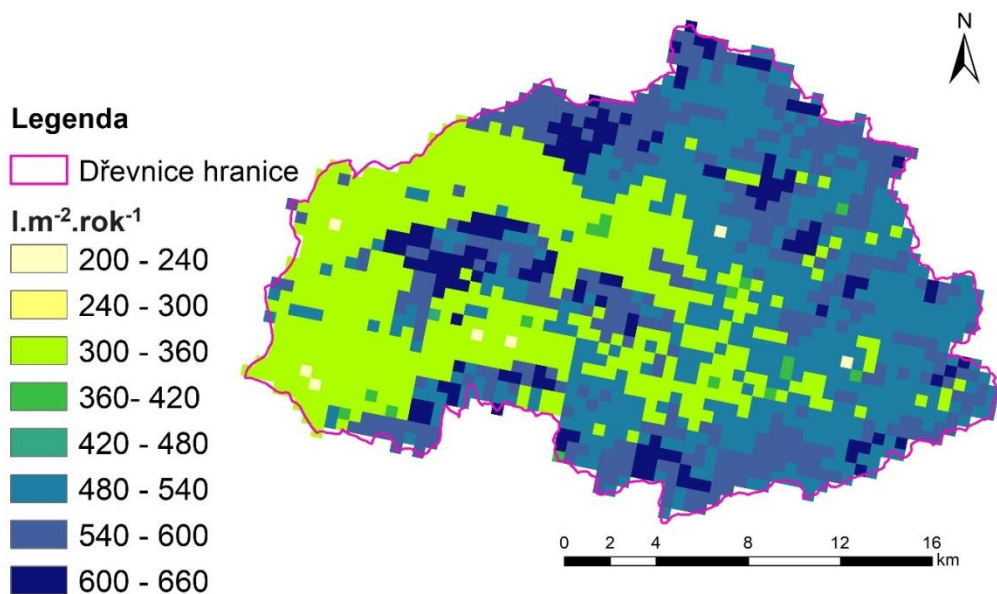


Obr. 5. Predikce uhlíkových zásobníků v povodí Dřevnice pro rok 2050 z modelu LCM.

Čistá roční primární produkce nadzemní a podzemní biomasy byla dále vyjádřena na základě dat z experimentálních měření a databáze Oddělení ukládání uhlíku v krajině ÚVGZ (obr. 6). V datových výstupech jednotlivých predikcí je zřejmá silná korelace s prostorovou distribucí lesních porostů v povodí Dřevnice. Z totožných datových zdrojů byla vyjádřena rovněž roční hodnota evapotranspirace biotopů, zobrazená na obr. 7. Hodnoty evapotranspirace byly zjištěny nejnižší v oblasti sídel a nejvyšší v lesních porostech; přesto dosahovaly v urbánních oblastech, jako např. v Otrokovicích hodnot $300\text{--}360 \text{ l.m}^{-2}\text{.rok}^{-1}$ nebo na některých místech ve Zlíně dokonce i hodnot $480\text{--}540 \text{ l.m}^{-2}\text{.rok}^{-1}$. To bylo pravděpodobně způsobeno přítomností městské vegetace, především keřové a stromové výsadby v podobě veřejné zeleně a parků (Xing et Brimblecombe, 2020). Z hlediska evapotranspirační funkce v povodí Všeminky se ukazuje velikost tohoto povodí jako minimální pro jejího vyhodnocení vzhledem k velikosti pixelu mapové vrstvy. Přesto se v tomto povodí projevuje přítomnost lesozemědělské krajiny poměrně vyváženou hodnotou evapotranspirace. Povodí Všeminky se nachází ve východní části povodí Dřevnice, která má také relativně vysokou hodnotu evapotranspirace a převažuje zde lesozemědělská krajina. Naopak západní část povodí Dřevnice vykazuje nižší plnění evapotranspirační funkce. Příčinou je nižší zastoupení zeleně a naopak značné plošné zastoupení povrchů, které jsou většinu roku jen s minimální vegetací (polní kultury), nebo povrchů bez vegetace, střídajících se s vegetací špatně zásobenou vodou (hlavně ve větších sídlech); tyto povrchy se snadno přehřívají a ovlivňují tak i své okolí (Pokorný, 2014; Pokorný et Hesslerová, 2018). Pro zvýšení zásob vody v krajině a plnění evapotranspirační především v zemědělské krajině mají velký význam i menší plochy mokřadů Huryňa et Pokorný (2016). Proto je vhodné tyto biotopy v krajině nejen zachovávat, ale i vytvářet a podpořit tak evapotranspirační a zároveň i produkční funkci krajiny.



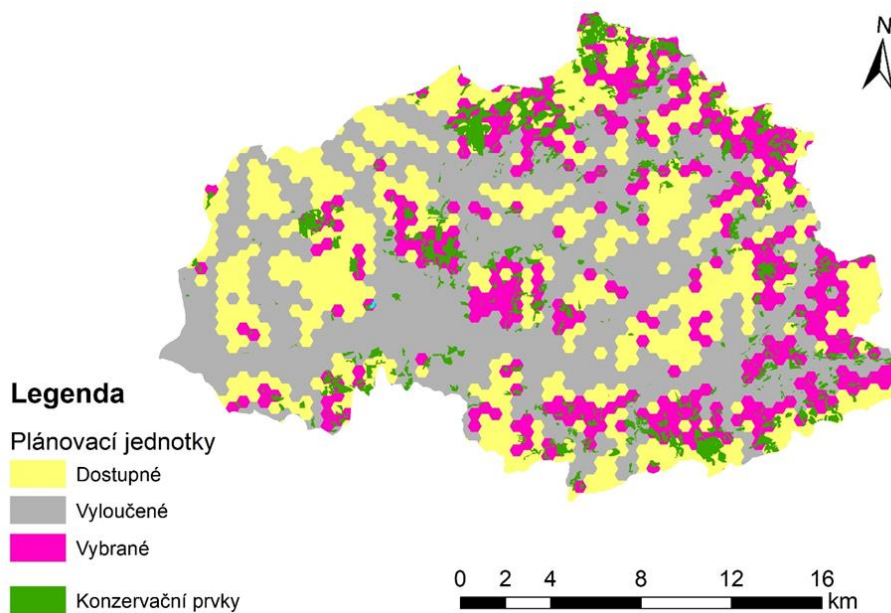
Obr. 6. Čistá roční primární produkce nadzemní a podzemní biomasy v povodí Dřevnice.



Obr. 7. Roční hodnoty evapotranspirace biotopů v povodí Dřevnice.

Finální fáze řešení práce spočívala v identifikaci lokalit vhodných k udržitelnému plnění ekosystémových funkcí s využitím modelu MARXAN. Za konzervační prvky byly považovány cenné přírodní a přírodě blízké biotopy z databáze Mapování biotopů AOPK ČR, přesahující minimální rozlohu, potřebnou k jejich udržení v krajině. Výstupem z modelu je mapa s návrhem území vhodných pro stanovení

speciálního managementu pro udržení a zvyšování produkční a evapotranspirační funkce krajiny. Výstup modelu MARXAN pro povodí Dřevnice je uveden na obr. 8.



Obr. 8. Vybraná území v povodí Dřevnice k udržitelnému plnění ekosystémových funkcí pomocí modelu MARXAN.

Většinu vybraných plánovacích jednotek modelem MARXAN tvořily listnaté lesy, především se jednalo o dubohabřiny nebo bučiny. Opominutí malých ploch cennějších biotopů, které ale nemají potřebnou plochu miniareálu pro dlouhodobé udržení v krajině (Seják et al., 2013), může být jedním z limitů modelu při jeho využití na malých území při snaze podchytit heterogenní krajinou strukturu s množstvím drobných plošek (Cudlín et al., 2020).

5. Závěr

Na základě dosažených výsledků bylo zjištěno vyšší plnění produkční a evapotranspirační funkce v přírodních a přírodě blízkých biotopech v porovnání s nepřírodními biotopy ve sledovaných povodích. Ve všech třech povodích se zásobníky celkového uhlíku mírně zvyšují až do roku 2050 vlivem zatravňování a zalesňování zemědělské půdy podle predikčního modelu Land Change Modeller. Dále se podle predikčního modelu v povodí Dřevnice zvýší plocha s nesouvislou městskou zástavbou v roce 2030 a do roku 2050 dojde k nárůstu zemědělských oblastí s přirozenou vegetací a úbytku orné půdy. V povodí Všeminky dojde k nárůstu zemědělských oblastí s přirozenou vegetací a sníží se plocha luk a pastvin do roku 2050. V povodí Stropnice se v roce 2030 zvětší plochy louky a pastviny místo ploch orné půdy a orná půda se v roce 2050 v povodí téměř vyskytovat nebude.

Průměrné roční teploty vzduchu i průměrné roční srážkové úhrny ukazují ve všech zájmových povodích a v obou predikovaných obdobích (2021–2040 a 2041–2060) nárůst oproti starému klimatickému normálu (1961–1990) i ve srovnání s obdobím (1990–2020). K menším nárůstům teplot dochází na místech s přítomností přírodních biotopů, hlavně lesů než v oblastech více ovlivněných lidskou činností, jako jsou pole a zástavba. Dokonce v povodí Stropnice se i průměrné roční srážky v letech 2041–2060 zvýší oproti současnému stavu, především v důsledku změny orné půdy na trvalé travní porosty.

Jako vhodná území pro udržitelné plnění ekosystémových funkcí se zdají území s převahou přírodních a přírodě blízkých biotopů, hlavně lesů, ale i extenzivních luk a pastvin, které budou podle predikčních modelů přibývat ve všech povodích. Přesto velký význam pro poskytování obou vybraných ekosystémových funkcí v zastavěném území má městská zeleň, která snižuje negativní dopady zastavěných ploch na fungování městského ekosystému.

První část hypotézy disertační práce, tedy že vyšší míra udržitelného plnění vybraných ekosystémových funkcí závisí na přirozenosti biotopů, byla potvrzena. Z hlediska dlouhodobého plnění produkční a evapotranspirační funkce se přírodní a přírodě blízké biotopy (převážně lesní biotopy) významněji podílely na koloběhu látek a energií v porovnání s nepřírodními biotopy, a to hlavně díky jejich vyšší resilienci i resistenci vůči disturbancím. Resilience je nutná k dlouhodobě udržitelnému plnění ekosystémových funkcí, především z hlediska probíhající environmentální změny - synergické působení klimatické změny a znečištění životního prostředí.

Ve druhé části hypotézy bylo testováno, zda dynamika změn krajinného pokryvu, fragmentace, sekvestrace uhlíku a míra plnění produkční a evapotranspirační funkce závisí na krajinných typech dle Löwa (2006). Hlavním cílem v této části bylo zjistit, jestli krajinné typy přírodnějšího charakteru, např. lesní krajiny, vykazují menší změny oproti více antropicky pozměněným či vytvořeným krajinám, jako jsou zemědělské nebo urbanizované krajiny. Tato část hypotézy byla potvrzena jen z hlediska plnění produkční a evapotranspirační funkce, ale nebyla potvrzena pro nižší míru fragmentace a perzistence biotopů v krajině. Hodnoty produkční funkce (od které je odvozena sekvestrace uhlíku), i evapotranspirační funkce

odpovídají přírodnosti krajín a dosahují vyšších hodnot v lesní krajině, následované lesozemědělskou a rybníční krajinou. Nejnižší hodnoty byly zjištěny v zemědělské a urbanizované krajině. V případě dynamiky změn krajinného pokryvu u typů krajín přírodnějšího charakteru (lesní, lesozemědělská a rybníční krajina) dochází k větším změnám než u více antropicky pozměněných či vytvořených krajín (zemědělská a urbanizovaná krajina). Více antropicky změněné či vytvořené krajiny jsou dlouhodobě intenzivněji využívány, proto jsou více perzistentní a dochází v nich k menším změnám ve velikosti jednotlivých plošek i využití než v krajinách přírodních. Míra fragmentace závisí více na homogenitě krajiny než na její přírodnosti, proto nejvíce homogenní krajiny, jako je lesní krajina a zemědělská krajina, jsou nejméně fragmentované.

Hlavním přínosem práce je ukázka postupu extrapolace získaných dat na úrovni jednotlivých biotopů do měřítka celé krajiny pro stanovení současné i budoucí produkční funkce, z které lze snadno odvodit i zásoby uhlíku. Data na úrovni biotopů je možné převést do širěji pojatých kategorií krajinného pokryvu v klasifikaci Corine Land Cover a tyto kategorie již umožňují stanovit současnou produkční funkci i zásobu uhlíku a zároveň i predikce produkce nadzemní biomasy a zásoby uhlíku pro roky 2030 a 2050 pomocí modelu Land Change Modeller.

6. Souhrn

Cílem disertační práce bylo zjistit míru současného plnění produkční a evapotranspirační funkce a pomocí modelů odhadnout, jak se budou měnit vlivem změny klimatu a na základě těchto výsledků navrhnout vhodná území k přírodě bližšímu způsobu obhospodařování pro udržitelné plnění ekosystémových funkcí v zájmových povodí Dřevnice a Stropnice.

Terénní průzkum spočíval ve zjištění změn v zastoupení kategorií využití krajiny a krajinného pokryvu v zájmovém území povodí Všeminky, které je součástí povodí Dřevnice, a Horní části povodí Stropnice. Vlastní zpracování mapových podkladů získaných z terénního průzkumu proběhlo v programu ArcGIS 10. X., a to vektorizací podkladů a vytvořením mapového výstupu. Ve dvou zájmových územích byly z mapových podkladů Detailní kombinované vrstvy (DKV) a CORINE Land Cover (CLC) vytvořeny mapové výstupy pomocí programu ArcGIS 10. X. Pro podrobné mapování biotopů v měřítku 1 : 10 000 byla použita vrstva DKV, která byla vypracována na Ústavu výzkumu globální změny AV ČR ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. Stanovení produkční funkce i hodnot evapotranspirace bylo pro všechna povodí provedeno přiřazením tabulkových hodnot k jednotlivým biotopům ve vrstvě CLC.

Na základě dosažených výsledků bylo zjištěno vyšší plnění produkční a evapotranspirační funkce v přírodních a přírodě blízkých biotopech v porovnání s nepřirodními biotopy ve sledovaných povodích. Ve všech třech povodích se zásobníky celkového uhlíku mírně zvyšují až do roku 2050 vlivem zatravňování a zalesňování zemědělské půdy podle predikčního modelu Land Change Modeller. K nižším nárůstům teplot dochází na místech s přítomností

přírodních biotopů, hlavně lesů než v oblastech více ovlivněných lidskou činností, jako jsou pole a zástavba.

Jako vhodná území pro udržitelné plnění ekosystémových funkcí se zdají území s převahou přírodních a přírodě blízkých biotopů, hlavně lesů, ale i extenzivních luk a pastvin, které budou podle predikčních modelů přibývat ve všech povodích. To odpovídá i více přírodním typům krajiny (lesní, lesozemědělské) než více antropicky pozměněných či vytvořených krajin (zemědělská a urbanizovaná krajina). Přesto velký význam pro poskytování obou vybraných ekosystémových funkcí v zastavěném území má městská zeleň, která snižuje negativní dopady zastavěných ploch na fungování městského ekosystému.

Hlavním přínosem práce je ukázka postupu extrapolace získaných dat na úrovni jednotlivých biotopů do měřítka celé krajiny pro stanovení současné i budoucí produkční funkce, z které lze snadno odvodit i zásoby uhlíku. Data na úrovni biotopů je možné převést do širěji pojatých kategorií krajinného pokryvu v klasifikaci Corine Land Cover a tyto kategorie již umožňují stanovit současnou produkční funkci i zásobu uhlíku a zároveň i predikce produkce nadzemní biomasy a zásoby uhlíku pro roky 2030 a 2050 pomocí modelu Land Change Modeller.

6. Summary

The goal of the Thesis was to determine the current level of the production and evapotranspiration functions and use models to estimate how they will change due to climate change. Based on these results, suitable areas for more natural and sustainable management of ecosystem functions in the Dřevnice and Stropnice catchments should be identified.

The field study consisted of determining changes in the representation of land use categories and landscape cover in the area of interest of the Všeminka catchment and Stropnice catchment. The actual processing of the map data from the field studies was vectorizing and creating the map outputs in the ArcGIS 10. X. program. Two sources were used to create the maps. First, the Detailed Combined Layer in the scale 1 : 10 000, which was created by Global Change Research Institute CAS in cooperation with the Agency for Nature and Landscape Protection of the Czech Republic. Second, the less detailed CORINE Land Cover (CLC) data were used, but these maps were for the time series from 1990 to 2018. Production function and evapotranspiration values were determined for all catchments by assigning tabular values to individual habitats in the CLC maps.

Based on the obtained results, higher fulfillment of production and evapotranspiration function was found in natural and near-natural habitats compared to degraded habitats in the monitored catchments. In all three catchments, total carbon sinks increase slightly by 2050 due to revegetation and afforestation of agricultural lands, as predicted by Land Change Modeller. In areas with natural habitats, especially forests, the temperature increase is less than in areas more influenced by human activities such as fields and buildings. Areas with a predominance of natural and near-natural habitats, especially forests, but also extensive

meadows and pastures, appear to be suitable areas for the sustainable fulfillment of ecosystem functions. This correspond more to natural landscape types (forest, forest-agriculture) than to more anthropically modified landscapes (agricultural and urbanized). Nevertheless, urban greenery is of great importance for providing the two selected ecosystem functions in the urban area and reduces the negative impacts of built-up areas on the functioning of the urban ecosystem.

The main contribution of this work is to demonstrate the process of extrapolating data obtained at the habitats scale to the scale of the entire landscape to determine the current and future production function and carbon stock. Data at habitat level can be translated into broader land cover categories of the Corine Land Cover Classification. These categories already allow determination of current production function and carbon stocks, and prediction of aboveground biomass production and carbon stocks for the years 2030 and 2050 using Land Change Modeller.

7. Použitá literatura

- [1] AOPK ČR, (2014). Vrstva mapování biotopů. [elektronická georeferencovaná databáze]. Verze 2014. Praha. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. cit. 7. 4. 2017.
- [2] BIČÍK, I., JELEČEK, L. (2009). Landuse and landscape changes in Czechia during the period of transition 1990-2007. *Geografie. Sborník České geografické společnosti*, 114(4). 263-281.
- [3] CENIA, (2017). Vývoj krajinného pokryvu dle CORINE Land Cover na území ČR v letech 1990–2012. CENIA, Česká informační agentura životního prostředí, Praha, 31 s.
- [4] COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., VAN DEN BELT, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
- [5] CUDLÍN, O., PECHANEC, V., PURKYT, J., CHOBOT, K., SALVATI, L., CUDLÍN, P. (2020): Are Valuable and Representative Natural Habitats Sufficiently Protected? Application of Marxan model in the Czech Republic. *Sustainability*, 12(1), 402.
- [6] DE GROOT, R. S., WILSON, M. A., BOUMANS, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.

- [7] FRÉLICOVÁ, J., VAČKÁŘ, D., PÁRTL, A., LOUČKOVÁ, B., HARMÁČKOVÁ, Z. V., LORENCOVÁ, E. (2014). Integrated assessment of ecosystem services in the Czech Republic. *Ecosystem Services*, 8, 110-117.
- [8] FRITZ, S., SEE, L., MCCALLUM, I., SCHILL, C., OBERSTEINER, M., VAN DER VELDE, M., M., BOETTCHER, H., HAVLIK, P., ACHARD, F. (2011). Highlighting continued uncertainty in global land cover maps for the user community. *Environmental Research Letters*, 6(4), 044005.
- [9] GOLDSTEIN, J. H., CALDARONE, G., DUARTE, T. K., ENNAANAY, D., HANNAHS, N., MENDOZA, G., POLASKY, S., WOLNY, S., DAILY, G. C. (2012). Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7565-7570.
- [10] HARTMANN, H., ZIEGLER, W., KOLLE, O., TRUMBORE, S. (2013). Thirst beats hunger—declining hydration during drought prevents carbon starvation in Norway spruce saplings. *New Phytologist*, 200(2), 340-349.
- [11] HURYNA, H., POKORNÝ, J. (2016). The role of water and vegetation in the distribution of solar energy and local climate: a review. *Folia geobotanica*, 51(3), 191-208.
- [12] CHYTRÝ, M., KUČERA, T., KOČÍ, M. GRULICH, V., LUSTYK, P. (eds) (2010). *Katalog biotopů České republiky. Ed. 2. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.*
- [13] IPCC, (2001). *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. 881 s.
- [14] IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- [15] JANSSENS, I. A., FREIBAUER, A., CIAIS, P., SMITH, P., NABUURS, G. J., FOLBERTH, G., DOLMAN, A. J. (2003). Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions. *science*, 300(5625), 1538-1542.
- [16] JONGMAN, R. H. (2002). Homogenisation and fragmentation of the European landscape: ecological consequences and solutions. *Landscape and urban planning*, 58(2–4), 211–221.

- [17] Klimatická změna v ČR, (2016). Výstup z projektu „CzechAdapt – Systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a adaptačních opatřeních na území ČR“. Brno, ÚVGZ AV ČR. On-line: <http://www.klimatickazmena.cz>, cit. 7. 2. 2022.
- [18] LIPSKÝ, Z., KUKLA, P. (2012). Mapping and typology of unused lands in the territory of the town kutná Hora (Czech Republic). *AUC Geographica*, 47, 65–71.
- [19] LÖW, J., CULEK, M., NOVÁK, J. HARTL, P. (2006). Typy krajinného rázu České republiky. https://is.muni.cz/el/1431/podzim2016/Z7900/Krajinne_typy_CR_Culek.pdf?lang=en, cit. 7. 2. 2022.
- [20] LYONS, A. C. (2005). Financial education and program evaluation: Challenges and potentials for financial professionals. *Journal of Personal Finance*, 4(4), 56-68.
- [21] MA, (2005). Millennium ecosystem assessment. Washington, DC: New Island, 13, 520.
- [22] MOLDAN, F., COSBY, B. J., WRIGHT, R. F. (2009). Modelling the role of nitrogen in acidification of Swedish lakes: future scenarios of acid deposition, climate change and forestry practices.
- [23] PECHANEC, V., BURIAN, J., KILIANOVA, H., VOZANILEK, V., SVOBODA, J. (2012). A Participatory Approach to Spatial and Environmental Planning in Different National Perspectives. *Studia Obszarów Wiejskich*, 27, 47-73.
- [24] PECHANEC, V., MACHAR, I., KILIANOVA, H., VICKOVA, V., BUCEK, A., PLASEK, V. (2017). Prediction of climate change impacts on sustainable agricultural management in the Czech republic. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7580-7586.
- [25] PECHANEC, V., PROKOPOVÁ, M., SALVATI, L., CUDLÍN, O., PROCHÁZKA, J., SAMEC, P., VČELÁKOVÁ, R., CUDLÍN, P. (2021). Moving toward the north: A country-level classification of land sensitivity to degradation in Czech Republic. *CATENA*, 206, 105567.
- [26] POKORNÝ, J. (2014). Hospodaření s vodou v krajině-funkce ekosystémů. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 103 s.
- [27] POKORNÝ, J., HESSLEROVÁ, P. (2018). Vliv vegetace na oběh vody – kontroverzní názory aneb čím se mají řídit ti, co rozhodují, když se vědci přou o principy. In ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds): Hospodaření s vodou v krajině. Třeboň 21. – 22. 6. 2018.

- [28] PROKOPOVÁ, M., CUDLÍN, O., VČELÁKOVÁ, R., LENGYEL, S., SALVATI, L., CUDLÍN, P. (2018). Latent drivers of landscape transformation in Eastern Europe: Past, present and future. *Sustainability*, 10(8), 2918.
- [29] SALA, O. E., CHAPIN, F. S., ARMESTO, J. J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F., JACKSON, R. B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D. M., MOONEY, H. A., OESTERHELD, M., POFF, N. L. R., SYKES, M. T., WALKER, B. H., WALKER, M., WALL, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *science*, 287(5459), 1770-1774.
- [30] SEJÁK, J., DEJMAL, I., PETŘÍČEK, V., CUDLÍN, P., MÍCHAL, I., ČERNÝ, K., KUČERA, T., VYSKOT, I., STREJČEK, J., CUDLÍNOVÁ, E., CABRNOCH, J., ŠINDLAR, M., PROKOPOVÁ, M., KOVÁŘ, J., KUPKA, M., SČASNÝ, M., ŠAFAŘÍK, M., ROUŠAROVÁ, Š., STEJSKAL, V., ZAPLETAL, J. (2003). Hodnocení a oceňování biotopů České republiky. Český ekologický ústav, MŽP, Praha, 422 s.
- [31] SEJÁK, J., CUDLÍN, P., POKORNÝ, J., ZAPLETAL, J., PETŘÍČEK, V., GUTH, J., CHUMAN, T., ROMPORTL, D., SKOŘEPOVÁ, I., VACEK, V., VYSKOT, I., ČERNÝ, K., HESSLEROVÁ, P., BUREŠOVÁ, R., PROKOPOVÁ, M., PLCH, R., ENGSTOVÁ, B., STARÁ, L. (2010). Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky. Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí UJEP, p. 197.
- [32] SCHULZ, J. J., CAYUELA, L., ECHEVERRIA, C., SALAS, J., BENAYAS, J. M. R. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3), 436-447.
- [33] SMITH, A. M., KOLDEN, C. A., TINKHAM, W. T., TALHELM, A. F., MARSHALL, J. D., HUDAK, A. T., BOSCHETTI, L., FALKOWSKI, M. J., GREENBERG, J. A., ANDERSON, J. W., KLISKEY, A., ALESSA, L., KEEFE, R. F., GOSZ, J. R. (2014). Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. *Remote sensing of environment*, 154, 322-337.
- [34] ŠÍMOVÁ, P., ČERNÝ, M., CIENCIALA, E., APLTAUER, J., KUČEROVÁ, J., BERANOVÁ, J., DRAHOŇOVSKÁ, E. (2009). A methodology for classifying aerial photographs within the CzechTerra landscape inventory system: a new approach to generating data for landscape analyses. *Journal of Landscape Studies*, 2, 43-55.
- [35] TRNKA, M., KYSELÝ, J., MOŽNÝ, M., DUBROVSKÝ, M. (2009). Changes in Central-European soil-moisture availability and circulation patterns in 1881–2005. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(5), 655-672.
- [36] TRNKA, M., BALEK, J., ZAHRADNÍČEK, P., EITZINGER, J., FORMAYER, H., TURŇA, M., NEJEDLÍK, P., SEMERÁDOVÁ, D., HLAVINKA, P., BRÁZDIL, R.

- (2016). Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. *Climate Research*, 70(2-3), 143-160.
- [37] VAČKÁŘ, D., FRÉLICOVÁ, J., LORENCOVÁ, E., PÁRTL, A., HARMÁČKOVÁ, V., Z., LOUČKOVÁ, B. (2014). Metodologický rámec integrovaného hodnocení ekosystémových služeb v České republice. On-line: <<http://www.ecosystems-services.cz/cs/metodologicky-ramec-integrovaneho-hodnoceni-ekosystemovych-sluzeb-v-ceske-republice/>>. cit. 7.2.2022.
- [38] XING, Y., BRIMBLECOMBE, P. (2020). Trees and parks as "the lungs of cities". *Urban Forestry and Urban Greening*. 48, 126552.
- [39] ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., ŠTĚPÁNEK, P., TRNKA, M. (2021). Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. *International Journal of Climatology*, 41(2), 1211-1229.