

Biogeografický model změn klimatických podmínek vegetační stupňovitosti v Česku

IVO MACHAR¹, VÍT VOŽENÍLEK², KAREL KIRCHNER³,
VERONIKA VLČKOVÁ⁴, ANTONÍN BUČEK⁵

¹ Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra rozvojových studií, Olomouc, Česko (Palacký University, Faculty of Science, Department of Development Studies, Olomouc, Czechia); e-mail: ivo.machar@upol.cz

² Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, katedra geoinformatiky, Olomouc, Česko (Palacký University, Faculty of Science, Department of Geoinformatics, Olomouc, Czechia)

³ Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., oddělení environmentální geografie, Brno, Česko (Institute of Geonics of the CAS, Department of Environmental Geography, Brno, Czechia)

⁴ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav aplikované informatiky v dopravě, Praha, Česko (Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Applied Informatics in Transition, Prague, Czechia)

⁵ Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie, Brno, Česko (Mendel University, Faculty of Forestry and Wood Technology, Department of the Forest Botany Dendrology and Geobiocoenology, Brno, Czechia)

ABSTRACT **Biogeographic model of climate conditions for vegetation zones in Czechia** – The paper demonstrates the results of a biogeographic model of climatic conditions of vegetation zones in the landscape of Czechia. The model uses climatological prediction data of the Czech Hydrometeorological Institute for the time period 2010–2100 according to the SRES A1B scenario and geobiocoenological characteristics of vegetation zonation of the landscape from the Register of biogeography. According to the model, the projected trends in climatic conditions of vegetation zones will be demonstrated by a substantial improvement in the conditions suitable for xerothermophilous Ponto-Pannonian biota in Czechia (the area of the 1st vegetation zone will increase). On the contrary, the size of the area with climatic conditions of the 6th to 8th vegetation zone will decrease. The model allows an algorithmization of specific climatic growing conditions of individual biological species. Thanks to this, it can be applied not only for the creation of scenarios of climate change in the landscape, but also as a support tool for creating strategies of adaptation and mitigation measures.

KEY WORDS GIS – climate change – landscape – mathematical model – Register of biogeography – vegetation zones

MACHAR, I., VOŽENÍLEK, V., KIRCHNER, K., VLČKOVÁ, V., BUČEK, A. (2017): Biogeografický model změn klimatických podmínek vegetační stupňovitosti v Česku. *Geografie*, 122, 1, 64–82.

Do redakce došlo v srpnu 2015, přijato do tisku v červenci 2016.

Úvod

Zvyšující se globální průměrná teplota a měnící se srážkové úhrny za posledních 100 let indukují vegetační změny v ekosystémech celého světa (Gonzales a kol. 2010). Modelování globálních vegetačních změn pomocí tzv. *General Circulation Models* (Grassl 2000) podává přehledný obraz o globálních změnách v distribuci vegetačních formací. Avšak globální vegetační modely nemohou brát do úvahy jednotlivé rostlinné druhy a teoretický základ těchto modelů tak nutně opomíjí migrační vlastnosti jednotlivých druhů a sukcesní vegetační procesy na úrovni konkrétních ekosystémů (Neilson a kol. 2005). Studium vlivů klimatických změn na druhovou distribuci a sukcesní procesy na úrovni ekosystémů je proto nejvhodnější v regionálním měřítku (Drégelyi-Kiss, Drégelyi-Kiss, Hufnagel 2008). Navíc, klimatické změny působí na určité ekosystémy v konkrétním geografickém regionu často synergicky s jinými konkrétními regionálními vlivy, např. s fragmentací krajiny (Opdam, Wascher 2004).

V regionálním měřítku se důsledky klimatických změn pro ekosystémy nejvýznamněji projevují v posunu vegetačních stupňů (vegetační zonace) do vyšších nadmořských výšek (Bertrand a kol. 2011). Regionální modely vegetačních změn jsou proto považovány za jeden z fundamentálních znalostních základů k pochopení významu klimatických změn pro ekosystémy (Walther 2010). Nejistoty do modelů posunů vegetačních stupňů vnášejí procesy disturbancí a mezidruhovému kompetice, rozdílná fenotypová plasticita a odlišné lokální adaptace dominantních druhů (a edifikátorů) konkrétního ekosystému (Iverson, McKenzie 2013). Růstová odezva dřevin na klimatické změny se projevuje v dlouhodobých časových měřítcích (Büntgen a kol. 2007) a patrně nejpodrobněji je v současnosti dokumentována v posunech horní hranice lesa v evropských pohořích (Vanoni a kol. 2016, Švajda 2008).

Z těchto poznatků vychází i tradiční středoevropský geoekologický přístup ke krajině (Kolejka 2013), zohledňující vazbu mezi současnými klimatickými podmínkami a vegetační stupňovitostí krajiny. Hypotéza o vlivu predikovaných klimatických změn na vegetační stupňovitost v Česku předpokládá v souladu s dnešním stavem poznání, že klimatické změny ovlivní současné růstové podmínky zemědělských plodin a pěstební podmínky lesních dřevin, což může být významné pro tvorbu regionálních strategií adaptačních opatření na predikované klimatické změny.

Cílem předkládaného článku je testovat tuto hypotézu prostřednictvím aplikace inovovaného biogeografického modelu GEOBIOCEN 2 pro predikční horizonty roků 2030, 2050, 2070 a 2090. Snahou autorů je přispět k poznání geografických aspektů predikovaných klimatických změn v českém (a případně i středoevropském) biogeografickém a krajinně-ekologickém výzkumu v kontextu aktuálních diskusí o strategiích adaptačních opatření v krajině.

Současný stav modelování vegetační stupňovitosti

V temperátní klimatické zóně Evropy jsou studie o posunech vegetační stupňovitosti ekosystémů v krajině dosud omezeny na několik jednotlivých zemí, mezi nimiž výrazně převládají studie z alpského regionu (Chéelkin a kol. 2013; Garamvoelgyi, Hufnagel 2013). Mimo alpské země je publikovaných prací o vlivech klimatických změn na posun vegetační stupňovitosti velmi málo. Například Švajda a kol. (2011) studovali výškový posun klečové vegetace na horní hranici lesa ve Vysokých Tatrách (Slovensko), Kutnar a Kobler (2011) publikovali predikci změn lesních vegetačních stupňů pod vlivem klimatických změn ve Slovinsku, predikci vlivu klimaticky podmíněného posunu vegetačních stupňů na lesní dřeviny v Polsku zpracovali Zajaczkowski a kol. (2013), krajinně-ekologickým kontextem posunu vegetačních stupňů v Bavorských Alpách se zabývá práce Egli (2010) a vlivy terénu a vegetační struktury na dynamiku ekotonální hranice lesa v Sudetech střední Evropy studovali Treml, Chuman (2015).

V Česku byl první model změn vegetační stupňovitosti vlivem predikovaných klimatických změn zpracován již koncem minulého století (Kopecká, Buček 1999). Tento model, který ve své době patřil mezi první středoevropské biogeografické modely změn vegetační stupňovitosti, vycházel z tehdy dostupné kvality predikčních klimatických dat (Kalvová, Brázdil 1993). Model vycházející ze zdigitalizovaných map izolinií průměrné roční teploty a průměrných ročních srážek na území Česka v období 1961–1990 přiřazoval definičním bodům vegetačních stupňů charakteristiky soudobého klimatu. Soubor originálně vytvořených programů následně definičním bodům přiřadil klimatické charakteristiky prognózované pro rok 2030 a jim odpovídající vegetační stupeň (Buček, Vlčková 2012).

V současnosti je tento biogeografický model dále rozvíjen pod označením GEOBIOCEN 2 na základě moderního upřesňování geobiocenologické typizace krajiny v kontextu dnešních klimatických podmínek (Vondráková, Vávra, Voženílek 2013) a s využitím nejnovějších dostupných klimatologických predikčních dat. První aplikace modelu v krajinné ekologii využívají možnosti algoritmizace růstových ekologických podmínek konkrétních zemědělských plodin do relevantních vegetačních stupňů (Kopecká a kol. 2013).

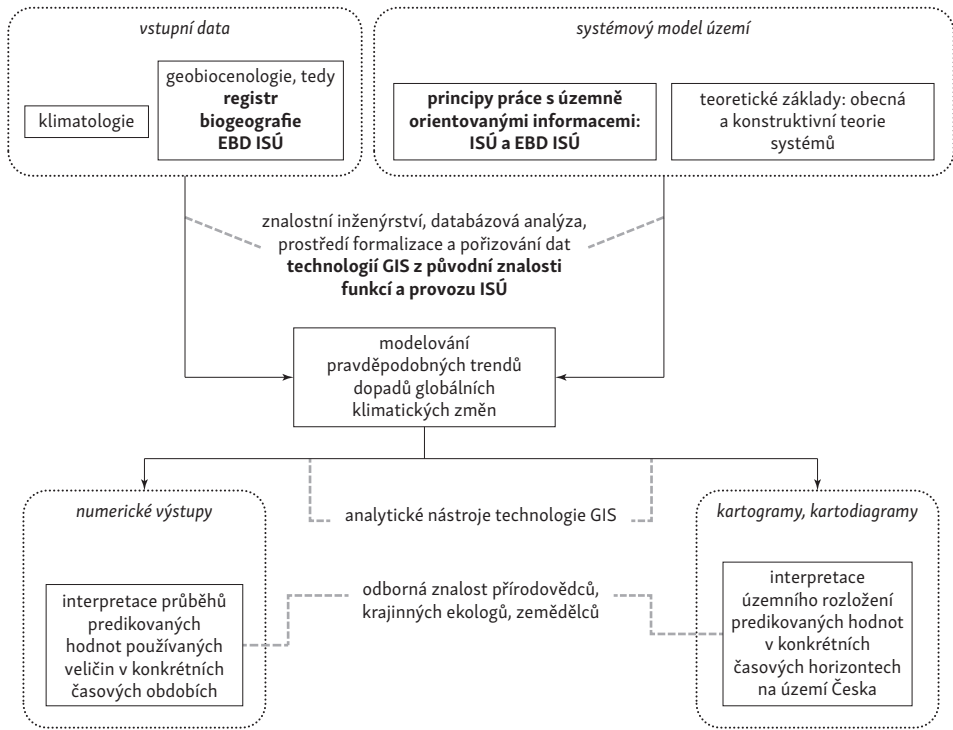
Modelování prostorových aspektů výskytu, vývoje a dopadů vegetačních stupňů přináší odpovědi na velké množství otázek, které generují další výzkumné aktivity (Tuček a kol. 2013). Navzdory mnoha názorům, že současná změna klimatu výrazně ovlivňuje vegetační stupně (např. Svobodová, Voženílek 2010), existuje jen málo studií odhalujících klimatem podmíněné vegetační změny ve všech vegetačních stupních, zejména nad současnou hranicí lesa. Jiménez-Alfaro a kol. (2014) zkoumali vliv nadmořské výšky a povrchu na různé druhy biogeografických skupin alpských rostlinných společenstev. Modelováním na území Picos de Europa v Cantabrian Range (Španělsko) v gridu 15 × 15 metrů zjistili, že se vliv

nadmořské výšky a vlastností povrchu na druhové rozmanitosti, pokryv a složení liší na celém území a pro všechny skupiny druhů. Nadmořská výška byla hlavní proměnnou, ovlivňující floristickou rozmanitost ve společenství jako celku, ale oddělené druhy skupiny byly více ovlivněny svahem, topografickým indexem, podmáčením a slunečním zářením. Nejsilnější vazbu na povrch vykazaly druhová rozmanitost a pokryv středomořských druhů. Rosbakh a kol. (2014) využili výsledky historických i současných studií vegetace v bavorských Alpách (Německo) k modelování biologické rozmanitosti, strukturálních a funkčních změn ve složení v subalpínských, nižších a vyšších alpínských vegetačních stupních v průběhu posledních 50 let. Výsledky odhalily, že se u druhů typických pro teplejší podmínky výrazně zvýšil jejich výskyt.

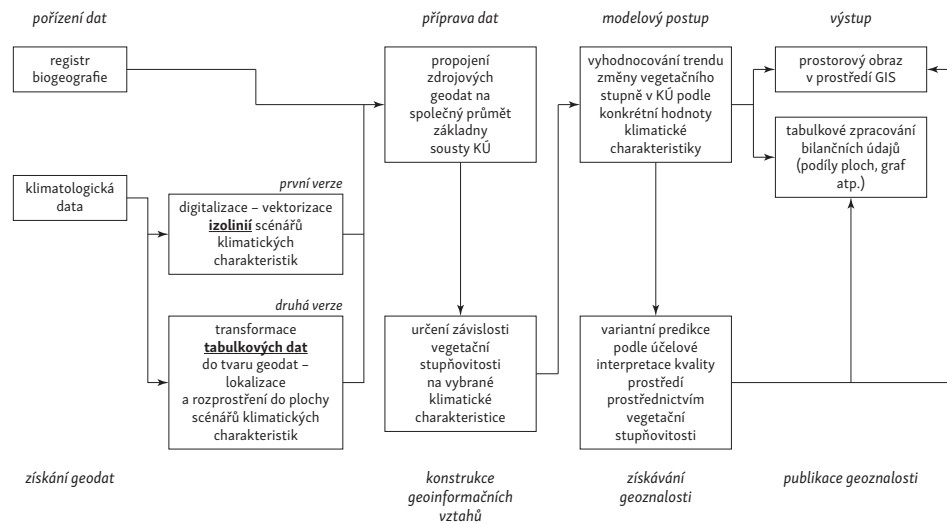
Metodologický koncept modelu GEOBIOCEN 2

Biogeografický matematický model GEOBIOCEN 2 (obr. 1) je výstupem ze série výzkumných aktivit autorů. Koncept modelu je založen na vztahu mezi současným klimatem a rozložením vegetačních stupňů v krajině. Základním východiskem modelu je předpoklad, že i v budoucnu bude obecný ekologický vztah mezi klimatickými podmínkami a vegetační stupňovitostí zachován (Kirilenko, Solomon 1998; Yee, Mitchell, 1991) a že předpokládané změny klimatu se projeví ve změně klimatických podmínek současných vegetačních stupňů v regionálním měřítku, jež lze predikovat (Woodward, Lomas, Betts 1998). To samozřejmě neznamená, že dnešní vegetační stupně se v kulturní krajině jednoduše rozšíří (posunou) do vyšších nadmořských výšek. Model GEOBIOCEN 2 předkládá pouze predikci změny klimatických podmínek vegetační stupňovitosti, nikoliv změny vegetační stupňovitosti *sensu stricto*. V tomto faktu spočívá základní princip řešení modelu – vegetační stupňovitost využívá jako referenční rámec pro predikce růstových (pěstebních) podmínek zemědělských plodin nebo lesních dřevin, jejichž prezenci na daném konkrétním území ovlivňuje člověk konkrétní hospodářskou aktivitou v krajině.

Počítačový model GEOBIOCEN 2 posunu vegetačních stupňů v důsledku definovaných klimatických změn je řešen jako soubor speciálních programů (programovací jazyk FORTRAN) a aplikací v prostředí GIS produktů Esri (Vlčková 2014). Klimatické charakteristiky (tedy jednotlivé použité klimatologické proměnné – viz vstupní klimatologická data) byly definičním bodům Registru biogeografie přiřazeny analyticko-geometrickou cestou konstrukce podrobnější sítě bodů v území v prostorovém rozlišení 250 m, do nichž jsou následně gradientní metodou (Vlčková 2014) přepočteny hodnoty klimatických veličin příslušných čtyř nejbližších sousedních původních bodů klimatické databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) CLIDATA. Prognózované klimatické charakteristiky definičních



Obr. 1 – Systémové schéma biogeografického modelu GEOBIOCEN 2 vlivů klimatických změn na vegetační stupňovitost krajiny



Obr. 2 – Schéma postupu algoritizace modelu GEOBIOCEN 2

bodů, jim odpovídající potenciální vegetační stupeň a příslušná charakteristika přírodních klimatických podmínek jsou v modelu algoritmovány. Algoritmizace (obr. 2) je provedena metodou časoprostorových analogií, pro niž byl jako vztahový ukazatel použit Langův dešťový faktor (kombinující do jedné hodnoty roční průměrný úhrn srážek a roční průměrnou teplotu). Výstupy modelu GEOBIOECEN 2 pro definované okrajové podmínky (klimatický scénář pro zadané časové období, vymezené geografické území, případně algoritmované ekologické podmínky konkrétního rostlinného druhu) poskytují scénáře predikovaných budoucích klimatických podmínek vegetační stupňovitosti krajiny, které lze přehledně graficky vizualizovat.

Vstupy do modelu

Základní klimatologické charakteristiky jednotlivých vegetačních stupňů byly převzaty z práce Macků (2014). Zdrojem klimatologických dat pro model GEOBIOECEN 2 je predikční klimatická databáze CLIDATA ČHMÚ, z níž jsou využity následující údaje:

- roční úhrny srážek
- roční průměrné relativní vlhkosti vzduchu
- roční průměry denních sum globálního záření
- roční průměrné teploty vzduchu
- roční průměrné rychlosti větru.

Databáze CLIDATA lokalizuje klimatická data na soustavu 131 bodů pravidelně rozmístěných po celém území Česka v podobě pravidelné lichoběžníkové sítě a obsahuje validovanou databázi klimatických prvků vypočítaných modelem ALADIN-CLIMATE.CZ pro období 2010–2100 (Pretel 2009) podle scénáře SRES A1B (Nakićenović, Swart 2000).

Zdrojem geobiocenologických dat pro model je Registr biogeografie (Machar 2013), který obsahuje popis geobiocenologických charakteristik krajiny Česka (vegetační stupňovitost, trofické a hydrické řady) promítnutý na jednotlivá katastrální území. Registr biogeografie obsahuje charakteristiku geobiocenologických vlastností krajiny pro každé z cca 13 000 katastrálních území (polygonů o průměrné velikosti 6 km²), plně pokrývajících území Česka. Registr biogeografie vznikl jako součást Integrovaného informačního systému o území (Buček, Lacina 1988; Buček, Vlčková 2011). Katastrální území bylo vybráno jako základní prostorová jednotka Registru biogeografie především proto, aby bylo možné hodnotit dynamiku změn v krajině s využitím těch periodicky obnovovaných databází ISÚ, které charakterizují současný stav a zatížení krajiny (zvláště využití půdního fondu a počet obyvatel). V těchto databázích je základní prostorovou jednotkou také

katastrální území, charakterizované mimo jiné průměrnou nadmořskou výškou katastru. Takto daná výhodná možnost vytváření aplikačních programů, využívajících aktuálních údajů o faktorech působících na krajinu, byla hlavním důvodem použití katastrálních území jako základních prvků Registru biogeografie, přičemž přinejmenším vyvážila některé negativní stránky tohoto prostorového rámce. Katastrální území jako historicky podmíněné jednotky členění území pro účely evidence nemovitostí a druhů ploch nejsou totiž samozřejmě zcela homogenní z hlediska přírodních podmínek (Lipský 2000). Naproti tomu v regionálním měřítku (pro celé území Česka) polygony katastrálních území poměrně reprezentativně vystihují heterogenitu přírodních podmínek celého státu, protože původní katastr z 19. století (a dodnes příliš nezměněný) byl vytyčen na přirozených hranicích, jako jsou např. vodoteče, hranice lesa, výrazné geomorfologické útvary v krajině apod. (Bumba 2007; Skaloš, Engstová 2010).

Vegetační stupně byly v Česku vymezeny metodou bioindikace v klasické práci profesora Zlatníka (Zlatník 1976). Podrobné charakteristiky ekotopu, přírodního stavu biocenóz a současného stavu krajiny ve vegetačních stupních jsou součástí charakteristik jednotek geobiocenologické typologie krajiny Česka (Buček, Lacina 2006, 2007). Klimatické a ekologické charakteristiky těchto vegetačních stupňů detailně popisuje práce Vlčková a kol. (2015). V současných ekologických podmínkách v Česku převažuje čtvrtý (bukový) vegetační stupeň (zaujímající 43,07 % území Česka).

Nadstavbové jednotky geobiocenologické typologie krajiny, použité jako obsahová náplň Registru biogeografie, jsou typologickými (homogenními) jednotkami chorické úrovně. Jednotlivá katastrální území jsou v registru biogeografie charakterizována jejich typickými kombinacemi. Každé katastrální území je v Registru biogeografie charakterizováno třemi údaji v pořadí: (1) kód vegetační stupňovitosti, (2) kód trofických řad, (3) kód hydrických řad. Hlavním podkladem pro naplňování Registru biogeografie byly biogeografické mapy potenciálních přírodních geobiocenóz v měřítku 1 : 200 000, zpracované v Geografickém ústavu ČSAV v Brně (Kopecká 1994). Registr biogeografie není pouze mechanickou transformací kartografických informací z biogeografických map do číselných kódů. Má svébytnou obsahovou náplň, vycházející z jednotlicího pohledu na prostorové zákonitosti a návaznosti rozmístění geobiocenologických jednotek. Charakter vegetační stupňovitosti v katastrálních územích Česka vystihuje v Registru biogeografie 26 kódovacích jednotek, z nichž sedm je homogenních (zahrnuje výskyt pouze jednoho vegetačního stupně) a 19 heterogenních. Obsah heterogenních kódů byl vymezen tak, že zahrnuje převládající vegetační stupeň (50–70 % plochy katastrálního území) a vegetační stupeň navazující (30–50 % plochy katastrálního území), případně i jemnější odlišení zastoupení vegetačních stupňů, především v horských oblastech, pro jejichž katastrální území jsou charakteristické kombinace 5. až 8. vegetačního stupně.

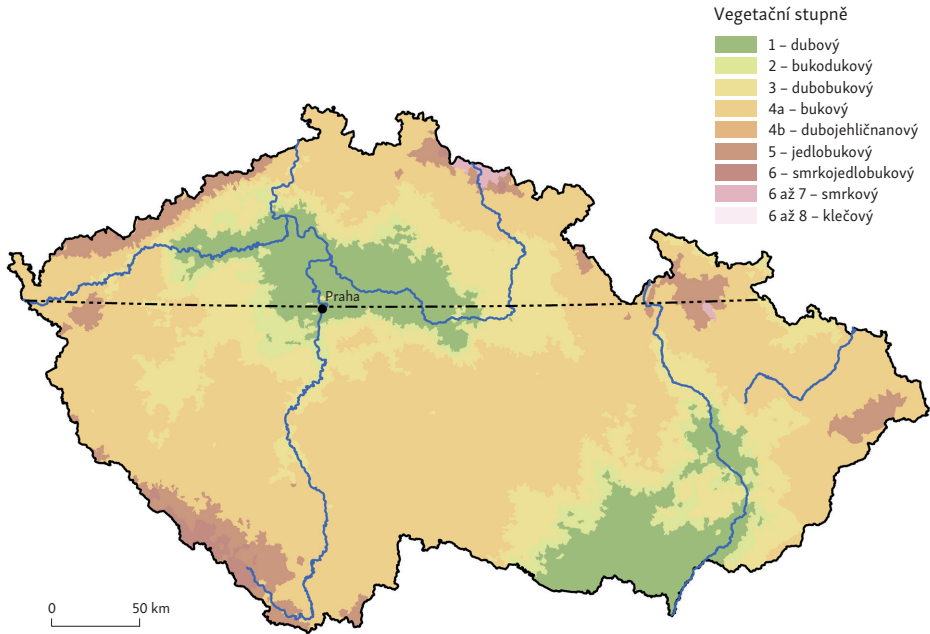
Výsledky

Regionální scénář trendu změn klimatických podmínek pro vegetační stupňovitost Česka pro predikční období roku 2030 (obr. 3) ukazuje mírný, ale znatelný (obr. 5) nárůst ploch území s podmínkami nižších vegetačních stupňů (prvního až čtvrtého). Čtvrtý vegetační stupeň si v tomto predikčním období udržuje dominantní (55 %) plošné rozšíření v krajině celého Česka, (obr. 5 a tab. 1). Zřetelně se snížila výměra území s podmínkami vyšších vegetačních stupňů (pátého až osmého). Zejména plocha s podmínkami pátého (jedlobukového) podhorského vegetačního stupně poklesne oproti současnosti o téměř 14 %.

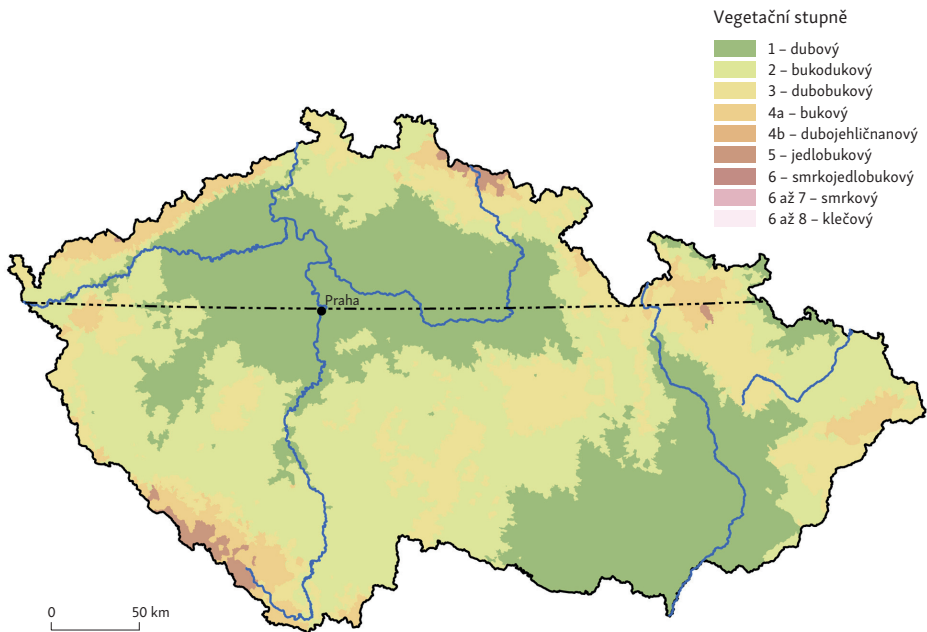
V predikčním období roku 2050 (obr. 4) se klimatické podmínky prvního vegetačního stupně budou plošně značně rozšiřovat (až na 12,8 % území Česka). V krajině vymizí klimatické podmínky tzv. dubojehličnaté varianty čtvrtého vegetačního stupně vymezeného Bučkem a Lacinou (2006). Trend úbytku ploch s klimatickými podmínkami šestého až osmého vegetačního stupně bude pokračovat podle scénáře i dále do budoucna (obr. 5). Detailní plošné změny klimatických rámců vegetační stupňovitosti krajiny v Česku v absolutních číselných údajích demonstruje tabulka 1 v časových predikčních dvacetiletých krocích.

Prognózané trendy změn klimatických podmínek vegetační stupňovitosti se v Česku projeví výrazným postupným zlepšováním podmínek pro xerothermofilní ponticko-panonskou biotu, čímž se bude území s klimatickými podmínkami 1. vegetačního stupně plošně rozšiřovat. To může mít za důsledek dramatické zhoršení pěstebních podmínek pro některé lesní dřeviny, například dnes převládající pěstování monokultur smrku v nižších nadmořských výškách nebude možné. Naopak se zmenší rozsah území s podmínkami pro výskyt horských druhů boreálního typu rozšíření, vázaných na chladnější a vlhčí klima, neboť rozsah území s podmínkami 6. až 8. vegetačního stupně se radikálně sníží (v predikčním horizontu roku 2050) a postupně dokonce zcela vymizí (predikční horizont roku 2070). Tento scénář se projeví například ve výrazné změně existenčních podmínek ekosystémů rašelinišť a subalpínského bezlesí.

Testovaná hypotéza o vlivu predikovaných klimatických změn na vegetační stupňovitost v Česku byla prostřednictvím aplikace modelu GEOBIOCEN 2 potvrzena. Výstupy modelu ukazují, že predikované trendy klimatických změn v budoucnu významně ovlivní růstové podmínky zemědělských plodin a pěstební podmínky lesních dřevin, což může být významné pro tvorbu regionálních strategií adaptačních opatření na predikované klimatické změny. Protože model GEOBIOCEN 2 umožňuje algoritmovat i konkrétní klimatické růstové podmínky jednotlivých biologických druhů (např. zemědělských plodin nebo lesních dřevin), může proto být model aplikován nejen pro tvorbu scénářů potenciálních impaktů predikovaných klimatických změn na krajinu, ale i jako podpůrný nástroj pro strategie adaptačních a mitigačních opatření v regionálním měřítku.



Obr. 3 – Rozšíření vegetačních stupňů na území Česka, modelovaná situace pro rok 2030



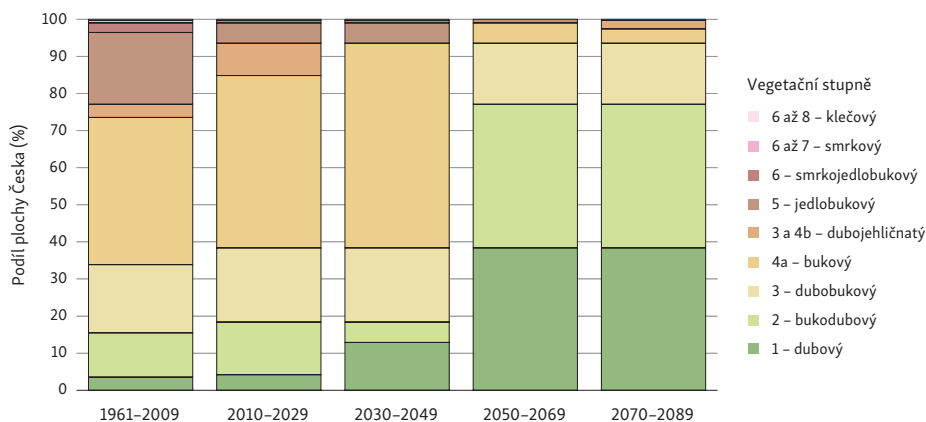
Obr. 4 – Rozšíření vegetačních stupňů na území Česka, modelovaná situace pro rok 2050

Diskuse a závěr

Predikované změny klimatických charakteristik vegetační stupňovitosti v Česku podle scénáře v předkládaném článku odpovídají očekávaným trendům vývoje ekosystémů v Evropě v rámci klimatických změn (Huntley 2007) a nejsou v rozporu s aktuálně zjišťovanými trendy změn distribuce volně žijících organismů, které jsou vysvětlovány vlivem klimatických změn. Například Konvička a kol. (2003) zjistili posun rozšíření některých druhů motýlů směrem do vyšších nadmořských výšek, což odpovídá scénáři úbytku rozlohy ploch s podmínkami horských vegetačních stupňů. Reif a kol. (2008) prokázali probíhající změny početnosti a posunů hnízdních areálů ptáků v Česku (úbytek chladnomilných druhů horských poloh a současně šíření a posun areálu rozšíření druhů nižších poloh).

Dosavadní modelování budoucího rozšíření flóry a fauny se většinou soustřeďuje na jednotlivé cílové druhy nebo skupiny druhů, avšak organismy se do ekosystémových procesů zapojují v rámci svých ekologických nik a odezva bioty na klimatické změny tak bude pravděpodobně spíše identifikovatelná na úrovni ekosystémové diverzity (Parmesan 2005). Z tohoto úhlu pohledu jsou přínosné právě biogeografické regionální modely (Lomolino, Riddle, Brown 2005).

Biogeografický model posunu vegetační stupňovitosti vlivem predikovaných klimatických změn GEOBIOCEN 2, použitý v této studii, náleží do skupiny procesních biogeografických modelů, které jsou používány k predikci rovnovážných reakcí vegetace na potenciální změnu klimatu v regionálním měřítku (podrobněji viz např. Peterson a kol. 2005). Tento typ modelů identifikuje ekologická omezení vzhledem k rozšíření rostlinných formací (vegetačních stupňů) za různých rovnovážných klimatických podmínek (Giorgi a kol. 2002).



Obr. 5 – Podíl ploch vegetačních stupňů na území Česka v modelovaných letech

Tab. 1 – Scénář změn podmínek vegetační stupňovitosti krajiny v Česku

Vegetační stupně	Výměra v ha				
	1961–2009	2010–2029	2030–2049	2050–2069	2070–2089
1	272 852,44	313 819,18	1 007 407,06	3 028 186,31	3 028 186,31
2	946 733,25	1 126 504,12	432 916,24	3 035 878,36	3 035 878,36
3	1 435 640,13	1 587 863,01	1 587 863,01	1 293 334,92	1 293 334,92
4a	3 123 679,11	3 644 427,12	4 329 213,27	441 116,03	314 082,06
4b	285 159,74	684 786,16	0,00	0,00	189 893,37
5	1 536 623,86	441 116,03	44 116,03	85 010,00	22 150,60
6	197 827,09	62 859,40	62 859,40	0,00	0,00
6–7	62 859,40	22 150,60	22 150,60	0,00	0,00
6–8	22 150,60	0,00	0,00	0,00	0,00

Naprostá většina dosud navržených biogeografických modelů jsou modely korelační – založené na vzájemné závislosti mezi určitými bioklimatickými proměnnými v prostředí (jimiž jsou nejčastěji průměrná teplota a průměrné srážky) a současným areálem rozšíření druhu či charakteristikami ekologické niky druhu (Peterson, Soberon, Sanchez-Cordero 1999). Jestliže se na základě klimatických scénářů predikuje, jak se může změnit podnebí v budoucnosti, přiřadí se k změněným proměnným příslušné biologické druhy nebo jejich společenstva se zonální distribucí – v případě modelu GEOBIOECEN 2 vegetační stupně. Uvedený postup bývá označován jako metoda bioklimatické obálky (Botkin 2007).

Biogeografický model GEOBIOECEN 2 využívá závislosti vegetačních stupňů na dlouhodobém působení výškového a expozičního klimatu, daného průměrnými i extrémními teplotami ovzduší a množstvím a rozložením atmosférických srážek (Vahalík, Mikita 2011). Vymezení současných vegetačních stupňů v území Česka (Mackovčín 2000) bylo detailně upřesněno v rámci tvorby biogeografických základů pro národní ekologickou síť krajiny (Buček, Maděra, Úradníček 2012). Současná vegetační stupňovitost se v území Česka ustálila již v období staršího subatlantiku, přičemž posuny vegetačních stupňů v krajině odrážejí průběh klimatických změn (Ložek 2012). Proto dnešní vegetační stupňovitost krajiny může být vhodným základním rámcem pro modelování vlivů klimatu na produkční a růstové podmínky vegetace v podmínkách Česka (Lacina, Halas, Švec 2012).

Simulace redistribuce vegetace biogeografickými modely je v podstatě statickým (rovnovážným) pohledem na analyzovaný problém, protože tyto modely představují modelování určité dané úrovně koncentrace oxidu uhličitého v určité době v budoucnosti. Statické/rovnovážné biogeografické modely tak poskytují užitečné „obrazy“ terestrických ekosystémů v rovnováze s určitými klimatickými podmínkami v daném čase (Neilson, Prentice, Smith 1998). Omezení aplikace těchto modelů však spočívá ve skutečnosti, že modely nesimulují všechny známé

Vegetační stupně	Podíl z výměry Česka v %				
	1961–2009	2010–2029	2030–2049	2050–2069	2070–2089
1	3,46	3,98	12,78	38,41	38,41
2	12,01	14,29	5,49	38,51	38,51
3	18,21	20,14	20,14	16,41	16,41
4a	39,62	46,23	54,91	5,60	3,98
4b	3,62	8,69	0,00	0,00	2,41
5	19,49	5,60	5,60	1,08	0,28
6	2,51	0,80	0,80	0,00	0,00
6–7	0,80	0,28	0,28	0,00	0,00
6–8	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00

vnitřní faktory dynamiky vegetace, např. mezidruhovou konkurenci, natalitu a mortalitu populací nebo fyziologické faktory. K překonání těchto omezení jsou vyvíjeny tzv. dynamické globální vegetační modely (Prentice, Webb 1989), které integrují vegetační dynamiku a ekosystémové funkce. Zatím však nejsou v regionálním měřítku použitelné (Bachelet a kol. 2001). Některé nejistoty v predikčních modelech, založené na nedostatečně detailním zohledněním autekologie konkrétních druhů, dokáží částečně eliminovat druhově specifické modely – ty jsou však dosud publikovány vzácně a většinou se soustřeďují se na kontinentální měřítko (Morin, Thuiller 2009), které poskytuje pro regionální aplikace pouze orientační vodítka. Při interpretaci matematických modelů vlivů klimatických změn na biotu je proto nutné brát vždy v úvahu, že modely nejsou a nemohou být zcela přesnými předpověďmi budoucího vývoje (Ackerman a kol. 2009). Modely na základě sofistikovaných analýz sice významně přispívají k prognózám (nabízejí syntetické scénáře), ale jejich citlivá interpretace musí být založena na základě znalostí biologie a ekologie organismů, které jsou modelovány (Walther a kol. 2002).

Významným přínosem biogeografických modelů je možnost jejich aplikace v rámci strategií adaptačních a mitigačních opatření v krajině v kontextu ekosystémových služeb (Schröter a kol. 2005). Vegetační stupně jsou totiž mimo jiné i důležitými rámci ekologických podmínek pro pěstování zemědělských plodin (např. réva vinná má nejlepší podmínky v 1. vegetačním stupni) a lesních dřevin (např. smrk ztepilý má optimální růstové podmínky v 5. až 7. vegetačním stupni). Biogeografický model GEOBIOCEN 2 umožňuje implementovat do predikovaného posunu vegetačních stupňů konkrétní zemědělskou plodinu nebo lesní dřevinu, pokud jsou jednoznačně definovány jejich růstové podmínky ve vazbě na vegetační stupňovitost. V práci Kopecké a kol. (2013) byla demonstrována praktická možnost využití biogeografického modelu GEOBIOCEN 2 při tvorbě scénáře vlivů

klimatických změn na budoucí růstové podmínky pro cukrovou řepu (*Beta vulgaris altissima*) v regionech řepařských a kukuřičných výrobních oblastí Česka.

Klimatické modely však mohou podceňovat regionální klimatickou variabilitu, jak upozornil Brázdil a kol. (2010) na evropských datech s využitím historické klimatologie. Proto je v oblasti predikce vlivů klimatických změn na zemědělské plodiny kladen důraz na tzv. *crop-modely* (Trnka a kol. 2012). Historická data o sklizni zemědělských plodin navíc mohou být v oblasti střední Evropy využita jako nezávislá proxy data pro studie o potenciálním impaktu klimatických změn na zemědělství (Možný a kol. 2012). První studie, která v regionu střední Evropy analyzovala jak kontinuální fluktuační podmínky během posledních 200 let, tak očekávané posuny v budoucích několika dekádách (Trnka a kol. 2011) prokázala expanzi teplejších a sušších agroklimatických podmínek v nejúrodnějších zemědělských regionech a naznačila, že vývoj klimatu v Evropě by mohl vyústit v největší posun agroklimatických podmínek od počátku zemědělského hospodaření, což se vymyká naší historické zkušenosti. Adaptační opatření v zemědělství střední Evropy, reagující na predikované klimatické změny, musí být tedy značně flexibilní (Olesen a kol. 2011). Totéž platí i o souboru adaptačních opatření v ostatních sektorech, zabývajících se managementem a plánováním krajiny v Evropě (Kebede a kol. 2015; Pretel, ed. 2011).

Literatura

- ACKERMAN, F., DE CANIO, S. J., HOWARTH, R. B., SHEERAN, K. (2009): Limitations of integrated assessment models of climate change. *Climatic Change*, 95, 3–4, 297–315.
- BACHELET, D. R., NEILSON, R. P., LENIHAN, J. M., DRAPEK, R. J. (2001): Climate change effects on vegetation distribution and carbon budget in the U. S. *Ecosystems*, 4, 164–185.
- BERTRAND, R., LENOIR, J., PIEDALLU, C., RIOFRIO-DILLON, G., DE RUFFRAY, P., VIDAL, C., PIERRAT, J. C., GEGOUT, J. C. (2011): Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature*, 479, 517–520.
- BOTKIN, D. B. (2007): Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *BioScience*, 57, 227–236.
- BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., LUTERBACHER, J., MOBERG, A., PFISTER, C., WHEELER, D., ZORITA, E. (2010): European climate of the past 500 years: New challenges for historical climatology. *Climatic Change*, 101, 1–2, 7–40.
- BUČEK, A., LACINA, J. (1988): Registr biogeografie v Integrovaném informačním systému o území ISÚ jeho využití při geografické diferenciaci stavu životního prostředí. In: Ungerman, J. (ed.): Vybrané aspekty geografického hodnocení stavu a vývoje životního prostředí v ČR. *Geografie – teorie a praxe. Geografický ústav ČSAV Brno*, 10, 30–48.
- BUČEK, A., LACINA, J. (2006): Biogeografická diferenciacie v geobiocenologickém pojetí a její využití v krajinném plánování. In: Dreslerová, J., Packová, P. (eds.): *Ekologie krajiny a krajinné plánování. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy*, 18–29.
- BUČEK, A., LACINA, J. (2007): *Geobiocenologie II. Geobiocenologická typologie krajiny České republiky. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Brno.*

- BUČEK, A., MADĚRA, P., ÚRADNÍČEK, L. (2012): Czech approach to implementation of ecological network. *Journal of Landscape Ecology*, 5, 1, 14–28.
- BUČEK, A., VLČKOVÁ, V. (2011): Soubor map s prognózou možných důsledků globálních klimatických změn na přírodu České republiky. *Acta Pruhoniciana*, 98, 83–87.
- BUČEK, A., VLČKOVÁ, V. (2012): Scénář změn vegetační stupňovitosti na území ČR: deset let poté. *Ochrana přírody*, 64, suppl., 8–11.
- BUMBA, J. (2007): České katastry od 11. do 21. století. Grada Publishing, Praha.
- BÜNTGEN, U., FRANK, D. C., KACZKA, R. J., VERSTEGE, A., ZWIJACZ-KOZICA, T., ESPER, J. (2007): Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains. *Tree Physiology*, 27, 689–702.
- DRÉGELYI-KISS, Á., DRÉGELYI-KISS, G., HUFNAGEL, L. (2008): Ecosystems as climate controllers – biotic feedbacks. *Applied Ecology and Environmental Research*, 6, 2, 11–134.
- EGLI, H. R. (2010): Landscape change in the Bavarian Alpine Region and political approaches to management. *Erde*, 141, 4, 383–384.
- GARAMVOELGYI, A., HUFNAGEL, L. (2013): Impacts of climate change on vegetation distribution no. 1. Climate change induced vegetation shifts in the Palearctic region. *Applied Ecology and Environmental Research*, 11, 1, 79–122.
- GIORGI, F., HEWITSON, B., CHRISTENSEN, J., HULME, M., VON STORCH, H., WHETTON, P., JONES, R., MERNS, I., FU, C. (2002): Regional climate information – Evaluation and projection. In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. I. (eds.): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge Univ. Press, New York, 583–638.
- GONZALES, P., NEILSON, R. P., LENIHAN, J. M., DRAPEK, R. J. (2010): Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shift due to climate change. *Global Ecology & Biogeography*, 19, 755–768.
- GRASSL, H. (2000): Status and improvements of coupled general circulation models. *Science*, 288, 1991–1997.
- HUNTLEY, B. (2007): Climatic change and the conservation of European biodiversity: Towards the development of adaptation strategies. Council of Europe, Strasbourg.
- CHÉELKIN, A. G., GUTIÉRREZ, S., LEUZINGER, S., MANUSCH, C., TEMPERLI, C., RASCHE, L., BUGMANN, H. (2013): A 2°C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps. *Global Change Biology*, 19, 1827–1840.
- IVERSON, L. R., MCKENZIE D. (2013): Tree-species range shifts in a changing climate: detecting, modelling, assisting. *Landscape Ecology*, 28, 879–889.
- JIMÉNEZ-ALFARO, B., MARCENÓ, C., BUENO, A., GAVILÁN, R., OBESO, J. R. (2014): Biogeographic deconstruction of alpine plant communities along altitudinal and topographic gradients. *Journal of Vegetation Science*, 25, 1, 160–171.
- KALVOVÁ, J., BRÁZDIL, R. (1993): Změny klimatu. In: Moldan, B. (ed.): *Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení*. ČHMÚ, Praha, 48–91.
- KEBEDE, A. S., DUNFORD, R., MOKRECH, M., AUDSLEY, E., HARRISON, P. A., HOLMAN, I. P., NICHOLLS, R. J., RICKEBUSCH, S., ROUNSEVELL, M. D. A., SABATÉ, S., SALLABA, F., SANCHEZ, A., SAVIN, C., TRNKA, M., WIMMER, F. (2015): Direct and indirect impacts of climate and socio-economic change in Europe: a sensitivity analysis for key land- and water-based sectors. *Climatic Change*, 128, 261–277.
- KIRILENKO, A. P., SOLOMON, A. M. (1998): Modelling dynamic vegetation response to rapid climate change using bioclimatic classification. *Climatic Change*, 38, 15–49.
- KOLEJKA, J. (2013): *Nauka o krajině. Geografický pohled a východiska*. Academia, Praha.

- KONVIČKA, M., MARADOVÁ, M., BENEŠ, J., FRIC, Z., KEPKA, P. (2003): Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detected on a regional scale. *Global Ecological Biogeography*, 12, 403–410.
- KOPECKÁ, V. (1994): Ekologická banka dat ISÚ. Roční situační zprávy pro Integrovaný informační systém o území ISÚ v letech 1983–1994. TERPLAN – Státní ústav pro územní plánování, Praha.
- KOPECKÁ, V., BUČEK, A. (1999): Modelování možných důsledků globálních klimatických změn na území ČR. Praha, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- KOPECKÁ, V., MACHAR, I., BUČEK, A., KOPECKÝ, A. (2013): The Impact of Climate Changes on Sugar Beet Growing Conditions in the Czech Republic. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 129, 11, 326–329.
- KUTNAR, L., KOBLER, A. (2011): Prediction of forest vegetation shift due to different climate-change scenarios in Slovenia. *Sumarski List*, 135, 3–4, 113–126.
- LACINA, J., HALAS, P., ŠVEC, P. (2012): Biogeographical relationships between landscape patterns, some chosen local abiotic factors and vegetation in forest edges (Czech Republic). *Moravian Geographical Reports*, 20, 4, 2–12.
- LIPSKÝ, Z. (2000): Sledování změn v kulturní krajině. Česká zemědělská univerzita v nakladatelství a vydavatelství Lesnická práce, s. r. o., Kostelec nad Černými lesy.
- LOMOLINO, M. V., RIDDLE, B. R., BROWN, J. H. (2005): *Biogeography*. 3rd edition. Sinauer Assoc. Inc., Sunderland.
- LOŽEK, V. (2012): Důsledky poznání vývoje přírody a krajiny ČR v holocénu. In: Machar, I., Drobilová, L. (eds.): *Ochrana přírody a krajiny v ČR*. Univerzita Palackého, Olomouc, 58–64.
- MACKOVČIN, P. (2000): A multi-level ecological network in the Czech Republic: Implementing the territorial system of ecological stability. *GeoJournal*, 51, 3, 211–220.
- MACHAR, I. (2013): Applying of the Biogeography Register to Predicting the Consequences of Global Climate Changes on the Landscape in the Czech Republic. In: *Proceedings of the 11th Int. Conference on Environment, Ecosystems and Development*. Brasov, Romania, 15–18.
- MACKŮ, J. (2014): Climatic characteristics of forest vegetation zones of the Czech Republic. *Journal of Landscape Ecology*, 7, 3, 39–48.
- MORIN, X., THUILER, W. (2009): Comparing niche- and process-based models to reduce prediction uncertainty in species range shifts under climate change. *Ecology*, 90, 5, 1301–1313.
- MOŽNÝ, M., BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., TRNKA, M. (2012): Cereal harvest dates in the Czech Republic between 1501 and 2008 as a proxy for March–June temperature reconstruction. *Climatic Change*, 110, 3–4, 801–821.
- NAKIĆENOVIĆ, N., SWART, R. (2000): *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC*. Cambridge Univ. Press, New York.
- NEILSON, R. P., PITEKKA, L. F., SOLOMON, A. M., NATHAN, R., MIDGLEY, G. F., FRAGOSO, J. M. V., LISHKE, H., THOMPSON, K. (2005): Forecasting Regional to Global Plant Migration in Response to Climate Change. *Bioscience*, 55, 9, 749–759.
- NEILSON, R. P., PRENTICE, I. C., SMITH, B. (1998): Simulated changes in vegetation distribution under global warming. In: Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., Dokken, D. J. (eds): *The Regional Impacts of Climate Change: An assessment of Vulnerability*. Cambridge Univ. Press, 439–456.
- OLESEN, J. E., TRNKA, M., KERSEBAUM, K. C., SKJELVAG, A. O., SEGUIN, B., PELTONEN-SAINIO, P., ROSSI, F., KOZYRA, J., MICALÉ, F. (2011): Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, 96–112.

- OPDAM, P., WASCHER, D. (2004): Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117, 285–297.
- PARMESAN, C. (2005): Biotic Response: Range and Abundance Changes. In: Lovejoy, T. E., Hannah, L. (eds.) *Climate change and Biodiversity*. Yale Univ. Press, New Haven and London, 41–55.
- PETERSON, A. T., SOBERON, T. J., SANCHEZ-CORDERO, V. (1999): Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285, 1265–1267.
- PETERSON, A. T., TIAN, H., MARTÍNEZ-MEYER, E., SOBERÓN, J., SÁNCHEZ-CORDERO, V., HUNTLEY, B. (2005): Modelling Distributional Shifts of Individual Species and Biomes. In: Lovejoy, T. E., Hannah, L. (eds.): *Climate change and Biodiversity*. Yale Univ. Press, New Haven and London, 211–228.
- PRENTICE, I. C., WEBB, N. R. (1989): Developing a global vegetation dynamics model: Results of an IIASA, RR-89-7. Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- PRETEL, J. (2009): Současný vývoj klimatu a jeho výhled. *Ochrana přírody, suppl.*, 46, 2–7.
- PRETEL, J., ed. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V). Závěrečná zpráva o řešení 2007–2011, Projekt VaV – SP/1a6/108/07. ČHMÚ, Praha.
- REIF, J., STORCH, D., VOŘÍŠEK, P., ŠŤASTNÝ, K., BEJČEK, V. (2008): Bird-habitat associations predict population trends in central European forest and farmland birds. *Biodiversity Conservation*, 17, 3307–3319.
- ROSBAKH, S., BERNHARDT-RÖMERMANN, M., POSCHLOD, P. (2014): Elevation matters: contrasting effects of climate change on the vegetation development at different elevations in the Bavarian Alps. *Alpine Botany*, 124, 2, 143–154.
- SCHRÖTER, D., CRAMER, W., LEEMANS, R., PRENTICE, I. C., ARAÚJO, M. B. (2005): Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310, 1333–1337.
- SKALOŠ, J., ENGSTOVÁ, B. (2010): Methodology for mapping non-forest wood elements using historic cadastral maps and aerial photographs as a basis for management. *Journal of Environmental Management*, 91, 831–843.
- SVOBODOVÁ, J., VOŽENÍLEK, V. (2010): Relief for Models of Natural Phenomena. In: Anděl, J., Bičík, I., Dostál, P., Shasneshin, S. (eds.): *Landscape Modelling: Geographical Space, Transformation and Future Scenarios (Urban and Landscape Perspectives)*. Springer, Dordrecht, 183–196.
- ŠVAJDA, J. (2008): Climate change and timber line in the European mountains – current knowledge and perspectives. *Oecologia Montana*, 17, 30–33.
- ŠVAJDA, J., SOLAR, J., JANIGA, M., BULIAK, M. (2011): Dwarf Pine (*Pinus mugo*) and selected abiotic habitat conditions in the Western Tatra Mountains. *Mountain Research and Development*, 31, 3, 220–228.
- TREML, V., CHUMAN, T. (2015): Ecotonal Dynamics of the Altitudinal Forest Limit are Affected by Terrain and Vegetation Structure Variables: An Example from the Sudetes Mountains in Central Europe. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 47, 1, 133–146.
- TRNKA, M., BRÁZDIL, R., DUBROVSKÝ, M., SEMERÁDOVÁ, D., ŠTĚPÁNEK, P., DOBROVOLNÝ, P., MOŽNÝ, M., EITZINGER, J., MÁLEK, J., FORMAYER, H., BALEK, J., ŽALUD, Z. (2011): A 200-year climate record in Central Europe: implications for agriculture. *Agronomy for Sustainable Environment*, 31, 4, 631–641.
- TRNKA, M., BRÁZDIL, R., OLESEN, J. E., EITZINGER, J., ZAHRADNÍČEK, P., KOČMÁNKOVÁ, E., DOBROVOLNÝ, P., ŠTĚPÁNEK, P., MOŽNÝ, M., BARTOŠOVÁ, L., HLAVINKA,

- P., SEMERÁDOVÁ, D., VALÁŠEK, H., HAVLÍČEK, M., HORÁKOVÁ, V., FISCHER, M., ŽALUD, Z. (2012): Could the Changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agricultural and Forest Meteorology*, 166–167, 62–71.
- TUČEK, P., CAHA, J., JANOŠKA, Z., VONDRÁKOVÁ, A., SAMEC, P., VOŽENÍLEK, V., BOJKO, J. (2013): Forest vulnerability zones in the Czech Republic. *Journal of Maps*, 10, 1, 179–182.
- VAHALÍK, P., MIKITA, T. (2011): Possibilities of forest altitudinal vegetation zones modelling by geoinformatic analysis. *Journal of Landscape Ecology*, 4, 2, 49–61.
- VANONI, M., BUGMANN, H., NÖTZLI, M., BIGLER, C. (2016): Quantifying the effects of drought on abrupt growth decreases of major tree species in Switzerland. *Ecology and Evolution*, 6, 11, 3555–3570.
- VLČKOVÁ, V. (2014): Systémový charakter modelování možných trendů důsledků klimatických změn nástroji geografických informačních systémů. *Acta Informatica Pragensia*, 3, 1, 70–88.
- VLČKOVÁ, V., BUČEK, A., MACHAR, I., DANĚK, T., PECHANEC, V., BRUS, J., KILIÁNOVÁ, H. (2015): The application of geobiocoenological landscape typology in the modelling of climate change implications. *Journal of Landscape Ecology*, 8, 2, 69–81.
- VONDRÁKOVÁ, A., VÁVRA, A., VOŽENÍLEK, V. (2013): Climatic regions of the Czech Republic. *Journal of Maps*, 9, 3, 425–430.
- WALTHER, G. R. (2010): Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical transactions of the Royal society B – Biological Sciences*, 365 (1549), 2019–2024.
- WALTHER, G. R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T. J. C., FROMENTIN, J. M., HOEGH-GULDBERG, O., FAIRLEIN, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- WOODWARD, F. I., LOMAS, M. R., BETTS, R. A. (1998): Vegetation-climate feedback in a greenhouse world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B – Biological Sciences*, 353 (1356), 38–39.
- YEE, T. W., MITCHELL, N. D. (1991): Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Sciences*, 2, 587–602.
- ZAJACZKOWSKI, J., BRZEZIECKI, B., PERZANOWSKI, K., KOZAK, I. (2013): Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjna głównych gatunków drzew w Polsce. *Sylwan*, 157, 4, 253–261.
- ZLATNÍK, A. (1976): Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných v ČSR. *Zprávy Geografického ústavu ČSAV*, 13, 55–64.

SUMMARY

Biogeographic model of climate conditions for vegetation zones in Czechia

The consequences of climate change can be described as a shift of vegetation zones northwards and to higher altitudes. In the temperate zone of Europe (with the exception of the Alpine countries), studies on shifts in the vegetation zonation of ecosystems due to climate change have been rarely published so far. This paper presents a biogeographic mathematical model of climatic conditions of vegetation zones in the landscape of Czechia.

The model is based on general ecological dependence of vegetation zones on long-term effects of altitude and exposure climate, which is determined by the average and extreme air temperatures and the amount and distribution of precipitation. The model is based on the assumption that this general ecological relationship between vegetation zones and climatic conditions will be maintained in the future.

The validated prediction climatic database of the Czech Hydrometeorological Institute was used as the source of climatological data for the mathematical model. It contains a set of climatic variables computed by the ALADIN-CLIMATE.CZ model for the time period 2010 to 2100 according to the SRES A1B scenario and bound to specific georeferenced points in the landscape. The original database Register of biogeography, which contains data on the landscape (vegetation zonation and trophic and hydric series) projected on the cadastral units of Czechia, was used as the source of geobiocoenological data for the model. The mathematical model of the shift in vegetation zones due to the defined climate change is designed as a set of special programs (programming language FORTRAN) and GIS Arc/Info applications. The outputs of the mathematical model for defined boundary conditions (a climate scenario for a specified time period, defined geographical area, or algorithmized ecological conditions of a particular plant species) provide scenarios of predicted future climatic conditions of the vegetation zones in the landscape that can be clearly visualized.

According to the model, the projected trends in climatic conditions of vegetation zones in Czechia will be demonstrated by a substantial improvement in the conditions suitable for xerothermophilous Ponto-Pannonian biota (the area with the conditions of the 1st vegetation zone will increase). This can result, e.g., in the improvement of climatic growing conditions for thermophilic species of agricultural crops (sugar beet, grapes) or, on the contrary, in a dramatic deterioration of climatic growing conditions for some forest tree species (e.g. the currently predominant spruce monocultures at lower altitudes will not be possible).

On the contrary, the area with the conditions suitable for the occurrence of mountain species of boreal distribution, linked to a cooler and wetter climate, will be reduced, since the area with the conditions of the 6th to 8th vegetation zones will drastically decrease (in the prediction time horizon of 2050) and gradually disappear altogether (time horizon of 2070). This scenario will be reflected e.g. in a significant change in the living conditions of peat bog ecosystems and subalpine heaths. Predicted changes in the distribution of biota within the territory of Czechia according to the scenario in the present article correspond to the expected trends in the development of ecosystems in Europe under climate change.

The biogeographic model allows an algorithmization of specific climatic growing conditions of individual biological species (e.g. agricultural crops or forest trees). Therefore, the model can be applied not only for the creation of scenarios of potential impacts of predicted climate change on the landscape, but also as a support tool for strategies of adaptation and mitigation measures on a regional scale.

- Fig. 1 Scheme of the biogeographic mathematical model GEOBIOCEN 2 of climatic conditions of vegetation zones in the landscape.
- Fig. 2 Scheme of steps of algorithmization of the model GEOBIOCEN 2.
- Fig. 3 Predicted future climatic conditions of the vegetation zones in Czechia – model of the year 2030. The legend, from above: vegetation degrees: 1 – oak, 2 – beech-oak, 3 – oak-beech, 4a – beech, 4b – oak-coniferous, 5 – fir-oak, 6 – spruce-fir, 6-7 – spruce, 6-8 – scrub.
- Fig. 4 Predicted future climatic conditions of the vegetation zones in Czechia – model of the year 2050. For legend, see Figure 3.
- Fig. 5 Range of current and future proportion of the vegetation zones in Czechia by the model GEOBIOCEN 2. For legend, see Figure 3.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři článku děkují pracovníkům Českého hydrometeorologického ústavu J. Pretelovi a R. Tolaszovi za poskytnutí klimatologických dat.