

**Univerzita Palackého v Olomouci**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra geoinformatiky**

**ANALÝZY A MODELOVÁNÍ VHODNOSTI  
KRAJINY PRO VČELAŘENÍ**

**Diplomová práce**

**Ondřej MRKLOVSKÝ**

**Vedoucí práce RNDr. Jan Brus, Ph.D.**

**Olomouc 2022**  
**Geoinformatika a kartografie**

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá modelováním vhodnosti krajiny pro včelaření. V teoretické části práce jsou shrnuty metody a použité datové zdroje předchozích podobných prací a popsáno hodnocení jednotlivých faktorů. Na základě teoretické části byly vybrány faktory relevantní pro včelaření. Práce pro modelování využívá širokou škálu tematických vrstev, mezi které patří využití území, nadmořská výška, sklon a orientace svahu, průměrná teplota a srážky, vzdálenost od silnic, hustota zavčelení a schopnost krajiny zadržovat vodu. Pro všechny tematické vrstvy byly nalezeny vhodné datové zdroje a data byla převedena do jednotného formátu. Jednotlivé faktory byly ohodnoceny podle vlivu na vhodnost krajiny pro včelaření a byla jim přidělena váha – význam dané vrstvy. Bylo sestaveno dotazníkové šetření, které bylo distribuováno mezi zkušené včelaře. Na základě dotazníkového šetření byly kalibrovány hodnoty a váhy jednotlivých vrstev. Výstupem práce je model vhodnosti krajiny pro včelaření a dvě syntetické mapy. První je mapa úživnosti území pro včelaření a druhou mapa vhodnosti území pro umístění včelnice. Mapy jsou v práci interpretovány a jsou z nich odvozeny také další mapové výstupy. Hlavní výstupy práce jsou sdíleny s komunitou včelařů prostřednictvím webové mapové aplikace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

včelaření; GIS; modelování; vhodnost krajiny

Počet stran práce: 47

Počet příloh: 6 (z toho 2 vázané a 4 volné)

## **ANOTATION**

The master's thesis focuses on modelling of the suitability of the landscape for beekeeping. The theoretical part of the thesis summarizes the methods and data sources of previous similar works and describes the evaluation of individual factors. Based on the theoretical part, the relevant factors for beekeeping were selected. A wide range of thematic layers are used in the thesis including land use, altitude, slope and orientation, average temperature and precipitation, distance from roads, density of current beehives and the ability of the landscape to retain water. Suitable data sources were found for all thematic layers and the data were converted into a uniform format. Individual factors were evaluated according to their influence on the suitability of the landscape for beekeeping and given weight – the importance of the given layer. A questionnaire was compiled and distributed among experienced beekeepers. Based on the questionnaire's results, the values and weights of individual layers were calibrated. The result of the work is a model of the suitability of landscape for beekeeping and two synthetic maps. The first is a map of the suitability of landscape for beekeeping in terms of availability of pollen, climate conditions and general well-being of bees. The second map is a map of the suitability of the landscape for placing a beehive. The maps are interpreted in the thesis and other map outputs are derived from them. The main results of the thesis are shared with the beekeeping community through a web-based map application.

## **KEYWORDS**

beekeeping; GIS; modelling; landscape suitability

Number of pages: 47

Number of appendixes: 6

**Prohlašuji, že**

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou/diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Bc. Ondřej Mrklovský

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za podněty, připomínky a věnovaný čas při vypracování práce. Dále děkuji konzultantu Mgr. Jiřímu Danihlíkovi, Ph.D. za pomoc při distribuci dotazníků. Za poskytnutá data děkuji doc. RNDr. Vilému Pechancovi, Ph.D.

# UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Ondřej MRKLOVSKÝ  
Osobní číslo: R200041  
Studijní program: N0532A330009 Geoinformatika a kartografie  
Studijní obor: Geoinformatika a kartografie  
Téma práce: Analýzy a modelování vhodnosti krajiny pro včelaření  
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

### Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je sestavit model vhodnosti území pro včelaření s využitím dostupných dat na území České republiky. Student v práci využije dostupná environmentální data a na základě expertní kalibrace modelu provede hodnocení krajiny. Vrstvy a použité hodnocení budou specifické k daným územním podmínkám odrážet aktuální stav krajiny. Dílčím cílem práce je integrace dat z dotazníkového šetření s cílem analyzovat potenciální oblasti s možnou rizikovostí pro včelaření. Praktickými výstupy budou vhodnou formou interpretované a vizualizované výsledky. Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně vytvoří zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran  
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

#### Seznam doporučené literatury:

- AWAD, A. M., A. A. OWAYSS, J. IQBAL, H. S. RAWEH, et al. GIS approach for determining the optimum spatiotemporal plan for beekeeping and honey production in hot-arid subtropical ecosystems. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112(3), 1032-1042.
- DOLEZAL, A. G., J. CARRILLO-TRIPP, W. A. MILLER, B. C. BONNING, et al. Intensively cultivated landscape and Varroa mite infestation are associated with reduced honey bee nutritional state. *PLoS one*, 2016, 11(4), e0153531.
- DURANT, J. L. AND C. R. OTTO Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. *Land Use Policy*, 2019, 87, 104005.
- FOY, A. S. A GIS-Based Landscape Scale Model for Native Bee Habitat. Virginia Tech, 2007.
- GILLOLI, G., A. SIMONETTO, F. HATJINA AND G. SPERANDIO Multi-dimensional modelling tools supporting decision-making for the beekeeping sector. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, 51(5), 144-149.
- MCDONALD, S. Applying Geographic Information Systems to the Study of Honey Bee Diseases and Pests. Dalhousie University, 2020.
- PANTOJA, G., M. GÓMEZ, C. CONTRERAS, L. GRIMAU, et al. Determination of suitable zones for apitourism using multi-criteria evaluation in geographic information systems: a case study in the O&#x2019;Higgins Region, Chile. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 2017, 44(2), 139-153.
- SMART, M., C. OTTO, R. CORNMAN AND D. IWANOWICZ Using colony monitoring devices to evaluate the impacts of land use and nutritional value of forage on honey bee health. *Agriculture*, 2018, 8(1), 2.

VAN ESCH, L., J.-L. DE KOK, L. JANSSEN, B. BUELENS, et al. Multivariate landscape analysis of honey bee winter mortality in Wallonia, Belgium. *Environmental Modeling & Assessment*, 2020, 25(3), 441-452.

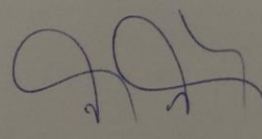
VON BÜREN, R. S., B. OEHEN, N. J. KUHN AND S. ERLER High-resolution maps of Swiss apiaries and their applicability to study spatial distribution of bacterial honey bee brood diseases. *PeerJ*, 2019, 7, e6393.

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Jan Brus, Ph.D.**  
Katedra geoinformatiky

Datum zadání diplomové práce: **9. listopadu 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **6. května 2022**

L.S.



---

**doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.**  
vedoucí katedry

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>11</b>
<b>2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
2.1 Použitá data .....	12
2.2 Použité programy .....	13
2.3 Postup zpracování.....	14
<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>15</b>
3.1 Včelařství v České republice .....	15
3.2 Choroby včelstev.....	15
3.3 Asociace COLOSS .....	16
3.4 Modelování vhodnosti krajiny pro včelaření .....	16
3.4.1 Využití území .....	18
3.4.2 Nadmořská výška.....	20
3.4.3 Teplota vzduchu.....	20
3.4.4 Srážky .....	20
3.4.5 Silniční síť a říční síť .....	21
3.4.6 Způsob kombinování a vážení faktorů.....	21
3.4.7 Další studie vlivu faktorů na včelaření .....	22
<b>4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>25</b>
4.1 Výběr a předzpracování dat .....	25
4.1.1 Využití území .....	25
4.1.2 Klimatické poměry .....	25
4.1.3 Topografie .....	27
4.1.4 Silnice .....	27
4.1.5 Index TWI .....	27
4.1.6 Hustota zavčelení .....	28
4.2 Dotazníkové šetření .....	29
4.2.1 Obsah dotazníku.....	29
4.2.2 Výsledky dotazníkového šetření .....	30
4.3 Zpracování dat.....	32
4.3.1 První verze modelu .....	32
4.3.2 Druhá verze modelu .....	34
4.4 Webová mapová aplikace .....	38
<b>5 VÝSLEDKY .....</b>	<b>40</b>
5.1 Úživnost krajiny.....	40
5.2 Vhodnost krajiny pro umístění včelnice .....	42
<b>6 DISKUZE .....</b>	<b>45</b>
<b>7 ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
<b>PŘÍLOHY</b>	



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
AHP	Analytical Hierarchy Process
ASTER GDEM	ASTER Global Digital Elevation Model
COLOSS	Prevention of Honey Bee Colony Losses
ESA	European Space Agency
DMR5G	Digitální model reliéfu 5. generace
GIS	geografický informační systém
GLC2000	Global Land Cover 2000
LPIS	Land Parcel Identification System
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OSM	Open Street Map
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
S2GLC	Sentinel-2 Global Land Cover
SHP	Shapefile
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TGI	Triangular Greenness Index
TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
TWI	Topographic Wetness Index
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů
UPOL	Univerzita Palackého v Olomouci
VIKOR	Viekriterijumsko Kompromisno Rangiranje

## ÚVOD

Včelařství je jednou z nejstarších oblastí lidské zemědělské činnosti. Hlavním produktem včelaření je med, dalšími jsou vosk, propolis, pyl, mateří kašička a v lékařství je využíván také včelí jed. V zemědělství je velmi důležitým přínosem včel opylování a jejich podíl na stabilitě ekosystémů. Na opylovatelích, zejména včele medonosné, je závislých 35 % světové zemědělské produkce (Klein a kol., 2007). Česká republika má dlouhou tradici chovu včel a včelaření se věnují z velké části malovčelaři ve svém volném čase.

Volba stanoviště je základní krok a žádný včelař se mu nevyhne. Jedná se o velmi důležité rozhodnutí, které může do značné míry ovlivnit výnosy a celkovou úspěšnost chovu. Na nevhodném stanovišti s nedostatkem pastvy nebo nevhodnými klimatickými podmínkami nemůže včelař ani tou nejlepší péčí o včelstvo dosáhnout kvalitních výnosů a dobrého zdraví včelstev. Včelstva zatížená nevhodnými podmínkami jsou náchylnější k chorobám a mají menší pravděpodobnost úspěšného přezimování.

Jak tedy zvolit vhodné stanoviště, abychom dosáhli optimální prosperity včelstva? Výzkumů na toto téma zatím bylo publikováno pouze několik a žádný se detailněji nezabýval klimatickými podmínkami střední Evropy. Většina podobných výzkumů pracovala s nižším počtem faktorů a využívala spíše jednodušší přístup k jejich klasifikaci. Cílem této práce je využitím většího množství datových zdrojů a citlivější klasifikací dosáhnout co nejrealističtějšího modelu vhodnosti krajiny pro včelaření. Pro kalibraci modelu bude využito také expertní znalosti samotných včelařů a jejich dlouholetých zkušeností.

# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je sestavit model vhodnosti území pro včelaření s využitím dostupných dat na území České republiky. Cílem je použít takové datové zdroje, které budou co možná nejpřesněji popisovat úživnost krajiny pro včelstva, vhodnost území pro umístění včelnice a také rizikovost spojenou se stávajícím výskytem včelstev. Všechna data budou vhodným způsobem zpracována a bude sestaven model vhodnosti, který bude následně expertně kalibrován. Ke kalibraci modelu bude použito dotazníkové šetření mezi komunitou včelařů. Model bude použit pro hodnocení úživnosti krajiny pro včelaření a vhodnosti krajiny pro umístění včelnice.

Výsledky budou v práci vhodnou formou vizualizovány a interpretovány a hlavní výstupy budou publikovány na webu v mapové aplikaci. Aplikace bude sloužit zejména včelařům jako opora při volbě stanoviště pro svá včelstva nebo pro ověření vhodnosti umístění stávajících stanovišť.

## 2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

### 2.1 Použitá data

#### Land Cover Map of Europe

Land Cover Map of Europe jsou data využití území vzniklá v rámci projektu Sentinel-2 Global Land Cover (S2GLC) a pokrývající většinu Evropy. Projekt je zaštitěn Evropskou vesmírnou agenturou (ESA). Data byla získána klasifikací Sentinel-2 snímků z roku 2017. Prostorové rozlišení dat je 10 m/pixel a tematická legenda se skládá ze 13 tříd využití území. Celková přesnost datasetu byla odhadnuta na 86 % na základě zhruba 52000 validačních vzorků rozmístěných napříč Evropou. Data jsou volně dostupná ke stažení z webových stránek (<https://s2glc.cbk.waw.pl/extension>) ve formátu GeoTiff (8 GB).

#### Registr půdy - LPIS

LPIS (Land Parcel Identification System) je geografický informační systém (GIS) sloužící primárně k evidenci využití zemědělské půdy. Hlavním účelem registru půdy je ověřování údajů v žádostech o dotace poskytovaných ve vazbě na zemědělskou půdu. LPIS je aktualizován průběžně, přičemž pakliže dojde ke změně ve využití půdy, je uživatel dotčené půdy v souladu s platnou legislativou povinen tuto změnu Státnímu zemědělskému intervenčnímu fondu ohlásit, a to ve lhůtě 15 dní poté, co ke změně došlo. (Státní zemědělský intervenční fond, 2022) V souladu s nařízením EU musí být pro zemědělské pozemky v LPIS zajištěna přesnost, která odpovídá kartografickému měřítku 1 : 5000.

#### ClimateEU

ClimateEU je databáze klimatických dat Evropy. Databáze nabízí měsíční, roční, desetiletá a třicetiletá normalizovaná klimatická data od roku 1901 a také projekce klimatické změny pro 21. století. Celkem více než 20000 klimatických gridů může být dotazováno prostřednictvím softwarového balíčku ClimateEU. Základní rozlišení gridů je 2,5 úhlové minuty, ale jsou dostupné také gridy s rozlišením 2,5 km a 1 km. Oproti jiným projektům jako například WorldClim.org (ze kterého tako databáze mimo jiné také čerpá) nabízí ClimateEU možnost pokročilého dotazování a pro účely této práce nabízí také vhodná normalizovaná data za období 1990 – 2020. Databáze ClimateEU a k ní příslušný software jsou volně dostupné pod licencí Creative Commons 4.0 (Marchi a kol., 2020).

#### Hustota zavčelení

Data hustoty zavčelení byla vytvořena na základě monitoringu úspěšnosti zimování včelstev zaštitovaného asociací COLOSS. Data jsou agregována na katastrální území a dostupná za roky 2015 až 2020. Pro účely práce byl využit průměr za roky 2019 a 2020. Data jsou poskytnuta Ministerstvem zemědělství České republiky. Primární data jsou tabelární. Vedoucím práce byla poskytnuta data ve formátu shp.

#### Kůrovcová mapa

Kůrovcová mapa je geografická vrstva vzniklá analýzou družicových snímků na základě automatizovaného vyhodnocení vegetačních indexů pro území pokryté smrkovými porosty v ČR. Vrstva vznikla ve spolupráci autorů projektu Kůrovcové info a Specializovaného pracoviště dálkového průzkumu země ÚHÚL Frýdek-Místek. Vrstva byla vytvořena na základě družicových dat společnosti Planet s rozlišením 3 m/px. Na

území aktuálního rozšíření smrku vyššího než 12 m byly pomocí indexu NDVI identifikovány kategorie *stojící suchý les* a *čerstvá holina*. Tyto kategorie byly poté odděleny pomocí indexu TGI (kurovcovamapa.cz, 2022). Data byla poskytnuta doc. RNDr. Vilémem Pechancem, Ph.D. ve formátu shp.

### **Digitální model reliéfu 5. generace**

Digitální model reliéfu 5. generace (DMR5G) zachycuje přirozený nebo lidskou činností upravený tvar zemského povrchu. Model vznikl z dat pořízených leteckým laserovým skenováním v letech 2009 až 2013 a dokončen pro celé území České republiky byl v roce 2016. Výškovým referenčním systémem je Balt po vyrovnání a úplná střední chyba výška v odkrytém terénu činí 0,18 m a v zalesněném terénu 0,3 m. DMR5G je poskytován Zeměměřickým úřadem jako Esri IMAGE služba (Geoportál ČÚZK, 2022).

### **Index TWI**

TWI (Topographic Wetness Index) je nejčastěji používaný hydrologicky založený topografický index a popisuje tendenci místa akumulovat vodu. TWI je vypočítán jako přirozený logaritmus poměru plochy odtoku do daného místa a tangentu sklonu v místě (Mattivi a kol., 2019). Index předpokládá heterogenitu půdy. Index byl vypočítán Mgr. Terezou Novákovou na základě DMR5G v programu QGIS. Data byla poskytnuta doc. RNDr. Vilémem Pechancem, Ph.D. v rastrovém formátu.

### **Zóny vlivu komunikací**

Jedná se o data vymezující (obvykle negativní) zóny vlivu komunikací na základě intenzity dopravy. Vrstva vznikla převedením liniové vrstvy silnic na polygonovou, výpočtem tzv. road-zone effect a vytvořením vnějšího bufferu kolem komunikací. Podkladem pro výpočet byla data Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) vzniklá během pravidelného celostátního sčítání dopravy. Výsledná vrstva definuje zóny ovlivněné vibracemi, znečištěním a se zvýšenými koncentracemi oxidů síry a dusíku. Těmto zónám, se řada živočichů, včetně hmyzu vyhýbá. Data byla vytvořena a poskytnuta doc. RNDr. Vilémem Pechancem, Ph.D. ve formátu shp.

### **Open Street Map**

Open Street Map (OSM) je celosvětová databáze geografických dat. Data jsou kolaborativní prací uživatelů z celého světa a firem, které se rozhodly do projektu přispět svými daty. Databáze je dostupná pod Open Database Licence, která umožňuje data volně používat, sdílet i upravovat, pod podmínkou zachování stejné licence. Databáze OSM je široce celosvětově využívána a slouží také pro humanitární účely, kdy dobrovolníci pomáhají mapovat například území postižené přírodní katastrofou. V této práci byla použita z OSM vrstva silnic, data byla stažena z webu Geofabrik (<http://www.geofabrik.de/data/shapefiles.html>) ve formátu shp.

## **2.2 Použité programy**

### **ArcGIS Pro**

ArcGIS Pro je desktopový GIS software vyvinutý společností Esri, nástupce programu ArcMap. Jedná se o nástroj pro tvorbu a správu dat a databází, pro jejich prostorovou analýzu a pro jejich vizualizaci ve 2D i 3D. Program ArcGIS Pro byl při práci využit ve verzi 2.8.3. pro zpracování veškerých prostorových dat, tvorbu a publikování výstupů.

### **Microsoft Excel**

Microsoft Excel je tabulkový procesor od společnosti Microsoft. V práci byl program využit ve verzi 2108 pro zpracování klimatických dat a přípravu klasifikace faktorů.

## 2.3 Postup zpracování

V první fázi práce byla provedena rešerše zkoumané problematiky. Nejdříve byl získán základní vhled do tématu včelaření, seznámení se s jeho významem, rozšířeností na území České republiky a problémy se kterými se včelaři potýkají. Nastudovány byly nejčastější choroby včelstev a největší rizika ohrožující úspěšné přezimování včelstev. Dále byly v rešerši nastudovány již provedené studie z celého světa zabývající se podobnou problematikou. Zjišťovány byly zejména použité datové sady a postupy zpracování těchto dat.

V druhé fázi práce byly vybrány a shromážděny datové sady vhodné pro účely této práce. Většina použitých datových zdrojů je volně dostupná ke stažení na internetu, menší část použitých dat byla získána z jiných zdrojů. Po shromáždění dat byla zjišťována jejich kvalita a provedeno nutné předzpracování všech datových sad. Byl zjišťován rozsah a rozmístění hodnot, které poté posloužily jako jeden z podkladů pro reklasifikaci dat.

Ve třetí fázi byly všem datovým sadám přiřazeny váhy a byly reklasifikovány na jednotnou stupnici. Bylo provedeno dotazníkové šetření mezi včelaři, na jehož základě byl model kalibrován. Všechny datové sady byly v několika krocích zkombinovány takovým způsobem, aby výsledná vrstva co nejlépe reflektovala sledované téma. Výstupem byly vrstvy úživnosti krajiny a vhodnosti krajiny pro včelaření. Z výsledných vrstev byly vytvořeny mapové výstupy a vrstvy byly publikovány na webu v interaktivní mapové aplikaci. Mapové výstupy byly interpretovány.

## 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 3.1 Včelařství v České republice

Včelařství má v České republice dlouhou tradici. Včelařství bylo v českých zemích provozováno od 12. st. a historie včelařských spolků na českém území sahají do dob Rakouska-Uherska. V posledních desetiletích docházelo v letech 1990 – 2009 k poklesu počtu včelařů, což je připisováno zejména ekonomickým faktorů a také nepříznivým klimatickým podmínkám (Živelová a kol., 2022). Od roku 2009 do současnosti počet včelařů opět stoupá.

Včelaře v České republice sdružuje Český svaz včelařů (ČSV) jehož členy je 98 % všech včelařů v republice. Dle údajů na svých stránkách má ČSV 54 tisíc členů, kteří chovají celkem více než 570 tisíc včelstev. Mezi hlavní úkoly Českého svazu včelařů patří péče o růst odborné a společenské úrovně členů a spolupráce se zákonodárnými a výkonnými státními orgány, vládními institucemi a nevládními organizacemi za účelem podpory rozvoje včelaření. ČSV je ve světě velmi uznáván za vynikající výsledky dosažené v oblasti zajišťování zdraví včelstev a za propracovanou metodiku jednotného preventivního postupu proti šíření nemocí včel (Český svaz včelařů, 2022).

### 3.2 Choroby včelstev

Včelstva může ohrožovat celá řada chorob. Choroby si mohou včely mimo úl předávat napříč včelstvy a umístění včelstva do oblasti s vysokým zavčelením proto může být z pohledu chorob rizikové. V současnosti jsou choroby včel již dobře popsány a včelaři pravidelně aplikují přípravky, které jejich výskytu předcházejí.

#### Varroóza

Varroóza je infekční onemocnění včel způsobené roztočem *Varroa destructor* (kleštík včelí) (Wikipedia.org, 2022). Roztoč byl do střední Evropy zavlečen během 80. a 90. let minulého století z Asie. Napadené včelstvo postupně slábne, líhnou se včely s nedokonale vyvinutými křídly, zakrnělýma nohama či menším počtem noh. Od dob zjištění varroózy v Evropě se postoupilo od používání syntetických léčiv k léčení přípravky na přírodní bázi. Přípravků k léčení varroózy existuje mnoho a volba je na včelaři (coloss.cz, 2020).

#### Virózy

Včely také napadají různé virózy. Do dnešní doby je jich známo přes 20. Mnoho z nich také souvisí s varroózou včel. Typickým příkladem je virus deformovaných křídel. Ten poškozují včelám křídla, takže nemohou létat. Napadené včely jsou navíc tak oslabené, že pár hodin či dní po vylihnutí uhynou. K diagnostice viróz se používají nejmodernější laboratorní techniky. Málokterý virus má příznaky rozpoznatelné pouhým okem. (coloss.cz, 2020) Virózy nebyly takový problém do příchodu varroózy. Tento roztoč (podobně jako třeba klíště u člověka) je jejich významným přenašečem (vcelky.cz, 2020).

#### Nosematóza

Nosematóza je průjmové onemocnění dospělých včel. Hmyzomorka včelí která onemocnění způsobuje je řazena mezi houby. Včely se nakazí sporami v potravě. Častou příčinou šíření nákazy je samotný včelař, který přidává plásty a souše z nakaženého včelstva do zdravého nebo posiluje zdravé včelstvo plodem z nakaženého úlu (Wikipedia.org, 2022).

### **Mor včelího plodu**

Je onemocnění včelího plodu, dospělé včely jej pouze přenášejí. Původcem je bakterie *Paenibacillus larvae*, která žije ve střevě larvy, kterou posléze zahubí. V prvních fázích onemocnění včely ještě zvládají napadené larvy vynášet z úlu. Larvy obsahují miliony velmi odolných spor. Proti onemocnění neexistuje účinná léčba a proto je nutné nakažené včelstvo utratit a spálit včetně včelařského vybavení (vcelky.cz, 2020).

### **3.3 Asociace COLOSS**

COLOSS je mezinárodní nezisková asociace se základnou ve švýcarském Bernu, která se zabývá zlepšováním zdraví včel na globální úrovni. Asociace se skládá z vědeckých pracovníků, veterinářů, odborníků na zemědělství a také studentů. Jedním z projektů vedených asociací COLOSS je monitoring úspěšnosti zimování včelstev. Monitoring probíhá prostřednictvím dotazníků rozesílaných jednou ročně včelařům (coloss.org, 2021). Dotazníková šetření probíhají v Evropě nepřetržitě od roku 2007 a Česká republika se do projektu zapojila na jaře 2014.



Obr. 1: Logo asociace COLOSS (zdroj: coloss.org)

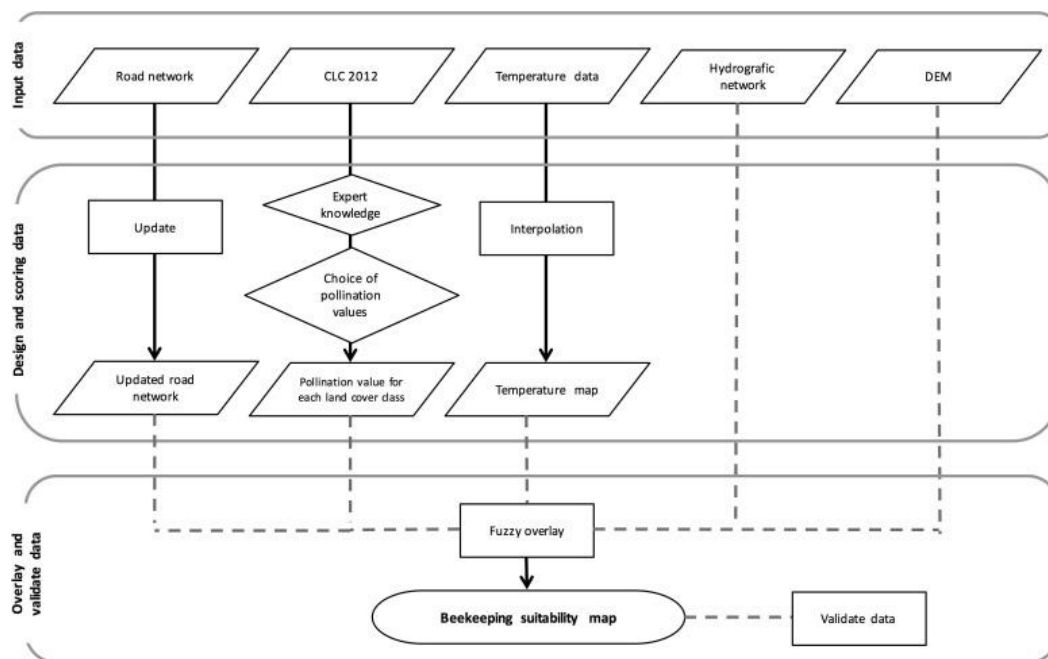
S daty z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev pod asociací COLOSS pracovala celá řada prací vedených RNDr. Janem Brusem, Ph.D. na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci (UPOL). Kuchejdová (2020) analyzovala kvalitu těchto dat, Kaplan (2019) zpracovával data do webové prezentace s principy storytellingu. Kaplan (2021) vytvořil na základě těchto dat uživatelsky založenou webovou aplikaci. Aplikace umožňuje uživatelům se na data dotazovat a vytvářet vlastní analýzy. Králová (2018) analyzovala pevná stanoviště včelstev s přihlédnutím ke geografické charakteristice území. Na řadě článků, které využívaly data z dotazníku se podílí také český koordinátor projektu Mgr. Jiří DANIHLÍK, Ph.D. z Katedry biochemie UPOL. Například Brodschneider, Brus a Danihlík (2019) porovnávali úspěšnost zimování včelstev mezi Rakouskem a Českou republikou a Popovska Stojanov, Danihlík a kol. (2021) analyzovali přímé ekonomické dopady zimních ztrát včelstev v Rakousku, ČR a Makedonii. S daty z dotazníku COLOSS pracovali mimo jiné také Kuchling a kol. (2018), více o jejich práci v kapitole 3.4.7.

### **3.4 Modelování vhodnosti krajiny pro včelaření**

Geografické informační systémy (GIS) se ukazují jako vhodný nástroj pro modelování vhodnosti krajiny pro včelaření (Foy, 2007). V posledních letech bylo publikováno několik studií, které se využitím GIS ve včelaření zabývaly. Jednotlivé studie využívají různé metody modelování vhodnosti krajiny (fuzzy přístup, multikriteriální analýza) a liší se ve sledovaném území. Na sledovaném území přímo závisí některá specifika modelování krajiny a přenositelnost studií do zcela rozdílných klimatických podmínek proto může být omezená.



Geograficky nejbližší České republice je italská studie (Zoccali a kol., 2017) zabývající se využitím GIS pro modelování vhodnosti krajiny pro včelaření. Modelovaným územím je region Kalábrie na jihu Itálie. Studie pracuje s pěti vrstvami vstupujícími do analýz. Jedná se o průměrnou teplotu vzduchu, silniční síť, říční síť, nadmořskou výšku a využití území. Autoři uvádí, že se jedná o první studii svého druhu, která využívá fuzzy přístup namísto vícekriteriální analýzy a klasifikace dat. Podle autorů fuzzy přístup umožňuje dosáhnout přesnějších výsledků s menší mírou nejistoty.



Obr. 2: Schéma postupu práce (Zoccali a kol., 2017)

Studie provedená v Egyptě (Abou-Shaara, 2015) analyzuje současné a budoucí podmínky pro včelaření v okolí řeky Nil. Studie zohledňuje průměrné teploty za roční období, využití území, vzdálenost od rostlin, srážky a sklon svahu. Všechny faktory byly klasifikovány do dvou nebo tří kategorií – nevhodné, vhodné, vhodnější. Všechny faktory byly zkombinovány pomocí nástroje Raster Calculator a všem faktorům byla přidělena stejná váha.

Turecká studie (Sari a kol., 2020) porovnává tři způsoby vícekriteriální analýzy k modelování vhodnosti krajiny pro včelaření. Metoda AHP využívá stupnici důležitosti od 1 do 9. Metoda TOPSIS seřazuje výsledky podle podobnosti k ideálnímu řešení. Metoda VIKOR řadí výsledky a hledá nejlepší řešení na základě vzdálenosti možných kompromisů od ideálního řešení. Tato studie pro modelování vhodnosti krajiny využívá 8 vstupních vrstev – orientaci svahu, sklon svahu, nadmořskou výšku, využití půdy, vzdálenost od silnic, vzdálenost od zdrojů vody, vzdálenost od zástavby a průměrnou roční teplotu. Autoři uvádějí vyšší vzdálenost od silnic jako pozitivní charakteristiku (skrže znečištění vzduchu, hluk a jiné kontaminace), zatímco autoři výše zmíněné italské studie uvažují nižší vzdálenost od silnic jako výhodu (pro transport včelstev a chov).

Studie provedená na Filipínách (Estoque a Murayama, 2010) využívá obdobné vstupy do analýz. Studie pracuje s daty využití území, nadmořskou výškou, silniční sítí, vodními toky, průměrnými srážkami a daty o výnosech včelstev. Během následného zpracování dat byl pro kontinuální data využit fuzzy přístup a pro kategoriální data přiděleny hodnoty, některá území byla z analýz zcela vyřazena (zastavěná území, vodní

plochy, ...). Výsledná mapa vhodnosti území byla vytvořena jako vážená lineární kombinace vstupních dat.

Pantoja a kol. (2017) využili GIS pro identifikaci oblastí vhodných pro apituristiku v regionu ve střední Chile. Autoři pro modelování vhodnosti zvolili tematické vrstvy využití území, turismus, geneticky modifikované plodiny, silnice, řeky, teplotu a srážky. Autoři v modelu pracují také s restrikcemi, kterými jsou využití území, chráněná území a dálnice. Všechna data byla převedena na jednotnou stupnici od 0 do 1. Práce využívá také expertní názor odborníků (akademických pracovníků, státních úředníků a včelařů) získaný dotazníkovým šetřením. Nejvýznamnějším faktorem je využití území s 54 %, druhý následuje turismus s 17 %.

Výzkum zaměřený na kanadskou provincii Nové Skotsko (McDonald, 2020) studuje rizikovitost území pro včelaření z pohledu chorob a zvýšeného výskytu pesticidů. Autor pokládá spojitost mezi zvýšený výskyt chorob a zvýšenou vlhkost území a tomu odpovídá také volba dat. Ve vybraných datových vrstvách v tomto výzkumu zcela chybí vrstva využití území, namísto toho autor použil mimo jiné vrstvy půdního odtoku, podloží (4 třídy) a záplavová území (5 m, 10 m, 20 m). Pro kombinaci vrstev autor použil nástroj Weighted Overlay, přičemž největší váhu (20 %) dostal půdní odtok, následuje orientace svahu (15 %), podloží (14 %) a zbylé vrstvy 8-9 %.

Tab. 1: Použité tematické vrstvy v popisovaných pracích

	<b>Využití území</b>	<b>Nadmořská výška</b>	<b>Sklon svahu</b>	<b>Teplota</b>	<b>Srážky</b>	<b>Zdroj vody</b>	<b>Blížkost silnic</b>
Itálie (Zoccali a kol., 2017)	X	X		X		X	X
Egypt (Abou-Shaara, 2015)	X		X	X	X		
Turecko (Sari a kol., 2020)	X	X	X		X	X	X
Filipíny (Estoque a Murayama, 2010)	X	X			X	X	X
Pantoja a kol. (2017)	X			X	X	X	X

### 3.4.1 Využití území

S vrstvou využití území pracují ve svých analýzách všechny výše zmíněné studie. Cílem je lokalizovat taková území, která budou mít pro včelstvo dostatečnou úživnost, tedy dostatek kvetoucí vegetace, kterou mohou včely využít ke sběru potravy.

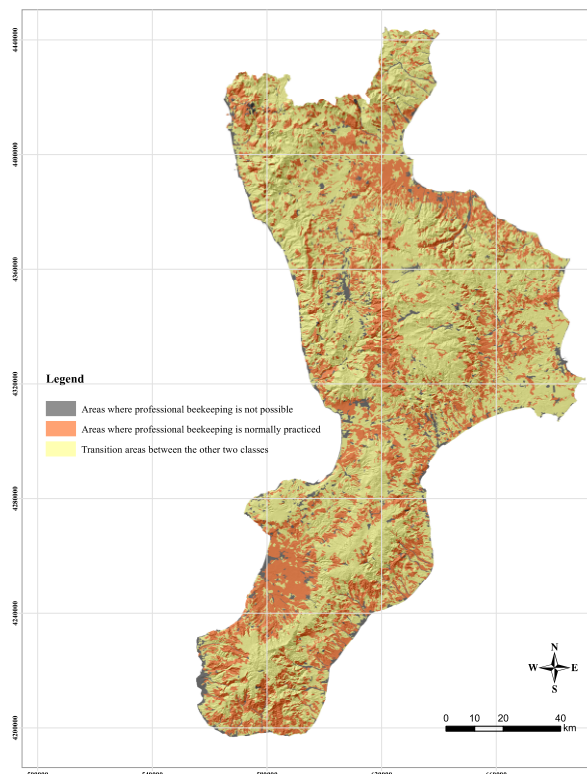
Zoccali a kol. (2017) uvádí, že nutriční hodnota nektaru a pylu se výrazně liší mezi rostlinami, což v důsledku ovlivňuje, jak včely získávají nutričně vhodnou potravu. Zoccali a kol. (2017) ve své studii pracují s daty Corine Land Cover 2012 level 4, která byla aktualizována pomocí fotointerpretace satelitních snímků. Na základě znalosti vegetačního pokryvu bylo možné každé třídě přiřadit hodnotu podle potenciálního množství dostupného nektaru a pylu. Zoccali a kol. (2017) doplňují, že přiřazení hodnot každé třídě je bez expertní znalosti obtížné a vnáší do modelu značnou míru nejistoty. Aby nebyla tato nejistota příliš vysoká, byla všem třídám přidělena jedna ze tří hodnot: 0 pro oblasti kde běžně včelaření není provozováno, 1 pro oblasti kde včelaření je běžně

provozováno a 0,5 pro přechodné oblasti mezi těmito třídami. Jako příloha studie je k dispozici kompletní tabulka klasifikace všech tříd, kterou lze shrnout takto:

0 – urbánní oblasti, těžba, pláže

0,5 – zemědělská půda a většina lesů

1 – ovocné sady, travnaté oblasti, keře, lesy s převahou kaštanů



Obr. 3: Mapa využití území regionu Kalábrie klasifikovaná do 3 tříd (zdroj: Zoccali a kol., 2017)

Abou-Shaara (2015) pracuje ve své studii s datasetem GLC2000 s rozlišením 30 úhlových sekund. Autor zde klasifikuje využití území pouze do dvou tříd – nevhodné a vhodnější. Všechny třídy využití území považuje za nevhodné, kromě vegetace, kterou klasifikuje jako vhodnější. Abou-Shaara (2015) dále počítá vzdálenost od vegetace a podle ní klasifikuje území do tří kategorií.

Sari a kol. (2020) považují využití území za nejvýznamnější kritérium. Za nejvhodnější považují lesy a původní přírodní oblasti pro jejich přirozenou biodiverzitu. Urbánní oblasti jsou z analýz zcela vyřazeny pro jejich nevhodnost a zemědělské oblasti jsou klasifikovány jako méně vhodné. Autoři uvádí, že přestože mají význam pro chov včel, významným rizikem je použití pesticidů v těchto oblastech. Zdrojem dat v této studii je turecké ministerstvo zemědělství.

Ve starší filipínské studii (Estoque a Murayama, 2010) se autoři rozhodli pro tvorbu vlastní vrstvy využití území. Podkladem byl družicový snímek Landsat TM doplněný o referenční data získaná terénním průzkumem. Vrstva využití území byla poté vytvořena řízenou klasifikací s rozdělením do deseti tříd. Pro klasifikaci dat Estoque a Murayama (2010) používají stupnici od 0 do 255, přičemž nejvyšší hodnotu 255 přiřazují agrolesnictví. Agrolesnictví je způsob hospodaření, který kombinuje pěstování dřevin a zemědělskou produkci na jednom pozemku, včelstvům proto nabízí potravu v průběhu celého roku. Další hodnoty jsou následující: zemědělská oblast – 200, les – 150, obytná oblast se zahradami – 100, travnaté oblasti – 50.

### 3.4.2 Nadmořská výška

Zoccali a kol. (2017) pracují s vrstvou nadmořské výšky, jakým způsobem byla v analýzách zohledněna, popř. jak byla klasifikována bohužel autoři neuvádějí. Sari a kol. (2020) uvádějí, že nadmořská výška souvisí s florou a vymezuje začátek včelařské sezóny. Pro studované území s rozsahem nadmořské výšky od 591 m n.m. do 3419 m n.m. autoři zohledňují, že výnosy medu a efektivita včelaření klesají nad hranicí 2000 m n.m. z důvodu nepříznivých meteorologických podmínek a větru. Ve studii je použit model ASTER GDEM s rozlišením 30 m/pixel.

Estoque a Murayama (2010) uvádí, že většina rostlin důležitých pro včely ve studovaném území neprosperuje ve vyšších nadmořských výškách, za které považují výšku od 100 m n.m. V těchto nadmořských výškách teplota podle autorů může klesat pod minimální teplotu pro aktivitu včel (13 °C). Nadmořská výška proto byla standardizována na kontinuální stupnici s inverzním vztahem k hodnotám vhodnosti. Abou-Shaara (2015) s vrstvou nadmořské výšky nepracuje.

### 3.4.3 Teplota vzduchu

Zoccali a kol. (2017) považují teplotu vzduchu za jeden z nejrelevantnějších ekologických faktorů pro rozvoj hmyzu. Autoři používají k modelování průměrnou teplotu za posledních třicet let a to pouze za vegetační období, tedy od dubna do září. Zoccali a kol. (2017) pokládají pozitivní vztah mezi teplotou a vhodností krajiny pro včelaření.

Abou-Shaara (2015) využívá minimální a maximální teploty za jednotlivá roční období. Za nejvhodnější považuje teploty v rozmezí 10°C – 37°C. Pro všechna roční období pak klasifikuje území do dvou kategorií „nehodné“ a „vhodnější“. Maximální teploty během jara a podzimu, stejně jako minimální teplota v létě nejsou brány v potaz, protože se na celém sledovaném území pohybují v ideálním rozsahu teplot pro včelaření.

Zbylé dvě výše zmíněné studie – Sari a kol. (2020) a Estoque a Murayama (2010) klimatická data teploty nevyužívají. Estoque a Murayama (2010) zmiňují teplotu pouze v souvislosti s nadmořskou výškou a z důvodu jejich vzájemné korelace se pravděpodobně rozhodli vrstvu teploty nepoužít.

### 3.4.4 Srážky

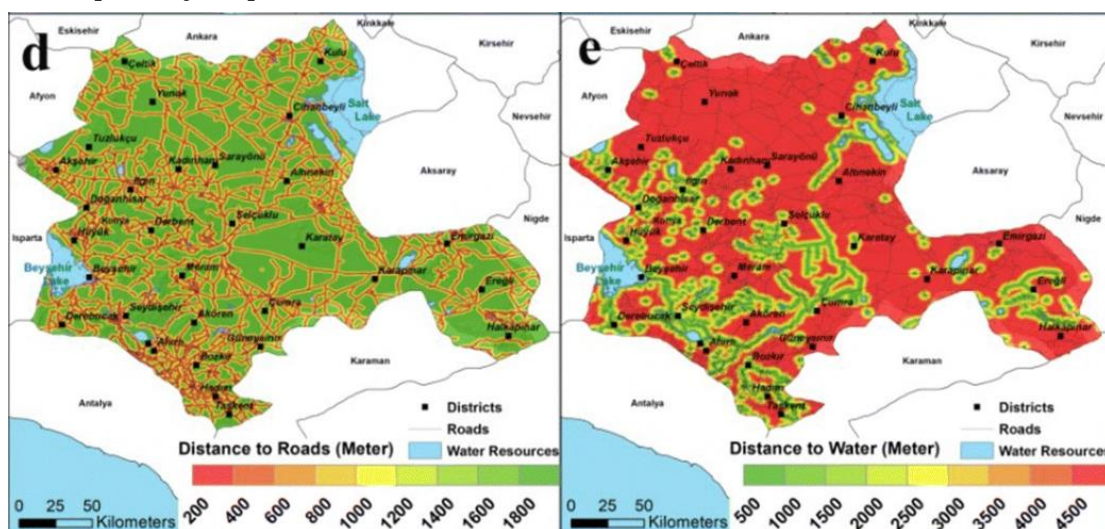
Zoccali a kol. (2017) ve své studii srážky nezohledňují. Abou-Shaara (2015) využívá vrstvu srážek za zimní období, zdrojem dat je WorldClim. Autor dělí sledované území podle srážek do dvou kategorií: <30 mm označuje jako vhodnější a >30 mm jako vhodné území. Autor uvádí, že vyšší množství srážek v zimním období včelám brání ve sběru potravy.

Sari a kol. (2020) uvádí, že srážky mají úzkou souvislost s vegetačním krytem a do značné míry charakterizují sledované území, jaký vztah byl ve studii položen mezi srážkami a vhodností území pro včelaření však bohužel neuvádí. Estoque a Murayama (2010) ve své studii diskutují množství srážek a jako obecné doporučení uvádí s odkazem na FAO hodnoty 1275 a 1875 mm ročně. Autoři následně konstatují, že přestože průměrný roční srážkový úhrn ve sledovaném území je 2800 mm, včelaření je na celém území možné, protože většina srážek spadne od července do září. Dále se srážkami už proto nekalkulují.

### 3.4.5 Silniční síť a říční síť

Zoccali a kol. (2017) považují silniční síť za důležitý faktor pro včelaření, protože přímo ovlivňuje možnost přepravy včelstev vozidly. Autoři proto považují oblasti blízké silnicím za vhodnější pro včelaření. Za pozitivní faktor rovněž autoři považují blízkost vodní toků a vodních ploch. Abou-Shaara (2015) se silniční, ani říční sítí nepracuje.

Sari a kol. (2020) uvádí, že včelaři preferují umístění včelstev mimo obydlené oblasti a dále od silnic, aby se vyhnuli zvýšeným výskytům skleníkových plynů, znečištění vzduchu i hlukovému znečištění, výfukovým plynům a dalším nepříznivým faktorům závislým na člověku. Autoři proto považují blízkost silnic a obydlí za negativní faktor pro včelaření. Zdrojem dat silniční sítě je magistrát města Konya a vrstva obydlených oblastí pochází od tureckého statistického institutu, měřítko obou vrstev je 1 : 1000. Vodní zdroje považují autoři za důležité pro chlazení včelstva a výrobu medu a proto jejich blízkost považují za pozitivní faktor.



Obr. 4: Vzdálenost od silnic a od vody (zdroj: Sari a kol. (2020))

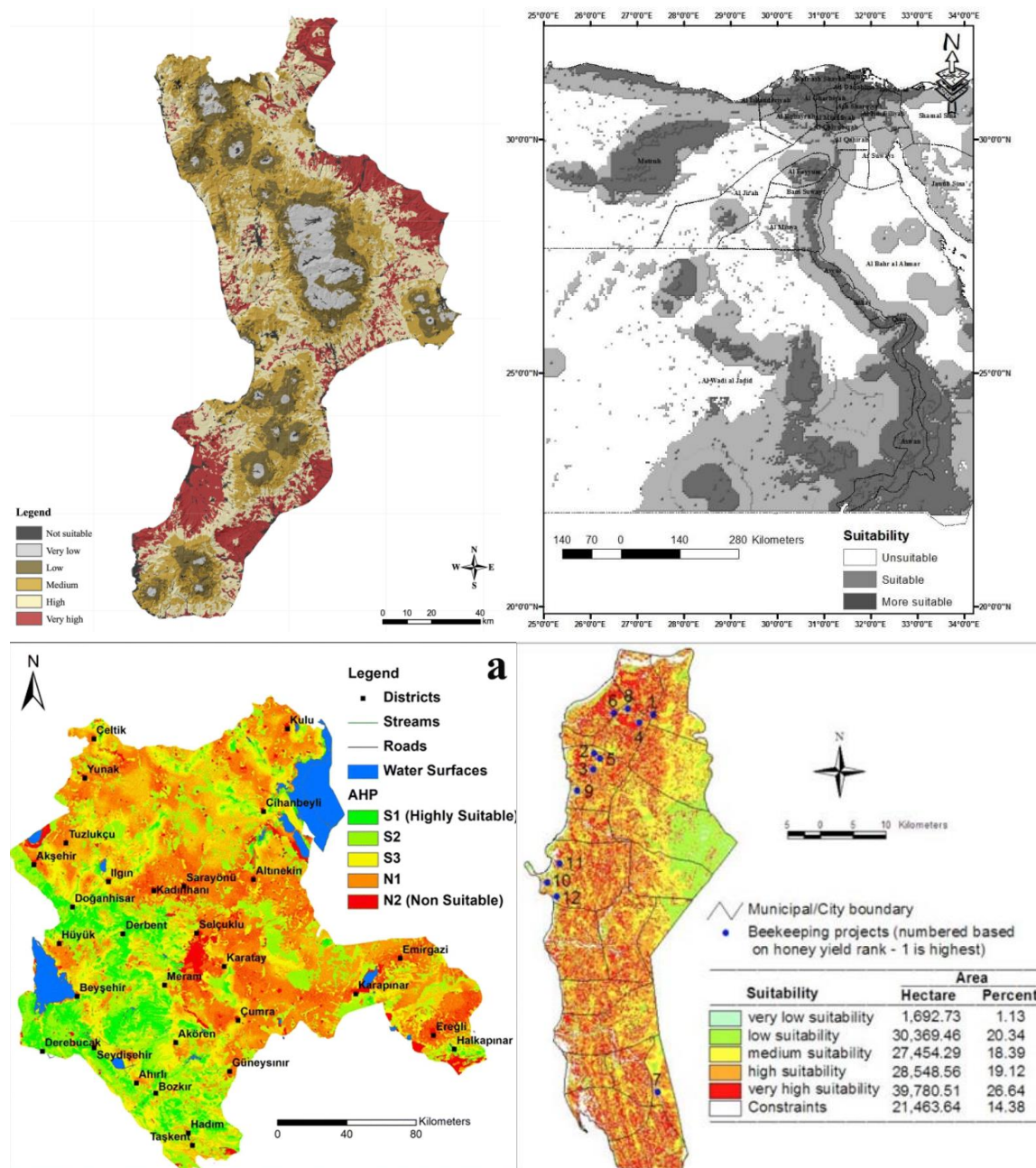
Estoque a Murayama (2010) stejně jako Zoccali a kol. (2017) považují blízkost zdrojů vody a blízkost silnice za důležitou pro včelaření a proto oblasti, které jimi disponují považují za vhodnější.

### 3.4.6 Způsob kombinování a vážení faktorů

Zoccali a kol. (2017) převádí všechny faktory na stupnici od 0 do 1 pomocí lineární fuzzy funkce. Následně jsou všechny vrstvy zkombinovány nástrojem Fuzzy Overlay s použitím Gamma funkce. Abou-Shaara (2015) ve své práci zkombinoval všechny vrstvy pomocí nástroje Raster Calculator a všem vrstvám přidal stejnou váhu. Podle autora jsou všechny faktory pro identifikaci lokalit vhodných pro včelaření stejně důležité.

Sari a kol. (2020) využívají AHP (Analytical Hierarchy Process) párovou maticí pro výpočet vah jednotlivých faktorů. Největší váhu má využití území (44 %), druhá je vzdálenost od zdrojů vody (14,6 %), následuje orientace svahu (12 %) a nadmořská výška (10 %), srážky mají váhu 7,6 % a zbylé 3 faktory (vzdálenost od silnic, vzdálenost od zástavby a sklon svahu) mají okolo 4 %. Estoque a Murayama (2010) využili stejně jako Sari a kol. (2020) AHP maticí, její výsledky byly následující: využití území 56,5 %, vzdálenost od řek 26,2 %, vzdálenost od silnic 11,7 % a nadmořská výška 5,5 %.

Ve výsledných mapových výstupech autoři klasifikují vhodnost do tří až šesti tříd. Pro vizualizaci využívají Sari a kol. (2020) a Estoque a Murayama (2010) podobnou bipolární stupnici od zelené po červenou, avšak význam barev je opačný. Sari a kol. (2020) používají zelenou barvu pro nejvhodnější oblasti, naopak Estoque a Murayama (2010) pro málo vhodné.

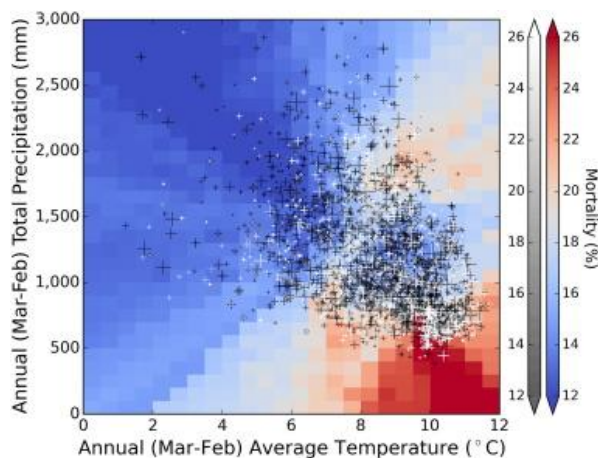


Obr 5: Výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření – Itálie, Egypt, Turecko, Filipíny (zdroj: Zoccali a kol. (2017), Abou-Shaara (2015), Sari a kol. (2020), Estoque a Murayama (2010))

### 3.4.7 Další studie vlivu faktorů na včelaření

Grogan (2020) modeloval výnosy medu ve Spojených státech a identifikoval významnou pozitivní korelaci mezi minimální teplotou v dubnu a výnosem medu. Grogan (2020) dále zjistil významnou negativní korelaci mezi srážkami v květnu a výnosem medu. Switanek a kol. (2017) studovali vliv klimatu na úspěšnost zimování včelstev v Rakousku. Autoři statistickým modelováním došli k závěru, že vyšší teploty souvisí se

zvýšenou mortalitou včelstev. Opačný vliv autoři identifikovali u srážek – více srážek koreluje s nižší mortalitou včelstev. Autoři studovali také vliv radiace a větru, ty však na mortalitu neměly zásadní vliv.

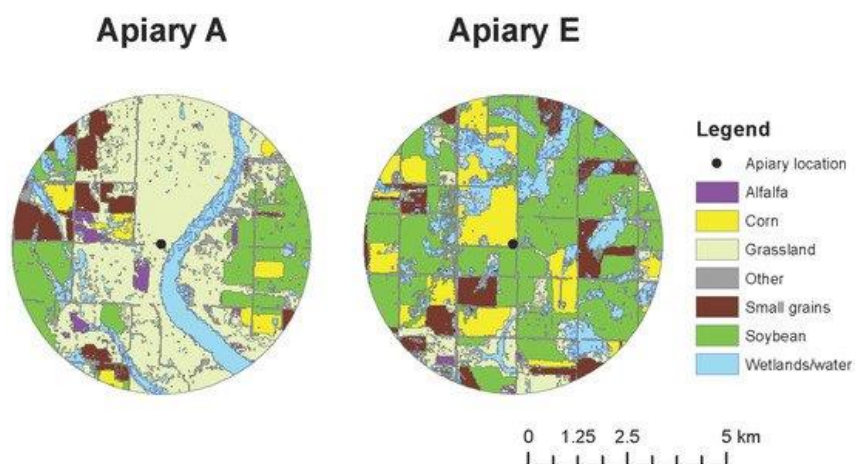


Obr. 6: Vliv teploty a srážek na mortalitu včelstev (zdroj: Switanek a kol. (2017))

Kuchling a kol. (2018) pracovali s daty z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev v Rakousku a hledali jejich vztah k využití území. Autoři zjistili, že včelstva v regionech s převahou polopřírodních oblastí, jehličnatými lesy a pastvinami měly výrazně menší pravděpodobnost zimních ztrát než regiony s převahou nepřirodních povrchů, listnatých a jehličnatých lesů. Belgická studie (Van Esch a kol., 2019) hledala vztah mezi úspěšností zimování včelstev a celkem 26 faktory. Výsledky ukázaly, že napadení kleštíkem včelím, počet mrazových dní, potenciální letové hodiny, konektivita krajiny a použití insekticidů, fungicidů a herbicidů jsou hlavními důvody zvýšených zimních ztrát včelstev v regionu Valonska.

Studie z Lucemburska (Clermont a kol., 2015) vyjmenovává třídy využití území nejčastěji spojené s vysokými zimními ztrátami včelstev, mezi ty třídy patří umělé vodní plochy, průmyslové a urbánní plochy, kempy, hřiště, pole s olejninami kromě řepky olejky, například slunečnice nebo len, některé obilniny, holiny nebo polomy. Naopak s nízkými zimními ztrátami včelstev autoři spojují kukuřici, smíšený les a smíšený jehličnatý les. Smart a kol. (2016) poskytují podobný výčet využití území s pozitivním vlivem na úspěšnost přezimování včelstev a výnosy medu – pastviny, úhor, kvetoucí dřeviny a louky. Awad a kol. (2019) využívali panchromatické snímky SPOT 5 pro identifikaci výskytu akácií v Saudské Arábii a následně navrhli optimální plán včelaření a předpověděli potenciální výnosy medu.

Smart a kol. (2018) porovnávali dvě včelařské lokality v Severní Dakotě v USA. Včelstva umístěná v oblasti s nižší intenzitou zemědělství a zejména travními porosty ve svém okolí sbírala pyl s vyšším obsahem proteinu, více přibrala na váze v průběhu léta a byla méně vystavena pesticidům než včelstva umístěná v zemědělsky intenzivně využívané oblasti s monokulturami kukuřice, sóji a obilovin. Autoři také upozorňují, že všechny tyto faktory mají vliv na zdraví včelstva a nepříznivé podmínky v lokalitě s intenzivním zemědělstvím zvyšují riziko zimních ztrát včelstev.



Obr. 7: Využití území v okolí pozorovaných včelstev (zdroj: Smart a kol., 2018)

V rešerši bylo popsáno množství dřívějších prací, které se na problematiku včelaření zaměřovaly z různých úhlů pohledu. Byla studována široká škála faktorů a jejich vliv na vhodnost krajiny pro včelaření. Tyto poznatky byly podkladem během vlastního řešení práce při volbě dat i klasifikaci faktorů.



## 4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

### 4.1 Výběr a předzpracování dat

Prvním krokem při vlastním zpracování práce byl výběr vhodných tematických vrstev. Při výběru bylo přihlíženo k rešerši – tematickým vrstvám použitým v dřívějších podobných pracích, výběr byl konzultován s vedoucím práce a v neposlední řadě byla omezením dostupnost odpovídajících datových sad. Cílem výběru jednotlivých vrstev bylo co nejlépe zachytit všechny faktory, které mohou mít vliv na vhodnost krajiny pro včelaření. Při výběru datových sad bylo podmínkou dostatečné prostorové rozlišení dat vzhledem k cílovému měřítku modelu 1 : 10 000. Důležitým faktorem byla také aktuálnost dat. Referenčním rokem, ke kterému byl model zpracován je rok 2020.

#### 4.1.1 Využití území

První datovou vrstvou, kterou bylo rozhodnuto v modelu použít byla vrstva využití území. S touto vrstvou pracovaly všechny práce zmíněné v rešerši a bezesporu ji patří v modelu nejvyšší důležitost. Jedním z možných řešení byla vrstva Esri Land Cover, vzniklá klasifikací satelitních snímků Sentinel-2. Výhodou této vrstvy je aktuálnost (dostupná za roky 2017-2021) a vysoké rozlišení 10 m/pixel. Slabší stránkou Esri Land Cover je klasifikace pouze do 11 tříd. Podobnou vrstvou je Land Cover Map of Europe, taktéž vrstva vzniklá klasifikací snímků Sentinel-2. Vrstva Land Cover Map of Europe tedy disponuje stejně detailním rozlišení 10 m/pixel. Nevýhodou vrstvy je, že data jsou mírně starší, podkladem jsou snímky z roku 2017. Výhodou Land Cover Map of Europe oproti Esri Land Cover naopak je detailnější rozdělení tříd využití území. Land Cover Map of Europe je klasifikována do 14 tříd, výrazným benefitem je zejména rozdělení lesů na listnaté a jehličnaté. To bylo pro tuto práci považováno za důležitější než mírná neaktuálnost dat, která byla kompenzována daty LPIS a Kůrovcovou mapou. Data Land Cover Map of Europe byla stažena z webu (<https://s2glc.cbk.waw.pl/extension>) ve formátu GeoTiff (8 GB).

Pro zvýšení přesnosti a aktualizaci vrstvy využití území byla použita data z Registru půdy – LPIS. Polygony zanesené v registru LPIS pokrývají 45,16 % území ČR. Cílem bylo v těchto místech, v oblastech se zemědělskou půdou, kde jsou k dispozici atributově přesnější a aktuálnější data, tyto data využít a aktualizovat jimi vrstvu využití území. LPIS obsahuje celkem 11 tříd využití zemědělské půdy. Kompletní datová vrstva LPIS byla stažena z oficiálních stránek Ministerstva zemědělství (<https://eagri.cz/public/web/mze/farmer/LPIS/uzivatelske-prirucky/prirucky-pro-verejny-lpis/export-dat-lpis.html>).

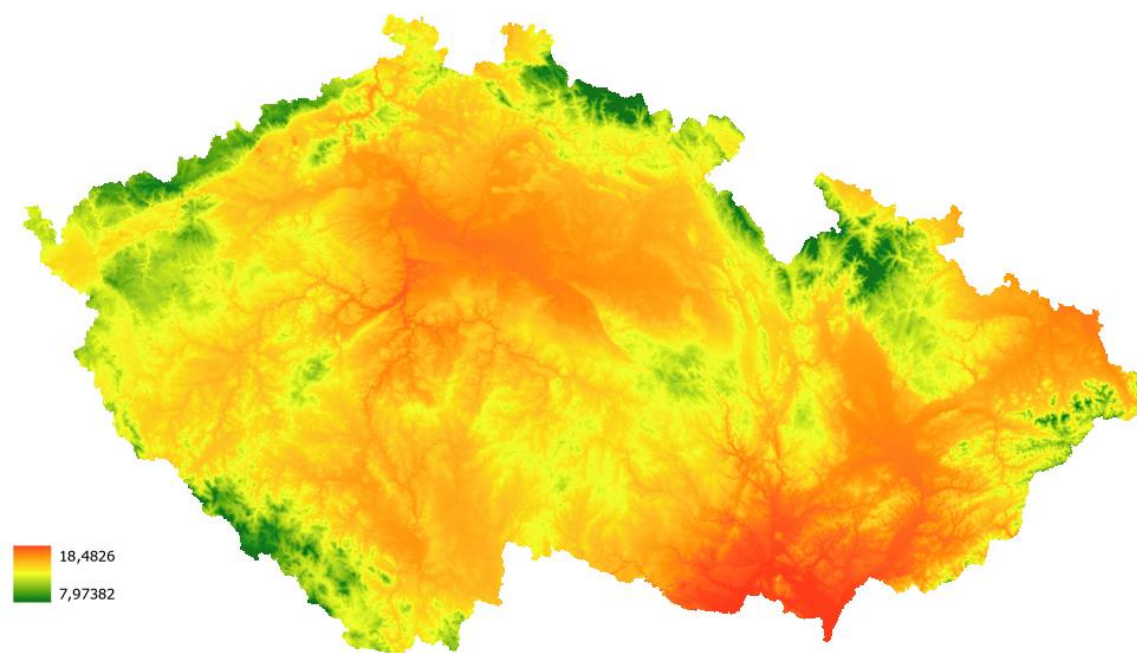
Pro další zpřesnění vrstvy využití území byla využita data z Kůrovcové mapy. Tyto data pokrývají opět pouze část ČR, a to pouze oblasti smrkových lesů. Tato vrstva se proto vhodně doplňuje s vrstvou LPIS. Kůrovcová mapa vznikla klasifikací družicových snímků, autorem je Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. Výstupem klasifikace jsou data identifikující ve smrkových porostech sušiny, tedy suché lesy po napadení kůrovcem, a holiny – části lesa napadené kůrovcem, které již byly vykáceny.

#### 4.1.2 Klimatické poměry

Pro modelování klimatických poměrů byly zvoleny dva ukazatele – průměrná teplota a srážkový úhrn. Oba ukazatele byly sledovány pouze v části roku, ve které jsou včely aktivní. Za toto období bylo považováno rozmezí od května do září. Vývoj počasí mimo

toto období má na včelstva menší vliv. Jako vhodný časový rámeček bylo zvoleno období 1990 – 2020. Možným řešením byla datová sada WorldClim. Její výhodou je dostupnost a snadné zpracování. Data WorldClim bohužel nabízí klimatické ukazatele (klimatický normál) pouze za období 1970 – 2000. Vzhledem k relativně výrazným klimatickým změnám v posledních letech bylo toto období vyhodnoceno pro účely této práce jako nevhodné. Jako alternativa byla pro účely této práce zvolena datová sada ClimateEU. Tato sada nabízí širokou škálu klimatických ukazatelů a to v časovém rozsahu od roku 1901 po 2020 a také několik predikcí budoucího vývoje klimatu. Klimatické ukazatele jsou dostupné jak za jednotlivé roky, desetiletí a také 30leté periody. Data lze získat pomocí software, který je společně s daty dostupný na webu (<https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data/climateeu.html>). Jeho použití je komplikovanější než pouhé stažení rastru jako v případě WorldClim, ale software nabízí velkou variabilitu dotazování do rozsáhlé datové sady, kterou ClimateEU poskytuje.

Software ClimateEU lze použít jak pro zjištění klimatických ukazatelů pro jednu lokalitu, tak i pro více lokalit zároveň. Pro vygenerování klimatických hodnot pro větší počet bodů je nutné do softwaru vložit tabulku přesně ve specifickém formátu. Pro vytvoření této tabulky byla nejdříve v programu ArcGIS Pro vygenerována pravidelná síť bodů se vzdáleností 1 km mezi body. Pro body byly v atributové tabulce zapsány souřadnice a na základě DMR5G byla ke každému bodu doplněna nadmořská výška. Takto připravená tabulka byla z programu ArcGIS Pro vyexportována ve formátu csv. Poté byla tabulka v programu Microsoft Excel upravena do následující podoby: sloupce *ID1* a *ID2* obsahující libovolný text, sloupce *lat* a *long* obsahující souřadnice s desetinou tečkou a sloupec *elev* s nadmořskou výškou. Jedině takto připravenou tabulku poté software ClimateEU bez problémů zpracuje. Byly vygenerovány měsíční hodnoty ukazatelů za období 1991 – 2020, ze kterých byly následně vypočítány průměrné hodnoty za sledovanou část roku květen – září. Z výsledné tabulky byla následně v programu ArcGIS Pro opět vytvořena bodová vrstva, ze které byly interpolovány hodnoty teploty a srážek pro celé území České republiky. Pro interpolaci byla zvolena metoda Spline s výchozími parametry – typ regularizovaný, váha 0,1 a počet bodů 12.



Obr. 8: Náhled vrstvy průměrné teploty od května do září z databáze ClimateEU

V rámci klimatických poměrů bylo zvažováno také využití vrstev průměrného větru a solární radiace, avšak od tohoto záměru bylo upuštěno. Vítr nebyl použit, protože byl vyhodnocen jako pro včelaření méně relevantní a výrazně lokálně ovlivněn vegetací, což není možné v datech kvalitně podchytit. Solární radiace jistě má vliv na vegetaci a tudíž i úživnost krajiny pro včelaření, ale většina prostorové variability solární radiace již je obsažena ve vrstvě teploty, popř. i srážek, které společně dobře vystihují charakter klimatu.

### 4.1.3 Topografie

Dalším důležitým faktorem, který se podílí na vhodnosti krajiny pro včelaření je nadmořská výška a vlastnosti terénu jako orientace a sklon svahu. Digitálních modelů reliéfu existuje celá řada (SRTM, GTOPO30, ASTER GDEM), pro území České republiky je však zdaleka nejpřesnějším Digitální model reliéfu 5. generace, který je poskytován Zeměměřickým úřadem. Z tohoto modelu byla přímo použity hodnoty nadmořské výšky a na jeho základě byly vypočítány vrstvy sklonu a orientace svahu.

### 4.1.4 Silnice

Blízkost komunikací je dalším faktorem, který se podílí na vhodnosti krajiny pro včelaření. Jak je výše popsáno v teoretické části práce, autoři dřívějších výzkumů ke komunikacím přistupovali různě. Někteří jejich blízkost považovali za pozitivní charakteristiku lokality a někteří naopak za negativní. Oba přístupy mají své opodstatnění a proto byly v této práci oba pohledy zkombinovány.

Jako jeden datový zdroj byla zvolena databáze OpenStreetMap. OpenStreetMap (OSM) je celosvětově největší crowdsourcingový mapovací projekt. Také díky přispívání nadšenců z řad veřejnosti obsahuje OSM velmi detailní silniční síť. Silniční síť OSM byla v této práci využita pro modelování pozitivního vlivu silnic pro včelaření. Silnice jsou pro včelaře důležité pro dopravu k včelstvům, pro jejich údržbu, popř. pro přesun včelstev. Z vrstvy byly odstraněny dálnice a silnice 1. třídy (třídy motorway, primary, trunk a odpovídající links) a také komunikace pouze pro pěší (path, footway, bridleway). Předpokladem bylo, že velké komunikace nejsou typicky využívány pro přístup k včelstvům a stejně tak komunikace pouze pro pěší nejsou vhodné, protože včelaři se nejčastěji potřebují k včelstvům dostat automobilem. Nad takto upravenou vrstvou silnic byl poté v programu ArcGIS Pro proveden nástroj *Distance Accumulation*, který pro každý pixel spočítá nejkratší vzdálenost ke kterékoliv silnici.

Jako druhá vrstva související se silnicemi byly použity zóny vlivu komunikací. Tyto data vhodně vystihují vliv třídy komunikace a intenzity dopravy. U rušných dálnic vychází šířka zóny vlivu okolo 300 m, zatímco u menších komunikací je šířka jen několik desítek metrů nebo ještě méně. Data obsahují také železnice, u kterých je však zóna vlivu velmi malá. Polygonová vrstva zón vlivu byla převedena na rastr a následně nástrojem *Mosaic to New Raster* doplněna do vrstvy využití území.

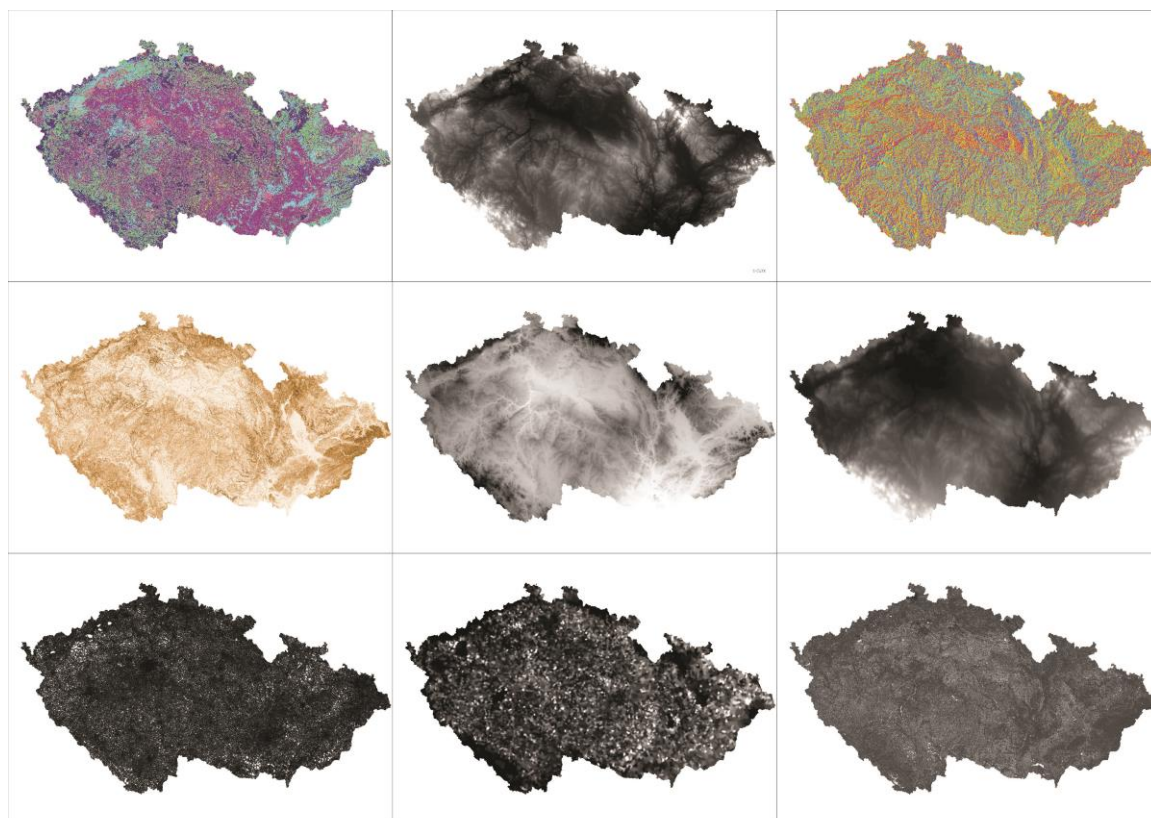
### 4.1.5 Index TWI

Topographic Wetness Index popisuje tendenci lokality akumulovat vodu. Tři ze čtyř studií studovaných v rešerši posuzují dostatek vody pro včelstvo jako vzdálenost k nejbližšímu vodnímu toku, popř. vodní ploše. Využití TWI oproti vzdálenosti k říční síti vychází z předpokladu, že včely pro pokrytí svých potřeb vody nepotřebují přímo řeku nebo vodní plochu, ale využijí vodu i jinde v krajině. Schopnost krajiny akumulovat vodu popisuje právě index TWI, který tak může být, co se týče potřeby včel

sbírat vodu, relevantnějším datovým zdrojem než říční síť. Tento předpoklad byl jedním z předmětů dotazníkového šetření mezi včelaři.

#### 4.1.6 Hustota zavčelení

Hustota zavčelení může korelovat s dobrými podmínkami pro včelaření, ale častěji může být způsobena spíše vyšší hustotou obyvatel v dané oblasti (von Büren a kol., 2019). Hustota zavčelení je rizikovým faktorem, protože velký počet včelstev na malém území si může mezi sebou předávat choroby a také hrozí, že dané území nebude mít dostatečnou úživnost. Použitá data pochází z každoročního monitoringu úspěšnosti zimování včelstev zaštitěného asociací COLOSS a byla poskytnuta Ministerstvem zemědělství ČR. Pro použití v modelu byl vypočítán průměr za roky 2019 a 2020. Data jsou vztažena ke katastrálním územím a podrobnější data bohužel nejsou k dispozici. Z pohledu pohybu včel je katastrální hranice irelevantní a včely se pohybují nezávisle na hranici. Proto aby data lépe reprezentovala realitu, byly hranice katastrálních území po převedení na rastr shlazený nástrojem *Focal Statistics*. Při velikosti pixelu 20 m a okruhu okolí 50 pixelů byly takto shlazený hodnoty do 1000 m od hranice katastrálních území.



Obr. 9: Náhled vrstev po předzpracování (zleva – využití území, nadmořská výška, orientace svahu, sklon svahu, teplota, srážky, vzdálenost silnic, hustota zavčelení, index TWI)

## 4.2 Dotazníkové šetření

Po výběru dat následovalo dotazníkové šetření mezi zkušenými včelaři, jehož cílem bylo ověřit správnost výběru, přiřadit jednotlivým vrstvám jejich důležitost (váhy) a zjistit jaké hodnoty těchto tematických vrstev včelaři považují za optimální. Dotazník byl sestavován s přímým ohledem na dostupné datové sady, tak aby jeho výsledky mohly být snadno použity při následném zpracování dat a kalibraci modelu. Dotazník byl rozdělen celkem do 5 sekcí.

### 4.2.1 Obsah dotazníku

První sekce stručně představuje cíle této práce, nastiňuje účel dotazníku a obsahuje otázky na rozsah zkušeností včelaře. Otázky byly *Jak dlouho se věnujete včelaření?* a *Kolik chováte včelstev?* Odpovědi na tyto otázky byly v následném vyhodnocení použity jako váha ostatních odpovědí daného včelaře. Odpovědi začínajícího včelaře například s jedním nebo dvěma roky zkušeností a jedním včelstvem tak měly při vyhodnocení menší váhu než odpovědi zkušeného včelaře, který se tomuto řemeslu věnuje desítky let a včelstev má mnohem více.

#### Vliv georeliéfu

Druhá sekce dotazníku se zaměřila na vliv georeliéfu. Tato sekce obsahovala otázky týkající se nadmořské výšky, orientace svahu a sklonu svahu. U každého posuzovaného faktoru, ve všech sekcích, byla nejdříve položena otázka na důležitost daného faktoru – *Jak velký vliv má ... ?* U otázky důležitosti faktoru byla vždy použita stejná stupnice od 1 do 5 s popisem 1 – nemá vliv a 5 – velký vliv. Následně byly kladeny další upřesňující otázky k danému faktoru. V případě nadmořské výšky to byly otázky na horní a dolní hranici vhodné nadmořské výšky pro včelaření v ČR. U orientace svahu včelaři v dotazníku stanovovali vhodnost jednotlivých aspektů (severní, severo-východní, východní, atd.). Vhodnost byla posuzována na pětistupňové stupnici (zcela nevhodná, nevhodná, neutrální, vhodná, velmi vhodná).

Pokud má vliv, ohodnoťte prosím jednotlivé orientace podle vhodnosti.

	zcela nevhodná	nevhodná	neutrální	vhodná	velmi vhodná
severní	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
severo- východní	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
východní	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Obr. 10: Náhled dotazníku (ostatní orientace oříznuty)

#### Vliv klimatu

Třetí sekce dotazníku byla zaměřena na vliv klimatu. Otázky v této sekci se týkaly vlivu průměrné teploty a průměrného srážkového úhrnu. U obou faktorů byla v dotazníku nejdříve otázka na jejich vliv na včelaření a poté na optimální hodnoty těchto ukazatelů za období od května do září. Pro usnadnění odhadu těchto hodnot byly vždy uvedeny také průměrné hodnoty za ČR.

### **Vliv využití území**

Čtvrtá sekce dotazníku byla nejrozsáhlejší a zaměřovala se na vliv využití území na úživnost krajiny pro včelaření. První otázka byla *Do jaké vzdálenosti od včelnice má smysl uvažovat o výpočtu úživnosti krajiny?* Odpovědi na tuto otázku byly později využity při zpracování dat, při volbě okolí pro které byla úživnost území průměrována. Klíčová otázka v této sekci se zabývala stanovením hodnot vhodnosti pro jednotlivé třídy využití území. Tříd využití území bylo celkem 18 a vycházely z výše popsané kombinace vrstev Land Cover Map of Europe, LPIS a Kúrovcové mapy. Stupnice hodnocení tříd byla stejná jako u orientace svahu – 5 stupňů od velmi nevhodná po velmi vhodná. Další otázky se týkaly hloubky lesa, do které včely zalétávají, zdrojů vody pro včely a vlivu hustoty zavčelení.

### **Umístění včelnice**

Poslední sekce dotazníku se soustředila na faktory ovlivňující umístění včelnice. Mezi tyto faktory patří sklon a orientace svahu, které se objevují v dotazníku podruhé, protože jejich vliv je jak v okolí včelnice (v doletu včel), tak na samotné umístění včelnice. Další otázka zjišťovala za jak důležitou považují včelaři blízkost silnice nebo polní cesty. Poslední otázkou dotazníku byla matice jednotlivých vrstev a jejich vah. Včelaři byli požádáni, aby ohodnotili význam všech devíti vrstev v procentech tak, aby součet byl 100 %. Na konci dotazníku měli včelaři možnost připojit komentář nebo uvést faktor, který má na vhodnost krajiny pro včelaření vliv, ale v dotazníku nebyl zmíněn.

## **4.2.2 Výsledky dotazníkového šetření**

Dotazníkového šetření se zúčastnilo 6 respondentů – včelařů. Z časových důvodů nebyl dotazník rozšířen mezi širokou včelařskou komunitu, ale s pomocí konzultanta Mgr. Jiřího Danihlíka, Ph.D. byl předán užší skupině velmi zkušených včelařů. V průměru mají 23 let zkušeností a celkem chovají 167 včelstev. Na základě těchto údajů lze výsledky považovat za relevantní.

Zkušenost včelařů byla během vyhodnocení dotazníku zohledněna tak, aby odpovědi včelařů s více lety zkušeností a větším počtem včelstev měly větší váhu. Počet let, po které se věnují respondenté včelaření a počet jejich včelstev byly sečteny a jejich odpovědi byly touto hodnotou vynásobeny. Poté byl z odpovědí vypočten aritmetický průměr a ten byl vydělen průměrnou hodnotou zkušeností včelařů. Takto byl vážený výsledek přepočítán zpět na původní stupnici. Celkově toto vážení odpovědí výsledné hodnoty příliš neovlivnilo, ale v několika případech tento posun o maximálně několik desetin stačil po zaokrouhlení na celá čísla na změnu výsledné hodnoty.

### **Vliv reliéfu**

Nadmořská výška a orientace svahů mají podle respondentů střední vliv na úživnost krajiny – 2,7 a 2,9 na pětistupňové škále. Sklon má podle respondentů malý vliv – 1,4. Horní hranici vhodné nadmořské výšky pro včelaření uvedli pouze tři včelaři, dva uvedli 700 m n.m. a jeden 500 m n.m. Respondenti se shodli, že žádná spodní hranice vhodné nadmořské výšky neexistuje. Hodnocení jednotlivých orientací svahu bylo ze slovní stupnice (zcela nevhodná – velmi vhodná) převedeno na číselnou. U této otázky odpověděli čtyři včelaři, z toho jeden označil vhodnost všech orientací jako neutrální. Tyto odpovědi byly z průměru vyřazeny. Mezi respondenty v této otázce panovala shoda. Jako velmi vhodné označili včelaři jižní, jihovýchodní a jihozápadní orientace, jako vhodné východní a západní a zbylé orientace svahu jako neutrální nebo nevhodné.

### **Vliv mikroklimatu**

Průměrnou teplotu a průměrný srážkový úhrn považují včelaři za důležité pro vhodnost pro včelaření. Srážky s váženou hodnotou vlivu 4,2 považují za lehce důležitější než teplotu (3,8). Na otázky ohledně optimální teploty a optimálních srážek od května do září odpověděli konkrétními hodnotami tři včelaři, dva odpověděli, že neví nebo že je to v tomto časovém období těžké odhadnout.

### **Vliv využití území**

Využití území, zdroj vody a hustotu zavčelení považují respondenti za důležité až velmi důležité pro včelaření. Vážené hodnoty byly 4,3 pro využití území a 4,5 pro zdroj vody a hustotu zavčelení. Vzdálenost, do které má smysl uvažovat o výpočtu úživnosti krajiny uvedla polovina včelařů 3 km a polovina 5 km. V otázce vhodnosti jednotlivých tříd využití území jako nejhodnější vyšly třídy ovocný sad, úhor a louky a pastviny. Nejméně vhodné pak podle včelařů jsou třídy suchý les napadený kůrovcem, vinice a chmelnice. Včely mohou podle včelařů zalétávat až 1,6 km hluboko do lesa, což vyvrací předpoklad, že by včely příliš hluboko do lesa nelétaly. Většina včelařů odpověděla, že jako zdroj vody pro včelstvo postačuje nekoncentrovaná vlhkost v krajině. Jako vysokou hustotu zavčelení označili tři včelaři více než 10 včelstev na km<sup>2</sup> a dva včelaři více než 15 včelstev na km<sup>2</sup>.

### **Umístění včelnice a váhy**

Orientaci, ani sklon svahu nepovažují včelaři za velmi důležitou pro umístění včelnice, naopak blízkost silnice označili za velmi důležitou všichni včelaři. Na otázku na blízko by silnice měla být se odpovědi různily od 0 m po 200 m, s průměrem 37 m. V poslední otázce měli respondenti rozdělit váhu 100 % mezi 9 faktorů. 5 ze 6 včelařů si s úkolem poradilo a součet vyšel 100 %, jeden respondent rozdělil celkem 520 %, tyto odpovědi musely být proto přepočteny tak, aby byly zachovány poměry faktorů a součet byl 100 %. Největší váhu přidělili včelaři hustotě zavčelení (21 %), 16 % dostaly srážky a zdroj vody, 13 % blízkost silnice, 10 % průměrná teplota, 8 % využití území a nadmořská výška, 6 % orientace svahu a 2 % sklon svahu.

## 4.3 Zpracování dat

Dalším krokem práce byla klasifikace hodnot jednotlivých vrstev podle vhodnosti pro včelaření a přiřazení důležitosti (váhy) všem faktorům. Tato fáze práce byla započata dříve, než bylo shromážděno dostatek odpovědí od včelařů.

### 4.3.1 První verze modelu

Prvotní klasifikace a stanovení vah byly proto provedeny na základě odhadu autora práce, s oporou v rešerši a konzultovány s vedoucím práce. Cílem nebylo použít tuto klasifikaci a váhy ve finálních výstupech práce, ale s jejich pomocí otestovat celý postup zpracování dat, vytvořit první verzi modelu a první verzi výsledných vrstev. Zajímavé bylo také později porovnat odhad autora s názorem zkušených včelařů.

Tab. 2: Návrh klasifikace dle autora práce (5 nejvhodnější, 1 nejméně vhodné)

<b>Faktory   vhodnost</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Využití území	vinice, listnatý les, louky a pastviny, chmelnice, ovocný sad, trvalý travní porost	zemědělská půda, jehličnatý les, rychle rostoucí dřeviny, standardní orná půda, travní porost na orné půdě, zalesněná půda, holina po kůrovci	mraky, vřesoviště, úhor, souše		zástavba a silnice, močály, rašeliniště, pláže, duny, skály, vodní plochy, rybník, silnice (zóna vlivu)
Nadmořská výška	<400	400-600	600-800		>800
Orientace svahu	JV, J, JZ		V, Z, rovina	SZ, SV	S
Sklon svahu (%)	<5	5-10	10-25		>25
Teplota	>16,5	15,5-16,5	14-15,5	13-14	<13
Srážky	320-360	360-430	<320	430-500	>500
Vzdálenost silnic	<100	100-300	300-500	500-1000	>1000
Hustota zavčelení	<5	5-10	10-20	20-35	>35
Index TWI	>= 3	1-2	0	-1	<= -2

Na základě návrhu klasifikace byly všechny vrstvy reklasifikovány na rastr s hodnotami 1 až 5. Při reklasifikaci byl pro všechny vrstvy zvolen stejný souřadnicový systém (ETRS 1989 podle vrstvy využití území), stejná velikost pixelu 10 m a všechny rastry byly zarovnané volbou *Snap Raster* k vrstvě využití území. Výjimkou byly rastry vzdálenosti



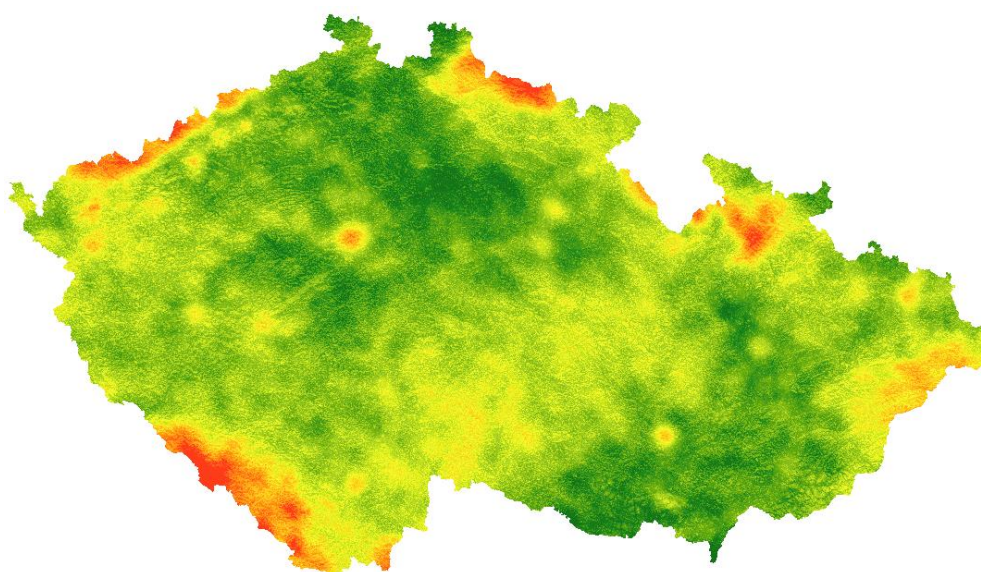
od silnic a hustoty zavčelení, které z důvodu velké výpočetní náročnosti při velikosti pixelu 10 m byly vytvořeny s velikostí pixelu 20 m.

Následně byly rastry pronásobeny jejich váhou a sečteny. V tomto kroku byly sečteny vrstvy využití území, orientace svahu, teploty, srážek, hustoty zavčelení a index TWI. Tyto vrstvy mají vliv na vhodnost území nejen přímo v daném bodě potenciálního stanoviště, ale v celém okruhu, ve kterém včely mohou létat. Tento součet vrstev byl následně nazván jako úživnost krajiny. Byly vytvořeny 2 varianty modelu s mírně odlišnými váhami.

Tab. 3: Návrh vah vrstev dle autora práce

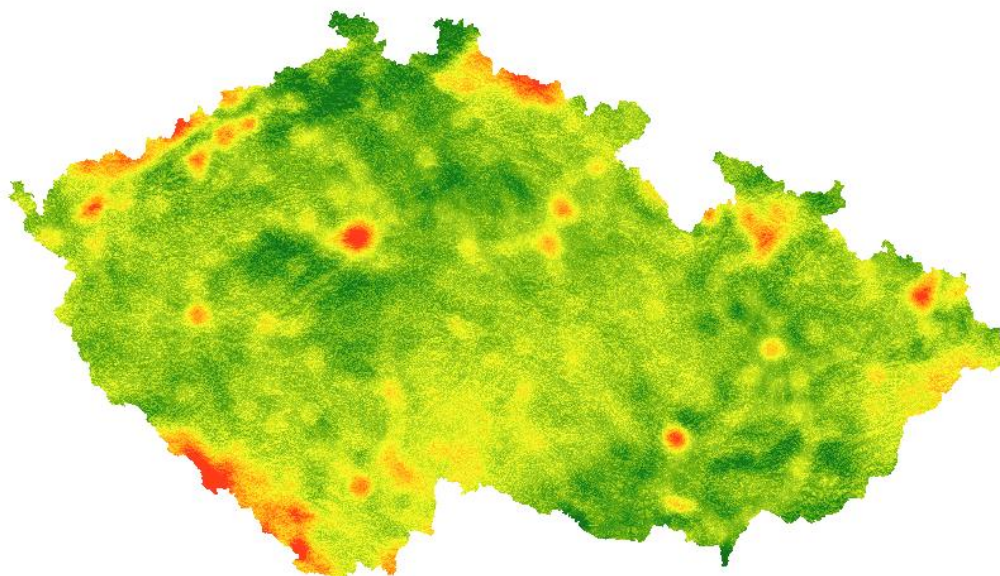
<b>Faktory   váhy (%)</b>	<b>Varianta A</b>	<b>Varianta B</b>
Využití území	40	60
Nadmořská výška	10	5
Orientace svahu	5 + 5	5
Sklon svahu	5	5
Teplota	10	5
Srážky	5	5
Vzdálenost silnic	5	5
Hustota zavčelení	10	5
Index TWI	5	5

Dalším krokem bylo vypočítání průměrné úživnosti v okruhu doletu včel, pro účel první verze modelu byla tato vzdálenost stanovena na 5 km. Tento výpočet byl proveden nástrojem *Focal Statistics*. Tento krok byl při velikosti pixelu 10 m výpočetně náročný a trval více než 2 hodiny. Posledním krokem výpočtu bylo pronásobení a přičtení zbylých vrstev – sklonu svahu a vzdálenosti od silnic. Tyto vrstvy nejsou důležité v okruhu doletu včel, ale jsou relevantní právě pro daný bod, pro umístění včelnice. Ve variantě vah A byla orientace svahu přičtena jak v prvním, tak i v druhém kroku, ve variantě B pouze v druhém kroku.



Obr. 11: Datový náhled výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření (varianta A)

Jak je zřejmé z náhledů výsledných vrstev, varianta B, která dává větší váhu vrstvě využití území, znevýhodňuje velká města, zatímco výše položené horské oblasti zde mají vyšší vhodnost než ve variantě A. Nížiny Polabí a jižní Moravy vycházejí z obou variant jako velmi vhodné, ve variantě A však ještě výrazně vhodnější.



Obr. 12: Datový náhled výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření (varianta B)

#### 4.3.2 Druhá verze modelu

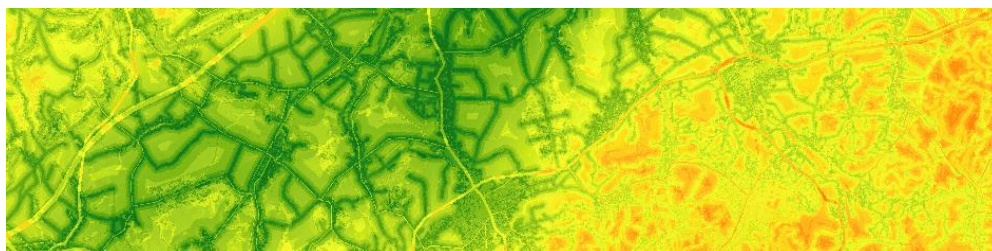
V druhé verzi modelu byla klasifikace hodnot faktorů a váhy faktorů kalibrovány výsledky dotazníkového šetření. V některých bodech klasifikace se odhad autora shodoval s názorem včelařů, zatímco u jiných se někdy i výrazně lišil. V klasifikaci faktorů, zejména například tříd využití území, byl až na výjimky následován názor včelařů a klasifikace mu přesně odpovídala. U vah jednotlivých faktorů bylo k výsledkům dotazníku také přihlíženo, ale byly zohledněny i poznatky z rešerše a váhy byly laděny a konzultovány s vedoucím práce.

##### Klasifikace faktorů

V hodnocení využití území bylo po zohlednění výsledků dotazníkového šetření provedeno několik změn. Hodnota vhodnosti výrazně klesla vinicím, chmelnicím a také listnatému lesu. Vyšší hodnotu než autor práce přiřadili včelaři zástavbě, močálům, rašeliništím a vodním plochám. U vodních ploch a vodních toků byla zohledněna jejich velikost. Protože včely mohou mít potíže při letu nad rozsáhlými vodními plochami a protože velká vodní plocha sama o sobě neposkytuje včelám žádnou úživnost, byla vodním plochám od 100 metrů od břehu snížena hodnota vhodnosti na 1. Pomocí reklasifikace byly vybrány všechny třídy využití území kromě vodních ploch a toků a následně byla nástrojem *Distance Accumulation* vypočítána vzdálenost od břehu. Stejný postup byl použit pro identifikaci rozlehlých lesů. Z dotazníkového šetření však vyplynulo, že podle respondentů včely zalétávají až 1,6 km hluboko do lesa a takto hluboké lesy ve formě neporušených ploch nebyly identifikovány.

Klasifikace nadmořské výšky zůstala téměř zachována, jedinou změnou je posunutí horní hranice vhodné nadmořské výšky z 800 m n.m. na 700 m n.m. V orientaci svahu se původní klasifikace také téměř shodovala s názory včelařů, nejvhodnější orientace zůstaly stejné, pouze ostatním se zvedla hodnota o 1. U sklonu svahu, teploty a srážek došlo jen k drobným změnám. Vzdálenosti od silnic označili včelaři jako velmi důležité a

jako vhodnou vzdálenost uvedli od 0 po 100 metrů. Intervaly vhodnosti podle vzdálenosti silnice byly testovány v několika variantách. Problémem bylo, že při přidělení hodnoty 5 pro oblasti do 50 m od silnice, tyto oblasti ve výsledné mapě vycházely až příliš vhodné. Přítomnost silnice by výslednou hodnotu neměla ovlivnit tak, aby v nevhodném území přítomnost silnice vytvořila území zcela vhodné. Ve finální klasifikaci proto nebyla upravována váha vrstvy, ale nebyly přiděleny hodnoty 4 a 5, čímž byl vhodně omezen vliv silnic.



Obr. 13: Příliš výrazný vliv vzdálenosti od silnic v jedné z pracovních verzí modelu

Hodnoty hustoty zavčelení byly mírně upraveny vzhledem k hustotě zavčelení více než 12 včelstev na km<sup>2</sup>, kterou už včelaři označili jako vysokou. Klasifikace indexu TWI byla zachována.

Tab. 4: Klasifikace faktorů kalibrovaná včelaři

<b>Faktory   vhodnost</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Využití území	louky a pastviny, ovocný sad, úhor	zemědělská půda, jehličnatý les, vřesoviště, standartní orná půda, trvalý travní porost, travní porost na orné půdě, zalesněná půda	mraky, zástavba a silnice, listnatý les, močály, rašeliniště, vodní plochy (do 100 m), rychle rostoucí dřeviny, holina po kůrovci	vinice, chmelnice, souše	pláže, duny, skály, vodní plochy (100 m od břehu), silnice (intenzita)
Nadmořská výška	<400	400-600	600-700		>700
Orientace svahu	JV, J, JZ	V, Z, rovina	SZ	S, SV	
Sklon svahu (%)	<5	5-10		10-25	>25
Teplota	>16,5	15,5-16,5	14-15,5	13-14	<13
Srážky	360-430	320-360, 430-500	<320	>500	
Vzdálenost silnic			<200	200-500	>500
Hustota zavčelení	<5	5-12		12-20	>20
Index TWI	>= 3	1-2	0	-1	<= -2

## Váhy faktorů

Pro kalibraci vah jednotlivých faktorů byly použity dvě části dotazníku. Jednak velikost vlivu, která byla zjišťována u každé otázky a pak tabulka na konci dotazníku. Oba ukazatele byly váženy zkušeností včelaře. U vah některých faktorů se odhad autora a hodnocení včelařů příliš nelišily, ale můžeme konstatovat, že u většiny faktorů byl rozdíl ve vahách relativně velký. Odhad vah tak kontrastuje s klasifikací faktorů, kde byly na základě informací od včelařů provedeny pouze drobnější úpravy.

Největším překvapením dotazníkového šetření byla nízká váha, kterou včelaři přidělili vrstvě využití území. Toto se do výsledné váhy promítlo, ale váha využití území nebyla snížena až na 8 % navrhovaných včelaři. Jak je popsáno v rešerši, i předchozí práce přikládaly vrstvě využití území vysokou váhu okolo 50 % a autor je přesvědčen, že využití území má největší podíl na úživnosti krajiny pro včelaření. Výsledná váha proto byla stanovena na 40 %. U ostatních faktorů byly váhy oproti vahám stanoveným včelaři sníženy úměrně vyšší váze využití území. Cílem bylo zachovat poměr a pořadí vah ostatních faktorů podle výsledků dotazníku.

Váha nadmořské výšky byla stanovena 6 %. Opět se jedná o vrstvu, kterou využívala většina prací zmíněných v rešerši. Nadmořská výška je důležitým faktorem, avšak z důvodu její výrazné korelace s průměrnou teplotou a srážkami není problémem její nižší váha. Váha orientace svahu byla snížena na 3 %, což po zvýšení váhy využití území proporciálně odpovídá výsledkům dotazníku. Sklon svahu má podle včelařů velmi nízký vliv na včelaření. V tabulce na konci dotazníku mu pět ze šesti včelařů dalo 0 %. Výsledná váha sklonu byla proto stanovena pouze na 2 %.

Průměrnou teplotu považují včelaři za důležitou a váha bylo oproti první verzi modelu jen lehce snížena na 8 %. Vyšší váhu, než teplotě přiřadili včelaři průměrným srážkám. S 16 % dostaly srážky společně s indexem TWI dokonce druhou nejvyšší váhu. Pořadí vah stanovené včelaři bylo zachováno a oběma vrstvám byla přiřazena výsledná váha 10 %. U vzdálenosti od silnic byly výsledky dotazníku mírně rozporuplné. Včelaři všichni shodně uvedli, že je pro ně velmi důležitá, avšak váhu už ji nepřidělili nejvyšší. Vzdálenosti od silnic byla přiřazena stejná váha jako průměrné teplotě, tedy 8 %. Hustota zavčelení je faktorem, který od včelařů dostal největší váhu. Zdá se, že včelaři jsou si dobře vědomi rizik, které vysoké zavčelení přináší. Aby bylo pořadí faktorů stanovené včelaři zachováno, byla hustotě zavčelení stanovena nejvyšší váha a to 13 %. Výjimkou s větší vahou je pouze využití území z důvodů popsaných výše.

Tab. 5: Vliv a váhy faktorů stanovené včelaři a výsledné váhy faktorů

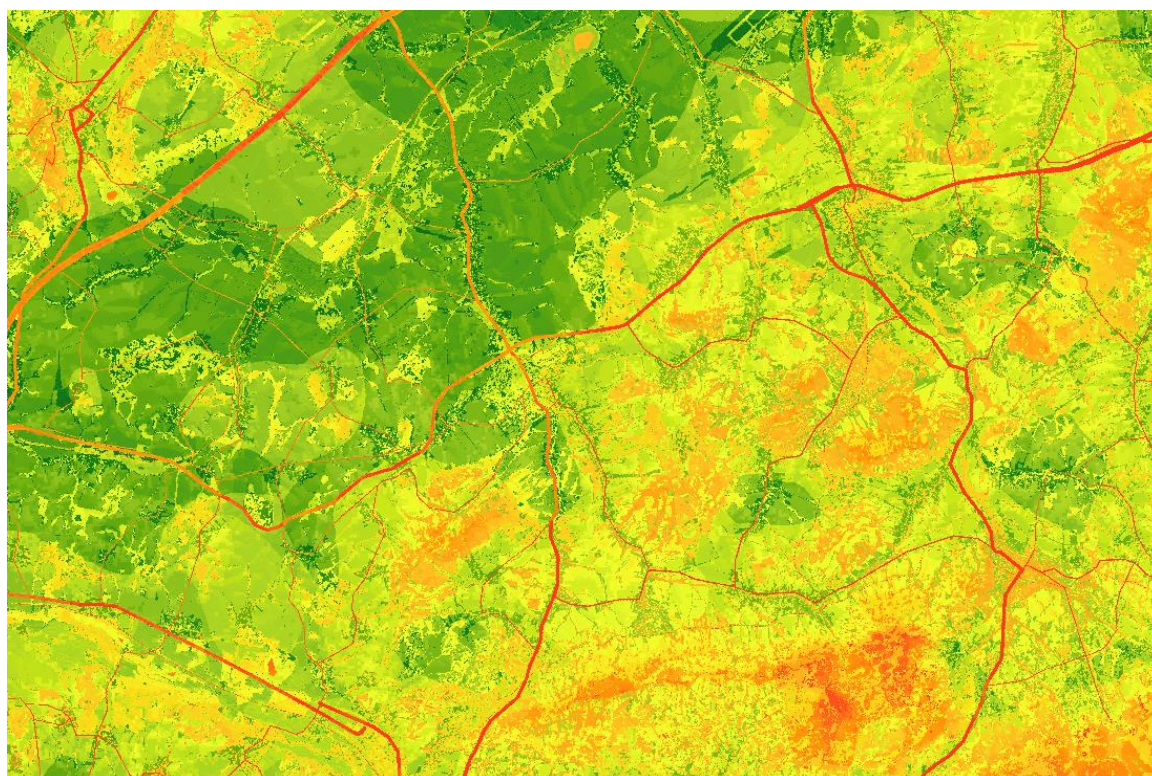
<b>Faktor</b>	<b>Váha dle včelařů (%)</b>	<b>Výsledná váha (%)</b>
Využití území	8	40
Nadmořská výška	7,5	6
Orientace svahu	5,9	3
Sklon svahu	1,5	2
Teplota	9,9	8
Srážky	16,4	10
Vzdálenost silnic	12,8	8
Hustota zavčelení	21,2	13
Index TWI	16,2	10

Oproti první verzi modelu (variantě A) byla po otestování několika nastavení zachována váha využití území. Po zvážení všech faktorů klesly váhy faktorů reliéfu – nadmořské výšky, orientace svahu a sklonu svahu. Na základě podnětů od včelařů byla namísto teploty zvýšena váha srážek. Na úkor reliéfu stouply oproti první verzi modelu váhy vzdálenosti od silnic, hustoty zavčelení a indexu TWI. Hustota zavčelení z těchto tří faktorů zůstala nejvýznamnější.

### **Výpočet úživnosti krajiny**

Jako úživnost krajiny pro včelaření pro účely této práce označujeme vážený součet všech faktorů, které se podílí na tom, že včelstvo bude mít v daném místě dostatek potravy a celkově bude dobře prospívat. Z faktorů použitých v této práci jsou to všechny kromě vzdálenosti od silnic a sklonu svahu, které mají podíl na vhodnosti místa pro umístění včelnice, nikoliv však na úživnosti krajiny. Do úživnosti krajiny je zohledněna také hustota zavčelení a nejedná se tudíž o potenciální úživnost, ale o reálnou úživnost vzhledem také k aktuálnímu zavčelení.

Prvním krokem výpočtu úživnosti byla reklasifikace. Stejně jako u první verze modelu byly všechny vrstvy reklasifikovány na jednotnou stupnici (tabulka 4), s jednotným souřadnicovým systémem, jednotnou velikostí pixelu (10 m, kromě hustoty zavčelení – 20 m) a se společným zarovnáním rastrů. Druhým krokem byl výpočet váženého součtu. Ten byl vypočítán v nástroji *Raster Calculator* na základě tabulky vah faktorů (Tab. 5).



Obr. 14: Detail vrstvy úživnosti krajiny pro včelaření (zobrazen Nový Jičín a okolí)

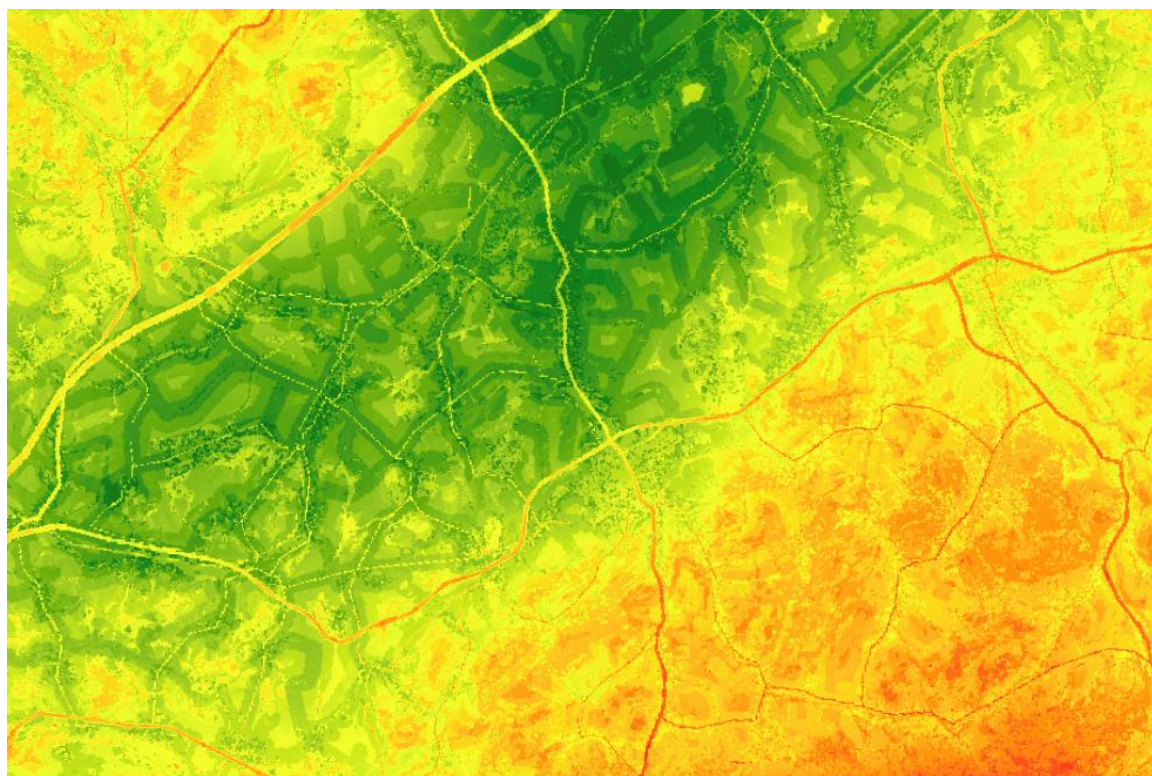
### **Výpočet vhodnosti krajiny pro umístění včelnice**

Pro výpočet vhodnosti krajiny pro umístění včelnice byla hlavním podkladem vrstva úživnosti krajiny, ke které byly připočteny další faktory, které mají vliv na vhodnost lokality pro umístění včelnice. Pro účely tohoto výpočtu byla vrstva úživnosti krajiny vypočtena znovu s jediným drobným rozdílem. Využití území byla přidělena váha jen

30 %, zbylých 10 % bylo připočteno později, tak aby byla zachována celková váha využití území 40 %.

Tato mírně upravená vrstva úživnosti krajiny byla vložena do nástroje *Focal Statistics*, kde byl pro každý pixel vypočten průměr z pixelů v okolí 4 km. Cílem výpočtu průměru bylo modelovat vhodnost území v okolí včelnice relevantnímu k pohybu včel. Vzdálenost 4 km byla stanovena na základě dotazníkového šetření mezi včelaři. Cílem výpočtu je zajistit, aby mělo včelstvo ve svém okolí dostatek pastvy, a naopak co nejnížší podíl nevhodných území buď s nevhodným využitím území, vysokým zavčelením, popř. negativním vlivem některého z ostatních faktorů.

V posledním kroku modelování vhodnosti krajiny pro umístění včelnice byly k zprůměrované vrstvě úživnosti krajiny připočteny zbývající faktory relevantní pouze v bodě potenciálního umístění včelnice. Těmito faktory jsou sklon svahu a vzdálenost od silnic. V tomto kroku bylo přičteno také zbývajících 10 % váhy vrstvy využití území. Cílem rozdělení váhy vrstvy využití území na 30 % a 10 % bylo zachytit, jak vliv využití území v okruhu pohybu včel, tak jeho lokální variabilitu, která má také vliv na vhodnost umístění včelnice.

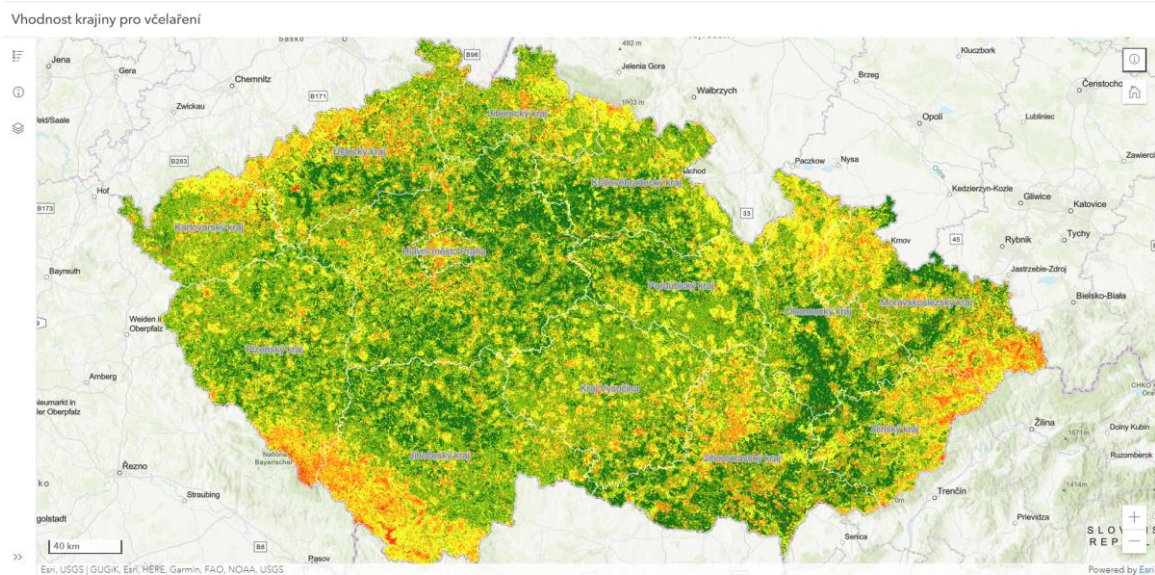


Obr. 15: Náhled detailu výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro umístění včelnice (Nový Jičín a okolí)

#### 4.4 Webová mapová aplikace

Výsledné vrstvy úživnosti krajiny a vhodnosti krajiny pro umístění včelnice byly publikovány na webu v mapové aplikaci. Aby byly publikované vrstvy srozumitelné pro uživatele mapy, byly obě vrstvy klasifikovány do 5 tříd a k třídy popsány v legendě na stupnici velmi nízká až velmi vysoká. Pro snadnější orientaci byly do mapy doplněny popisy a hranice krajů. Popisy jsou v malých měřítcích názvy krajů a při větším přiblížení mapy názvy obcí. Mapová aplikace také stručně vysvětluje vznik výsledných vrstev a popisuje faktory, které se na výpočtech podílely. V aplikaci nechybí také zmínka

o této diplomové práci a odkaz na web práce. Webová mapová aplikace je dostupná na odkaze <https://arcg.is/05jLGi>.



Obr. 16: Prostředí webové mapové aplikace

## 5 VÝSLEDKY

V práci byla modelována vhodnost krajiny pro včelaření. Modelování vhodnosti krajiny bylo rozděleno do dvou na sebe navazujících částí – modelování úživnosti krajiny pro včelaření a modelování vhodnosti krajiny pro umístění včelnice. V práci bylo pro modelování použito celkem 12 datových sad, ze kterých bylo sestavena 9 faktorů s vlivem na včelaření. Nejdůležitějším faktorem byla vrstva využití území, která vznikla sloučením 4 datových zdrojů – Land Cover Map of Europe, Registru půdy LPIS, Kůrovcové mapy a zón vlivu dopravy. Vliv georeliéfu na včelaření byl modelován pomocí 3 vrstev – nadmořské výšky, orientace svahu a sklonu svahu. Dále byl modelován vliv klimatu. Jako vhodné ukazatele byly zvoleny průměrná teplota od května do září a průměrný srážkový úhrn za stejné období. Dalšími použitými vrstvami byla vrstva silnic pro modelování dostupnosti lokality autem, hustota zavčelení pro modelování rizik s ní spojených a index TWI popisující tendenci krajiny zadržovat vodu.

Všechny vrstvy byly klasifikovány na pětistupňové stupnici vhodnosti a jednotlivým faktorům byly přiřazeny váhy podle podílu na celkové vhodnosti. Takto sestavený model byl kalibrován s pomocí včelařů, jejichž názory na klasifikaci jednotlivých vrstev a jejich váhy byly zjišťovány v dotazníkovém šetření. Výsledkem práce jsou vrstvy úživnosti krajiny pro včelaření a vhodnosti krajiny pro umístění včelnice. Obě vrstvy byly publikovány ve webové mapové aplikaci, tak aby byly včelařům snadno dostupné.



Obr. 17: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření

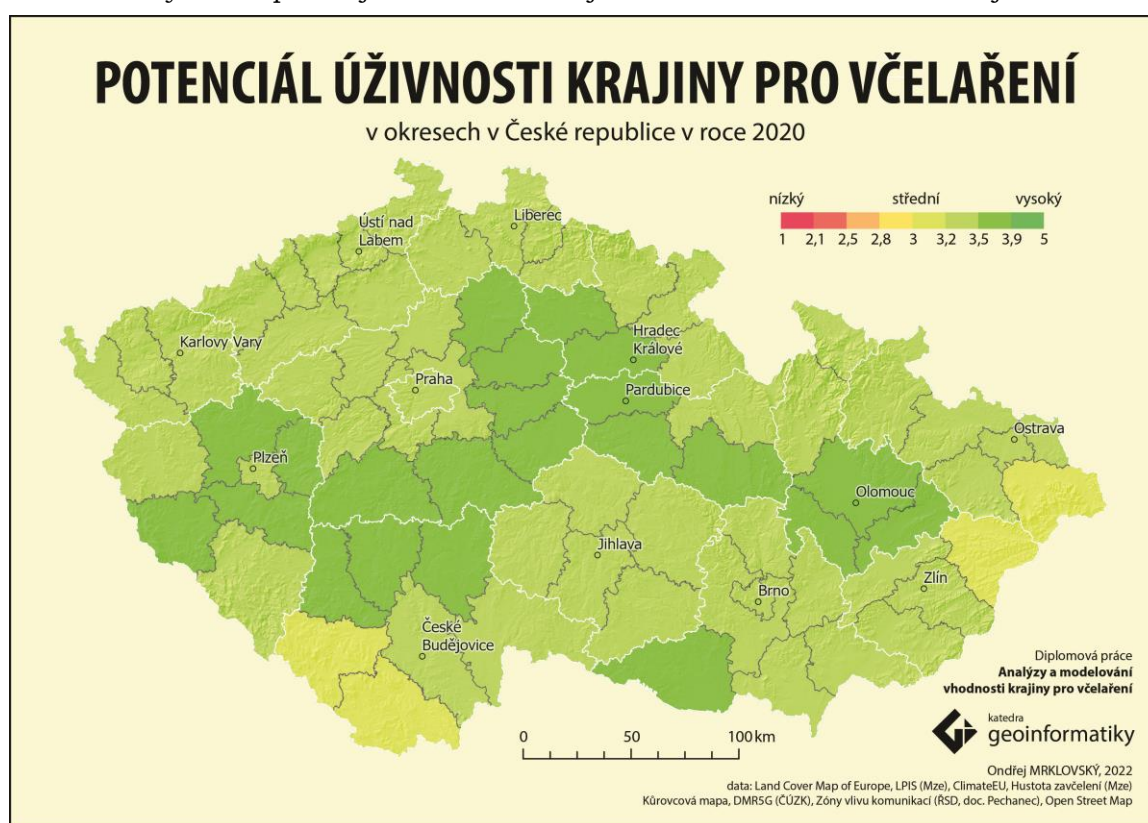
### 5.1 Úživnost krajiny

Vrstva úživnosti krajiny pro včelaření popisuje, zda se v lokalitě nachází dostatek pastvy pro včelstvo, zda jsou zde vhodné klimatické podmínky a také kolik včelstev se zde už



nachází. Největší podíl na úživnosti krajiny má využití území. Pokud v lokalitě není dostatek pastvy pro včelstvo, pak už příliš nezáleží na ostatních faktorech a lokalita není pro včely vhodná. Druhým nejdůležitějším faktorem je hustota zavčelení. Jednak zjišťujeme s kolika dalšími včelstvy se budou muset včely o pastvu dělit a pak také vysoká hustota zavčelení sebou nese zvýšené riziko chorob včel a snižuje pravděpodobnost úspěšného přezimování.

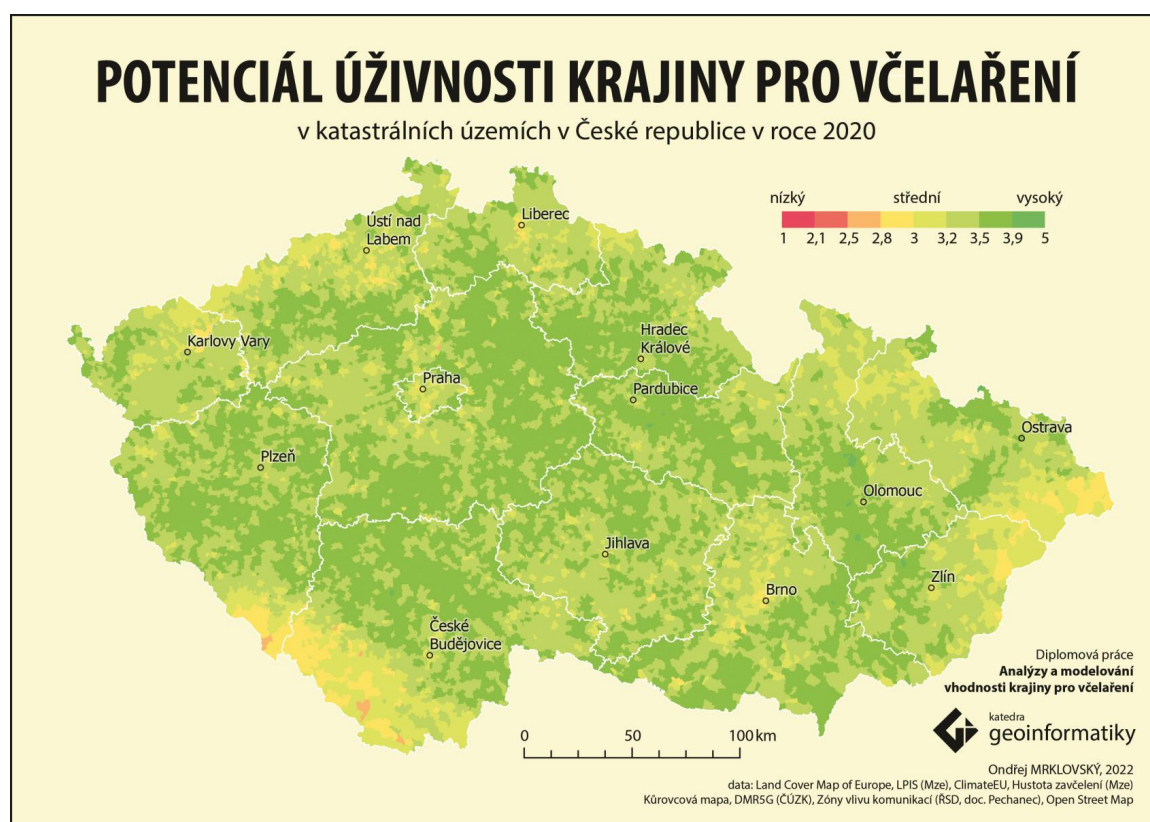
Výsledkem modelování je vrstva úživnosti krajiny s rozlišením 10 m /pixel, rozsahem hodnot 1,3 až 4,5 a průměrem 3,4. Vrstva je značně lokálně variabilní a celorepublikové trendy příliš výrazně nevystupují. Pro účely interpretace byly proto vypočítány průměry za kraje, okresy, obce a katastrální území. Průměrné hodnoty v krajích nejsou pro interpretaci příliš relevantní, protože kraje jsou pro tento účel příliš velkými územními jednotkami a většinu prostorové variability shlazují, přesto můžeme konstatovat, že nejvyšší průměrná úživnost je ve Středočeském kraji, následovaném Královehradeckým a Pardubickým. Naopak nejnižší úživnost najdeme v Moravskoslezském kraji.



Obr. 18: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření v okresech ČR

Relevantnějším ukazatelem jsou hodnoty úživnosti v okresech. Zde začínají vystupovat 3 oblasti s vysokou úživností krajiny. Nejvýraznější z těchto oblastí jsou východní Čechy. Zde se nachází 5 okresů s nejvyšší úživností. Tuto oblast můžeme přibližně definovat jako trojúhelník mezi Mladou Boleslaví, Hradcem Králové a Kutnou Horou. Druhou oblastí s vysokou úživností jsou jižní Čechy, konkrétně Písek a sousední okresy. Třetí oblastí je střední Morava, kde dosahuje velmi vysokých hodnot okres Prostějov a o něco nižších, ale stále vysokých okresy Olomouc a Přerov. Nejnižší průměrnou úživnost mají okresy jejichž území pokrývají z velké části hory. Nejvýrazněji toto lze pozorovat na Šumavě – okresy Český Krumlov a Prachatice a v Beskydech – okresy Frýdek-Místek a Vsetín.

Shrnutí úživnosti krajiny za obce nám umožňuje zachytit menší oblasti s vysokými hodnotami. Větší města mají většinou úživnost pouze průměrnou a vyšší hodnoty mají menší obce. Nejvíce obcí s vysokými hodnotami samozřejmě stále najdeme ve východních Čechách, výrazné shluky se tvoří severně od Poděbrad, severně od Hradce Králové, ale také východně od Pardubic. V jižních Čechách se 2 nejvýraznější shluky vysokých hodnot nachází jižně od Tábora a pravém břehu Vltavy SV od Kamýku nad Vltavou. Na Moravě je výraznou oblastí s vysokou úživností Hornomoravský úval mezi Uničovem a Olomoucí a dále jižně od Olomouce až směrem na Vyškov. Menší oblasti na Moravě s vysokou úživností najdeme také v okolí Znojma a u Studénky a ve Slezsku v okolí Opavy. Obce s nejnižšími hodnotami úživnosti se nejčastěji nachází v příhraničních pohořích. Jak již bylo zjištěno z průměrů v okresech, nejvíce nízkých hodnot najdeme na Šumavě a Beskydech. Při výpočtu za obce výrazně vystupují také nízké úživnosti v Krušných horách, Jesenících a Krkonoších. Méně očekávaným výsledkem je více nízkých hodnot v okolí Brna – směrem k Moravskému Krumlovu a také severně k Blansku.



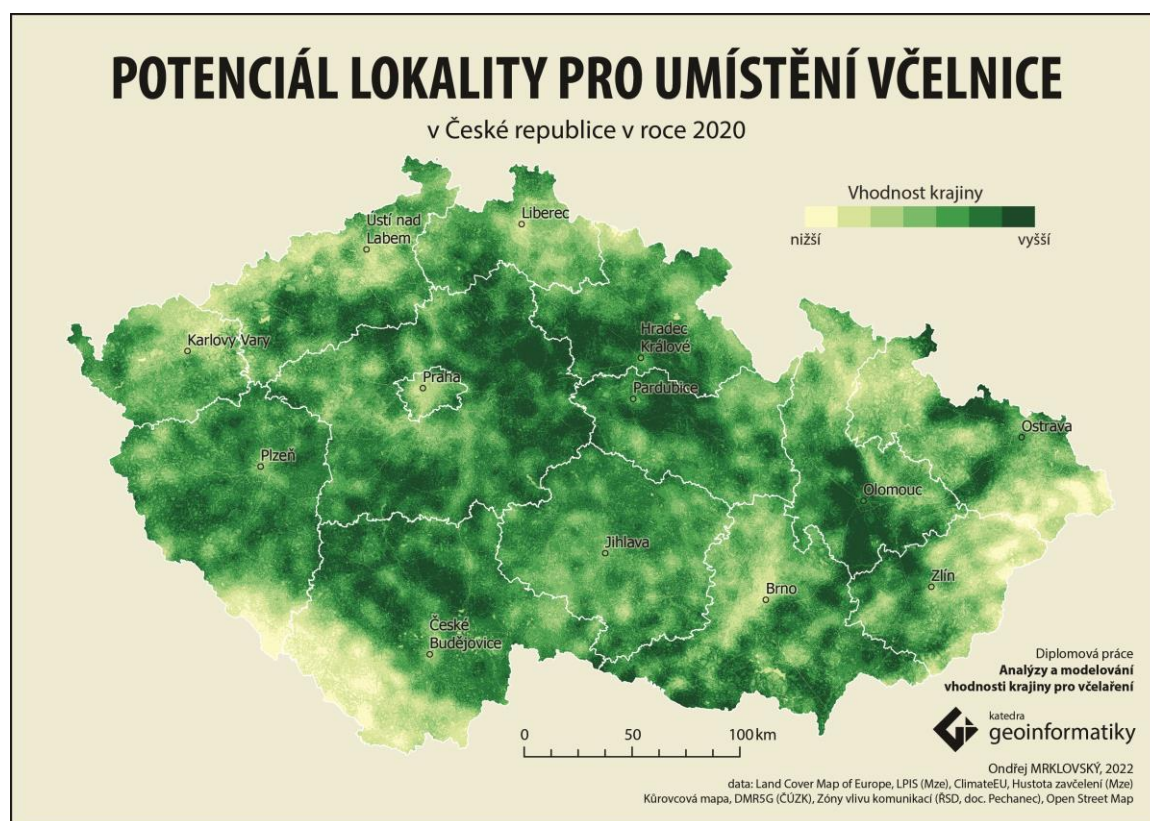
Obr. 19: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření v katastrálních územích

Průměrné hodnoty v katastrálních územích kopírují a potvrzují hodnoty v obcích. Při detailním pohledu na vrstvu úživnosti půdy pozitivně vystupují oblasti s vhodným využitím území (vegetace, louky, orná půda), příznivým klimatem, nízkým zavčelením nebo také vhodnou orientací svahu. Naopak lokální nízkou úživnost identifikujeme v oblastech s méně vhodným využitím území (výrazně vystupují zejména významnější komunikace a větší vodní plochy) a vyšším zavčelením.

## 5.2 Vhodnost krajiny pro umístění včelnice

Vrstva vhodnosti krajiny pro umístění včelnice vychází z vrstvy úživnosti krajiny pro včelaření, kterou doplňuje o další faktory relevantní právě pro umístění včelnice.

Z vrstvy úživnosti byl nejdříve vypočítán průměr v okruhu doletu včel, který byl stanoven na 4 km. Tímto krokem bylo zjištěno, zda je v okolí potenciálního místa umístění včelnice dostatek pastvy pro včelstvo a zda jsou zde vhodné i ostatní faktory. Dále byly připočteny faktory, které nemají vliv na úživnost krajiny, ale jsou důležité pro umístění včelnice. Hlavním z těchto faktorů je dostupnost lokality autem, kterou včelaři v dotazníku označili za velmi důležitou. Dále byl zohledněn sklon svahu a s menší váhou než u úživnosti krajiny také využití území. Výsledná vrstva popisuje vhodnost krajiny pro umístění včelnice jak z pohledu úživnosti krajiny v okolí, tak také s ohledem na vhodnost samotného místa.



Obr. 20: Mapa potenciálu lokality pro umístění včelnice

Výsledná vrstva má z důvodu použité fokální statistiky menší rozsah hodnot. Minimum je 2,7, maximum 4,3 a průměr 3,7. Průměrování hodnot v okruhu doletu včel také zvýraznilo oblasti s vysokou nebo naopak nízkou vhodností. Mapa je proto snáze interpretovatelná bez klasifikace nebo agregace. Vrstva vhodnosti krajiny pro umístění včelnice přesto byla pro interpretaci, stejně jako vrstva úživnosti, agregována na kraje, okresy, obce a katastrální území. Cílem bylo identifikovat, zda jsou mezi vrstvami výrazné rozdíly, popř. jaké a čím jsou způsobeny.

Průměrné hodnoty vhodnosti krajiny za kraje i okresy se kvůli způsobu výpočtu od hodnot úživnosti mírně liší, avšak výsledná klasifikace a regiony s nejvyššími i nejnižšími hodnotami zůstaly identické. Rozdíly mezi klasifikací regionů však lze pozorovat při agregaci na obce. Zatímco u úživnosti krajiny byly obce s vysokými hodnotami často izolované nebo v menších shlucích, u vhodnosti krajiny vznikají větší homogenní oblasti s vysokou nebo naopak nízkou vhodností a přechodovými oblastmi mezi nimi se střední vhodností.

Největší oblast v České republice s vysokou vhodností pro umístění včelnice jsou východní Čechy – od Prahy k Hradci Králové a dále až k Litomyšli. Další velkou

homogenní oblastí s vysokou vhodností je střední Morava. Středem této oblasti je Olomouc, kolem které jsou v Hornomoravském úvalu velké oblasti s vysokou vhodností. Třetí hlavní oblastí s vysokou vhodností jsou jižní Čechy, které však nejsou tak homogenní jako střední Morava.

Oblasti s vysokou vhodností těchto hodnot dosáhli díky vysoké vhodnosti ve většině modelovaných faktorů. Vhodnost většiny těchto oblastí je založena na vhodném využití území zejména v regionech s nižší hustotou zalidnění. Většina velmi vhodných oblastí se nachází v nižší nadmořské výšce do 400 m n.m. popř. do 600 m n.m. (jižní Čechy). Orientace svahu na vhodnost nemá vliv, protože je shlazena při lokální statistice. Velký vliv má naopak klima. Průměrná teplota společně se srážkami a v korelaci s nadmořskou výškou stanovují vysokou vhodnost nížinám s vyššími průměrnými teplotami a průměrnými srážkami. Oproti těmto faktorům v některých oblastech snižuje vhodnost vysoká hustota zavčelení. Nízká hustota zavčelení částečně pomáhá k vyšší vhodnosti ve většině velmi vhodných oblastí – ve východních i jižních Čechách a v omezení míře také ve střední Moravě.

Oblasti s nízkou vhodností jsou zejména v pohraničních pohořích. Největší oblastí je Šumava, následuje souvislé území Beskyd, Javorníků a Hostýnských vrchů, dále také Jeseníky, Krkonoše a Krušné hory. Hlavními faktory, které snižují vhodnost těchto oblastí jsou nadmořská výška a faktory popisující klima. Na Šumavě mají na celém území všechny tyto faktory velmi nízkou vhodnost, proto je celková vhodnost také nízká. Nic na tom nemění ani nízké zavčelení. V Beskydech, Javornících a Hostýnských vrších je situace podobná, nadmořská výška a klima však nejsou nevhodné na tak velkém území. V níže položených částech těchto pohoří však vhodnost snižuje velmi vysoká hustota zavčelení, a proto je výsledkem rozsáhlá oblast s velmi nízkou vhodností pro umístění včelnice.

Nízkou vhodnost najdeme ale také ve velkých městech a jejich okolí. Mají ji Praha, Ústí nad Labem, Liberec i Brno, u kterého je nízká vhodnost také v relativně širokém okolí směrem na sever a na jih. Velká města mají dobré hodnoty vhodnosti v nadmořské výšce, i v klimatu, co však jejich vhodnost snižuje je využití území a často vysoká hustota zavčelení. Ve městech převažuje hodnota využití území 3, což je vzhledem k tomu, že mimo města je nejčtenější hodnota 4 a vysoké váze využití území, výrazným handicapem. Vysoká hustota zalidnění a dobré klimatické podmínky mají potom velký podíl na vysokém zavčelení velkých měst a jejich okolí. V okolí Brna, ale i některých dalších měst, mají také na nižší vhodnosti podíl horší hodnoty indexu TWI.

## 6 DISKUZE

V oblasti modelování vhodnosti krajiny pro včelaření představuje tato práce pokrok oproti dříve realizovaným pracím. Práce využívá větší množství datových sad, díky nimž lépe modeluje realitu a způsob zpracování je také propracovanější než v dřívějších pracích. Otázkou je, zda není možné získat další datové sady, použít je jako faktory pro modelování a dále tak model zpřesnit?

Potenciál pro použití dalších datových sad by mohl být v oblasti klimatu. Použitá datová sada ClimateEU, ale i jiné databáze nabízí širokou škálu klimatických ukazatelů. Pro tento typ práce se nabízí například teploty v různých obdobích roku nebo počty dní pod nebo nad určitou teplotou (mrazové dny, dny nad 5 °C, počet dnů bez mrazu, ...). Obtížné však může být vybrat, který ukazatel je pro modelování včelaření nejrelevantnější a poté ho klasifikovat. Kolik daných dní nebo jaké teploty v jakých částech roku jsou pro včelaření optimální? Konzultace se včelaři v tomto případě klasifikaci příliš neusnadní, protože ani oni nedokáží odhadnout jaké hodnoty jsou vhodné, zejména u těchto méně používaných ukazatelů. To se ukázalo i v této práci, kde polovina respondentů v dotazníku nestanovila optimální teplotu a srážky a uvedli, že tyto ukazatele nesledují.

Z oblasti klimatu stojí také za zvážení zapracování vlivu větru do modelu. Toto bylo v této práci zvažováno a jeden z respondentů uvedl vítr jako další možný faktor. Problémem s modelováním větru může být, že data jen obtížně budou popisovat skutečný stav. Tento typ klimatických dat bývá nabízen v rozlišeních okolo 1 km a výše, což pro teplotu nebo srážky je dostatečné, avšak pro vítr by bylo velmi nepřesné. Síla nárazů větru nebo jeho průměrná rychlost jsou v krajině variabilní v řádu desítek metrů, například díky zastínění vegetací nebo tvarům terénu. Toto by dostupná data zachycovala pouze nepřesně, a proto vítr nebyl použit jako faktor.

Prostor pro zpřesnění modelu může být také u vrstvy využití území. V práci byla použita datová sada Land Cover Map of Europe, která byla dále zpřesněna několika dalšími datovými zdroji. Tím byl také výrazně zvýšen počet tříd využití území. Pro modelování vhodnosti krajiny celé České republiky se tato kombinace osvědčila a posloužila dobře. Pro modelování menší oblasti by však jistě bylo přínosem mít k dispozici data s větším počtem tříd a lepším prostorovým rozlišením. Na menším území by bylo možné si tato data zpracovat manuální klasifikací leteckých snímků a využít také znalostí místních poměrů. S velmi detailními daty využití území by bylo možné, na základě znalostí konkrétních druhů rostlin, stromů, plodin, modelovat úživnost v jednotlivých obdobích včelařské sezóny a identifikovat oblasti s dostatkem pastvy během celé sezóny.

Ve fázi zpracování a klasifikace dat je částečnou slabinou práce nízký počet respondentů v dotazníkovém šetření. Původním záměrem bylo rozšířit dotazník mezi širokou včelařskou veřejností. K tomu ale nedošlo a dotazník byl sdílen s užší skupinou velmi zkušených včelařů. Velké zkušenosti, které tito respondenti měli, však částečně kompenzovaly jejich nižší počet. Výsledky dotazníku i tak posloužily jako kvalitní opora pro kalibraci modelu. Mohlo by se zdát, že v otázce vah faktorů výsledky dotazníku nebyly příliš zohledněny, ale není tomu tak. Váha vrstvy využití území byla zvýšena oproti názoru včelařů na základě rešerše, ve které bylo popsáno, že dřívější práce této vrstvě také přikládaly vysokou váhu. Lze konstatovat, že pokud včelstvo nemá v lokalitě dostatek pastvy, pak je lokalita nevhodná bez ohledu na další faktory.

Možnost zpřesnění prostorové analýzy je v kroku průměrování hodnot vhodnosti v potenciální lokalitě umístění včelnice. V práci byl použit průměr v okruhu 4 km.

Potenciálního zpřesnění modelu by mohlo být dosaženo rozdělením okruhu včelnice na segmenty a výpočtem úživnosti krajiny v jednotlivých směrech v okolí. V případě dosažení dostatečné úživnosti v jednom ze sektorů by již nebyla nutná vysoká úživnost v celém zbylém okolí včelnice a vhodnost lokality by byla dobrá. Včely by si dokázaly toto místo s dobrou úživností ve svém okolí najít a nižší úživnost například opačným směrem od včelnice by nebyla překážkou.

Pro zpracování modelu bylo zvažováno použití nástroje *Suitability Modeller* v programu ArcGIS Pro. Tento nástroj je určený k usnadnění a automatizaci procesu tvorby a ladění modelu. Pro účely této práce se však nástroj ukázal jako nepraktický pro práci s velkými objemy dat a většina funkcionality, kterou nabízí, nebyla v této práci nutná.

Problematickou částí této práce byla validace výsledků. Výsledky modelu můžeme porovnat se současným umístěním včelnic, ale toto srovnání má hned několik slabin. V první řadě nejsou k dispozici data s přesnými polohami včelnic. Nejpřesnější datová sada, která je k dispozici je agregována na katastrální území. Nabízela by se tedy možnost vytvořit tato data a získat alespoň malý vzorek pro porovnání. Data hustoty zavčelení jsou však již v modelu zohledněna a cílem modelu je těmto lokalitám s vysokou hustotou zavčelení přiřadit nižší vhodnost. Je proto pravděpodobné, že mezi lokalitami aktuálního umístění včelstev a lokalitami, které model identifikuje jako vhodné pro umístění včelnice, bude jen malý průnik, což by však nesvědčilo o nepřesnosti modelu.

## 7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala modelováním vhodnosti krajiny pro včelaření. Pro modelování byla zvoleny vhodné faktory věrně reprezentující realitu a zajištěny odpovídající datové zdroje. Faktory byly klasifikovány podle vhodnosti pro včelaření a byly jim přiděleny váhy. Model byl kalibrován s pomocí zkušených včelařů a byl použit pro hodnocení vhodnosti krajiny. Hodnoceným územím byla celá Česká republika a detail výsledných vrstev odpovídá přibližně měřítku 1 : 10 000.

V první fázi práce byly v rámci rešerše studovány předchozí práce na podobné téma. Několik podobných prací již realizováno, avšak v jiných částech světa, což se odráželo také na volbě dat a postupu jejich zpracování. Oblastí střední Evropy se zatím žádná podobná práce nezabývala, a i práce z ostatních částí světa buď používaly méně faktorů nebo byl postup jejich zpracování spíše méně propracovaný.

Na základě rešerše a studia faktorů důležitých pro včelaření byly zvoleny faktory pro modelování. Celkem bylo v práci zohledněno 9 faktorů, byly to – využití území, nadmořská výška, orientace a sklon svahu, průměrná teplota od května do září a průměrné srážky za stejné období, blízkost silnic, hustota zavčelení a index TWI popisující tendenci krajiny zadržovat vodu. Pro všechny faktory byly nalezeny vhodné datové zdroje a data byla převedena do jednotného formátu.

V dalším kroku práce byly všechny faktory klasifikovány podle vhodnosti pro včelaření. Pro klasifikaci byly oporou poznatky z rešerše a názory zkušených včelařů zjištěné dotazníkovým šetřením. Klasifikace byla v několika verzích optimalizována, tak aby co nejméně modelovala vhodnost krajiny. Jednotlivým faktorům byly přiděleny váhy podle jejich podílu na celkové vhodnosti.

Výstupem modelu jsou dvě, spolu úzce související vrstvy. Prvním výstupem modelování je vrstva úživnosti krajiny pro včelaření. Tato vrstva popisuje, zda se v dané lokalitě nachází pro včelstvo dostatek pastvy, zda jsou zde vhodné klimatické podmínky a také zda zde není příliš vysoká hustota zavčelení. Druhým výstupem je vrstva vhodnosti krajiny pro umístění včelnice. Tato vrstva je výsledkem výpočtu úživnosti krajiny v okruhu pohybu včel a zohlednění dostupnosti lokality autem, sklonu svahu a využití území.

Výsledné vrstvy byly vhodnou formou vizualizovány a v práci interpretovány. Vrstvy byly také publikovány na webu v mapové aplikaci. Aplikace umožňuje včelařům vrstvy detailně prohlížet a použít je při rozhodování o umístění včelnice nebo pro zjištění vhodnosti stávajícího polohy jejich včelstev. Výsledky této práce mohou být pro včelaře dobrým podkladem pro optimalizování výnosů jejich včelstev, případně zvýšení šance na úspěšné zimování včelstev.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

BRODSCHNEIDER, Robert, Jan BRUS a Jiří DANIHLÍK. Comparison of apiculture and winter mortality of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Austria and Czechia.

*Agriculture Ecosystems & Environment*. 2019, (274), 24-32. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2019.01.002

CLERMONT, A. a kol. Correlations between land covers and honey bee colony losses in a country with industrialized and rural regions. *Science of The Total Environment*. 2015, (532), 1-13. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.128>

ESTOQUE, Ronald C. a Yuji MURAYAMA. Suitability Analysis for Beekeeping Sites in La Union, Philippines, Using GIS and Multi-Criteria Evaluation Techniques. *Research Journal of Applied Sciences* [online]. 2010, **5**(3), 242 - 253 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: doi:10.3923/rjasci.2010.242.253

FOY, Andrew Scott. *A GIS-Based Landscape Scale Model for Native Bee Habitat*. 2007. Diplomová práce. Virginia Polytechnic Institute and State University.

GROGAN, Hayes Kent. *The Impact of Precipitation and Temperature on Honey Yield in the United States*. Auburn University ProQuest Dissertations Publishing, 2020.

KAPLAN, Jakub. *Uživatelsky založená aplikace pro podporu včelaření*. Olomouc, 2021. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jan Brus Ph.D.

KAPLAN, Jakub. *Geoinformatické zpracování dat ze studie monitoringu úspěšnosti zimování včelstev*. Olomouc, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jan Brus Ph.D.

KLEIN, A.-M. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B*. 2007, (274), 303–313. Dostupné z: doi:10.1098/rspb.2006.3721

KRÁLOVÁ, Lucie. *Analýza pevných stanovišť včelstev v České republice*. Olomouc, 2018. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jan Brus Ph.D.

KUCHEJDOVÁ, Magdalena. *Analýza kvality dat studie monitoringu úspěšnosti zimování včelstev*. Olomouc, 2020. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

KUCHLING, S. a kol. Investigating the role of landscape composition on honey bee colony winter mortality: A long-term analysis. *Scientific Reports*. 2018, **8**.

MARCHI, M. a kol. *ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0>



MATTIVI, P. a kol. TWI computation: a comparison of different open source GISs. *Open Geospatial Data, Software and Standards*. 2019, **4**(6). Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0066-y>

MCDONALD, Steven. *Applying Geographic Information Systems to the Study of Honey Bee Diseases and Pests*. Halifax, Nové Skotsko, Kanada, 2020. Diplomová práce. Dalhousie University. Vedoucí práce Jennifer Grek Martin.

PANTOJA, G a kol. Determination of suitable zones for apitourism using multi-criteria evaluation in geographic information systems: a case study in the O'Higgins Region, Chile. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2017, **44**(2), 139-153.

POPOVSKA STOJANOV, D. a kol. Direct Economic Impact Assessment of Winter Honeybee Colony Losses in Three European Countries. *Agriculture*. 2021, **11**(5), 398.

SARI, Fatih a kol. A comparison of multicriteria decision analysis techniques for determining beekeeping suitability. *Apidologie* [online]. 2020, (51), 481-498 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13592-020-00736-7>

SMART, M. a kol. Using Colony Monitoring Devices to Evaluate the Impacts of Land Use and Nutritional Value of Forage on Honey Bee Health. *Agriculture*. 2018, **8**(1), 2.

SWITANEK, M. a kol. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Science of The Total Environment*. 2017, (579), 1581-1587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.178>

VAN ESCH, L. a kol. Multivariate Landscape Analysis of Honey Bee Winter Mortality in Wallonia, Belgium. *Environmental Modeling & Assessment*. 2020, (25), 441-452.

VON BÜREN, R. S. a kol. High-resolution maps of Swiss apiaries and their applicability to study spatial distribution of bacterial honey bee brood diseases. *PeerJ*. 2019, (7). Dostupné z: doi:10.7717/peerj.6393

ZOCCALI, Paolo a kol. A novel GIS-based approach to assess beekeeping suitability of Mediterranean lands. *Saudi Journal of Biological Sciences* [online]. 2017, **24**(5) [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.01.062>

ŽIVELOVÁ, I., E. SVOBODOVÁ a J. PALKOVIČ. The Impact of Subsidies on the Development of Beekeeping in the Czech Republic. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 2022, **14**(1), 125-134. ISSN 1804-1930. Dostupné z: doi:10.7160/aol.2022.140110

Aktualizace LPIS. *Státní zemědělský intervenční fond* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.szif.cz/cs/lpis?setCookie=true>

COLOSS.org [online]. 2021 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://coloss.org/who-we-are/>

COLOSS storytelling [online]. 2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <http://www.coloss.cz/story/>

Český svaz včelařů [online]. 2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.vcelarstvi.cz/cesky-svaz-vcelaru-informace/>

Hmyzomorka včelí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hmyzomorka\\_v%C4%8Del%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hmyzomorka_v%C4%8Del%C3%AD)

Nemoci a škůdci včel [online]. 2020 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/nemoci.htm>

O projektu. *Kůrovcová mapa* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.kurovcovamapa.cz/o-projektu>

Varroáza. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Varro%C3%A1za>

ZABAGED® - Výškopis - DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace. *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(gahf3ripnkg3b04rqmfahndr\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(gahf3ripnkg3b04rqmfahndr))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Logo asociace COLOSS (zdroj: coloss.org).....	16
Obr. 2: Schéma postupu práce (Zoccali a kol., 2017) .....	17
Obr. 3: Mapa využití území regionu Kalábrie klasifikovaná do 3 tříd (zdroj: Zoccali a kol., 2017) .....	19
Obr. 4: Vzdálenost od silnic a od vody (zdroj: Sari a kol. (2020)) .....	21
Obr 5: Výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření – Itálie, Egypt, Turecko, Filipíny (zdroj: Zoccali a kol. (2017), Abou-Shaara (2015), Sari a kol. (2020), Estoque a Murayama (2010)) .....	22
Obr. 6: Vliv teploty a srážek na mortalitu včelstev (zdroj: Switanek a kol. (2017)).....	23
Obr. 7: Využití území v okolí pozorovaných včelstev (zdroj: Smart a kol., 2018) .....	24
Obr. 8: Náhled vrstvy průměrné teploty od května do září z databáze ClimateEU .....	26
Obr. 9: Náhled vrstev po předzpracování (zleva – využití území, nadmořská výška, orientace svahu, sklon svahu, teplota, srážky, vzdálenost silnic, hustota zavčelení, index TWI) .....	28
Obr. 10: Náhled dotazníku (ostatní orientace oříznuty) .....	29
Obr. 11: Datový náhled výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření (varianta A)...	33
Obr. 12: Datový náhled výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro včelaření (varianta B)...	34
Obr. 13: Příliš výrazný vliv vzdálenosti od silnic v jedné z pracovních verzí modelu .....	35
Obr. 14: Detail vrstvy úživnosti krajiny pro včelaření (zobrazen Nový Jičín a okolí) .....	37
Obr. 15: Náhled detailu výsledné vrstvy vhodnosti krajiny pro umístění včelnice (Nový Jičín a okolí).....	38
Obr. 16: Prostředí webové mapové aplikace .....	39
Obr. 17: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření.....	40
Obr. 18: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření v okresech ČR .....	41
Obr. 19: Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření v katastrálních územích .....	42
Obr. 20: Mapa potenciálu lokality pro umístění včelnice .....	43

## **PŘÍLOHY**

# SEZNAM PŘÍLOH

## Vázané přílohy:

- Příloha 1 Výsledky dotazníkového šetření
- Příloha 2 Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření v katastrálních územích

## Volné přílohy

- Příloha 3 Mapa potenciálu úživnosti krajiny pro včelaření
- Příloha 4 Mapa potenciálu lokality pro umístění včelnice
- Příloha 5 Poster
- Příloha 6 DVD

## Popis struktury DVD

Adresáře:

mapy

poster

text\_prace

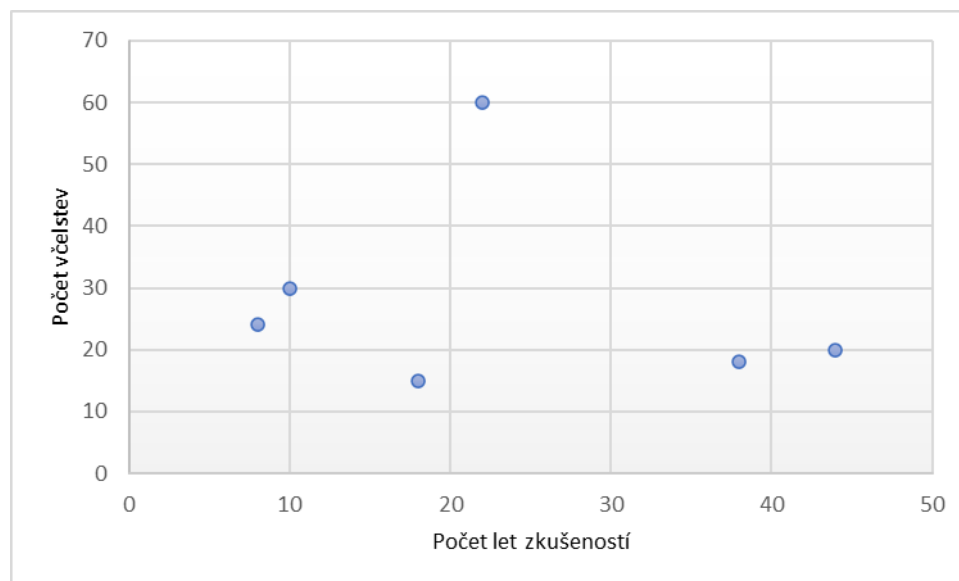
vystupni\_vrstvy

web

    pics

## Příloha 1 Výsledky dotazníkového šetření

Graf 1: Zkušenosti respondentů



Tab. 1: Vlivy a váhy faktorů

	<b>Průměrný vliv (1 – 5) vážený zkušeností včelaře</b>	<b>Průměrná váha (v %) vážená zkušeností včelaře</b>
Využití území	4,3	8,0
Nadmořská výška	2,7	7,5
Orientace svahu	2,9	5,9
Sklon svahu	1,4	1,5
Průměrná teplota	3,8	9,9
Průměrné srážky	4,2	16,4
Hustota zavčelení	4,5	21,2
Zdroj vody	4,5	16,2
Blízkost silnice	5	12,8

Tab. 2: Hodnoty vhodnosti orientace svahu podle jednotlivých respondentů (1 – nejméně vhodná, 5 – nejvhodnější)

<b>Orientace</b>	<b>Včelař 1</b>	<b>Včelař 2</b>	<b>Včelař 3</b>	<b>Hodnota použitá v modelu</b>
Severní	1	2	3	2
Severovýchodní	2	2	4	2
Východní	3	4	5	4
Jihovýchodní	5	4	5	5
Jižní	5	5	5	5
Jihozápadní	5	5	5	5
Západní	4	4	4	4
Severozápadní	2	3	3	3

Tab. 3: Hodnoty vhodnosti tříd využití území podle jednotlivých včelařů (Vč.), 1 – nejméně vhodná, 5 – nejvhodnější

<b>Využití území</b>	<b>Vč. 1</b>	<b>Vč. 2</b>	<b>Vč. 3</b>	<b>Vč. 4</b>	<b>Vč. 5</b>	<b>Vč. 6</b>	<b>Vážený průměr</b>
Jehličnatý les	4	4	5	4	4	3	4,0
Suchý les napadený kůrovcem	2	2	2	1	1	2	1,6
Holina po kůrovci	4	3	2	2	2	2	2,6
Listnatý les	3	3	4	3	4	4	3,3
Nižší vegetace, keře	4	4	5	4	5	5	4,3
Louky a pastviny	5	5	5	4	5	5	4,7
Podmáčená území	4	4	3	3	5	3	3,6
Vřesoviště	5	3	4	4	5	3	4,0
Vodní toky a vodní plochy	5	5	4	3	5	2	4,0
Zastavěné území	4	2	4	2	4	3	2,9
Orná půda	4	4	4	5	4	2	4,1
Trvalý travní porost	4	4	3	4	5	4	4,0
Travní porost na orné půdě	4	4	3	3	4	4	3,6
Úhor	4	5	4	5	5	5	4,7
Ovocný sad	5	5	5	5	5	5	5,0
Vinice	1	2	3	2	4	2	2,2
Chmelnice	1	2	2	2	4	2	2,0
Rychle rostoucí dřeviny	1	4	3	2	4	2	2,6

