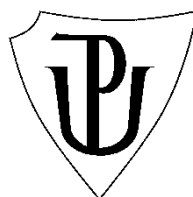


Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra ekologie a životního prostředí



**Hodnocení potenciálu krajiny poskytovat opylování jako  
ekosystémovou službu**

**Bc. David Mašín**

Diplomová práce  
předložená  
na Katedře ekologie a životního prostředí  
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků  
na získání titulu Mgr. v oboru  
Ochrana a tvorba krajiny

**Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Václavík, Ph.D.**

Olomouc 2020



## **BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE**

Mašín D. 2020. Hodnocení potenciálu krajiny poskytovat opylování jako ekosystémovou službu [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 67s. Přílohy 4 s. Česky.

### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá analýzou a hodnocením ekosystémové služby opylování za pomoci metod implementovaných v programu InVEST modulu Pollination vyvíjeném na Stanfordské Univerzitě. Práce ukazuje možnosti využití tohoto programu pro hodnocení potenciálu krajiny poskytovat opylování s pomocí veřejně dostupných dat.

V modelovém území katastru Nasavrky, Ochoz u Nasavrky a Podlíšťan je předpoklad, že různá stanoviště, zejména lesy a kvetoucí louky, nabízejí vhodná místa pro divoké opylovače. Použití údajů o volně žijících opylovačích s různými doletovými vzdálenostmi a spojení relativního potenciálu opylení konkrétního typu krajiny s regionální statistikou rostlinné výroby umožňuje nový pohled na data. Dostupná data umožňují zhodnocení kategorizované krajiny s minimálním rozlišením 5x5m. Na tomto rozlišení závisí výsledky, které ukazují, kde je ve studované krajině dostupná potravní a hnízdní nabídka pro opylovače.

Celkově jde o nový přístup k problematice opylovačů a nový pohled na řešení úloh tohoto typu, kterými lze popsat plochy v krajině, která jsou pro opylovače důležitá, a zároveň poskytnout místní údaje, s jejichž pomocí lze zkoumat i další příbuzná témata. V posledních letech totiž dochází z různých důvodů k proměnám v geografické distribuci opylovačů a změnám početností. Tato studie přináší metodu, jak se těmito problémy zabývat.

**Klíčová slova:** ekosystémová služba, opylování, divocí opylovači, doletová vzdálenost, veřejně dostupná data, Nasavrky, potenciál krajiny

## **BIBLIOGRAPHIC IDENTIFICATION**

Mašín D. 2020. Evaluation of potential landscapes to provide pollination as an ecosystem service. Master's thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, 67 p, Appendix 4 p, Czech

### **Abstract:**

This dissertation provides a new approach to the evaluation of ecosystem pollination data, using methods found in the InVEST Pollination programme module, which was created at Stanford University. My analysis shows the options for using this programme to evaluate land for potential pollination, using publicly available data.

The model region of the villages Nasavrky, Ochoz u Nasavrck and Podlíšťany contains different land types, mainly forests and blooming meadows, which offer suitable ground for wild pollinators. Combining data about wild living pollinators and their different flying ranges with relative potential pollination of land with statistics on the specific regional plant production permits a new perspective on the data. Publicly available data can be used for the evaluation of land classified with the minimal size of 5x5 m. Studying land in this size specification can provide important results that show the location of accessible places in which pollinators can obtain food and build nests.

This dissertation describes a new method of the study of pollinators, through which we can delineate areas in the landscape which are important for pollinators, as well as provide local information that can be used to study other related topics. In recent years, there have been many changes in the quantity and the geographic distribution of various pollinators, and this study provides a method of investigating those in detail.

Key words: ecosystem services, pollination, wild pollinators, flying range, publicly available data, Nasavrky, landscape potential

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Tomáš Václavíka, Ph.D. Všechny prameny a použité zdroje jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Olomouci dne:

Podpis:.....

## Obsah

1 Úvod.....	15
1. 1 Typy hodnocení.....	16
1. 2 Plodiny závislé na opylování.....	17
1. 3 Opylovači a jejich doletové vzdálenosti.....	21
2. Cíle .....	25
3. Materiál a metody .....	26
3.1 Studované území .....	26
3.2 Vstupní data o krajině.....	27
3.3 Vstupní data o opylovačích .....	28
3.4 Příprava a zpracování dat o krajině .....	29
3.5 Modelování v InVEST a výstupy .....	34
4. Výsledky .....	37
4.1 Jarní opylování a vhodnost ploch krajiny.....	39
4.2 Letní opylování a vhodnost ploch krajiny.....	41
4.3 Změny v krajině v předpokládané relativní hustotě opylovačů během roku ...	43
4.4 Rozložení ploch dle kategorií.....	45
5. Diskuse.....	46
5.1 Vyhodnocení jarního a letního opylování .....	48
5.2 Vyhodnocení změny vhodnosti ploch pro jednotlivé skupiny opylovačů během roku .....	49
5.3 Kontext ochrany opylovačů.....	50
5.4 Limity metodiky .....	53
6. Závěr .....	55
7. Literatura.....	57
7.1 Zdroje map, obrázků a dat.....	59
7.2 Zákony.....	60
8. Přílohy.....	61

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Zvýšení výnosu konkrétních plodin díky včelám (Bee-careful 2020) .....	17
Obrázek 2 Využití plodin včelami v průběhu roku (Přidal 2005).....	19
Obrázek 3 Lokalizace území .....	26
Obrázek 4 Postup vytvoření výsledných map .....	30
Obrázek 5 Využití dat o plodinách z LPIS.....	31
Obrázek 6 Stav digitalizace katastrální mapy pro KÚ Nasavrky (ČUZK Praha 2019)..	32
Obrázek 8 Analogová katastrální mapa v prostoru PP Kaštanky před vektorizací.....	32
Obrázek 7 Vizualizace zvektorizovaných parcel .....	32
Obrázek 9 Vizualizace digitální katastrální mapy doplněné parcelami z katastru nemovitostí, z které jsou využita data převážně z částí v intravilánech obcí.....	33
Obrázek 10 KVES spojený s detailnějším KN v intravilánech.....	33
Obrázek 11 Jarní rozdělení ploch pro opylovače podle vhodnosti .....	40
Obrázek 12 Letní rozdělení ploch pro opylovače podle vhodnosti.....	42
Obrázek 13 Hustota opylovačů na pixel v jarním a letním období.....	43
Obrázek 14 Změna v předpokládané relativní hustotě opylování během roku rozdělené na kvartily .....	44
Obrázek 15 Vizualizace, jak fragmentace stanovišť a intenzifikace využití půdy vzájemně ovlivňují společenství opylovačů v různých prostorových měřítcích (Steffan Dewenter, Westphal 2008).....	51
Obrázek 16 Podrobnější data o plodinách od Ministerstva zemědělství oproti datům od AOPK.....	54

## Seznam grafů

Graf 1 Rozdělení plochy podle skupin porostů.....	38
Graf 2 Rozložení ploch dle kategorií vhodných pro opylování .....	45

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Ekonomické hodnoty opylování u jednotlivých plodin a jejich lokalizace (Lautenbach, 2012) .....	20
Tabulka 2 Zjištěný souhrn doletových vzdáleností jednotlivých druhů .....	22
Tabulka 3 Maximální doletové vzdálenosti evropských samotářských včel za krmením a průměrná velikost těla na základě experimentů (Gathmann A., Tscharncke T. 2002)....	23
Tabulka 4 Skupiny opylovačů a jejich charakteristiky .....	29
Tabulka 5 Výměra ploch vhodných pro opylení v jarním a letním aspektu opylování s procenty.....	39

## Seznam příloh

Příloha 1	Vhodnost krajinných typů pro opylovače.....	61
Příloha 2	Významné typy krajiny a ploch plodin pro opylování .....	63
Příloha 3	Tabulka s daty pro rozložení ploch dle kategorií vhodných pro opylování ....	64
Příloha 4	Rozdílové mapy opylování jara a léta jednotlivých skupin opylovačů .....	64

## Seznam zkratk

AOPK	– Agentura ochrany přírody a krajiny
ČSV	– Český svaz včelařů
ČUZK	– Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	– Digitální báze vodohospodářských dat
DKM	– digitální mapa reliéfu
DPB	– díl půdních bloků
ES	– ekosystémová služba
InVEST	– projekt Stanfordské Univerzity ( <a href="https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/">https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/</a> ), slouží pro informování o hospodaření s přírodními zdroji a zefektivnění rozhodovacích procesů
ISKN	– informační systém katastru nemovitostí
KN	– Katastr nemovitostí
KU	– katastrální území
KVES	– konsolidovaná vrstva ekosystémů
LPIS	– veřejný registr půd
MA	– hodnocení ekosystémů k miléniu
SHP	– datový formát pro ukládání prostorových dat
SZIS	– státní zemědělský intervenční fond
TEEB	– (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) ekonomika ekosystémů a biodiversity
ZABAGED	– Základní báze geografických dat



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce RNDr. Tomáši Václavíkovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a cenné rady při jejím zpracování, dále děkuji paní Mgr. Monice Mazalové, Ph.D. za odborné konzultace ohledně opylovačů.

# 1 Úvod

V současné době se hovoří o propojení ekosystémových služeb a jejich ochrany s koncepcí udržitelného rozvoje. Je tedy důležité vytvořit prostředí, ve kterém je zachována biodiverzita i vysoká životní úroveň (Christie a kol. 2012). Ekosystémové služby jsou přínosy, které lidé získávají od ekosystémů. Ekologické indikátory, jako je opylování, napomáhají společnosti lépe porozumět, jaký je stav přírody na všech jejích úrovních, od globální biosféry až k tradiční venkovské mozaice, která je typická pro střední Evropu.

Opylovači jsou obecně v mnoha směrech prospěšní pro lidskou společnost, neboť přispívají k produkci potravin, léků, biopaliv, vláken a mnoha dalších produktů. Ztráta divokých i zdomácnělých opylovačů všechny tyto přínosy narušuje. Konkrétním důkazem poklesu biomasy hmyzu je německá studie od Hallmanna a kol. (2017). Tato studie dokládá sezónní pokles opylovačů o 76 % biomasy hmyzu během 27 let studie. Dokládá patrný pokles bez ohledu na typ stanoviště. Tým Sánchez-Bayo a kol. (2019) provedl komplexní průzkum 73 historických zpráv o úbytcích hmyzu z celého světa. Odhalil dramatické úbytky, které mohou vést k zániku 40 % světových druhů hmyzu v příštích několika dekádách, především kvůli intenzivnímu zemědělství. Hlavními hnacími silami ztrát opylovačů zůstávají ztráty biotopů a intenzifikace zemědělství (Potts a kol. 2010).

Celosvětově je uváděno cca 75 % druhů hospodářsky významných plodin, tj. okolo 35 % objemu plodin, které jsou alespoň částečně závislé na opylování. Opylení včelami a jinými živočichy zvyšuje velikost a kvalitu sklizně Ricketts a kol. (2008). Opylování jako ekosystémovou funkci potřebujeme, protože tvoří podle výzkumu Lautenbacha a kol. (2012) okolo 10 % celkové hodnoty zemědělství. Gallai a kol. (2009) poukázali na to, že produkční hodnota tuny plodiny, která nezávisí na opylování hmyzem, především obilovin, činí v průměru 151 EUR, zatímco průměr plodin, které jsou závislé na opylování, činí průměrně 761 EUR.

Relativní peněžní hodnota a relativní přínosy opylování podle těchto výzkumů stále rostou (Nogué 2016). V EU se ekonomická hodnota opylování odhaduje na miliardy EUR ročně, tj. v částce srovnatelné se všemi ročními výdaji EU na zemědělství. V přehledu ekonomického hodnocení ekosystémových služeb, které

jsou relevantní pro ČR, je hodnota opylení stanovena na 1 378,76 EUR/ha (Vačkář a kol. 2014).

## 1. 1 Typy hodnocení

Pro modelování krajinného potenciálu pro opylovače existuje několik různých metodických přístupů. První používanou metodou je Lonsdorf (2009) na modelování služeb opylování v zemědělské krajině. Podle tohoto modelu je možné na regionální úrovni identifikovat potenciální opylení plodin. Lonsdorfův model pracuje s informacemi o místech výskytu opylovačů, květinových zdrojích a vzdálenostech mezi nimi. V oblastech s výskytem opylovačů pak model ukazuje relativní množství opylovačů na místech vyžadujících opylování. Model obecně předpovídá, že zlepšení podmínek pro většinu druhů opylovačů v různých typech prostředí (habitatů), zvýší opylení plodin. Dobrá nabídka nektarodárných a pylodárných rostlin pro opylovače sama o sobě může odvést včely z okolních polí na jeden bohatý zdroj. Opylení neproběhne všude stejně účinně, jelikož včely preferují silné zdroje pylu a nektaru, oproti slabším zdrojům. Také vhodné místo pro hnízdění závisí na dostatečném počtu zdrojů potravy v dosahu doletových vzdáleností daného druhu.

Vědecká práce od Affek (2017) zkoumá ekosystémový potenciál opylování v severní části Polska – Národní park Wigry (815 km<sup>2</sup>). Oblast byla vybrána tak, aby ukázala možný prostorový vzorec a ekosystémový potenciál týkající se výskytu včel, protože rostlinné komodity i hojnost včel jsou zde dobře zdokumentovány. Provedené odborné hodnocení krajiny bylo úzce spjato s reálnými regionálními údaji zkoumanými metodou Lonsdorf (2009) a všestranným modelovacím programem InVEST. Specifické hodnoty vstupující do modelování byly přiřazeny k 29 typům ekosystémů relevantních pro opylovače identifikovaných v nížinné venkovské krajině střední Evropy. Z původního množství typů a ukazatelů byla vytvořena klasifikace o 10 typech.

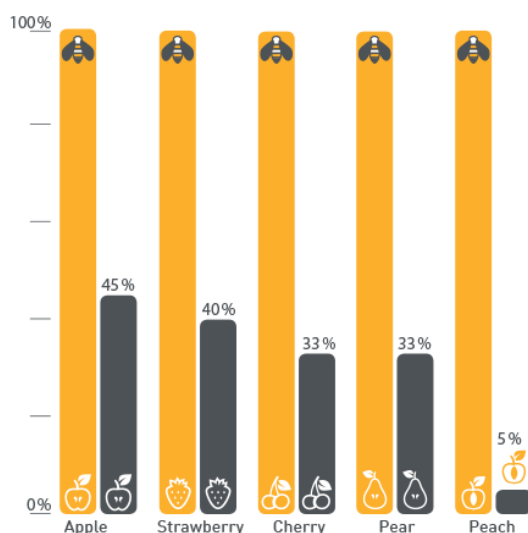
Výzkum Zulian a kol. (2013) pro opylování v Evropě používá také program InVEST. Vědci zhodnotili, jak jsou opylovací služby poskytovány v evropském měřítku. Toto hodnocení použili k odhadu relativního přínosu divokých opylovačů na rostlinnou produkci u plodin, u kterých znali výnosnost a také pokryvnost plochy. Model relativního opylení je založen na předpokladu, že různá stanoviště, zejména lesy a kvetoucí louky, nabízejí vhodná místa pro divoké opylovače. Použitím specifických

údajů o volně žijících opylovačích s krátkými letovými vzdálenostmi a spojením relativního potenciálu opylení konkrétního typu krajiny s regionální statistikou rostlinné výroby vznikly údaje umožňující obecné zhodnocení krajiny, které jsou odvozeny z opylovacích služeb v Evropě.

Z rešerše těchto studií vyplývá, že optimálním řešením pro zkoumanou oblast v diplomové práci je použití programu InVEST s modulem Pollination, který je vyvinut pro mapování ekosystémových služeb v lokálním měřítku.

## 1.2 Plodiny závislé na opylování

Vztahy mezi opylovači a jejich živnými rostlinami zajímají biology odedávna. Lze na nich studovat princip koevoluce (Thompson 1989; Jordano 1987). Kromě pochopení evolučních a ekologických principů je studium ekologie opylování a ekonomiky s tím spojené žádáno i z praktických důvodů.



Obrázek 1 Zvýšení výnosu konkrétních plodin díky včelám (Bee-careful 2020)

Zvýšení vědomostí o problematice je důležité kvůli ochraně přírody v lidmi využívané krajině a také kvůli významu opylovačů v krajině s převládajícím zemědělstvím. Obrázek 1 ukazuje, jaká je produkce konkrétních plodin za přítomnosti dostatku opylovačů. Žluté sloupce představují klasické opylování včelami, zatímco šedé sloupce ukazují, na jak málo procent by se mohly snížit výnosy bez dostatku opylovačů.

Pěstování entomofilních plodin má i další význam - jeteloviny například obohacují půdu o dusík, a tím přispívají k udržení a zvýšení její úrodnosti přirozeným způsobem. Obecně u plodin se hodnotí nektarodárnost a cukernatost resp. cukerná

hodnota, ale jelikož ta se u každé plodiny i kultivaru liší, nelze zde udělat ucelený přehled, které plodiny jsou pro opylovače vhodnější a které méně. Tyto charakteristiky nemusí být důležité při preferenci určitého rostlinného druhu jako vhodného zdroje potravy. Druhy jako jetel luční, pampeliška lékařská, pohanka obecná nebo slunečnice roční kompenzují relativně nízkou nektarodárnost svých květů jejich nahloučením do květenství. Množství květů, které je každá rostlina schopna vytvořit, a plochy na kterých se tyto druhy v přírodních společenstvech nebo v polních kulturách vyskytují, tak představují velmi vydatný zdroj potravy Kaffková a kol. (2019).

Zde následuje krátký přehled hospodářsky významných plodin, které jsou závislé na opylování. Brukev řepka olejka (*Brassica napus L.*) patří mezi olejninami k nejvíce plošně zastoupeným plodinám v ČR. Kvetoucí porosty řepky patří mezi nejdůležitější jarní zdroje medové snůšky. Opylováním se zvyšuje kromě kvality semen i její výnos o 40 % (Přidal 2005). Zároveň je riziková z důvodu velkého množství chemických postřiků, které jsou při nesprávné aplikaci ohrožením pro opylovače.

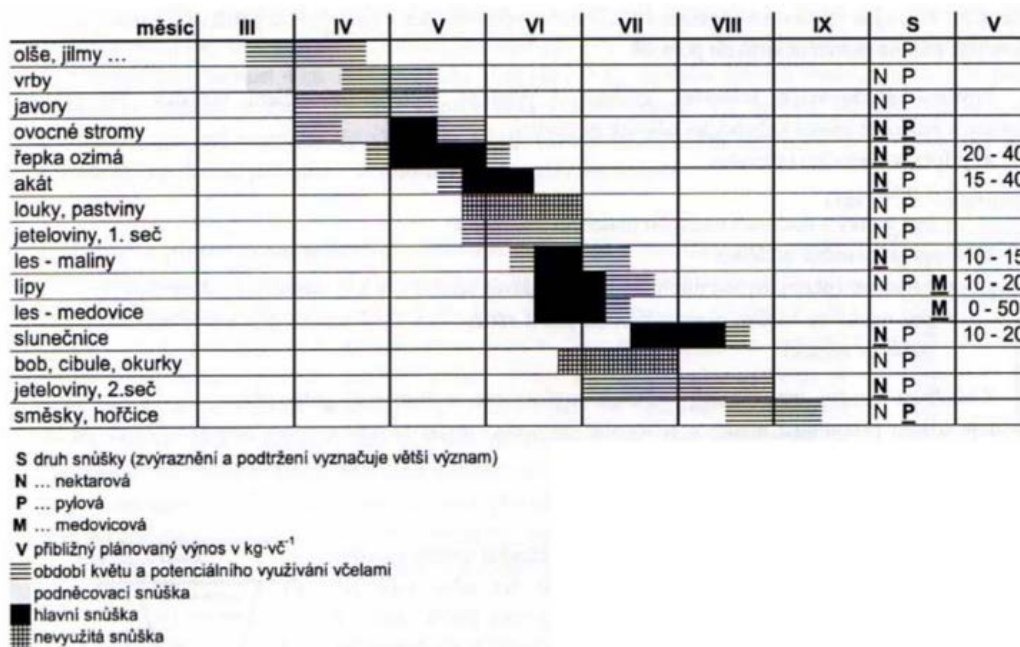
Slunečnice roční (*Helianthus annuus*) poskytuje pyl i nektar. Slunečnice přirozeně není schopna samoopylení, ale v současnosti již existují samosprašné odrůdy. Při dostačujícím opylení odkvétá celé květenství během 10 dnů, jinak „počká“ na opylovače i 14 dnů. Dostatečné opylení navýší výnosy o 10 – 40 % v závislosti na odrůdě. Olejnatost se zvýší o 2 % ve srovnání s neopylenými rostlinami (Přidal 2005).

Rostliny pohanky (*Fagopyrum esculentum*) intenzivně navštěvované opylovači poskytly podle výzkumu o 21,7 - 41,4 % vyšší výnos osiva ve srovnání s výnosem získaným v izolovaných oblastech (Racys, Montviliene 2005).

Mák setý kvete v červnu a červenci. Na lodyze a v paždních lístcích se v některých letech objevují kolonie mšice makové produkující medovici, kterou opylovači sbírají. (Mrázová 2010).

Plodiny pěstované na zahradách také potřebují opylení. Rostliny rajčat (*Lycopersicon esculentum*) dostatečně navštěvované opylovači mají o 10-50 % vyšší produkci než bez opylovačů. Okurky (*Cucumis sativus*) obdobně zvýší svou produkci, ale o 50-90 %. Melouny (*Cucumis melo*) jsou na opylovačích ještě závislejší a to až na 80-100 % (Hein 2009).

Součástí odborné práce Přidala (2005), zabývající se včelami a plodinami důležitými pro opylování, je obrázek č. 2. V něm můžeme vidět propojenost a návaznost opylování během roku, kterou je potřeba podporovat. Vyznačená období během roku jsou pro opylovače důležitá z důvodu nektaru (N), pylu (P) a medovice (M) pro jejich snůšky medu a rozvoj včelstva. Je zde naznačen i potenciální plánovaný výnos (V) v kilogramech medu.



Obrázek 2 Využití plodin včelami v průběhu roku (Přidala 2005)

Od jednotlivých plodin můžeme přejít ke státům. Výzkumy zabývající se opylováním odhalily už v roce 1993 závislost na opylování v těchto zemích: Pobřeží slonoviny, Madagaskar, Jemen, Bělorusko a Thajsko. Tyto země mají část svého ekonomického příjmu přímo závislé na „pomoci“ opylovačů. Ale nejen země s nízkým HDP vykazují vysokou zranitelnost vůči poklesu opylování. Země s vysokým HDP jako je USA, Jižní Korea, Japonsko, Austrálie, Itálie, Španělsko, Argentina a Brazílie měly také relativně vysoké závislosti svého zemědělství na opylování (Lautenbach 2012). Například zavedení bambusových hnízd pro včely rodu *Xylocopa* na brazilských plantážích tropického ovoce marakuja zvýšilo výnos o 781 % (Camillo 1996). Výnosy lze vyjádřit i jinak než procenty: například ekonomickou hodnotou, která by se musela vynaložit na zajištění stejné úrody bez opylovačů. Lautenbach (2012) souhrnně zjistil globální ekonomické hodnoty opylování u jednotlivých světově významných plodin a jejich produkčně nejvýznamnější lokality (tabulka 1). Například ekonomická hodnota opylování u jabloňových sadů může dosáhnout i hodnoty 1 750 EUR/ha.

**Tabulka 1 Ekonomické hodnoty opylování u jednotlivých plodin a jejich lokalizace (Lautenbach, 2012)**

Druh	USD/ha	pěstování
soja	490	jižní Brazílie, Argentina, Čína, USA,
bavlna	až 1500	čínské provincie Jiangsu, Hubei a Shaanxi Tádžikistán, Indie, jižní Queensland v Austrálii
jablka	až 2000	delta Nilu, Sýrie, Libanon, Jižní Korea, Argentina, čínské provincie Shandong, Liaoning, Hebei a Shanxi a malé provincie Brazílie
hrušky	1500	delta Nilu, Sýrie, Libanon, Jižní Korea, Argentina, čínské provincie Shandong, Liaoning, Hebei a Shanxi a malé provincie Brazílie
mandle	až 600	převážně Kalifornie a Sýrie v menší míře v jižní Evropa, Jižní Austrálie, Írán, Turecko
kakao	až 550	Pobřeží slonoviny, Ghana, Nigérie, Kamerun, severní Ekvádor a Bahie (Brazílie)
káva	2000	Minas Gerais (Brazílie), vysočiny v Keni, Hondurasu, El Salvadoru, Nikaragui a na jižní Sumatře

### 1.2.1 Zvýšení hodnoty opylování

Pokles chovaných a divokých včelstev vyžaduje zvláštní opatření a nové přístupy pro podporu populací divokých opylovačů na zemědělské půdě. Příkladem jsou agroenvironmentální programy nebo zvláštní opatření pro zachování zdrojů (Olsson a kol. 2015). Základní rámec hodnocení ekosystémových služeb představuje nový přístup k posuzování významu přírodního prostředí pro kvalitu lidského života. Hospodářské a další aktivity lidí způsobují snížení schopností ekosystémů uspokojovat jejich potřeby, což v konečném důsledku znamená snížení kvality jejich života (MA 2005).

Udržitelnost zemědělství lze zlepšit začleněním správy ekosystémových služeb, jako je opylování hmyzem, do zemědělských postupů. Protože ale chybí rozsáhlejší přijetí postupů založených na ekosystémových službách v zemědělství, obecně pěstitelé podhodnocují výhody využívání ekosystémových služeb ve srovnání s tradičními postupy (Fijen 2018). Je zřejmé, že snížení služeb ekosystémů, jako je například snížení výnosu plodin, se týká i poklesu rozmanitosti divokých opylovačů a jejich schopnosti opylovat.

### 1.3 Opylovači a jejich doletové vzdálenosti

Schopnost jednotlivých druhů opylovačů pohybovat se mezi málo zastoupenými typy biotopů s cílem získat různé zdroje může být kritickým mechanismem, který je základem dynamiky populací živočichů, a nakonec i úrovní biologické rozmanitosti v různých prostorových měřítkách. Bylo zjištěno, že pyly shromážděné včelami hnízdícími v různých typech biotopů se přizpůsobily sběru pylu kvetoucích rostlin z celé okolní krajiny (Williams, Kremen 2007). Narůstající izolace od přírodního stanoviště výrazně snížila produkci potomků a míru přežití včel hnízdících na konvenčních farmách. Izolace měla slabší účinky na včely v oblastech polo-přírodního prostředí a měla jen malý dopad na populace včel na ekologických farmách. Různorodost krajiny je potřebná pro všechny druhy, jelikož při prostorové heterogenitě nastává i heterogenita časová. Druhy tedy lépe a rychleji naleznou potřebné zdroje na menší ploše. Více se jim daří a celkově lépe prosperují, když nemají časová období s nedostatkem včelí pastvy, kdy musí nedobrovolně potravně strádat, což má za následek snížení početnosti a tím pádem celkové oslabení populací (Potts 2016).

Divokým opylovačům je v současné zemědělské praxi přikládán nedostatečný význam. Opylovači jsou zemědělci bráni pouze jako automatická součást krajiny. Současné hospodaření by mělo přicházet s cílem zvýšit množství opylovačů, protože to má ekonomický smysl v jakémkoliv zemědělském systému (Fijen 2018). Komerční využívání několika druhů čmeláků jako opylovačů a několik dalších druhů solitérních včel je stále více ekonomicky zajímavé (Potts 2016).

Čmeláci poskytují nejvíce opylovacích služeb, zatímco motýli a včely samotářky nejsou tak produktivní, poskytují ale významnou opylovací službu. Čmeláci jsou hlavními opylovači plodin u volně rostoucích rostlin v severních mírných oblastech. Znalost jejich ekologie je zásadní pro návrh efektivního managementu a ochrany, ale klíčové aspekty zůstávají stále nedostatečně prozkoumány (Lye, Gillian a kol. 2009).

Čmeláci (*Bombus spp.*) zastupují v zemědělských systémech klíčovou roli. Nicméně tento taxon utrpěl těžkými poklesy počtu v důsledku intenzifikace zemědělství. Úsilí o ochranu se do značné míry zaměřuje na poskytování krmných zdrojů pro čmeláky v létě. Poskytnutí vhodného stanoviště během jarního období při zakládání hnízda by však mohlo být účinnějším způsobem podpory místních populací čmeláků (Lye, Gillian a kol. 2009). Tento výzkum ukazuje atraktivitu tří



různých typů biotopů zemědělské půdy (živý plot, okraj pole a travní porosty). Heterogenní venkovská struktura hospodaření přitahuje čmeláčí královny, pro které jsou nejatraktivnějším typem biotopu okraje venkovských polí a terénní nerovnosti. Tyto biotopy byly běžné téměř všude, před násilnou kolektivizací zemědělství. Tyto biotopy přitahují druhy jak k hnízdění, tak i k hledání potravy. Královny se zde proto na jaře vyskytují v relativně vysokých hustotách. Dále druhy přitahuje pěstování rozmanitých časně kvetoucích pícnin a plodin. Neopomenutelnou informací je i fakt, že načasování aktivity královen jednotlivých druhů je rozdílné z důvodu krmení, hnízdění i například letové aktivity. Tato zjištění naznačují, že by mělo být možné vyvinout jednoduché strategie kombinovaného managementu, které by poskytly jak vhodná hnízdiště, tak i zdroje pícnin na zemědělské půdě. Podpořily by tak vznik hnízd čmeláků a tím i hojnosti v zemědělském prostředí (Lye, Gillian a kol. 2009).

Knight a kol. (2005) provedli srovnání rozsahu vzdáleností, kam čmeláci létají za potravou a srovnání hnízdní hustoty čtyř druhů čmeláků (*Bombus*). V souladu s předchozími studiemi byl minimální odhad maximálního rozmezí určen pro: *B. terrestris* (758 m) a nejméně pro *B. pascuorum* (449 m). Expertní odhad *B. lapidarius* byl podobný *B. pascuorum* (450 m), zatímco *B. pratorum* byl střední (674 m). Carvalho (2011) provedl celkem 147 pozorování čmeláků (*Bombus spp.*) znázorněných v tabulce 2, při kterých sledoval 4 druhy. Zjistil, že jakmile hmyz začne v určité oblasti s krmením, tyto populace mají potenciál zvýšit ve své doletové vzdálenosti výnos plodin, které jsou na zprostředkovaném hmyzím opylování závislé.

**Tabulka 2 Zjištěný souhrn doletových vzdáleností jednotlivých druhů**

Opylovač	vzdálenost (m)	výzkum	země
samotářské včely	150-600	Gathmann A., Tschardt T. 2002	Německo
<i>Bombus terrestris</i>	758	Knight M. E. a kol. 2005	V. Británie
<i>Bombus pascuorum</i>	449	Knight M. E. a kol. 2005	V. Británie
<i>Bombus lapidarius</i>	450	Knight M. E. a kol. 2005	V. Británie
<i>Bombus pratorum</i>	674	Knight M. E. a kol. 2005	UK

### 1.3.2 Doletové vzdálenosti opylovačů

Doletová vzdálenost opylovačů je jedním ze základních parametrů modelu opylovačů v diplomové práci, protože od ní se odvíjí celá analýza a následná vizualizace krajinného potenciálu pro opylování. Doletové vzdálenosti se zvyšují s velikostí těla (rozpětím) nelineárně. Větší včely mají neúměrně větší dolety za krmením než menší včely (Greenleaf a kol. 2007). Se zvětšující se doletovou vzdáleností za snůškou pylu, či nektaru se logicky zvyšuje také přirozená úmrtnost jedinců hledajících potravu. Ricketts a kol. (2008) zjistil vzdálenosti, při kterých klesá návštěvnost opylovaných rostlin na polovinu. U čmeláků je to obecně vzdálenost do 668 m. Výzkum u sociálních včel zjistil touto metodou 439 m a 591 m u samotářských včel (Gathmann, Tschardtke 2002). Maximální vzdálenosti mezi místem hnízdění a sběru potravy se nachází průměrně mezi 150–600 m pro 16 zkoumaných druhů včel (viz tabulka 3).

**Tabulka 3 Maximální doletové vzdálenosti evropských samotářských včel za krmením a průměrná velikost těla na základě experimentů (Gathmann A., Tschardtke T. 2002)**

Druh	Délka těla (mm)	Vzdálenost krmení (m)	Reference
<i>Andrena barbilabris</i> (Kirby)	11,5	300-500	Witt (1992), Wesslerling (1996)
<i>Andrena cineraria</i> (Linnaeus)	14	300	Gebhardt & Röhr (1987)
<i>Andrena clarkella</i> (Kirby)	13	300	Gebhardt & Röhr (1987)
<i>Andrena flavipes</i> (Panzer)	12	260	Wesslerling (1996)
<i>Andrena vaga</i> (Panzer)	14	260	Wesslerling (1996)
<i>Chelostoma florisomne</i> (Linnaeus)	5,5	150	Kapyla (1978)
<i>Chelostoma rapunculi</i> (Lepeletier)	8,5	200	Gathmann (1998)
<i>Colletes cunicularis</i> (Linnaeus)	13,5	350	Wesslerling (1996)
<i>Megachile lapponica</i> (Thompson)	11	600	Wesslerling (1996)
<i>Megachile rotundata</i> (Fabricius)	8,5	100-500	Tepedino (1983), Tasei & Delaude (1984)
<i>Osmia anthocopoides</i> (Schenk)	9,5	150	Molitor (1937)
<i>Osmia maritima</i> (Friese)	11,5	150	Haeseler (1982)
<i>Osmia mustelina</i> (Gerstaecker)	13,5	1 000	Molitor (1937)
<i>Osmia rufa</i> (Linnaeus)	11	600	Gathmann (1998)
<i>Pangurus banksianus</i> (Kirby)	11	250	Münster-Swendson (1968)
<i>Tetralonia salicariae</i> (Lepeletier)	10,5	400	Molitor (1936)
<i>Xylocopa violacea</i> (Linnaeus)	24	1 200	Molitor (1937)

Tyto experimenty ukázaly, že samotářské včely mají poměrně krátkou doletovou vzdálenost na místo krmení, takže lokální struktura stanovišť je důležitější než rozsáhlá krajinná struktura. Proto je nutné zachovat a obnovit hustou síť plošek v krajině, aby

byla zajištěna dlouhodobá udržitelnost rozmanitých druhů divokých včel a jejich ekologická funkce jako významných opylovačů (Gathmann, Tschardtke 2002).

Celkově vyplývá, že zvýšení povědomí o potřebách opylovačů a jejich ochraně v krajině, je velmi aktuální. V praxi totiž jako společnost často upřednostňujeme pěstování plodin s aplikací nebezpečných postřiků před přirozenou ochranou plodin například diverzifikací. Opylovači poskytují příjmy, jež mají potenciál být mnohonásobně vyšší, než byly v minulosti. K tomu potřebujeme kvalitní data a výstupy o opylovačích i plodinách, aby mohlo nastat zvýšení produkce nejen zemědělských plodin, kterých bude v budoucnu ještě více zapotřebí. Také je potřeba jasně veřejnosti ukázat hmotné přínosy divokých opylovačů v krajině. Mapové podklady z modelů lze použít pro lepší obhájení zájmů ochrany přírody.

Tato problematika je velmi důležitá z hlediska:

- biodiverzity, estetiky
- zlepšení pochopení vztahů mezi opylovači
- ekonomického potenciálu opylování v zemědělství
- zviditelnění nedoceňované funkce krajiny
- poukázání na důležitost heterogenity krajiny

## 2. Cíle

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření modelu krajinného potenciálu poskytovat opylování jako ekosystémovou službu. Práce se snažila nalézt vhodné metody pro modelování potenciálního opylování v krajině při vysokém rozlišení krajinných typů na území v Pardubickém kraji z dostupných a poskytnutých dat o habitatových faktorech prostředí.

Dílčími cíli pak bylo:

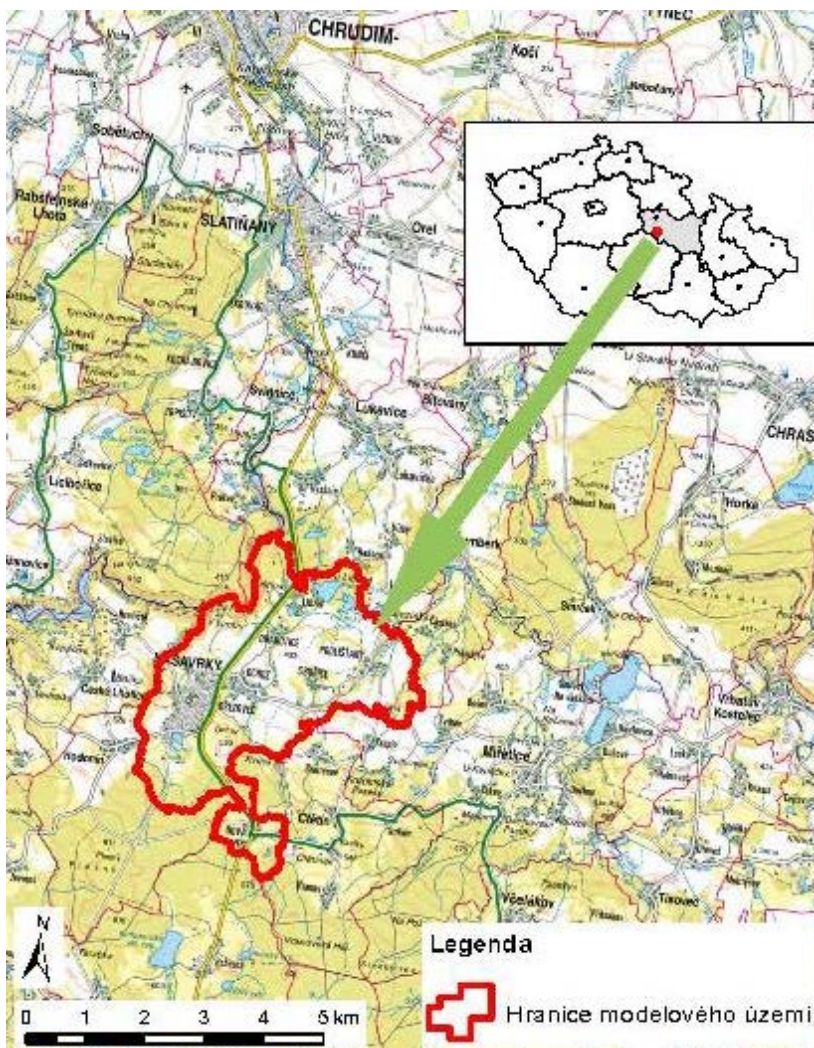
- 1) vytvořit rešerši existující odborné literatury za účelem získat informace o ekologických nárocích (stanovištní preference, doletové vzdálenosti apod.) odlišných skupin opylovačů;
- 2) analyzovat a graficky vyjádřit ekosystémovou službu opylování ve vytyčeném území;
- 3) ověřit možnost využití programu InVEST, modulu Pollination, pro mapování a hodnocení potenciálu krajiny pro opylování volně žijícími druhy opylovačů.

## 3. Materiál a metody

### 3.1 Studované území

Vybrané modelové území je situováno při úpatí Železných hor v Pardubickém kraji. Rozkládá se na třech katastrálních územích: Nasavrky KÚ 701637, Ochoz u Nasavrky KÚ 709395 a Podlíšťany KÚ 724009 (obrázek 3). Území je součtem rozloh jednotlivých KÚ, ke kterému se dostaneme ve výsledcích v tabulce 5. Celková rozloha modelového území zmíněných katastrů je 12,57 km<sup>2</sup>.

Při podrobnějším zkoumání místní krajiny zjistíme, že zdejší půdy stagnosoly ovlivněné dlouho stojící povrchovou vodou mají omezené zemědělské využití z důvodu nedostatku kyslíku. Nejčastěji jsou proto využívány pro travní společenstva (Šarapatka 2014). Tato travní společenstva se v zájmovém území často nacházejí na bázi svahů (Tomášek 1995). Quit (1970) v mapě klimatických oblastí uvádí toto území jako krajinu mírně chladnou. Srážkové úhrny jsou uváděny kolem 800 mm a průměrná roční teplota se pohybuje mezi 5 a 6 °C (Quit 1970). V lesích převládají porosty smrku, ale potenciálním přirozeným porostem by zde měla být biková bučina (CENIA 2010).



Obrázek 3 Lokalizace území

## **3.2 Vstupní data o krajině**

V práci jsou významně využita data ze souhrnné vrstvy krajinného pokryvu, tzv. konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES). Dále jsou využita data z veřejného registru půd (Land Parcel Information System; LPIS) pro upřesnění druhové skladby plodin na zemědělské půdě, data z katastru nemovitostí zpřesňují výstupy převážně v intravilánu obcí. Veškerá data použitá pro diplomovou práci jsou z veřejně dostupných zdrojů, nebo byla vyžádána pro potřeby diplomové práce od Agentury ochrany přírody (AOPK) a z Ministerstva zemědělství.

### **3.2.1 Konsolidovaná vrstva ekosystémů KVES**

Od AOPK byla poskytnuta vrstva KVES na licenční smlouvu ve vektorové podobě, ve formátu SHP vhodném pro zpracování v geografických informačních systémech. Vrstva umožňuje rozlišení přírodních biotopů od antropogenních typů ekosystémů (Ecosystem services.cz 2014). Byla vytvořena pro národní/regionální úroveň hodnocení ES a umožňuje prostorovou specifikaci hodnocení ekosystémových služeb na různých měřítkových úrovních.

KVES byla vyhotovena spoluprací AOPK ČR, CzechGlobe a Centra výzkumu globální změny AV ČR v roce 2013 jako veřejně dostupný podklad pro mapování ekosystémových služeb (projekt Integrované hodnocení ekosystémových služeb v České republice). Jedná se o podrobnou vrstvu krajinného pokryvu zahrnující celé území ČR. Krajinný pokryv byl podrobně rozdělen do 41 kategorií podle biotopů, což se blíží detailu rozlišitelnému člověkem při terénním mapování (webgis.nature.cz 2019). Jako podklad byla použita nejpodrobnější a nejaktuálnější data, která byla k dispozici. Mapa je založena na kombinaci vrstvy mapování biotopů ČR, dat ZABAGED (Základní báze geografických dat), DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat), UrbanAtlas, LPIS (veřejný registr půd) a CORINE Land Cover. Nově vytvořená data z projektu byla ověřena Českým statistickým úřadem a částečně LPIS v roce 2012.

### **3.2.2 Veřejný registr půdy – LPIS**

Mapy a data LPIS jsou potřeba pro zpřesnění krajinných typů zemědělsky obdělávaných území v okolí obcí. Pro účely LPIS je celá republika rozdělena do pravidelné sítě 10x10 km, kde každý čtverec má své jedinečné označení, podle kterého ho lze vyhledat. Ze stránek Veřejného exportu dat LPIS

<http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/> byly pro jednotlivé katastry staženy soubory s názvem „díl půdního bloku“ (DPB) ve formátu SHP. V rámci SHP jsou definovány základní atributové údaje k DPB. Spojením označení čtverce a DPB, vznikne jednoznačný identifikátor.

Na jednom DPB se může pěstovat více plodin, což v praxi znamená, že jeden DPB se nerovná jedné plodině. Pro upřesnění druhové skladby plodin ve vymezeném území byl vyžádán od Státního zemědělského intervenčního fondu (SZIS) soubor „*Plodiny\_2016-18.xls*“ pro roky 2016 – 2018 pro zájmové území, ze kterého byly v modelu použity ty typy plodin, které opylovači využívají.

### 3.2.3 Katastr nemovitostí

Mapy katastru nemovitostí jsou zapotřebí především pro zpřesnění krajinných typů v intravilánech obcí. Mapa katastru nemovitostí byla získána z veřejně dostupných stránek ČÚZK Praha <http://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/>, kde byly staženy soubory digitální katastrální mapy ve formátu SHP pro jednotlivé katastry. Tyto mapy vznikly obnovou a novým mapováním, případně přepracováním dosavadních map KN do měřítka 1:1000 a 1:2000 v souřadnicovém systému S-JTSK a jsou součástí ISKN – Informačního systému katastru nemovitostí.

## 3.3 Vstupní data o opylovačích

Bylo zapotřebí vybrat skupiny opylovačů, které budou v práci hodnoceny. Skupiny byly expertně vybrány na základě vysokého populačního zastoupení v České republice a velikosti přínosu pro opylování.

Indexy v tabulce 4 představují preference při využívání míst pro hnízdění 0 nebo 1, sezonní aktivitu a relativní početnost v rozmezí od 0 do 1, které jsou takto přednastaveny v programu InVEST. Konkrétní hodnoty indexů pro zpracovávané území byly posouzeny expertně po konzultacích s Mgr. Monikou Mazalovou, Ph.D. Konkrétní hodnoty doletových vzdáleností ohledně čmeláků byly zjištěny převážně z práce Knight (2005). Mezi velké čmeláky byl zařazen čmelák zemní (*Bombus terrestris*) čmelák skalní (*Bombus lapidarius*). Mezi malé čmeláky byl zařazen čmelák rolní (*Bombus pascuorum*) a luční (*Bombus pratorum*).

Dále byly průměrné doletové vzdálenosti samotářských včel zjištěny podle práce Gathmann, Tschardtke (2002). Indexy týkající se drvodělek byly expertně odhadnuty podle práce Gathmann, Tschardtke (2002) a za pomoci českých webů jako jsou:

<http://www.vcelynastrese.cz/atlas/drvodelky.html>;

<http://www.nasepriroda.cz/artkey/npr-201404-0004.php>.

Všechny indexy jsou velmi důležité pro nastavení vstupních parametrů modelu v programu InVEST.

**Tabulka 4 Skupiny opylovačů a jejich charakteristiky**

skupina druhů	index hnízdní vhodnosti - dutiny	index hnízdní vhodnosti - půda	index aktivity brzká sezóna	index aktivity pozdní sezóna	průměrné doletové vzdálenosti (m)	relativní početnost
<i>drvodělky</i>	0,65	0,35	1,00	1,00	1200	0,2
<i>malé samotářky</i>	0,20	0,80	0,70	0,30	300	0,5
<i>velcí čmeláci</i>	0,00	1,00	0,50	0,70	1250	0,5
<i>malí čmeláci</i>	0,35	0,65	0,50	0,70	650	0,5

### 3.4 Příprava a zpracování dat o krajině

Krajině rozřazené do jednotlivých typů na základě souhrnných dat z KVES, KN a LPIS byly přiřazeny různé hodnoty vhodnosti na základě expertně odhadnuté schopnosti poskytnout potravní zdroje opylovačům. Rozdělení bylo provedeno s přihlédnutím k práci od Affek (2017), protože Polsko má obdobnou strukturu krajiny jako ČR. V práci je přímo uvedeno, že bylo vytvořeno rozdělení pro ekosystémy střední Evropy podle fytoecologických záznamů ze studované oblasti.

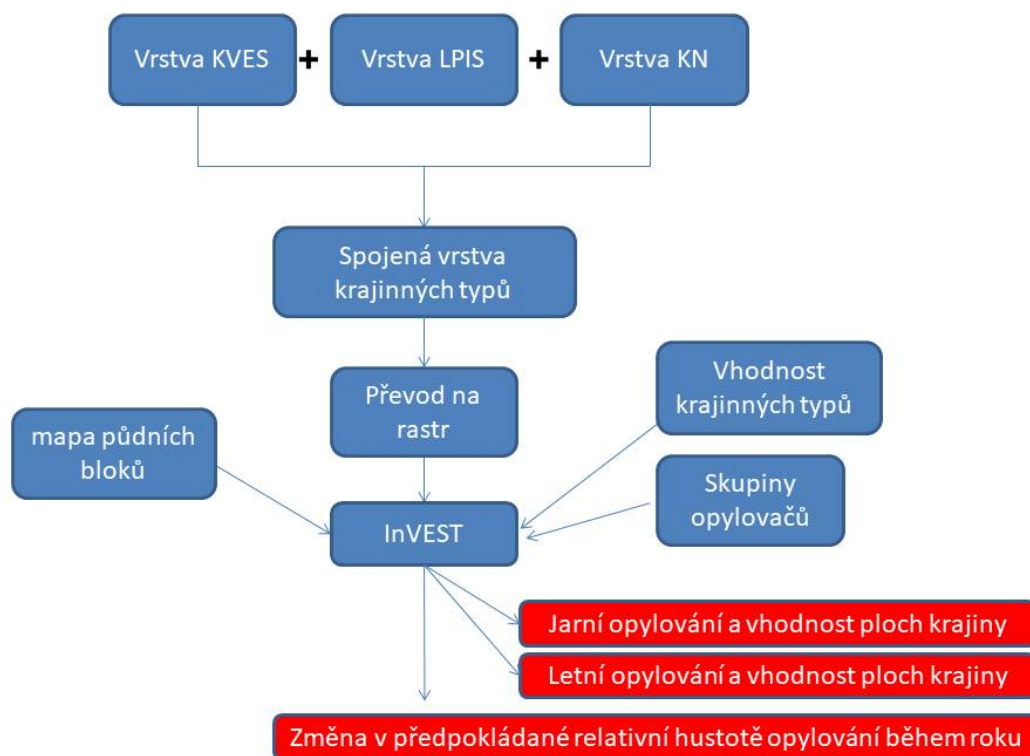
Důležitým vstupním bodem přípravy dat bylo spojení vrstev KVES, LPIS a katastru nemovitostí (obrázek 4). Tyto vrstvy bylo nutné spojit z důvodu získání podrobnějších dat z intravilánů a obhospodařovaných ploch v extravilánu obcí. Vzniklá vrstva byla převedena na rastrový formát, který je dále zpracován v programu InVEST. Pro editaci a vizualizaci dat v průběhu přípravy byl používán software firmy Esri ArcGIS 10.4.1 for Desktop, která je centrální aplikací.

Vhodnost krajinných typů pro opylovače z hlediska hnízdění a potravní aktivity je vyjádřena v příloze 1. Skóre 0,5 zde znamená, že 50% pixelu krajinného pokryvu poskytuje vhodné prostředí pro hnízdění a dostupné květinové zdroje. Vstupní data o skupinách opylovačů jsou znázorněna výše zmíněnou tabulkou 4. Hnízdění bylo rozděleno na hnízdění v zemi a v dutinách. Potravní aktivita byla rozdělena na jarní



a letní. Vstupní data o plodinách jsou ukryta, ve vektorové mapě půdních bloků jednotlivých pozemků.

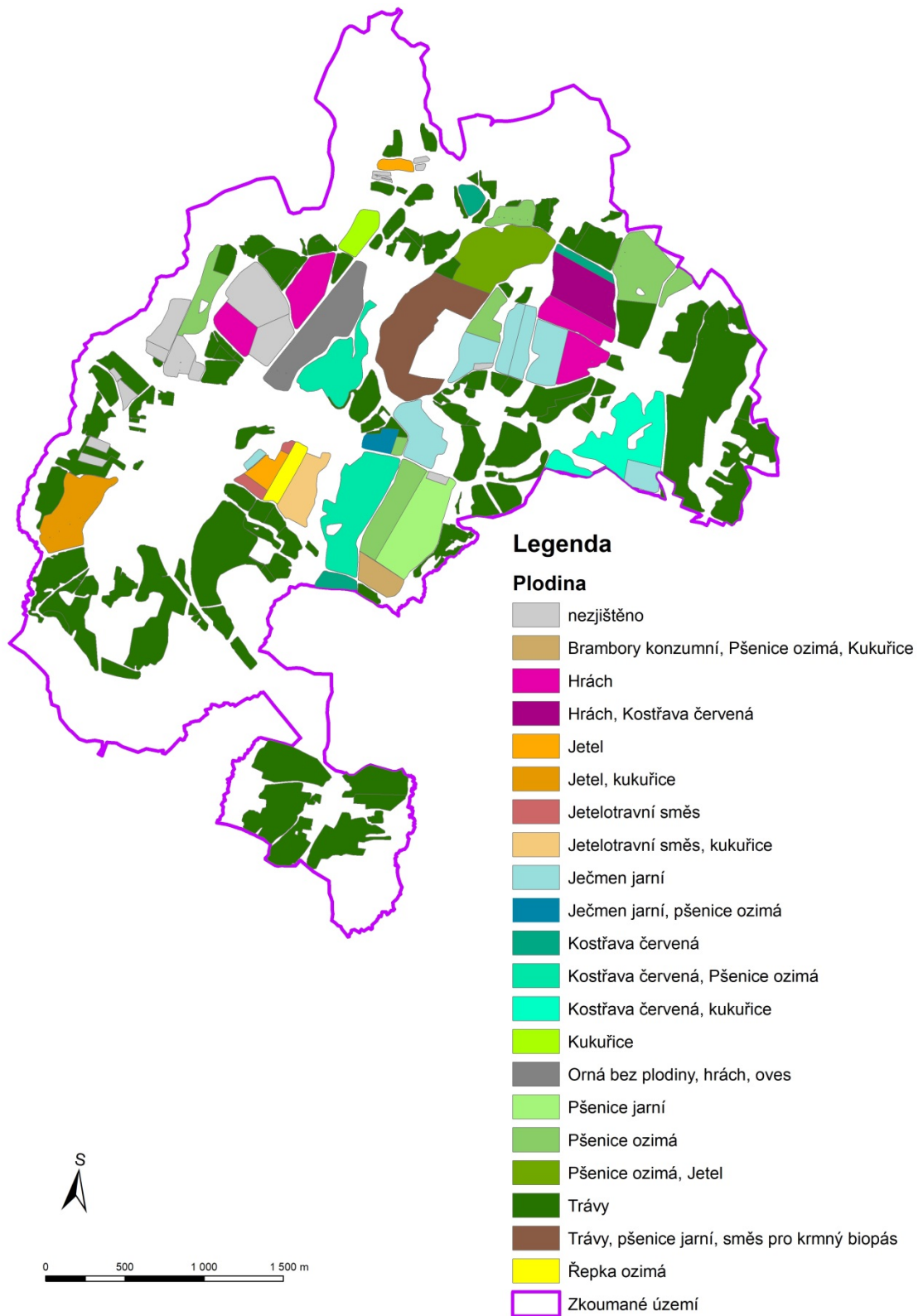
Všechna tato data vstupují do modulu “Pollination InVEST” který pro správnou práci potřebuje prostorová data převážně ve formátu rastr a ostatní data v excelovém formátu CSV. Výstupem jsou rastrové mapy s vhodností jednotlivých ploch pro opylovače v průběhu roku.



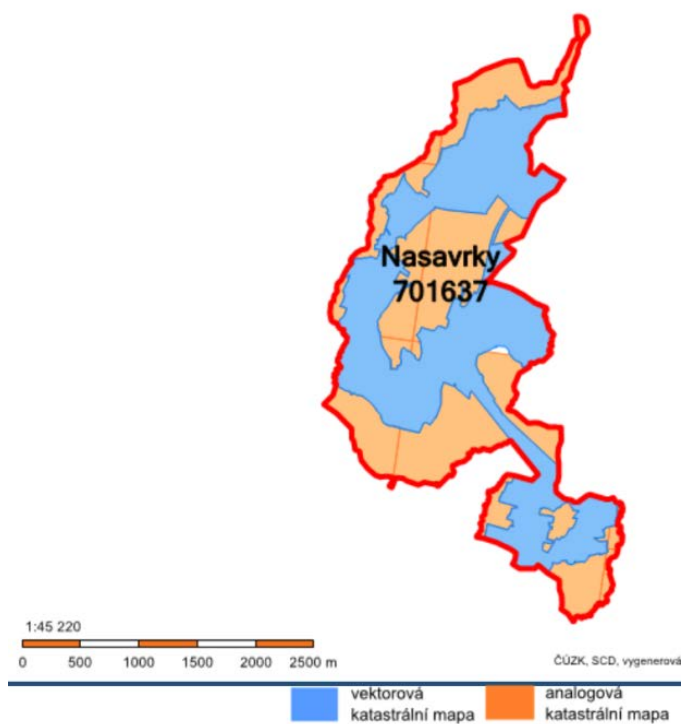
**Obrázek 4** Postup vytvoření výsledných map

Dále jsou podrobněji vizualizovány jednotlivé vstupní vrstvy dat. Nejméně úprav bylo ve vrstvě LPIS, ve které byl nejpodrobnější extravilán se zemědělskými plochami. Na základě doplnění atributové tabulky půdních bloků daty z LPIS 2016-2018 o druhu pěstované plodiny bylo možno vizualizovat druhovou skladbu plodin v zájmovém území na obrázku 5.

Využití dat o intravilánech z katastru nemovitostí bylo složitější v závislosti na příslušném katastru. Ve zkoumaném území byla k dispozici digitální katastrální mapa (DKM) pro celé KÚ Ochoz u Nasavrky a pro Podlíšťany. Pro KÚ Nasavrky byla DKM zpracovaná pouze na části území, především v extravilánu (na obrázku 6 znázorněném modře), ale potřebná data se nacházela v intravilánu obcí.



Obrázek 5 Využití dat o plodinách z LPIS



**Obrázek 6** Stav digitalizace katastrální mapy pro KÚ Nasavrky (ČÚZK Praha 2019)

Pro další práci tedy bylo nutné ručně zvektorizovat v prostředí ArcGIS zbývající část KU, doplnit atributy, a tím zpřesnit druhy pozemků (zahrady, sady, ...) v KÚ Nasavrky viz obrázky 7 a 8.

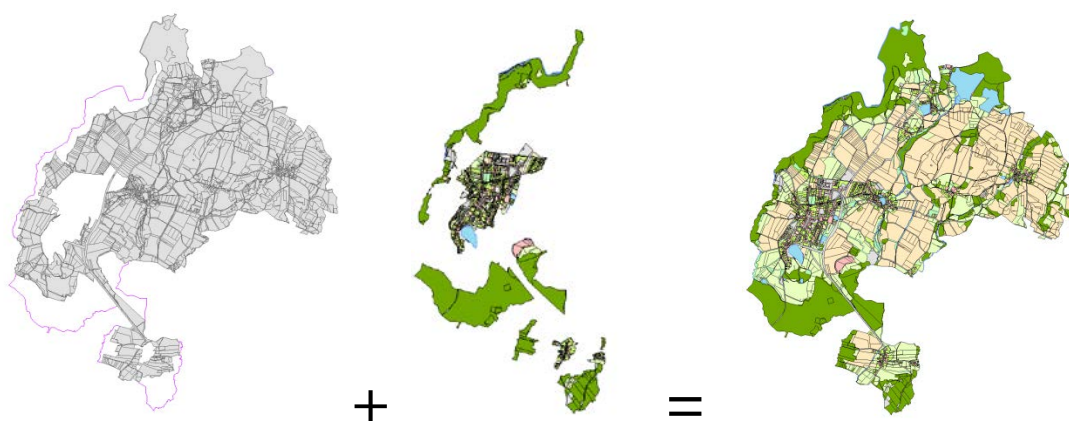


**Obrázek 8** Analogová katastrální mapa v prostoru PP Kaštanky před vektorizací



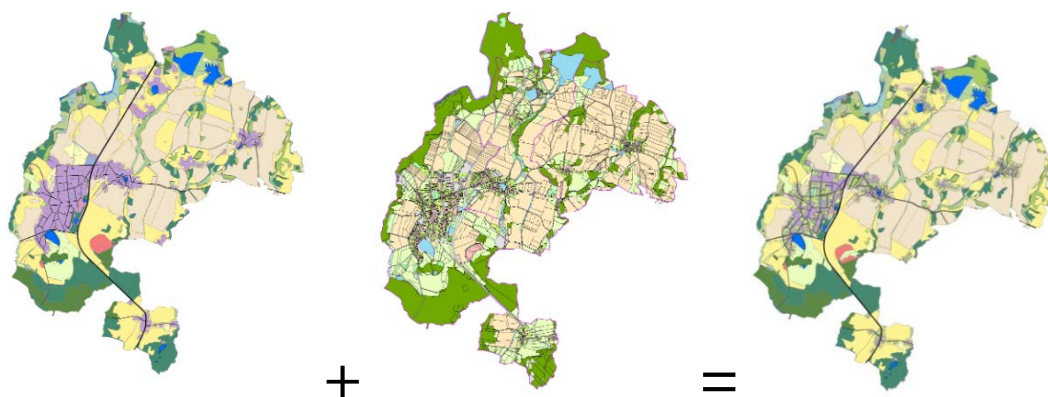
**Obrázek 7** Vizualizace zvektorizovaných parcel

Pro práci bylo potřeba stáhnout data o jednotlivých katastrech nemovitostí ze stránek ČÚZK (Nasavrky (701637), Podlíšťany (709395) a Ochoz u Nasavrky (724009) (<http://services.cuzk.cz/shp/ku/epsg-5514/>) a tyto spojit specifickými identifikátory jak v rámci staveb, tak využití pozemků a druhů pozemků. Na začátku byly spojeny vrstvy parcel a k nim byl připojen číselník nemovitostí (<https://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti/Poskytovani-udaju-z-KN/Ciselniky-ISKN/Ciselniky-k-nemovitosti.aspx>) Dále byly spojeny vrstvy využití pozemků zájmových katastrů a také připojeny k vrstvě parcel viz obrázek 9.



**Obrázek 9** Vizualizace digitální katastrální mapy doplněné parcelami z katastru nemovitostí, z které jsou využita data převážně z částí v intravilánech obcí

Další operace znázorněné na obrázku 10 zpřesňují kategorie v intravilánech, aby s nimi bylo možné pracovat při vysokém rozlišení. Z vrstvy KN byly převzaty a začleněny do obecné vrstvy KVES sady, zahrady, zeleň a travní porosty. Tímto postupem byla vytvořena zpřesněná vrstva KVES v oblastech intravilánu, kde původně tyto údaje nebyly. Tímto způsobem se odlišily přírodní biotopy ve městě od biotopů mimo město.



**Obrázek 10** KVES spojený s detailnějším KN v intravilánech

Výsledek spojování a ořezávání obsahuje specifické hodnoty pro jednotlivé kategorie krajiny. Všechny informace jsou zakomponovány v jednom vektorovém souboru, ze kterého bylo třeba vytvořit rastr. Tato rastrová vrstva byla vytvořena v souřadnicovém systému UTM Zone 33 N o rozlišení 5x5 m, který byl uložen ve formátu „grid“, který slouží jako referenční podklad pro program InVEST, dále využitý jako podklad pro výpočty. Výsledkem je rastrová vizualizace krajiny, která vstupuje do modelování. Nejpodstatnější jsou zde informace obsažené v rastrových polích.

### **3.5 Modelování v InVEST a výstupy**

Pro modelování byl použit volně dostupný program InVEST 3.7.0, Stanfordské Univerzity (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/>). Byl vybrán jako nejlepší varianta pro práci na základě rešerše odborných prací zabývajících se podobnými tématy, například: Affek (2017) a Zulian a kol. (2013). Z rešerše těchto studií vyplývá, že optimálním řešením pro zkoumanou oblast v diplomové práci je použití programu InVEST s modulem Pollination, který je velmi všestranný, a který je vyvíjen pro mapování ekosystémových služeb v lokálním měřítku.

InVEST je open-source modulární software, který je vyvíjen uživatelskou skupinou v rámci The Natural Capital Project. Slouží pro informování o hospodaření s přírodními zdroji a zefektivnění rozhodovacích procesů. Nástroj je modulární v tom smyslu, že nemusíme modelovat všechny ekosystémové služby, ale jen ty zájmové.

Modul “Pollination InVEST” je založen na těchto biofyzikálních parametrech, sloužící jako vstupní hodnoty modelu.

- souhrnná mapa využití území a typů krajiny
- vektorová mapa půdních bloků s údaji o plodinách
- biofyzikální tabulka s možností hnízdění s aktivitou v průběhu ročních období
- tabulka opylovačů pro každou skupinu divokých opylovačů s průměrnými letovými vzdálenostmi, relativní hojností a aktivitou v jednotlivých ročních obdobích

Na základě těchto vstupních údajů model odvodí index relativní početnosti opylovačů pro každý čtverec v krajině. Modul využívá expertního posouzení různých



druhů informací o jednotlivých typech krajiny. Poskytnuté parametry o dostupných hnízdních místech jsou programem použity pro výpočet dostupnosti květinových potravních zdrojů, při předem daném rozsahu doletu jednotlivých skupin druhů podle vstupních dat o opylovačích z tabulky 4. Data jsou kombinována, aby byl odvozen index relativní početnosti opylovačů na každé buňce mapy pokrývající krajinu. Zdroje potravy ve čtvercích v blízkosti hnízdních míst mají větší váhu než vzdálenější místa na základě principu nejlepší efektivity. Tím také vzniknou plochy nevyužívané, kvůli možnostem přístupu opylovačů ke každé „buňce,” ale stále tu zůstávají i plochy pro opylovače nevyužitelné. To vše se souhrnně ukáže na výstupních mapách.

Výsledky modelu ukazují dynamiku potenciálu krajiny poskytovat opylování jako ES během jara a léta na základě dostupných dat. Také ukazují změnu potenciálu krajiny během roku. Výstupní formou jsou mapy krajiny pro celou skupinu opylovačů i pro jednotlivé kategorie.

Výstupy z modelování v invest jsou komplexní. V této práci měly vypovídající hodnotu výsledky s hustotou opylovačů a počtem opylovačů.

- Index potenciálního výtěžku závislého na opylení, který lze připsat divokým opylovačům
- Celkový počet opylovačů na pixel v rámci všech skupin za sezónu
- Hustota opylovačů na pixel v dané sezóně
- Hustota skupin opylovačů na pixel v dané sezóně

Tato hustota opylovačů na jeden pixel, bere v potaz četnost druhu vynásobené vhodností stanoviště pro daný druh v konkrétním pixelu dále vynásobený koeficientem dostupnými květinovými zdroji, na které by opylovač mohl letět z tohoto pixelu.

Velmi zásadním krokem bylo rozdělení výsledných „gradientových map“ do srozumitelných a vypovídajících map. Kategorizace výsledného rastru vypočtených indexů vhodnosti pro opylování byla provedena programem ArcGIS verze 10.4 extenzí Spatial Analyst. K této klasifikaci byla použita metoda klasifikace pomocí kvartilů dávající stejné zastoupení ploch v jednotlivých kategoriích. Každá třída totiž obsahuje stejný počet prvků. Ke kvartilu se přiřadí v každé třídě stejný počet hodnot. Nevznikají tím žádné prázdné třídy nebo třídy s příliš malým nebo příliš velkým počtem hodnot. Protože prvky jsou seskupeny do každé třídy pomocí kvartilové klasifikace, podobné

prvky mohou být umístěny do sousedních tříd nebo mohou být do stejné třídy umístěny prvky s výrazně odlišnými hodnotami. Toto zkrácení je ale statisticky minimalizováno počtem tříd. K tomu přibyla pátá teoretická kategorie nehodnocených ploch.

Ve výsledcích jsou uvedeny pojmy jarní a letní opylování. V práci je tím myšleno pomyslné rozdělení období opylování, které se odvíjí od fyziologie rostlin. Na jaře rostou jarní efemery „jarní aspekt“ a v létě letní aspekt. Tím se ve výsledcích nabízí možnost ukázat nejen vhodnost jednotlivých typů krajiny jako celku, ale i vhodnost jednotlivých typů krajiny pro jednotlivé skupiny opylovačů na rozdílové mapě jara a léta.

## 4. Výsledky

Dostupná data umožňují zhodnocení kategorizované krajiny pro všechny zkoumané skupiny opylovačů na plochách s rozlišením 5x5 m. U menších ploch by byla pravděpodobněji větší chyba v určení kategorie. Tyto kategorie představují vhodná stanoviště pro volně žijící opylovače na základě hnízdních a potravních podmínek v každé “buňce” krajiny, vzhledem k okolní krajině.

Nejdříve se zaměříme na vizualizaci jarního opylování, na které naváže opylování letní s logickou návazností změny potenciálu krajiny pro opylovače během roku. To bude jako celkový výsledek modelu rozebráno na jednotlivé kategorie opylovačů, ke kterým vznikly podrobné mapy opylování dle vhodnosti ploch.

Graf 1 znázorňuje celkové zastoupení ploch ve zkoumaném území. Výsledky ukázaly, že opravdu velkou část plochy zaujímají plochy trav a nesouvislé městské zástavby, což jsou typy krajiny pro opylovače nejméně vhodné. Trávy zaujímají významně více rozsáhlejších ploch než jiné plodiny. Také dopravní síť, která rozděluje biotopy, opylovačům neprospívá.

Je zde naopak dobře viditelné vyšší plošné zastoupení hospodářských lesů, které vyšly na základě metodiky jako relativně vhodný typ krajiny pro opylovače. Také plošné a prostorové zastoupení zahrad, které jsou jedny z nejlépe ohodnocených typů krajiny, ukazuje na jejich důležitost v krajině. Vysoké zastoupení hospodářských luk je vhodné, oproti vysokému zastoupení pšenice, ječmene a ploch s kostřavou.





**Graf 1 Rozdělení plochy podle skupin porostů**

Nehodnocené plochy (-) v kategorizaci jsou malinké zbytkové plochy vzniklé různou přesností používaných dat.

Výsledek kategorizace je například v tabulce 5 a v příloze 2. Souhrnné vyjádření plošné výměry a procentuální vyjádření pro jednotlivé kategorie vhodnosti ploch opylení v jarním a letním aspektu ukazuje tabulka 5. Vynikají zde v prvním řádku

plochy nejméně vhodné s 45 % a 48 % v jednotlivých obdobích, ke kterým se mohou přičíst i nevhodné plochy s dalšími 10 % v obou obdobích.

**Tabulka 5** Výměra ploch vhodných pro opylení v jarním a letním aspektu opylování s procenty

vhodnost ploch	plocha m <sup>2</sup>			procenta plochy		
	jaro	léto	změna výměry jaro–léto	jaro	léto	změna výměry jaro–léto
nejméně vhodná	5 632 502	6 061 131	428 629	44,81	48,22	3,41
vhodnější	1 072 578	927 108	-145 470	8,53	7,38	-1,16
vhodná	3 935 065	2 634 819	-1 300 246	31,30	20,96	-10,34
nejvíce vhodná	629 510	1 645 590	1 016 080	5,01	13,09	8,08
nevhodná	1 300 867	1 301 874	-1 007	10,35	10,36	-0,01
suma m <sup>2</sup>	12 570 522	12 570 522	-	100	100	-

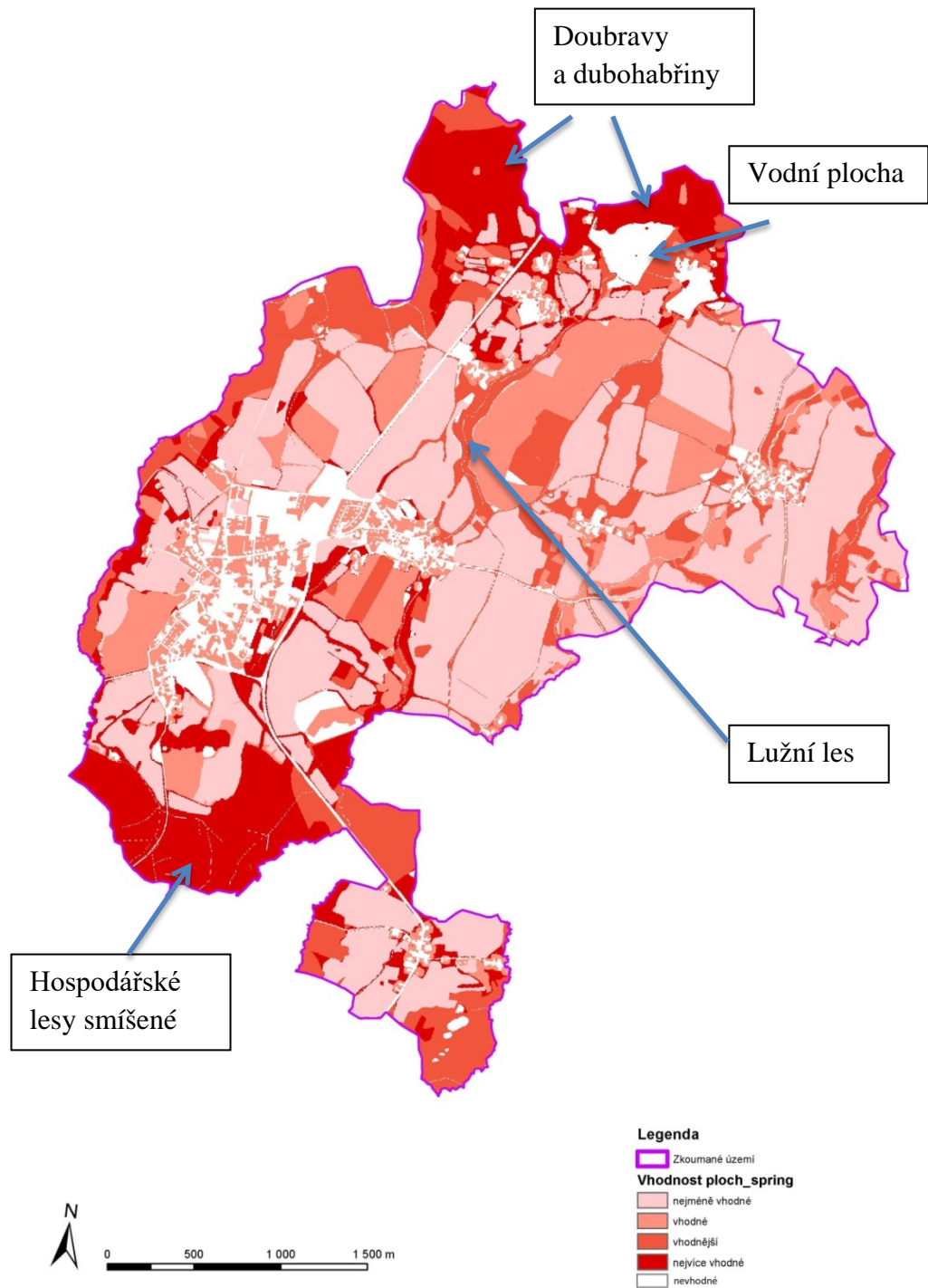
Oproti tomu je nevhodnějších a vhodných ploch v jarním aspektu 36 % a v letním 34 %. Také si musíme povšimnout výrazného poklesu vhodných ploch pro opylování mezi jarem a létem o 10 %, oproti tomu ale nastalo zvýšení nejvíce vhodných ploch o 8 %. To nám říká, že využívané plochy se sice docela výrazně změnilly na jinou kategorii, ale nijak se celkově nesnížilo jejich procentuální zastoupení v krajině.

V následujících kapitolách jsou shrnuty dílčí výsledky, jako je mapa struktury jarní krajiny a její vhodnost pro fungování opylovačů. Následně také struktura letní krajiny, která dokresluje vhodnost jednotlivých typů krajiny na základě předpokládaných relativních hustot. Bílá barva na následujících mapách představuje plochy nevhodné pro opylovače, jako jsou silnice, zástavba, skládka, ale jsou v ní zahrnuty i vodní plochy. Typy krajiny obsahující vodu jsou pro opylovače brány jako nevhodné, protože zde nezískávají potravu ani zde nemohou hnízdit. I přestože je tento typ krajiny nezbytný pro jejich existenci. Toto vyhodnocení vychází z možností současné verze programu InVEST.

## 4.1 Jarní opylování a vhodnost ploch krajiny

Výsledky jarního opylování na obrázku 11 zachycují reálný stav a rozložení složek krajiny a její vhodnosti pro opylovače z LPIS 2016–2018. Nejtmavší červenou barvou jsou vyznačeny kategorie zahrnující plochy nejvýznamnějších „nejvíce vhodných“ skupin porostů. Tím jsou kategorie: hospodářské smíšené lesy, doubravy a dubohabřiny. Světlejší červenou barvou jsou zvýrazněny plochy obsahující lužní a mokřadní lesy, jehličnaté hospodářské lesy a křoviny. Z polních kultur byly

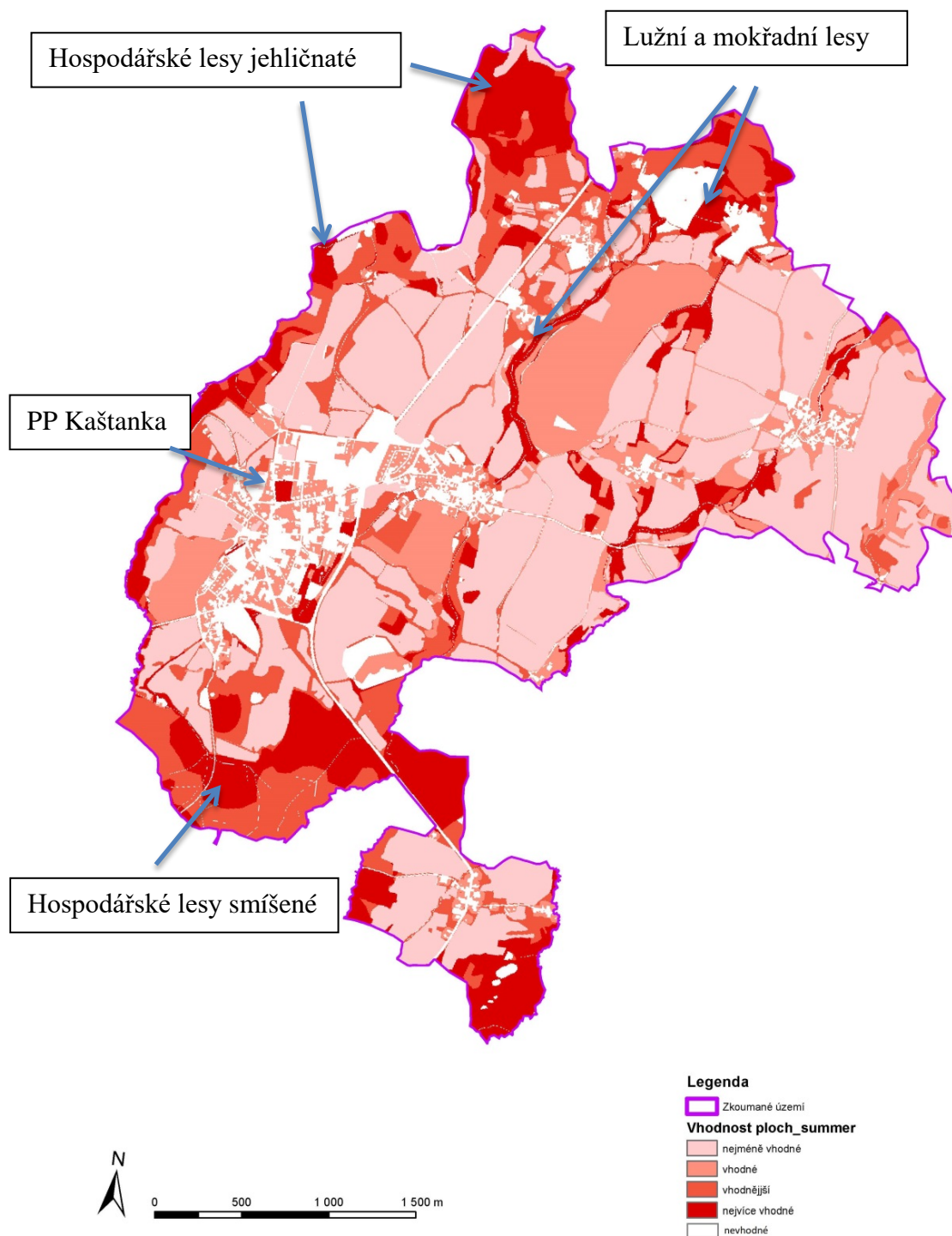
vyznačeny především plochy jetele a jetelotravních směsí (v příloze 2 v odstínech růžové až modré).



**Obrázek 11 Jarní rozdělení ploch pro opylovače podle vhodnosti**

## **4.2 Letní opylování a vhodnost ploch krajiny**

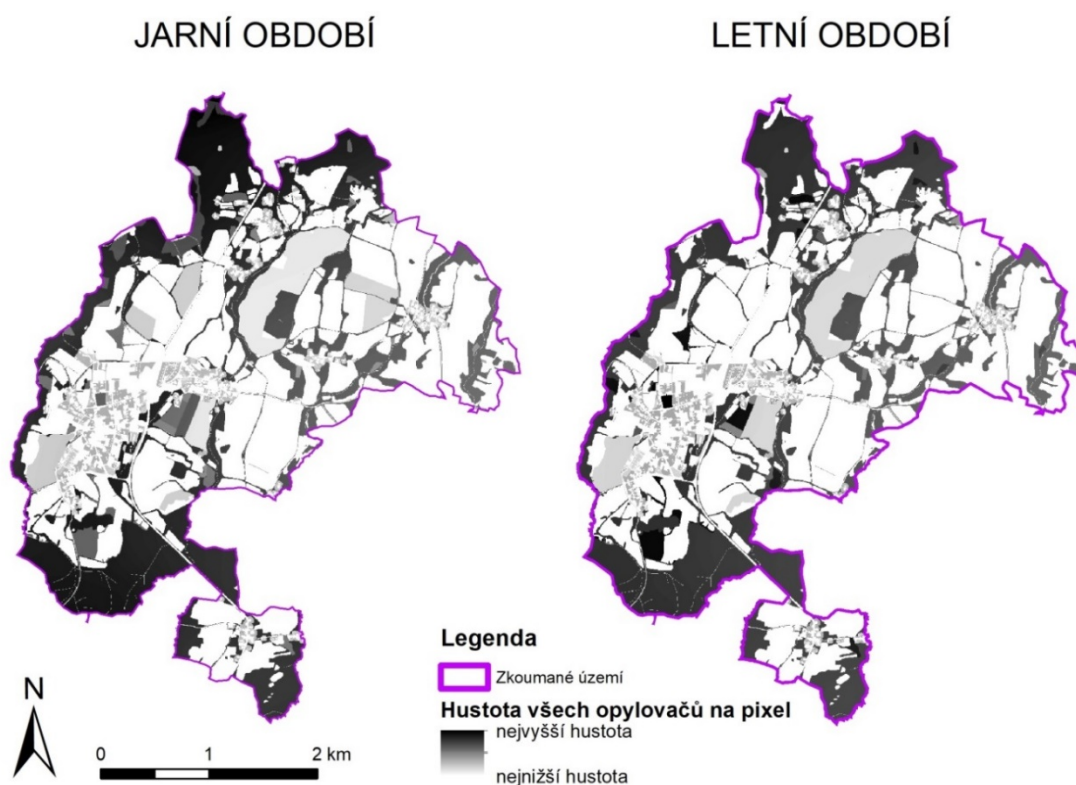
Výsledky letního opylování na obrázku 12 zachycují reálný stav a rozložení složek krajiny a její vhodnosti pro opylovače. Nejtmaší červenou jsou zbarveny nejlepší plochy, jako jsou například lužní a mokřadní lesy a hospodářské jehličnaté lesy. Ovšem i mezi polními plochami se najdou vhodné plodiny, jako jsou jetelotravní směsi, řepka, hrách nebo jetele. Uprostřed zastavěných a jiných bílých nehodnocených ploch vynikají jako významné plochy zahrad a lokalita PP Kaštanka.



Obrázek 12 Letní rozdělení ploch pro opylovače podle vhodnosti

### 4.3 Změny v krajině v předpokládané relativní hustotě opylovačů během roku

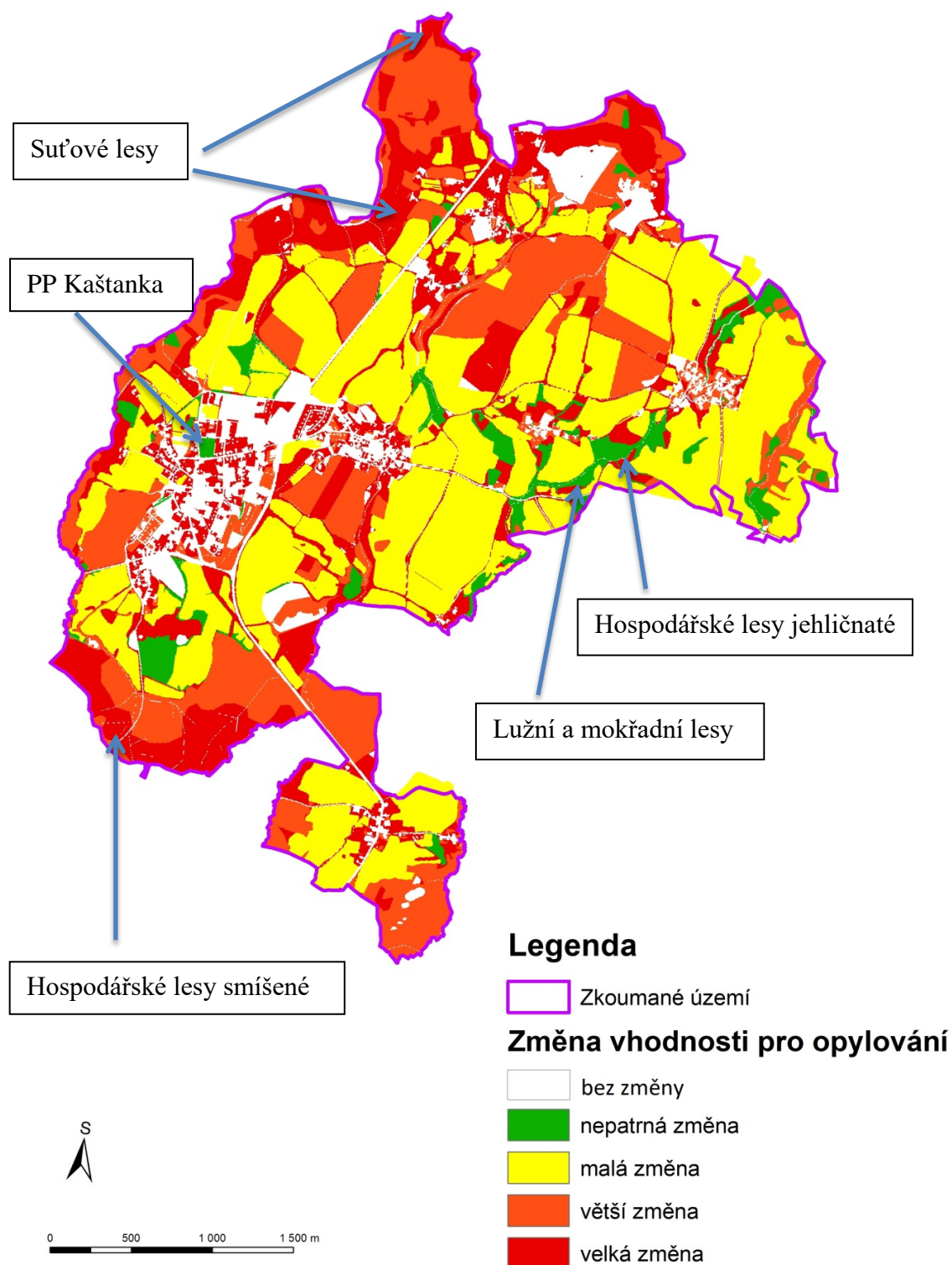
Výsledky na obrázku 14 ukazují v krajině změnu v předpokládané relativní hustotě opylovačů poskytovanou opylováním jako ES. Mapa na tomto obrázku vznikla na základě dostupných dat rastrovou subtrakcí hodnot vhodnosti jarního opylování od letního. Obrázek ukazuje změnu vhodnosti (preferencí) ploch pro opylování opylovačů při květení a po odkvětu ať již na jaře nebo v létě. O hustotě opylovačů vypovídá obrázek 13, který ukazuje zdrojové jarní a letní výstupové mapy z modelu.



Obrázek 13 Hustota opylovačů na pixel v jarním a letním období

Zelené plochy na obrázku 14 označují nepatrnou změnu relativní hustoty opylování, která jasně ukazuje ty lokality potřebné v krajině, jako jsou lužní lesy a hospodářské jehličnaté lesy uprostřed polí nebo dokonce PP Kaštanka. Žluté lokality s malou změnou jsou nejčastěji pole a louky. Červené lokality velmi změnily svůj potenciál pro opylovače. Z map na obrázku 13 a 14 jako celku je patrné převážně nedostatečné vzájemné propojení vhodných lokalit ve studovaném území, ale ukázkou vhodného propojení krajiny (které se promítlo i do modelu) jsou lužní a mokřadní lesy s hospodářskými jehličnatými lesy východně od Nasavrk.





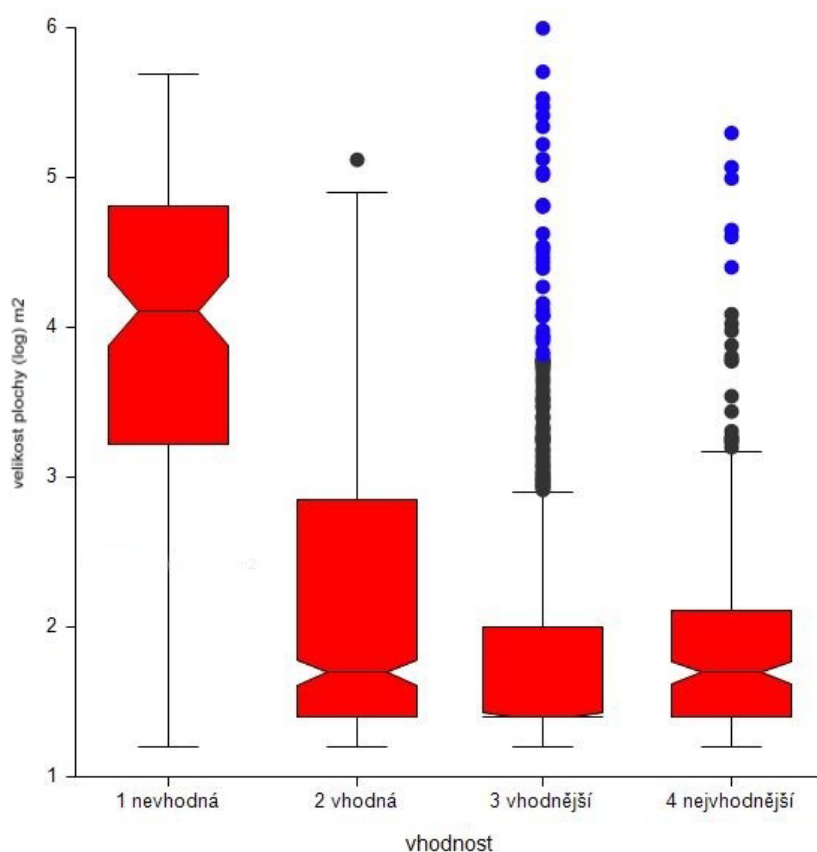
**Obrázek 14** Změna v předpokládané relativní hustotě opylování během roku rozdělené na kvartily

Největší rozdíl ve využívání mezi jarem a létem (červeně vyznačené plochy), vizualizovaný na obrázku 14, je na využívaných plochách, především v suťových lesích v severovýchodní části. Nejmenší rozdíly hodnot jsou na lokalitách s relativně vysokou

hodnotou pro opylovače, jako jsou lužní lesy v severovýchodní části území, které jsou obklopeny plochami málo hodnotnými.

## 4.4 Rozložení ploch dle kategorií

Je potřeba převést a zobrazit vypočtené hodnoty indexů (spojité proměnné) potenciálu krajiny, které byly vypočteny programem InVEST na kategoriální hodnoty.



**Graf 2 Rozložení ploch dle kategorií vhodných pro opylování**

Kategorie v grafu 2 ukazují, jak jsou plochy využívány opylovači ve skutečnosti malé. Velikost plochy na svislé ose je v logaritmickém měřítku. To při přepočtu znamená, že 1 = 10 m<sup>2</sup>, 2 = 100 m<sup>2</sup>, 3 = 1 000 m<sup>2</sup> atd. Především to vidíme u kategorie 3 a 4 (vhodnější a nejvhodnější plochy), kde téměř všechny plochy jsou menší než 100 m<sup>2</sup>. V terénu i na výsledných mapách to jsou například plochy zahrad, sadů, okraje velkých ploch a trvalý travní porost. Naopak kategorie 1 (nevhodné plochy) jsou výrazně větší, a tím téměř nevhodné pro opylovače. Tyto plochy se pohybují v rozmezí 0,1 ha až 10 ha. Podrobnější data jsou v příloze 3.



## 5. Diskuse

Opylování jako ekosystémovou funkci potřebujeme, protože tvoří podle výzkumu Lautenbacha a kol. (2012) okolo 10 % celkové hodnoty globálního zemědělství. Relativní peněžní hodnota a relativní přínosy opylování podle výzkumů stále rostou (Nogué 2016). V EU se ekonomická hodnota opylování odhaduje na miliardy EUR ročně, tj. v částce srovnatelné se všemi ročními výdaji EU na zemědělství. V přehledu ekonomického hodnocení ekosystémových služeb, které jsou relevantní pro ČR, je hodnota opylení stanovena na 1 378,76 EUR/ha (Vačkář a kol. 2014). Všechna tato čísla dohromady poukazují na to, že opylovače opravdu hodně potřebujeme, a v budoucnu na nich budeme ještě závislejší.

Plochy nejméně vhodné s 45 % a 48 % v jednotlivých obdobích v tabulce 5 by si zasloužily úvahu zemědělců i oprávněných úředníků. Plochy nejméně vhodné pro opylovače jsou vysoce zastoupeny trávami, pšenicí, ječmenem a kostřavou. Kategorie trávy, jako plochy intenzivně obhospodařované, jsou převážně porosty větrosnubných trav, kde nemůžeme očekávat velké množství opylovačů. Také pěstované zemědělské větrosnubné plodiny nepomáhají v diverzitě nebo početnosti opylovačů. Větrosnubné traviny a plodiny mohou mít opylovači problém kvůli rozloze přeletět. Po překonání těchto ploch, často následuje dopravní síť, která je obecně známá jako liniový element nepodporující rozmanitý život v krajině. Jedním z důležitých prvků pro opylovače jsou ekotony, které nebyly zařazeny do žádné ze specifických kategorií. Ekotony, jak je známo, plní mnoho pozitivních funkcí v krajině (např. zvyšují biodiverzitu). Některé hospodářské a další aktivity lidí způsobují snížení schopností ekosystémů uspokojovat potřeby opylovačů, což v konečném důsledku znamená snížení kvality života pro lidi i opylovače (MA 2005).

Výsledky v grafu 2 vyjadřující rozložení ploch dle kategorií vhodných pro opylování naznačují, že je nezbytné pro opylovače velké nevhodné plochy dělit na menší celky, například pomocí mezí, remízků, sadů nebo květnatých pásů. Opylovači mají menší doletovou vzdálenost, než je velikost největších ploch s plodinami. Celkově 60 až 70 % opylovaných ploch zahrnující kategorie 2, 3 a 4 je menších než 100 m<sup>2</sup>. To dodává váhu informacím, že opylovači potřebují pro svou existenci především malé plochy.

Plochy s vysokým potenciálem pro opylovače byly určeny z typů volné krajiny obdobě jako v práci Affek (2017), jenž se zabýval plochou Národního parku Wigry (815 km<sup>2</sup>) v severní části Polska, která je rozebrána v úvodu. Také byl vybrán všestranný modelovací program InVEST, s kterým se dají zpracovat data v lokálním měřítku, který použil i Zulian a kol. (2013) pro práci s opylováním v Evropě.

Affek (2017) pracoval s 29 typy ekosystémů relevantních pro opylovače. Tato práce ukazuje výsledky na menší ploše, ale s 54 typy ekosystémů, z nichž se nejvhodnějšími plochami ukázaly kategorie lesní porosty, sady, zahrady, křoviny, parky a z polních kultur: jetel, travní biopásy a řepka. To naznačuje, že stále důležitějšími se stávají i malé plošky jako například zahrady a parky (viz obrázek 12). Také vhodná velikost polí z pohledu doletové vzdálenosti, nebo biopásy mají potenciál zvýšit o desítky procent produkci nejen polních hmyzosnubných plodin, ale i sadů a zahrad (Přidal 2005). Obhospodařované plochy tak mohou být velmi vhodné pro opylovače, jen je zemědělec sám musí podporovat, aby mohl mít vyšší výnosy, například v sadech (Lautenbach 2012).

Zulian a kol. (2013) posoudili, jak jsou opylovací služby poskytovány v evropském měřítku. Tito vědci používali metodiku založenou na programu InVEST, ale dokázali ho upravit tak, aby započítal i druhově specifické parametry o aktivitě, které souvisejí s teplotou a slunečním zářením. Jejich model také využívá expertní posouzení různých typů informací o krajinném pokryvu k odhadu vhodnosti krajinných typů. Toto posouzení však nebylo publikováno. V diplomové práci program InVEST nebyl upraven, ale další postup byl postaven na základech jejich metodiky.

Hodnocení Zulian a kol. (2013) použili k odhadu relativního příspěvku divokých opylovačů k rostlinné produkci. Model založili na předpokladu, že zejména lesní okraje, travní porosty bohaté na květiny a pobřežní oblasti nabízejí vhodná místa pro hmyz. Spojením údajů o divokých opylovačích jako jsou doletové vzdálenosti s regionální statistikou rostlinné produkce vznikl zmíněný relativní opylovací potenciál. Dále uspořádali jednodenní seminář, během kterého diskutovali o hodnotách se třemi odborníky pro jednotlivé typy krajinného pokryvu nebo využití území na stupnici od 0 do 1. Skóre 0,5 by znamenalo, že 50% pixelu krajinného pokryvu poskytuje vhodné stránky pro hnízdění a dostupné květinové zdroje. Při hodnocení krajinného pokryvu zkoumaného v diplomové práci bylo postupováno stejně, jen byly omezenější možnosti ohledně konzultací s experty.

Pro účely studie Zulian a kol. (2013) vytvořili mapu v rozlišení 100x100m ukazující relativní opylovací potenciál pouze pro jedinou ekologickou skupinu opylovačů s relativně krátkou doletovou vzdáleností (samotářské včely). Jak sami uvádějí „průměrné doletové vzdálenosti jsou druhově specifické a liší se v rozmezí několika metrů až několika kilometrů.“ Na základě údajů o očekávané vzdálenosti potravy různých druhů včel vybrali vzdálenost 200 m. V diplomové práci jsou prezentovány mapy s opylovacím potenciálem pro 4 skupiny opylovačů a také celková mapa se specifickými doletovými vzdálenostmi pro každou skupinu opylovačů.

Zulian a kol. (2013) dospěli k výsledku na úrovni EU, že by absence opylování samotářskými včelami vedla ke snížení celkové produkce plodin částečně závislých na opylování hmyzem o 25 až 32 %. Z důvodu náročnosti dalšího postupu nebylo v diplomové práci dosaženo podobného číselného výsledku konkrétně pro zkoumanou lokalitu.

Gallai a kol. (2009) poukázali na to, že produkční hodnota tuny plodiny, která nezávisí na opylování hmyzem, především obilovin, činí v průměru 151 EUR, zatímco průměr plodin, které jsou závislé na opylování, činí průměrně 761 EUR. Těmito čísly by šlo argumentovat při rozhodování o výši dotací na jednotlivé pěstované plodiny v ČR. Na tomto základu by měly být navýšeny podpory na typy krajiny, jako jsou sady, které mají stabilně vysoké hodnoty pro opylovače. Tím by vznikl ekonomický tlak, který by vedl k obnově extenzivních sadů. Ty v současnosti, často nikdo nevyužívá. Tento ekonomický tlak by měl vzniknout k podpoření environmentální ochrany a uchování naší planety pro budoucí generace.

## **5.1 Vyhodnocení jarního a letního opylování**

Jarní i letní opylovací potenciál poukazuje na kategorie: suťové lesy, hospodářské smíšené lesy, doubravy, dubohabřiny, lužní lesy, mokřadní lesy, jehličnaté hospodářské lesy a křoviny, kde lze předpokládat výskyt jarního aspektu. Jarní aspekt přitáhne opylovače, a to se projeví jejich zvýšenou početností. V létě tyto plochy tuto funkci ztrácí, proto zde nastává rozdíl v početnosti a hustotě opylovačů. Jakékoliv plochy lesa jsou z tohoto pohledu lepší než zemědělské plochy s většinou plodin, jež jsou větrosnubné.

Ve výsledcích na obrázku 14 můžeme vidět základní kostru ekosystémů. Mnohé kategorie uprostřed polí získávají větší význam kvůli odlehlosti od okolních vhodných

ploch. Uprostřed zastavěných a jinak nehodnotných bílých nehodnocených ploch vynikají jako významné plochy zahrad a lokalita PP Kaštanka. PP Kaštanka je v podstatě park uprostřed města. Pro opylovače toto místo představuje vhodné refugium s vysokou přidanou hodnotou.

Při celkovém zkoumání jarního a letního opylování jsou velmi patrné malé možnosti opylovačů hnízdit a najít potravu na plochách orné půdy (příloha 2). Kromě ploch, kde se pěstuje jetel, jetelotravní směsi, řepka a hrách. Nejvýznamější plodiny jsou vyznačeny růžově, modře a žlutě. To jsou plochy závislé na opylovačích. Vysokou hodnotu pro opylovače mají plochy všech typů místních lesů, křovin, zahrad a ovocných sadů vypsane v příloze 1.

## **5.2 Vyhodnocení změny vhodnosti ploch pro jednotlivé skupiny opylovačů během roku**

Mapa změny krajiny pro opylovače během roku (obr. 14), ukazuje nedostatečné vzájemné propojení vhodných lokalit, v čemž by se měly dělat kroky k nápravě, nejenom v zájmu přírody, ale i člověka a jeho ekonomiky. Propojení lokalit model InVESTu sice přímo neuvažuje, ale bere v potaz umístění ploch v území. Nedostatečné propojení je vidět na obrázcích 11,12 i 14. Jsou zde zřetelné vysoce ohodnocené plochy (například lužních lesů), které dohromady tvoří síť pro biodiverzitu. Červeně označené lokality během roku velmi změnily svůj potenciál pro opylovače. Například zahrady svůj potenciál z jara na léto snížily. Nicméně tento nedostatek je teoreticky možné vyřešit, když si lidé budou pěstovat květiny a plodiny, které mají dlouhou dobu kvetení. Využívané plochy jsou výrazně ovlivněny sezónou, a tím co se pěstuje. Opylovače ovlivňuje i velikost vhodných ploch a jejich vzájemná vzdálenost. Z mapy studovaného území jako celku je patrné nedostatečné vzájemné propojení dlouhodobě vhodných lokalit.

Vlastnosti jednotlivých opylovačů přehledně znázorňuje tabulka 4 a mapy v příloze 4 k tomu zobrazují vlastnosti krajiny. Nárůst hustoty drvodělek na lokalitách se suťovými lesy je dán pravděpodobně tím, že skoro 2x častěji hnízdí v dutinách než v zemi. Největší pokles vhodnosti plodiny pro opylování mezi jarem a létem je na ploše řepky. Nárůst hustoty malých samotárek je dán pravděpodobně tím, že 4 x častěji hnízdí v zemi. Tím získaly vyšší potenciál plochy s lesem. Navíc mají samotářky brzkou jarní aktivitu, která snižuje nárůst hustoty v průběhu roku tím, že ji rozkládá na delší časové

období. Nárůst hustoty není tolik patrný v místech s úzkými pásy vhodných lokalit. To je pravděpodobně zapříčiněno menší doletovou vzdáleností. Malí čmeláci vykazují jak poklesy, tak nárůsty hustoty. Nárůst je podobný jako u malých samotářských včel, akorát v hodnotách preference hnízdění není takový rozdíl, tedy pouze 1,86 x častěji hnízdí v půdě než v dutinách. Poklesy hustoty lze vysvětlit nízkou hodnotou jednotlivých ploch. Extrémní poklesy lze vysvětlit sklizením a odkvetením plodin. Velmi podobně je tomu u velkých čmeláků, kteří skoro vždy hnízdí v zemi. Oproti malým čmelákům mají více jak dvojnásobnou doletovou vzdálenost, a tím se zvyšuje šance na nalezení vhodného místa pro hnízdo.

### **5.3 Kontext ochrany opylovačů**

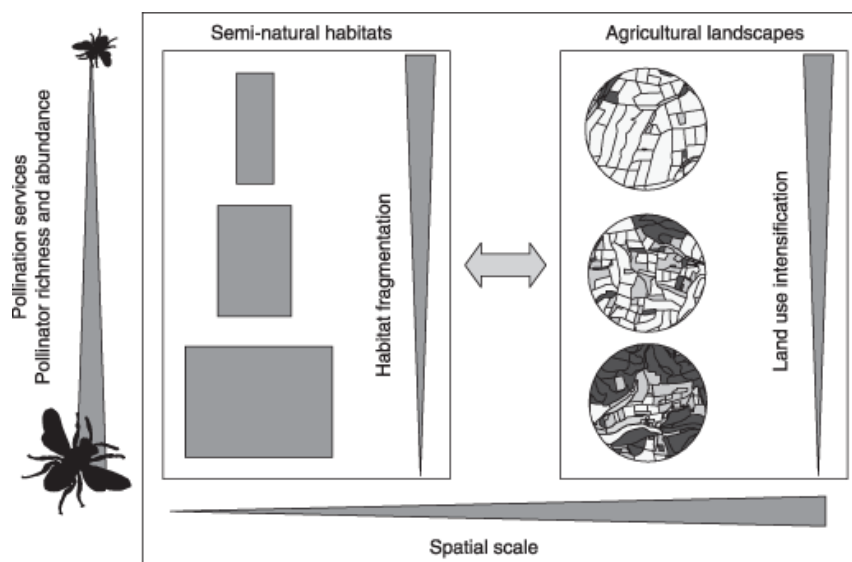
Důležité je znát také kontext ochrany opylovačů v českých zákonech pro lepší obhajobu zásahů v krajině orgány ochrany přírody a krajiny. Zájmy včelařů, zemědělců, lesníků, či sadařů se mohou shodovat, ale mohou se i rozcházet. Naprosto nejzřetelněji se odlišný pohled na věc projevuje při chemické ochraně rostlin, kde pokud neexistuje vyvažující právní norma a účinně reagující orgány veřejné moci, spolužití ve vzájemné koexistenci se může změnit v hloupou a nikomu neprospívající konfrontaci. Zároveň si většina uvědomuje, že opylovací služba je pro ně nenahraditelná.

Chybí rozsáhlejší přijetí postupů založených na ekosystémových službách v zemědělství. Obecně pěstitelé podhodnocují výhody využívání ekosystémových služeb ve srovnání s tradičními postupy (Fijen 2018).

Na opylovačích závisí celá biologická rozmanitost, protože při větším vymírání opylovačů přestanou fungovat současné vazby v ekosystémech. Druhy přitahuje pěstování rozmanitých časně kvetoucích pícnin a heterogenní venkovská struktura plodin s okraji venkovských polí a terénními nerovnostmi (Lye, Gillian a kol. 2009). Mnoho plodin se spoléhá na opylování medonosnými včelami a v důsledku toho převážně v zahraničí existuje trh pro služby profesionálních včelařů a jejich včelstva. Studie na území Spojených států amerických ze státní univerzity v Severní Karolíně ukazuje, že ceny medu, invazní roztoči a náklady na motorovou naftu jsou klíčovými faktory pro rozvoj této služby (Rucker a kol. 2012). Gallai a kol. (2009) odhaduje, že 9,5 % ekonomické hodnoty světové produkce plodin lze připsat opylování hmyzem.

Při bližším zkoumání výskytu divoce opylujících druhů jejich rozmanitost a početnost klesá na místní i regionální úrovni. Důkazy ale pocházejí převážně ze SZ

Evropy a S. Ameriky (Vačkář a kol. 2014). Při větším měřítku klesá rozmanitost, což znázorňuje obrázek 15. Například čmeláci byli zaznamenáni ve vysoce industrializovaných oblastech světa, zvláště v Evropě a S. Americe, což se povedlo potvrdit i v mé studii. Například park Kaštanka uprostřed města je dle modelu velmi využíván.



**Obrázek 15** Vizualizace, jak fragmentace stanovišť a intenzifikace využití půdy vzájemně ovlivňují společenství opylovačů v různých prostorových měřítcích (Steffan Dewenter, Westphal 2008).

Úbytkem divoce žijících opylovačů je podle IPBES ohrožena především Severní Amerika a Evropa. Na starém kontinentě prudce klesá populace včel, ať už divokých či domácích. Přestože vědci nemají k dispozici údaje pro Latinskou Ameriku, Asii a Afriku, předpokládají, že tam bude trend podobný (Díaz a kol. 2015).

V České republice jsou opylovací služby zajištěné díky vysoké hustotě a rovnoměrnému rozmístění chovaných včelstev v krajině. Což zajišťují většinou hobby včelaři. Česká republika měla v roce 2017 průměrné zavčelení 9,4 včelstev na km<sup>2</sup> (Daníhlík 2020). Na to je navázán zákon č. 326/2004 Sb. O rostlinolékařské péči v §51, který říká, že zemědělci musí oznámit aplikaci přípravků, které jsou při „použití nebezpečné pro včely“ v okruhu 5 km od aplikace. V praxi to znamená, že jako společnost upřednostňujeme pěstování plodin s aplikací nebezpečných postřiků před přirozenou ochranou plodin například diverzifikací. K té nám poskytují opylovači extra příjmy, jež mají potenciál být mnohonásobně vyšší. Určitou ochranu opylovačům v tomto směru poskytuje Vyhláška č. 327/2004 Sb. O ochraně včel, zvěře a vodních organismů. Ta určuje, kdy a za jakých podmínek mohou být postřiky použity. Žádný zákon ale nedosáhne takového efektu, jako je uvědomění si odpovědnosti za vlastněnou

půdu a touhy ji předat dalším generacím s co nejmenší zátěží chemických látek vytvořených člověkem a zároveň s vysokou produkční schopností. Toho všeho je možné docílit, když jako lidé nebudeme maximalizovat obecně užitky z jedné činnosti (př. rostlinné výroby) na úkor jiných užitků, například včelařství, aplikací postřiků na hubení. Tím vyvstává otázka, proč zemědělské profese oddělovat. Jednotlivé specializované profese by měly brát ohledy na fungování všech lidí, živočichů a rostlin. Místní včelařské učiliště Nasavrky, sice zapříčiňuje převčelení místní krajiny na 27 včelstev na km<sup>2</sup> na katastru Nasavrck, podle webu zavčelení ČR (Daníhlík 2020), ale vychovává odborníky, kteří zvyšují svými včelstvy výnosy v rostlinné výrobě a všem lidem, co něco pěstují. Místa s velkou hustotou chovaných včelstev trpí tzv. Syndromem převčelené krajiny, jelikož včely medonosné zapříčiňují nedostatek pylu a nektaru pro divoké opylovače. Nicméně hlavní příčinou úbytku opylovačů žijících ve volné přírodě není převčelení krajiny, ale především změny ve způsobu hospodaření a využívání krajiny, znečištění, používání pesticidů a klimatické změny (Díaz a kol. 2015, Potts a kol. 2010).

Zkoumání problematiky hnízdění divokých opylovačů ukázalo, jak úzce spolu souvisí téma pesticidů, konkrétně rodenticidů, na hubení hlodavců a opylování. Čmeláci často hnízdí v hlodavčích norách, což zmiňuje i Affek (2017). Lepší výsledky by umožnilo zjištění, v jaké míře místní zemědělci tyto postřiky používají, ale tato data prozatím nejsou dostupná. Výzkumy však potvrzují negativní dopady používání pesticidů na různé druhy včel. Je ale náročné spojit vzácná data o aplikaci pesticidů s modelováním relativní početnosti opylovačů. Podobně náročné by bylo zahrnout aktivity opylovačů v závislosti na teplotě.

Naproti tomu podpořit pastvu pro opylovače lze jednoduše hned několika způsoby – vyséváním nektarodárných a pylodárných rostlin (svazenka, komonice, slunečnice aj.), ponecháním neobdělaných okrajů ploch, využívání alespoň pásového střídání plodin nebo pěstování více plodin současně jako třeba kukuřici se slunečnicí. Dalším vhodným způsobem je obnova krajinné mozaiky v zemědělské krajině mezemi, remízky, terénní nerovnosti či solitérní zelení (Lye, Gillian a kol. 2009).

Preventivní opatření na ochranu ohrožených druhů živočichů, mezi které patří např. všechny druhy čmeláků (*Bombus spp.*) žijících v ČR, jsou navíc vždy levnější než případná budoucí řešení, a proto současná podpora hmyzích opylovačů ušetří budoucí náklady spojené s jejich ochranou (Kafková a kol. 2019).

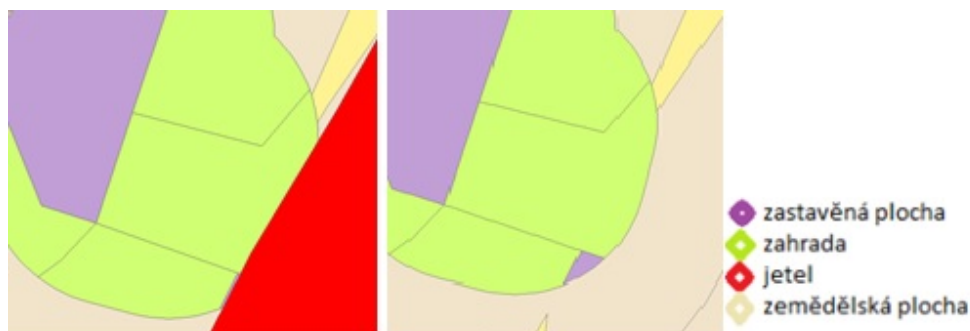
## 5.4 Limity metodiky

Odborný odhad posouzení jednotlivých typů krajiny je problematický, protože je velmi obtížně identifikovatelná „ideální hodnota“ krajinného typu. Bylo tedy přepracováno škálování od 0 do 10, které vytvořil Affek v roce 2017 na území studijní oblasti v severovýchodním Polsku (815 km<sup>2</sup>) zahrnující polský Národní park Wigry a jeho okolí. Tato stupnice je obecně platná pro nížinnou venkovskou krajinu střední Evropy. Upřesnění kategorií bylo vyřešeno odhadem konzultovaným s Mgr. Monikou Mazalovou. Také další kategorie, které jsou pro opylovače nevhodné, byly zkonzultovány, některé kategorie byly stejné se zmiňovaným škálováním, jako například suché bory a ostatní plochy, ale například hospodářské louky, byly odvozeny. Dále kategorie zahrnující jetel byly přeškálovány na stejnou stupnici a také po úpravě použity. Stejně i kategorie obsahující jabloně a slivoně. Od těchto kategorií se odvíjela hodnota sadů, křovin a městské zeleně. Upřesnění kategorií bylo vyřešeno odhadem, který byl konzultován s Mgr. Monikou Mazalovou. Kategorie, které jsou pro opylovače nevhodné, byly také zkonzultovány. Při takovém množství kategorií nastala situace, kdy byly kategorie relativní hodnotou úplně shodné. Hodnoty přesto nebyly dále zpřesňovány z důvodu malé výpovědní hodnoty.

Dále lze namítnout, že měl být brán ohled na důležitost vodních zdrojů pro existenci opylovačů, ale pro lepší přehlednost a použitelnost tento faktor nebyl zahrnut do analýzy, jelikož ani používaný model InVEST neuvažuje tuto proměnnou.

Detailní zkoumání použitých dat odhalilo viditelné rozdíly přesnosti určení jednotlivých ploch. Data AOPK a Ministerstva zemědělství byla vytvořena rozdílným způsobem a s odlišnou přesností v jednotlivých kategoriích. Při překrytí vrstev za účelem získání podrobnějších a přesnějších údajů a následnou projekcí plodin vznikly nepřesnosti. Tyto rozdíly byly vyřešeny preferencí dat Ministerstva zemědělství. Důvodem byla vizuální důvěryhodnost terénu v porovnání s leteckými snímky a aktuálnějším datem zpracování dat. Názorně v obrázku 16, kde jsou červeně podrobnější data o plodinách od Ministerstva zemědělství oproti datům od AOPK. Jedná se o detailní pohled na nesouvislou městskou zástavbu se zahradami překrývající se se zemědělskou plochou s jetelem.





**Obrázek 16** Podrobnější data o plodinách od Ministerstva zemědělství oproti datům od AOPK

Omezenost modelování v programu InVEST spočívá v tom, že je založen na kombinaci hodnot uložených v mapách a pouze odhaduje prostorovou distribuci relativní hojnosti opylovačů. Je tomu tak proto, že absolutní odhady hustoty hnízd, dostupnosti zdrojů a hojnosti opylovače jsou zřídka dostupné a funkce výnosu plodin je pro mnoho plodin špatně definovatelná. Proto index potenciálního výtěžku závislého na opylení nebylo možné použít. Výsledky v obecnější rovině, ale lze použít k pochopení změn související se změnami ve využití půdy a zemědělských činnostech. Dalším negativem modelu je nezahrnutí stálosti opylovačů v průběhu času a vlivu velikosti pozemků (The Natural Capital projekt 2017).

Naproti tomu spojení programu InVEST s metodami zpracování vektorů a rastrů v prostředí GIS v programu ArcGIS umožňuje efektivně vyřešit problémy se zpracováním. Zejména možnost použití rastrové analýzy (zejména jejich subtrakce a klasifikace) je přínosná pro studování změn v přechodu z jarního období do letního. Také zahrnutí mnoha charakteristik jednotlivých druhů a typů krajiny do modelování v InVESTu ukazuje na všestranné využití s velkým potenciálem.

Hromadné použití vizualizace problematiky opylování pro veřejnost je limitováno:

- různou digitalizací katastrálních map
- aktivita občanů – žádost o data LPIS, KVES
- znalost práce s GIS programy

## 6. Závěr

Práce ukazuje vhodnost použití programu InVEST na řešení problematiky klasifikace ploch vhodných k opylování ve spojení s GIS programy. Použití kombinace postupů umožnilo získat nový pohled na řešení problémů při nalézání ploch vhodných k opylování a jako hnízdiště pro opylovače. Tímto postupem lze relativně snadno odůvodnit, či potvrdit důležitost vhodných ploch pro opylovače v krajině například při tlaku na šetrnější hospodaření zemědělců.

Celkově je významná možnost sledování změn vhodnosti ploch opylování při přechodu z jednoho vegetačního období do druhého. U zkoumaného území je důležité upozornit na vysoké zastoupení ploch nejméně vhodných (50 % a 54 %). Při součtu dvou kategorií nejlepších ploch z tabulky 5 se výměra snížila ze 41 % (35 % + 6 %) na 36 % (23 % + 13 %). Proto by bylo vhodné pracovat na lepším pochopení samotné krajiny a její změně na vhodnější pro opylovače. Obecně lze říct, že se zvětšující se pestrostí georeliéfu krajiny se zvedá druhová pestrost rostlinstva, která je podmínkou pro výskyt širokého spektra opylovačů. Aby opylovači v krajině přetrvali, potřebují především dvě věci: vhodná místa pro hnízdění a dostatek potravních zdrojů poblíž jejich hnízdišť (Natural capital projekt 2017).

Ukázalo se, že vyhovujícím typem krajiny jsou: zahrady, sady, parky, hospodářské lesy smíšené, doubravy, dubohabřiny, lužní lesy a mokřadní louky. Ze zemědělských plodin to jsou plochy jetele, hrachu, biopásy a řepka (viz příloha 2). Lokalita PP Kaštanka byla ohodnocena jako park uprostřed města a ukázalo se, že toto místo představuje pro opylovače vhodné refugium, kterých by mělo být více. Na mapách se potvrdilo, že pro opylovače jsou malé plošky v krajině nenahraditelné. Opylovači jsou vlastně pro zemědělskou krajinu obhospodařovanou člověkem deštníkovými druhy, kteří svými nároky na prostředí zajišťují přežití ostatním živočichům v těchto typech prostředí.

Výsledky práce i zobecněné zpracování dat lze využít k pochopení změn výnosu plodin, související se změnami ve využití půdy a zemědělských činnostech. Dále v ochraně přírody a krajiny při tvorbě ÚSES, managementu chráněných území, ve způsobech plánování obcí, při změně územního plánu nebo pozemkových úpravách.

Celkově z práce vyplývá, že je důležité podporovat přirozenou funkci opylovačů v krajině. Výsledky práce jsou přímo aplikovatelné v praxi pro zlepšení celkové biodiverzity a udržitelnosti zemědělství na počátku třetího tisíciletí.

## 7. Literatura

AFFEK A. N. 2017. Indicators of ecosystem potential for pollination and honey production *Ecological Indicators*. 1-14 p.

Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.001>

CAMILLO E. 1996. Utilização de espécies de Xylocopa (Hymenoptera: Anthophoridae) na polinização do maracujá amarelo. Pp: 141-146. In: *Anais do II Encontro Sobre Abelhas*. Ribeirão Preto, SP. 351 p.

DÍAZ S. a kol. 2015. The IPBES Conceptual Framework-connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14: 1-16 p.

Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187734351400116X>

FIJEN a kol. 2018. Insect pollination is at least as important for marketable crop yield as plant quality in a seed crop. *Ecology letters*. 1-10 p.

Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ele.13150>

GALLAI N. a kol. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68. 810–821 p.

Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800908002942>

GATHMANN A., TSCHARNTKE T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of animal ecology* 71(5) 757-764 p.

Dostupné z: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1365-2656.2002.00641.x>

GREENLEAF S. S a kol. 2007 Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 53: 589 p.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0752-9>

HALLMANN C. A. a kol. 2017 More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 (10): e0185809. 1-14 p.

Dostupné z: <https://imkereiwoelzer.de/wp-content/uploads/2017/10/More-than-75-percent-decline-over-27-years-in-total-flying-insect-biomass-in-protected-areas.pdf>

HEIN L. 2009 The economic value of the pollination service, a review across scales. *The Open Ecology Journal*, 2. 1. 74-82 p.

CHRISTIE M. a kol. 2012. An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecological Economics* 83. 67–78 p.

Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180091200328X>

JORDANO P. 1987. Patterns of Mutualistic Interactions in Pollination and Seed Dispersal: Connectance, Dependence Asymmetries, and Coevolution. *The American Naturalist* 129(5): 657-677 p.

Dostupné z: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/284665>

KAFFKOVÁ K. a kol. 2019. Hodnocení potravních preferencí hmyzích opylovatelů. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha*. ISBN 978-80-7427-311-7. 1-48 p.

Dostupné z:

[https://www.vurv.cz/sites/File/2019/Hodnoceni\\_potravnich\\_preferenci\\_opylovacu\\_Metodika\\_pred\\_certifikaci.pdf](https://www.vurv.cz/sites/File/2019/Hodnoceni_potravnich_preferenci_opylovacu_Metodika_pred_certifikaci.pdf)

KNIGHT M. E. a kol. 2005. An interspecific comparison of foraging range and nest density of four bumblebee (*BOMBUS*) species. *Molecular Ecology* 14(6) 1811-1820 p. Dostupné: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-294X.2005.02540.x>

LAUTENBACH S. a kol. 2012. Spatial and temporal trends of global pollination benefit. *PLoS one*, 7(4), p.e35954. 1-16 p. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0035954>

LYE, GILLIAN a kol. 2009. Assessing the value of Rural Stewardship schemes for providing foraging resources and nesting habitat for bumblebee queens (Hymenoptera: Apidae). *Biological Conservation*, 142.10: 2023-2032. 1-15 p. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320709001670>

MA 2005. (Millenium Ecosystem Assessmen). *Ecosystems and human well – being: Synthesis*. Island Press. Washington. DC. Island Press. 1-155 p.

MRÁZOVÁ B. 2010 Charakteristika a vlastnosti pohanky. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 1-48 p. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/13137>

OLSSON a kol. 2015. Modeling pollinating bee visitation rates in heterogeneous landscapes from foraging theory. *Ecological Modelling* 316: 133-143 p. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380015003725>

PŘIDAL A. 2005. Včelařství-cvičení. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, ISBN 80-7157-852-5. 1-40 p.

POTTS S.G. a kol. 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trend. Ecol. Evol.* 25. 345–353 p. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534710000364>

POTTS S.G a kol. 2016 The assessment report on pollinators, pollination and food production: summary for policymakers. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Post-Print hal-01946814, HAL. 1-17 p.

RACYS J., MONTVILIENE R. 2005. Effect of bee-pollinators in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) crops. *Journal of Apicultural Science*, 49.1: 47-51 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/e9aa/5733b057556332f527ba7f04d9838fce5b7a.pdf>

RICKETTS T. H. a kol. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology letters*, 11(5). 499-515 p. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x>

RUCKER R. a kol. 2012 Honey bee pollination markets and the internalization of reciprocal benefits. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 94, Issue 4, 1 July 2012. 956–977 p. Dostupné z: [http://www.thecre.com/oira\\_pd/wp-content/uploads/2012/09/Am-\\_J-\\_Agr-\\_Econ-2012-Rucker-956-771.pdf](http://www.thecre.com/oira_pd/wp-content/uploads/2012/09/Am-_J-_Agr-_Econ-2012-Rucker-956-771.pdf)

SÁNCHEZ-BAYO a kol. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*. 232: 8-27 p.  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320718313636>

The Natural Capital Project 2017 [cit. 2019-04-14]  
Dostupné z: <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/croppollination.html>].

THOMPSON J. N. 1989. Concepts of Coevolution. *Trends in Evolution and Ecology* 4(6): 179-183 p.  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0169534789901250>

TOMÁŠEK M. 1995. Atlas půd České republiky. Vyd. 1. Praha: Český geologický ústav. 1-36 p. ISBN 80-707-5198-3.

VAČKÁŘ D. a kol. 2014. Metodologický rámec integrovaného hodnocení ekosystémových služeb v České republice. Akademie věd ČR, v. v. i. 1-35 p.  
Dostupné z: [https://www.minzp.sk/files/sekcia-ochranyprirodyakrajiny/ekosystemove-sluzby/es\\_metodika\\_final\\_2014.pdf](https://www.minzp.sk/files/sekcia-ochranyprirodyakrajiny/ekosystemove-sluzby/es_metodika_final_2014.pdf)

WILLIAMS N. M., KREMEN C. 2007. Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecological applications*, 17(3). 910-921 p.  
Dostupné z: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/06-0269>

ZULIAN G a kol. 2013. Linking land cover data and crop yields for mapping and assessment of pollination services in Europe. *Land*, 2(3). 472-492 p.  
Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-445X/2/3/472>

## 7.1 Zdroje map, obrázků a dat

CENIA 2010. Česká informační agentura životního prostředí [cit. 2019-04-11]  
Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>.

ČUZK Praha 2019. [cit. 2019-04-14] Dostupné z: [https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002\\_XSLT:WEBCUZK\\_ID:701637](https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002_XSLT:WEBCUZK_ID:701637)

ČSV 2020. Český svaz včelařů, z. s. [cit. 2019-05-11]  
Dostupné z: <https://www.vcelarstvi.cz/>

Ecosystem services.cz 2014. Ekosystémové služby, vytvořeno BlueGhost.cz, [cit. 2019-11-04] Dostupné z: <http://www.ecosystemservices.cz/cs/konsolidovana-vrstva-ekosystemu-cr/iniciativa-BFN-019-ROZ> Ekosystémové služby v udržitelném rozvoji České republiky a Islandu

Konsolidovaná vrstva ekosystémů © CzechGlobe © AOPK ČR 2013, s využitím vlastních dat a dat ZABAGED (© ČÚZK 2012), Corine Land Cover 2006 (© EEA 2006), Urban Atlas 2006 (© EEA 2006), DIBAVOD (© VÚV TGM 2012)

Bee careful! 2020. [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <http://www.bee-careful.com/fruit-diversity/crop-yield-courtesy-bees/>

DANIHLÍK J 2020. Hustota zavčelení ČR [cit. 2020-01-12]  
Dostupné z: <https://colosscz.webnode.cz/hustota-zavceleni/>

QUITT E. 1970. Mapa klimatických oblastí ČSSR Brno [Czechoslovakia]: Kartografické nakladatelství pro Geografický ústav ČSAV. mapa 1: 500 000

STEFFAN-DEWENTER I. S, WESTPHAL C. 2008. The Interplay of Pollinator Diversity, Pollination Services and Landscape Change. *Journal of Applied Ecology* 45(3): 737-741 p.

Webgis.nature.cz 2019. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: [http://webgis.nature.cz/publicdocs/opendata/kves/Konsolidovana\\_vrstva\\_ekosystemu\\_popis.pdf](http://webgis.nature.cz/publicdocs/opendata/kves/Konsolidovana_vrstva_ekosystemu_popis.pdf).

## **7.2 Zákony**

Vyhláška č. 327/2004 Sb. O ochraně včel, zvěře, vodních organismů. Zlín: AION CS, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-327>

Zákon č. 17/1992 Sb. O životním prostředí. Zlín: AION CS, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>

Zákon č. 326/2004 Sb. O Rostlinolékařské péči. Zlín: AION CS, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-299>

## 8. Přílohy

### Příloha 1 Vhodnost krajinných typů pro opylovače

N\_cavity = hnízdění v dutinách

N\_ground = hnízdění v zemi

F\_spring = jarní aktivita

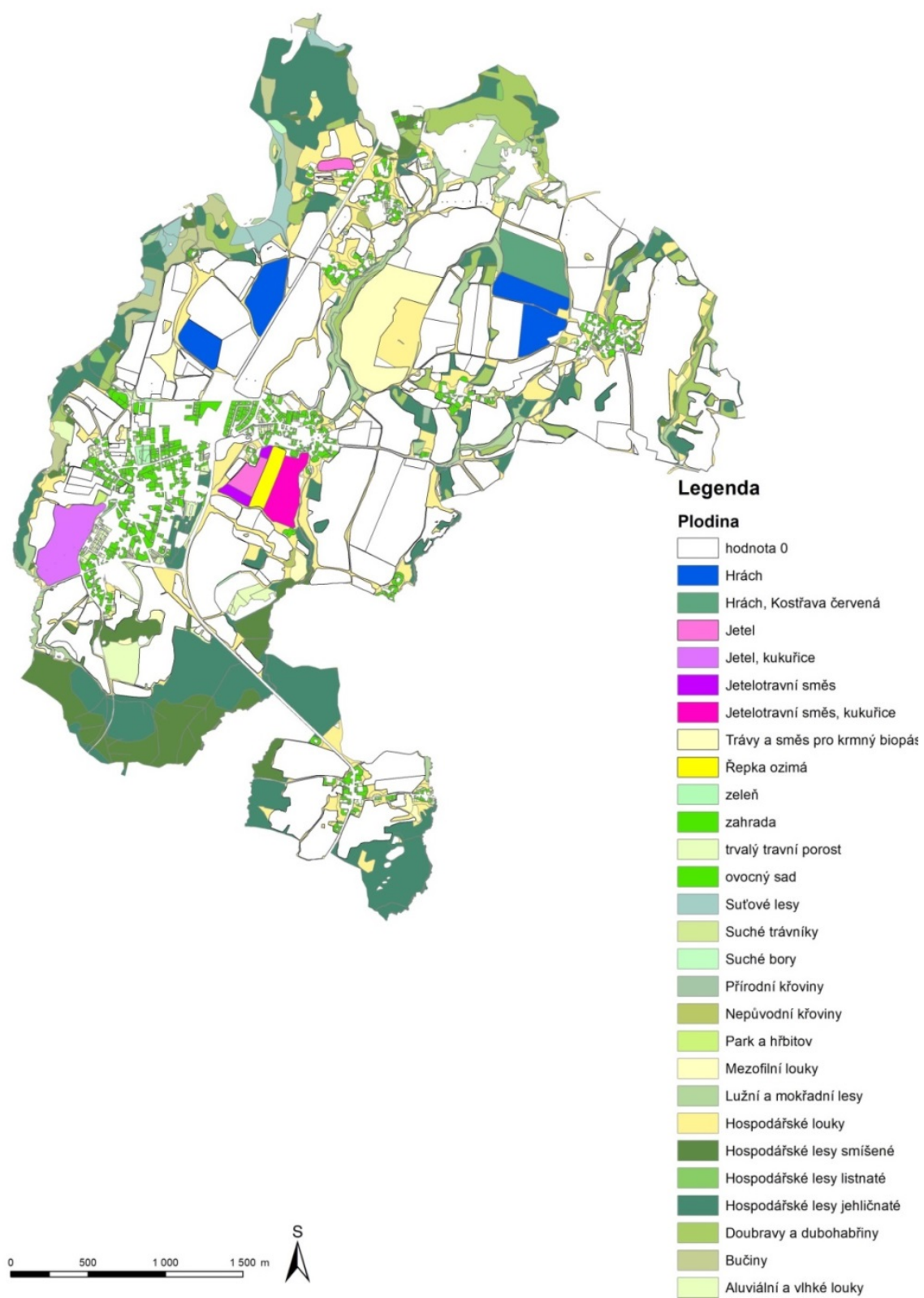
F\_summer = letní aktivita

ID	POPIS	N_cavity	N_ground	F_spring	F_summer
1	Suché bory	0.7	0.3	0.3	0.3
2	Řepka ozima	0	0.7	0.7	0
3	Zahrada	0.6	0.4	0.9	0.5
4	Ovocný sad	0.5	0.5	0.9	0.5
5	Jetel	0	0.7	0.6	0.6
6	Mokřady a pobřežní vegetace	0.3	0.2	0.5	0.4
7	Trvalý travní porost	0.2	0.6	0.2	0.1
8	Suché trávníky	0.2	0.6	0.3	0.2
9	Jetelotravní smes	0	0.6	0.5	0.3
10	Mez a stráň	0.4	0.3	0.7	0.5
11	Nepůvodní křoviny	0.4	0.3	0.7	0.5
12	Přírodní křoviny Městské zelené plochy, park a	0.4	0.3	0.7	0.5
13	hřbitov	0.4	0.3	0.7	0.5
14	Mezofilní louky	0.4	0.3	0.7	0.5
15	Hospodářské lesy listnaté	0.6	0.3	0.3	0.3
16	Aluviální a vlhké louky	0.1	0.6	0.5	0.3
17	Zeleň	0.3	0.7	0.5	0.3
18	Bučiny	0.6	0.3	0.3	0.2
19	Doubravy a dubohabřiny	0.6	0.4	0.4	0.3
20	Hospodářské louky	0.1	0.5	0.2	0.1
21	Hospodářské lesy smíšené	0.5	0.3	0.2	0.2
22	Lužní a mokřadní lesy	0.6	0.4	0.4	0.3
23	Hospodářské lesy jehličnaté	0.2	0.1	0.1	0.1
24	Jetel a kukuřice	0	0.2	0.2	0.1
25	Pšenice ozimá a jetel	0	0.2	0.2	0.1
26	Jetelotravní směs a kukuřice	0	0.2	0.1	0.1
27	Suťové lesy Trávy, pšenice jarní a směs pro	0.3	0.3	0.1	0.1
28	krmný biopás	0.1	0.1	0.1	0.1
29	Rašeliniště a prameniště	0.4	0.3	0.3	0.3
30	Skály a sutě	0	0	0.1	0.2
31	Bažina a močál Makrofytní vegetace stojatých	0	0	0.1	0.1
32	vod	0	0	0.1	0.1



33	Dopravní síť	0	0	0	0
34	Nesouvislá městská zástavba	0	0	0	0
35	Orná půda	0	0	0	0
	Průmyslové a obchodní				
36	jednotky	0	0	0	0
37	Rybníky a nádrže	0	0	0	0
38	Skály a lomy (umělé)	0	0	0.1	0.1
39	Skládky a staveniště	0	0	0	0
40	Sportovní a rekreační plochy	0	0	0	0
41	Vodní toky přírodní	0	0	0	0
42	Kukuřice	0	0	0	0
	Brambory konzumní, pšenice				
43	ozimá, kukurřice	0	0	0	0
44	Hrách	0	0.3	0.2	0
45	Hrách a kostřava červená	0	0	0	0
46	Ječmen jarní	0	0	0	0
47	Ječmen jarní a pšenice ozimá	0	0	0	0
48	Kostřava červená	0	0	0	0
49	Kostřava červená a kukuřice	0	0	0	0
	Kostřava červená a pšenice				
50	ozimá	0	0	0	0
51	Orná bez plodiny, hrách a oves	0	0	0	0
52	Pšenice jarní	0	0	0	0
53	Pšenice ozimá	0	0	0	0
54	Trávy	0	0	0	0

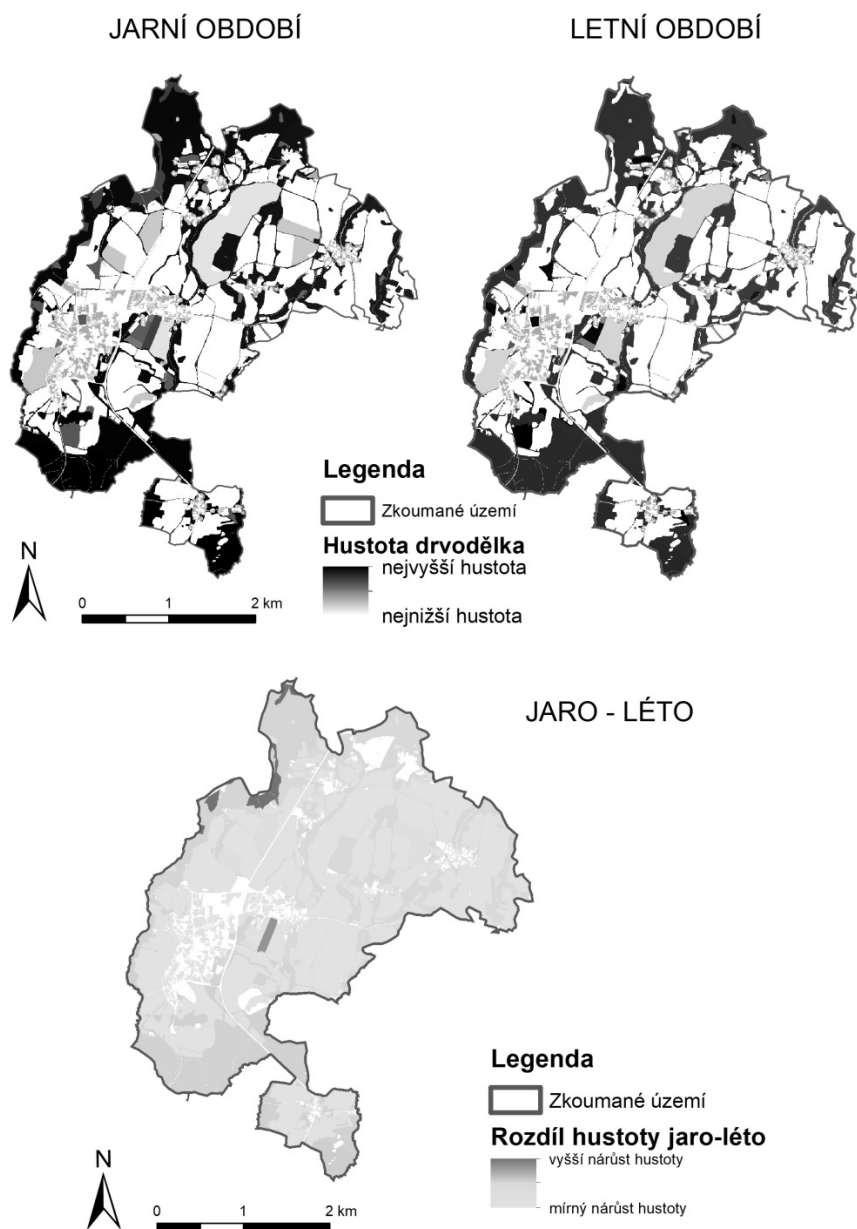
## Příloha 2 Významné typy krajiny a ploch plodin pro opylování



**Příloha 3 Data pro rozložení ploch dle kategorií vhodných pro opylování ke grafu 2**

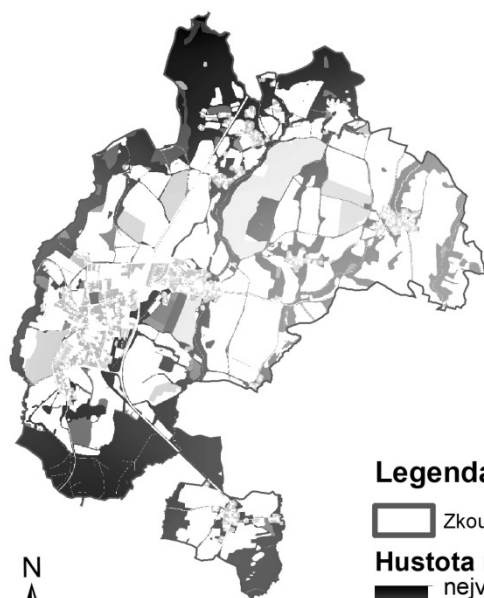
	1	2	3	4
minimum	16,01	16,01	16,01	16,01
25 percentile	5743,83	25,00	25,00	25,00
median	19987,90	50,00	25,00	25,00
75 percentile	81175,84	403,99	82,81	103,46
maximum	494697,51	96408,59	275159,02	289621,46

**Příloha 4 Rozdílové mapy opylování jara a léta jednotlivých skupin opylovačů**

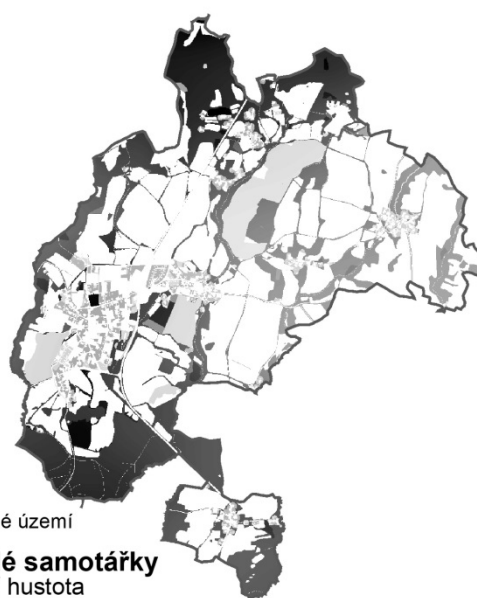


**Rozdíl v opylování využívaných ploch jara a léta velkou včelou samotářkou – drvodělkou**

### JARNÍ OBDOBÍ



### LETNÍ OBDOBÍ



#### Legenda

Zkoumané území

#### Hustota malé samotářky

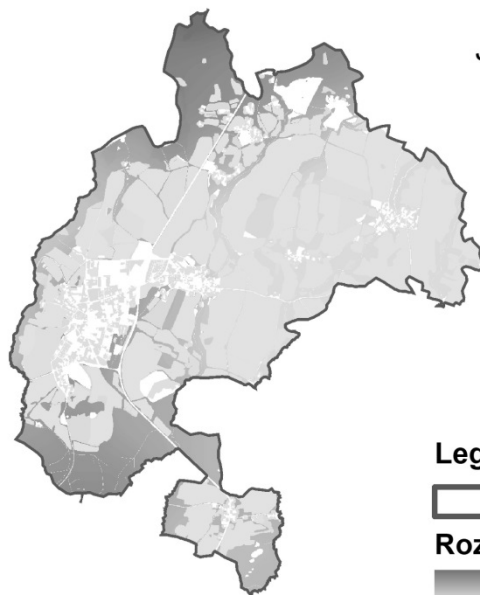
nejvyšší hustota

nejnižší hustota



0 1 2 km

### JARO - LÉTO



#### Legenda

Zkoumané území

#### Rozdíl hustoty jaro-léto

vyšší nárůst hustoty

mírný nárůst hustoty

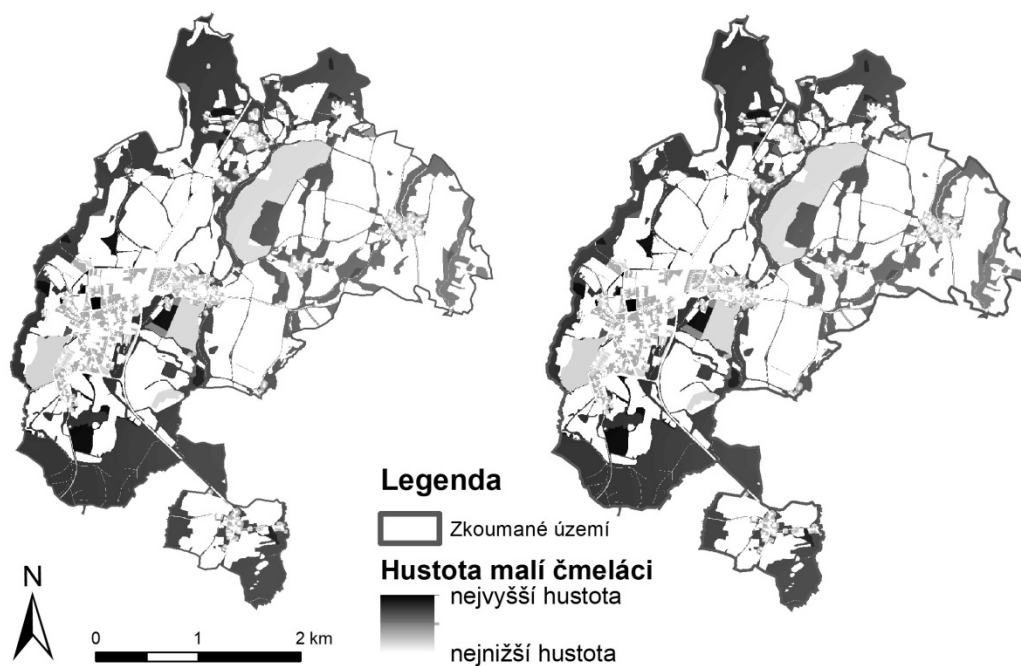


0 1 2 km

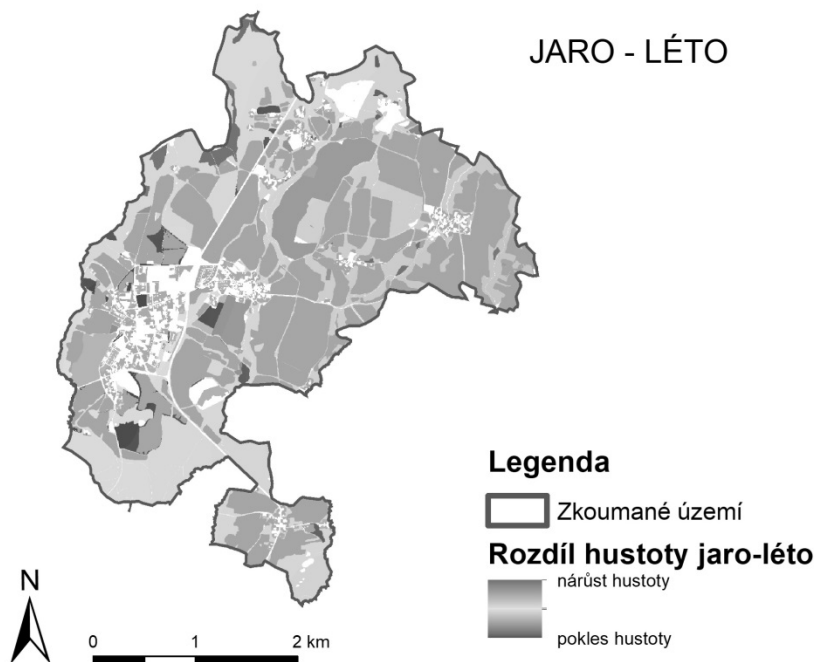
Rozdíl v opylování využívaných ploch jara a léta malými včelami samotářkami

### JARNÍ OBDOBÍ

### LETNÍ OBDOBÍ



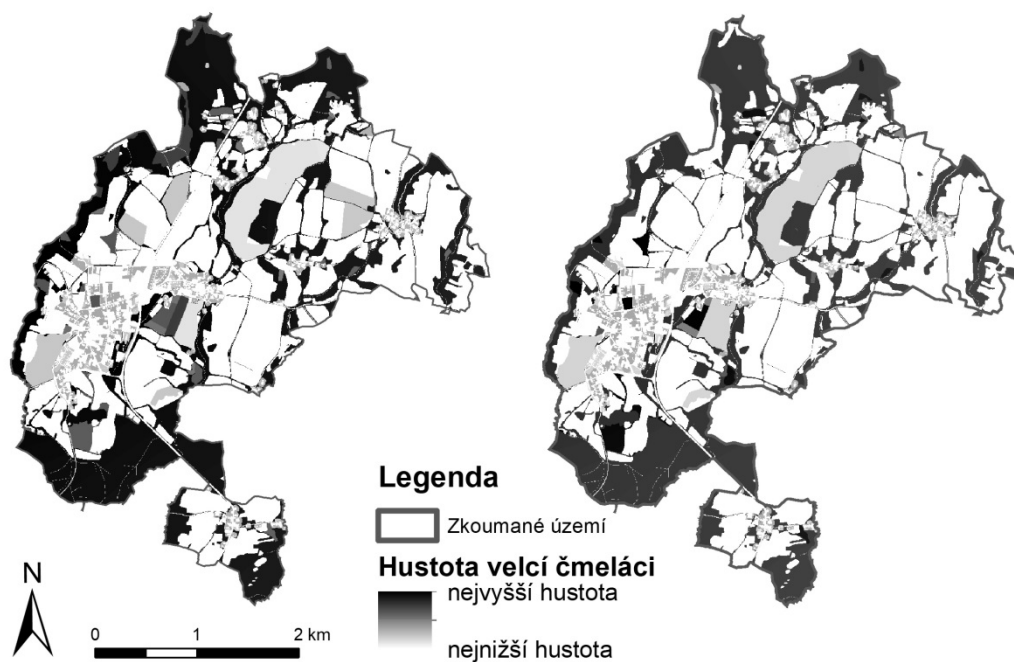
### JARO - LÉTO



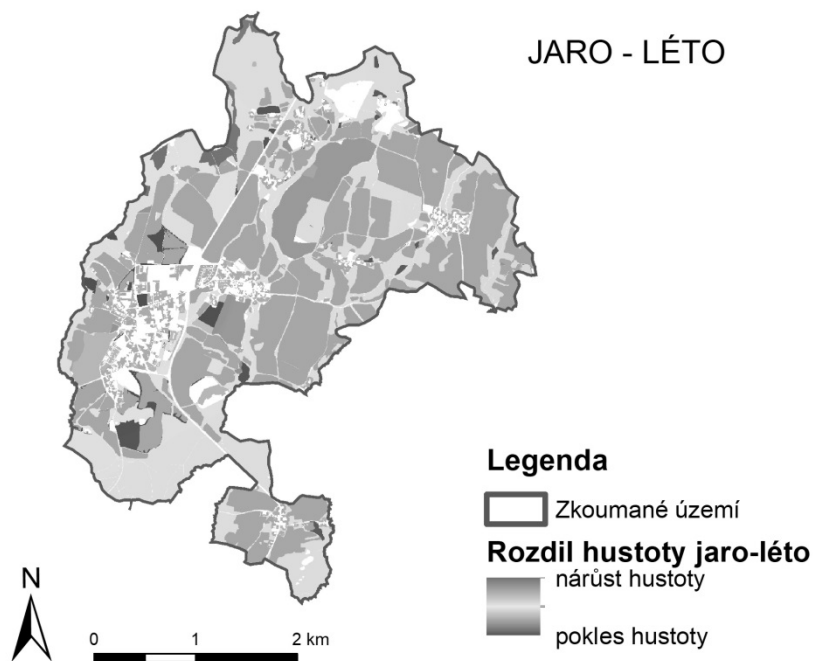
Rozdíl v opylování využívaných ploch jara a léta **malými čmeláky**

JARNÍ OBDOBÍ

LETNÍ OBDOBÍ



JARO - LÉTO



Rozdíl v opylování využívaných ploch jara a léta velkými čmeláky