

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**HODNOCENÍ VLIVU VÝVOJE KLIMATU
NA ÚSPĚŠNOST ZIMOVÁNÍ VČELSTEV VČELY
MEDONOSNÉ V ČESKU**

Bakalářská práce

Štěpán ČECH

Vedoucí práce Mgr. Ondřej BIEMANN

Olomouc 2025

Geoinformatika a kartografie

ANOTACE

V posledních letech se včelaři v České republice i v zahraničí potýkají se značně vysokými ztrátami včelstev. Mezi možné příčiny těchto ztrát patří změna klimatu, extrémní výkyvy počasí, šíření patogenů, parazitů a invazních druhů do nových lokalit, expozice pesticidům a dalším stresovým faktorům, které mohou vést k oslabení včelstev, v krajním případě až k jejich úplnému kolapsu. Přestože je klimatická změna vnímána jako jeden z klíčových faktorů ovlivňujících včelstva, existuje doposud jen omezené množství informací o jejím vlivu na životní projevy včel. Cílem této bakalářské práce je analyzovat vývoj klimatu na území Česka v průběhu let 2013–2023 a určit jeho dopad na úspěšnost zimování včelstev včely medonosné (*Apis mellifera*). V práci byla použita Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ a data z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev v České republice, poskytnutá asociací COLOSS. Získaná klimatická data byla pomocí vytvořených interpolačních modelů převedena do rastrů klimatických proměnných. Na jejich podkladu byly vygenerovány klimatické anomálie a bioklimatické charakteristiky. Celkem bylo zkoumáno 7 klimatických a 19 bioklimatických proměnných. Statistické analýzy prokázaly významnou souvislost mezi zimními úhyny včelstev a zvýšenými únorovými odchylkami teploty vzduchu a rychlosti větru. Tato zjištění mohou včelařům, ale i odborné a laické veřejnosti poskytnout důležité informace o dopadu klimatických změn na včelstva.

KLÍČOVÁ SLOVA

Změna klimatu; včela medonosná; klimatické anomálie; bioklimatické proměnné; ČHMÚ

Počet stran práce: 63

Počet příloh: 5 (z toho 3 volné)

ANNOTATION

In recent years, beekeepers in Czechia and worldwide have been facing significantly increased colony losses. Potential causes of these losses include climate change, extreme weather events, the spread of pathogens, parasites and invasive species into new regions, exposure to pesticides, and various other stressors, often interacting and amplifying their negative effects, potentially leading to colony collapse. Although climate change is considered a major factor influencing bee health, detailed scientific evidence regarding its specific impacts remains insufficient. This bachelor thesis focuses on analysing climate change in Czechia from 2013 to 2023 and assessing its impact on the overwintering success of western honeybee (*Apis mellifera*) colonies. Historical meteorological data from the CHMI station network and data on honey bee colonies' overwintering success in Czechia, provided by COLOSS association, were used. The obtained climate data were transformed into raster layers representing climatic variables using interpolation models. Based on these, climate anomalies and bioclimatic predictors were generated. In total, 7 climatic and 19 bioclimatic variables were examined. Statistical analyses confirmed a strong correlation between winter colony losses and increased temperature and wind anomalies in February. The results may provide valuable information not only for beekeepers, but also for experts and the general public about the effects of climate change on bee colonies.

KEYWORDS

Climate change; honey bee; climate anomalies; bioclimatic variables; CHMI

Number of pages: 63

Number of appendixes: 5

Prohlašuji, že

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

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

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

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

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

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

V Olomouci dne 1. 5. 2025

Štěpán ČECH
podpis autora

„The hum of bees is the voice of the garden.“

Elizabeth Lawrence

Na prvním místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své práce Mgr. Ondřeji Biemannovi za velmi přínosné konzultace, věcné připomínky a rady v průběhu vypracovávání této bakalářské práce.

Dále děkuji RNDr. Janu Brusovi, Ph.D., a Mgr. Jiřímu Danihlíkovi, Ph.D., za poskytnutí dat ze studie monitoringu úspěšnosti zimování včelstev v České republice.

Velké poděkování patří i Jitce a Tomášovi Kučerovým za vedení včelařského kroužku, jehož jsem byl dlouholetým členem. Tato práce by nikdy nevznikla, kdyby mě nezasvětili do základů včelaření.

Ze srdce děkuji svým rodičům a sestře za jejich trpělivost a neustálou podporu během celého studia i při psaní této práce. Jejich podpory si nesmírně vážím, i když to ne vždy umím dát najevo.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým kamarádům.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Štěpán ČECH
Osobní číslo: R220387
Studijní program: B0532A330011 Geoinformatika a kartografie
Téma práce: Hodnocení vlivu vývoje klimatu na úspěšnost zimování včelstev včely medonosné v Česku
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je analyzovat vývoj klimatu na území Česka v průběhu let 2013–2023 a určit jeho dopad na včelstva včely medonosné. Student se zaměří na vliv jednotlivých klimatických proměnných na ztráty včelstev, výskyt nemocí, snůšku, medný výnos a případné další ukazatele poskytované v rámci dotazníkového šetření asociace COLOSS. Student nejprve provede analýzu dostupných klimatických datových sad, přičemž podmínkou bude presence klimatických dat v rozlišení po jednotlivých letech a měsících. S využitím GIS detekuje anomálie napříč roky oproti normálu a statisticky vyhodnotí významnost jejich dopadu na včelstva. Výsledkem práce bude určení klimatických a bioklimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy měly nejvýznamnější dopady na včelstva, dále časoprostorová detekce změn klimatu ve vztahu k včelstvům na území Česka. Všechny výstupy práce budou vhodně graficky a kartograficky vizualizovány.

Text práce student zpracuje v souladu se závaznou šablonou pro kvalifikační práce KGI. O bakalářské práci student vytvoří webovou stránku a poster. Celou práci (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, poster a web) odevzdá student v digitální podobě na datové úložiště katedry. Do evidence STAG student odevzdá úplný text práce s přílohami, které určí vedoucí práce. Fyzicky student odevzdá pouze přílohy určené vedoucím práce.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Forma zpracování bakalářské práce: elektronická

Seznam doporučené literatury:

RAJAGOPALAN, Kirti, Gloria DEGRANDI-HÖFFMAN, Matthew PRUETT, et al., 2024. Warmer autumns and winters could reduce honey bee overwintering survival with potential risks for pollination services. *Scientific Reports* [online]. 14(1) [cit. 2024-04-20]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-024-55327-8

MORAWETZ, Linde, Hemma KÖGLBERGER, Antonia GRIESBACHER, Irmgard DERAHSHIFAR, Karl CRAILSHEIM, Robert BRODSCHNEIDER, Rudolf MOSBECKHOFER a Pilar DE LA RÚA, 2019. Health status of honey bee colonies (*Apis mellifera*) and disease-related risk factors for colony losses in Austria. *PLOS ONE* [online]. 2019-7-9, 14(7) [cit. 2024-04-13]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0219293

KUCHLING, Sabrina, Ian KOPACKA, Elfriede KALCHER-SOMMERSGUTER, Michael SCHWARZ, Karl CRAILSHEIM a Robert BRODSCHNEIDER, 2018. Investigating the role of landscape composition on honey bee colony winter mortality: A long-term analysis. *Scientific Reports* [online]. 8(1) [cit. 2024-04-20]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-018-30891-y

HRISTOV, Peter, Rositsa SHUMKOVA, Nadezhda PALOVA a Boyko NEOV, 2021. Honey bee colony losses: Why are honey bees disappearing? *Sociobiology* [online]. 2021-02-22, 68(1) [cit. 2024-04-13]. ISSN 2447-8067. Dostupné z: doi:10.13102/sociobiology.v68i1.5851

NEOV, Boyko, Ani GEORGIEVA, Rositsa SHUMKOVA, Georgi RADOSLAVOV a Peter HRISTOV, 2019. Biotic and Abiotic Factors Associated with Colonies Mortalities of Managed Honey Bee (*Apis mellifera*). *Diversity* [online]. 11(12) [cit. 2024-04-13]. ISSN 1424-2818. Dostupné z: doi:10.3390/d11120237

SWITANEK, Matthew, Karl CRAILSHEIM, Heimo TRUHETZ a Robert BRODSCHNEIDER, 2017. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation

on honey bee winter mortality in a temperate climate. Science of The Total Environment [online]. 579, 1581-1587 [cit. 2024-04-13]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.178

SMOLIŃSKI, Szymon, Aleksandra LANGOWSKA a Adam GLAZACZOW, 2021. Raised seasonal temperatures reinforce autumn Varroa destructor infestation in honey bee colonies. Scientific Reports [online]. 11(1) [cit. 2024-04-20]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-021-01369-1

GRAY, Alison, Nouredine ADJLANE, Alireza ARAB, et al., 2023. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. Journal of Apicultural Research [online]. 2023-03-15, 62(2), 204-210 [cit. 2024-04-20]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.1080/00218839.2022.2113329

HERSBACH, Hans, Bill BELL, Paul BERRISFORD, et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society [online]. 146(730), 1999-2049 [cit. 2024-04-13]. ISSN 0035-9009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.3803

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Ondřej Biemann**
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: **3. května 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2025**

L.S.



doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 16. září 2024

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 CÍLE PRÁCE	13
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	14
2.1 Význam včel.....	14
2.2 Vliv klimatických změn na včelstva.....	15
2.2.1 Změny chování a fyziologie včel.....	15
2.2.2 Sezónní výkyvy počasí	17
2.2.3 Dostupnost včelí pastvy	18
2.2.4 Patogeny a parazité včel.....	18
2.2.5 Invazivní druhy živočichů a rostlin.....	19
2.2.6 Používání pesticidů	20
2.3 COLOSS: Monitoring úspěšnosti zimování včelstev	21
2.4 Dostupné klimatické datové sady	22
3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	26
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	29
4.1 Stažení a úprava klimatických dat.....	29
4.1.1 Stažení vybraných stanic	29
4.1.2 Úprava stažených souborů	31
4.1.3 Primární výběr a agregace klimatických proměnných	32
4.2 Interpolace klimatických proměnných	33
4.2.1 Interpolace teploty vzduchu	34
4.2.2 Interpolace úhrnu srážek.....	38
4.2.3 Ukládání rastrových dat	42
4.3 Dotazníkové šetření asociace COLOSS	43
4.3.1 Úprava dat z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev.....	43
4.4 Klimatické anomálie.....	44
4.4.1 Tvorba multidimenzionálních datasetů	45
4.4.2 Generování klimatických anomálií	46
4.5 Bioklimatické proměnné.....	48
4.5.1 Generování rastrů bioklimatických proměnných	48
4.5.2 Ukládání bioklimatických proměnných	50
4.6 Stanovení reprezentativního vzorku PSC.....	51
4.7 Redukce počtu bioklimatických proměnných	53
5 VÝSLEDKY	56
5.1 Automatizační skripty	56
5.2 Interpolační modely klimatických proměnných	56
5.3 Určení významnosti klimatických anomálií	56
5.3.1 Srovnání hodnot klimatických anomálií a ztrát včelstev.....	61
5.3.2 Srovnání ztrát podle hodnot klimatických anomálií	63
5.3.3 Srovnání hodnot anomálií podle míry zimních ztrát.....	66

5.4	Určení významnosti bioklimatických proměnných.....	69
5.5	Znázornění problematiky zimních ztrát včelstev	70
6	DISKUZE	71
7	ZÁVĚR	74
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE		
PŘÍLOHY		

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
<i>A. mellifera</i>	<i>Apis mellifera</i>
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BFW	Austrian Research Centre for Forests
C3S	Copernicus Climate Change Service
CHMI	Czech Hydrometeorological Institute
CRF	Cloud raster format
CRU-TS	Climate Research Unit Time Series
CSV	Comma Separated Values
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSÚ	Český statistický úřad
DEM	Digital Elevation Model
DMR	Digitální model reliéfu
EBK	Empirical Bayesian Kriging
ECA&D	European Climate Assessment & Dataset
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EPSG	European Petroleum Survey Group
EU	Evropská unie
GA Layer	Geostatistical Analyst Layer
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format
GES DISC	Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
GIS	Geografický informační systém
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office
GRIB	General Regularly-distributed Information in Binary
GWR	Geographically Weighted Regression
JSON	JavaScript Object Notation
KNMI	Royal Netherlands Meteorological Institute
LYRX	Layer File
MZe	Ministerstvo zemědělství
NetCDF	Network Common Data Form
NUTS	Nomenclature of territorial units for statistics
PDF	Portable Document Format
PREC	Úhrn srážek
PREC_TOTAL	Celková suma úhrnu srážek
PSČ	Poštovní směrovací číslo
RHUM	Relativní vlhkost vzduchu
SD	Standard Deviation
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Zkratka	Význam
SOL	Doba trvání slunečního svitu
SOL_TOTAL	Celková doba trvání slunečního svitu
TIFF	Tagged Image File Format
TMAX	Maximální teplota vzduchu
TMEAN	Průměrná teplota vzduchu
TMIN	Minimální teplota vzduchu
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
WS	Průměrná rychlost větru
XLSX	Microsoft Excel Spreadsheet
ZÚ	Zeměměřický úřad

ÚVOD

Změna klimatu představuje pro mnoho živočišných druhů vážnou ekologickou hrozbu. Pokud by došlo k nárůstu globální teploty vzduchu o pouhé 2 °C, mohlo by v důsledku úbytku přirozeného habitatu vymizet až 18 % veškerého hmyzu (Warren et al., 2018). Takto výrazný pokles hmyzí populace může narušit rovnováhu přírodních procesů v krajině a ohrozit mimo jiné i zemědělskou produkci, která je na opylení hmyzem do značné míry závislá. Například v Evropě je na hmyzích opylovačích alespoň částečně závislých 78 % volně rostoucích rostlin a 84 % zemědělských plodin (Evropský parlament, 2021). Změny klimatu mohou nepříznivě ovlivňovat také fyziologické procesy včely medonosné (*Apis mellifera*), která patří mezi nejvýznamnější opylovače rostlin. Nezastupitelný význam mají včely především v zemědělských oblastech, neboť jsou nejčastějšími opylovači monokulturních plodin (Evropský parlament, 2021).

Nepříznivé vlivy okolního prostředí se každoročně odrážejí v míře zimních úhynů včelstev. V posledních letech však včelaři po celém světě čelí dramatickému nárůstu těchto ztrát. Jen mezi lety 2019–2020 uhynulo v České republice bezmála 21 % zazimovaných včelstev. Ještě vyšší ztráty byly ve stejném období zaznamenány například v Egyptě (24,3 %), Mexiku (28,4 %) nebo ve Španělsku, kde zimu nepřežilo 36,5 % včelstev (Gray et al., 2023). Objasnění těchto ztrát je předmětem výzkumu mezinárodní asociace COLOSS, jejímž cílem je identifikovat a analyzovat souvislosti mezi úhyny včelstev a vlivy okolního prostředí (Daníhlík, 2025).

Přestože je klimatická změna vnímána jako jedna z hlavních příčin ovlivňujících ztráty včelstev, existuje doposud jen omezené množství informací o jejím vlivu na chování, fyziologii a celkový zdravotní stav včel. Cílem této bakalářské práce je analyzovat vývoj klimatu na území Česka v průběhu let 2013–2023 a určit jeho dopad na úspěšnost zimování včelstev včely medonosné (*A. mellifera*). Práce navazuje na předchozí výzkumy využívající data z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev prováděného mezinárodní asociací COLOSS a zároveň rozšiřuje metodiku o časoprostorovou analýzu a identifikaci klimatických anomálií a bioklimatických proměnných, které měly statisticky nejvýznamnější dopady na včelstva. Získané poznatky by neměly posloužit pouze vědcům a akademickým pracovníkům, ale také včelařům a laické veřejnosti, neboť mohou přispět k lepšímu porozumění dopadu klimatické změny na včelstva.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je analyzovat vývoj klimatu na území Česka v průběhu let 2013–2023 a určit jeho dopad na včelstva včely medonosné (*A. mellifera*). Vliv jednotlivých klimatických proměnných bude zkoumán ve vztahu ke sledovaným ukazatelům, jako jsou zimní ztráty včelstev, výskyt nemocí, intenzita snůšky, medný výnos a případně další údaje poskytované v rámci dotazníkového šetření asociace COLOSS. Výsledkem práce bude určení klimatických a bioklimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy měly nejvýznamnější dopad na včelstva, a zároveň časoprostorová detekce změn klimatu ve vztahu k včelstvům na území Česka.

V teoretické části budou shrnuty dosavadní literární poznatky o dopadech změn klimatu na včelstva. Dále bude přiblížena činnost mezinárodní asociace COLOSS, která se zaměřuje na monitoring úspěšnosti zimování včelstev. Součástí odborné rešerše bude také analýza dostupných klimatických datových sad.

Praktická část bude zaměřena na zpracování klimatických dat a výsledků dotazníkového šetření asociace COLOSS. Z klimatických dat budou následně vypočteny klimatické anomálie a bioklimatické proměnné, které poslouží jako podklad pro statistické vyhodnocení jejich vlivu na včelstva.

S ohledem na dostupnost dat z dotazníkového šetření asociace COLOSS bylo po konzultaci s vedoucím práce stanoveno, že **dopad vývoje klimatu bude zkoumán výhradně ve vztahu k úspěšnosti zimování včelstev**. Důvodem je skutečnost, že data ostatních ukazatelů (např. výskyt nemocí, intenzita snůšky, medný výnos apod.) nejsou k dispozici za celé sledované období, neboť byla zaznamenávána pouze v určitých letech.

Po domluvě s vedoucím práce budou **klimatické anomálie vygenerovány pouze v měsíčním rozlišení** namísto za celé roky. Tento přístup lépe odpovídá potřebám práce, neboť umožňuje identifikovat konkrétní měsíce, v nichž měly odchylky klimatických proměnných statisticky významný vliv na ztráty včelstev. Jednotlivé měsíční anomálie nebudou počítány oproti klimatickému normálu (1991–2020), ale **vůči dlouhodobému průměru vypočtenému zvláště pro každý kalendářní měsíc v rámci sledovaného období 2013–2023**. K vypočtení anomálií oproti normálu by v prostředí ArcGIS Pro byla potřeba data za celý sledovaný normál, což je však vzhledem k objemu dat časově a zpracovatelsky náročné.

Součástí zadání práce je také vhodná vizualizace dosažených výsledků, dále tvorba webových stránek a posteru sloužícího k vizuálnímu představení stěžejních výsledků a výstupů celé bakalářské práce. Všechny výstupy budou spolu s textem práce umístěny na stránkách katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci.

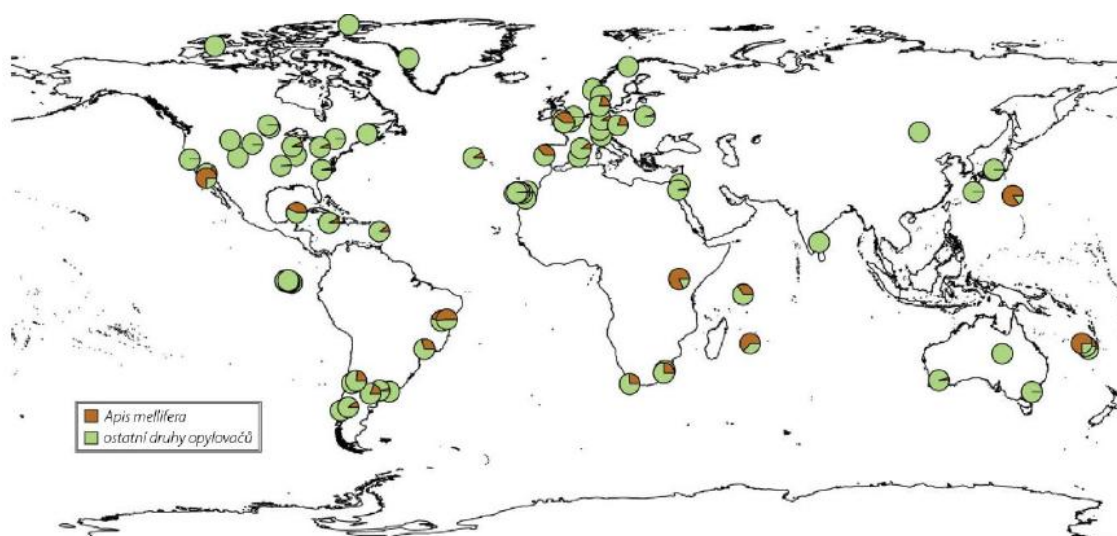
Výsledky této práce mohou včelařům, ale i odborné a laické veřejnosti poskytnout důležité informace o dopadu klimatických změn na včelstva, a to zejména identifikací klimatických a bioklimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy mají na ztráty včelstev největší vliv. Získané poznatky mohou rovněž v budoucnu přispět k účinnější prevenci proti masivním úhynům chovaných včelstev.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Význam včel

Včela medonosná (*Apis mellifera*) je považována za nejdůležitějšího opylovače rostlin (Grimaldi a Engel, 2005). Pouze malá část rostlin je větrosprašných (tzv. anemogamních) nebo samosprašných (tzv. autogamních, u nichž k opylení dochází vzájemným pohybem pestíku a tyčinek). Nejnovější odhady ukazují, že bezmála 90 % všech kvetoucích druhů rostlin na světě je opylováno živočichy (Tong et al., 2023). Napříč Evropou je 78 % všech druhů volně rostoucích rostlin a 84 % druhů zemědělských plodin alespoň částečně závislých na hmyzích opylovačích, díky kterým mohou rostliny vytvářet semena potřebná pro jejich další reprodukci. Mezi opylovači rostlin hrají včely klíčovou roli, protože jsou nejčastějšími opylovači monokulturních plodin v oblastech s intenzivním zemědělstvím. Jen v Evropské unii (EU) dosahuje hodnota roční zemědělské produkce závislé na hmyzu přibližně 15 miliard eur (Evropský parlament, 2021).

Hung et al. (2018) ve své studii definovali tzv. 80 opylovacích sítí z celého světa (Obr. 1). Tyto sítě představují systém vzájemných interakcí mezi rostlinami a jejich opylovači, přičemž zachycují, které druhy opylovačů navštěvují konkrétní rostliny a jak často k těmto interakcím dochází. *A. mellifera* je obecně považována za původní druh v Africe, na Blízkém východě a v Evropě, zatímco v ostatních částech světa byla uměle rozšířena. Byla zaznamenána celkem v 54 pozorovaných sítích a její návštěvy rostlin byly například více než dvakrát častější než souhrnné návštěvy všech druhů čmeláků dohromady, což potvrzuje její nezastupitelnou roli mezi opylovači. Čmeláci jsou navíc díky své lokální významnosti a kosmopolitnímu rozšíření jediní opylovači, které můžeme s *A. mellifera* dobře srovnávat (Geslin et al., 2017). Kromě včel a čmeláků se na opylování rostlin podílí i mnoho dalších živočichů, kteří vyhledávají v květech rostlin nektar (např. motýli, mûry, mouchy, vosy, mravenci, ptáci, nebo malé druhy opic). Rychlá expanze zemědělské produkce ovšem negativně ovlivňuje volně žijící druhy opylovačů a rostlin, neboť v oblastech s nižší intenzitou zemědělství je mnoho rostlin závislých právě na ostatních opylovačích (myšleno těch, co nejsou druhu *A. mellifera*) a neúměrné rozšiřování zemědělské půdy vede ke ztrátě jejich přirozeného habitatu (Aizen a Harder, 2009).



Obr. 1 Podíl *Apis mellifera* na návštěvnosti rostlin, v rámci 80 opylovacích sítí mezi rostlinami a opylovači po celém světě. (zdroj: Hung et al., 2018)

V současné době chovají včelaři po celém světě zhruba 102 milionů včelstev druhu *A. mellifera* (Visick a Ratnieks, 2023). Mezi lety 1961 a 2017 však jejich počty v Evropě klesly bezmála o 12 %, v Severní Americe dokonce o 28 %. Navzdory těmto lokálním ztrátám ovšem dochází v posledních desetiletích ke globálnímu nárůstu včelstev, zejména díky výraznému nárůstu počtu kolonií v Asii a Jižní Americe. Počet včelstev se celosvětově od roku 1961 zvýšil o 85 % (Phiri et al., 2022). I přes tento nárůst hrají ostatní opylovači nadále klíčovou roli ve fungování ekosystému, kterou *A. mellifera* nemůže plně nahradit (viz Obr. 1). Valido et al. (2019) nicméně upozorňují, že právě intenzivní chov včelstev diverzitu ostatních opylovačů snižuje. Poukazují na velký nárůst kolonií, který nastává na úkor přirozených druhů opylovačů rostlin. Česko patří v rámci Evropské unie k zemím s nejvyšší hustotou zavčelení (Evropa v datech, 2020), což může negativně ovlivňovat místní biologickou rozmanitost opylovačů.

Lidé chovají včely především za účelem získávání medu. Jen v zemích EU činí roční medná produkce přibližně 250 000 tun, celosvětově je tak EU po Číně druhý největší producent medu (Evropský parlament, 2018). Mezi další včelí produkty patří včelí vosk, propolis, mateří kašička (potrava pro včelí matku a larvy v raném stádiu vývoje), rouskový pyl, včelí chléb (fermentovaná forma rouskového pylu, která je pro včely lépe stravitelná) a včelí jed. Látky obsažené ve včelích produktech mají velmi prospěšné účinky na lidské zdraví a nacházejí široké uplatnění v potravinářství, dermatologii či v tradiční medicíně (Durazzo et al., 2021).

2.2 Vliv klimatických změn na včelstva

Změna klimatu představuje obzvlášť významný problém pro zemědělství a může mít znepokojivé dopady i na mnoho živočišných druhů, včetně *A. mellifera*. Průměrná teplota vzduchu vzrostla za poslední století přibližně o 0,5 °C (Gutzler, 2000) a do roku 2100 se očekává její nárůst až o 4 °C (Thuiller, 2007). Při globálním oteplení o pouhé 2 °C hrozí vyhynutí 18 % druhů hmyzu a 16 % druhů rostlin v důsledku ztráty více než poloviny jejich přirozeného prostředí (Warren et al., 2018). Langowska et al. (2017) nicméně upozorňují, že o vlivu změny klimatu na životní projevy *A. mellifera* existuje jen omezené množství informací. Autor této práce proto považuje za důležité další zkoumání vlivů vývoje klimatu na včelstva, což umožňuje lépe pochopit rizika spojená s klimatickými změnami.

2.2.1 Změny chování a fyziologie včel

Včely druhu *A. mellifera* žijí v početných společenstvech, kde každý jedinec zastává specifickou roli nezbytnou pro fungování celé kolonie. V úlu se nachází zpravidla jedna včelí matka, tisíce dělnic a od jara do léta také menší množství trubců. Během zimy se populace včel pohybuje mezi 10 000–20 000 jedinci, v průběhu snůškového období se jejich počet zvyšuje na 30 000–50 000 (Čavojský et al., 1981). Očekává se, že současný trend oteplování by neměl včely výrazně ohrozit, protože se dokážou přizpůsobit teplejšímu klimatu. Například včela medonosná saharská (*Apis mellifera sahariensis*) se vyskytuje v oázách na Sahaře, kde se přizpůsobila extrémním teplotním výkyvům a místnímu kvetení palmových květů (Le Conte a Navajas, 2008; Ruttner, 1988). I přes výbornou schopnost adaptace *A. mellifera* na různé klimatické podmínky existují již nyní důkazy, že změna klimatu může negativně ovlivňovat její kolonie.

Včely při zvýšení okolní teploty vzduchu zkracují dobu letu i sběru potravy, to však není způsobeno jejich omezenou termoregulační schopností, protože *A. mellifera* dokáže dobře snášet teploty i nad 40 °C. Včely zkracují dobu potřebnou pro získávání potravy, jelikož musí věnovat více času sběru vody pro termoregulaci úlu (Rader et al., 2013). V případě přehřátí úlu se dělnice shromažďují v prostoru česna (tj. vstup do úlu). Opuštění úlu včelami vede k lepší vnitřní cirkulaci vzduchu a následnému ochlazení. Pokud ovšem teplotní stres v úlu přetrvává, začnou dělnice přinášet vodu do buněk plástů, jejíž odpařování vnitřní prostory úlu ochlazuje (Cooper et al., 1985). Na vrcholu snůškového období klade včelí matka až 2 500 vajíček denně (Čavojský et al., 1981), omezení sběru pylu potřebného k výživě plodu tak může představovat významný stresový faktor ovlivňující vývoj a celkovou vitalitu kolonie. Nedostatečný příjem pylu má za následek zpomalení růstu, oslabení imunity a zkrácení životnosti jedinců. V jarním období navíc nedostatek pylu snižuje počet nakladených vajíček včelí matkou, což má negativní dopad na početnost a produktivitu včelstva během celé sezóny (Ali et al., 2023).

Studie prokázaly, že klimatická změna má negativní vliv na rozvoj včelstev a jejich zdravotní stav během roku. Například Nürnberger et al. (2019) zkoumali, jak mohou změny klimatu v Německu ovlivnit kolonie včely medonosné kraňské (*Apis mellifera carnica*). Výsledky studie naznačují, že včelstva, u nichž byl začátek plodování výrazně opožděn, měly na začátku jara menší populaci dělnic a během následujících měsíců méně medných zásob. Naopak teplejší zimy způsobují u včelstev dřívější začátek plodování, což ovšem zvyšuje populaci roztočů *Varroa destructor*, který včelstva oslabuje. Toto zjištění potvrzuje i Bergmann (1985), který pozorováním zjistil, že vyšší maximální denní teploty vzduchu v únoru vedou k předčasnému rozvoji kolonií. Tento rychlý rozvoj ovšem následně způsobuje jejich oslabení a zhoršení zdravotního stavu ke konci sezóny.

Aby včely úspěšně přečkaly zimu, musí na podzim vytvořit silné a početné kolonie. Včely v zimě nehibernují, ale shlukují se v úlu do zimního chumáče, přičemž dělnice získávají energii potřebnou k udržení teploty v chomáči konzumací uložených zásob potravy. Včelaři proto na konci snůškové sezóny včelstva dokrmují cukerným roztokem a dalšími druhy krmiv, aby podpořili včelí matku v kladení vajíček a umožnili koloniím doplnit dostatečné množství zásob (Sparks et al., 2010). Včelaři obecně považují zimní ztráty svých včelstev až do výše 20 % za přijatelné (Ganie et al., 2024), v posledních letech však u nás i ve světě dochází ke značně vysokým zimním ztrátám kolonií. V České republice došlo v meziročním období 2019–2020 ke ztrátě bezmála 21 % všech zazimovaných včelstev. Ještě vyšší ztráty byly ve stejném období zaznamenány například v Dánsku (22,3 %), Egyptě (24,3 %), Mexiku (28,4 %), Slovinsku (28,9 %) nebo ve Španělsku, kde dosáhly alarmujících 36,5 % (Gray et al., 2023). Autor této práce proto považuje za důležité odhalit hlavní příčiny takto vysokých úhynů, neboť jejich lepší pochopení může v budoucnu přispět k účinnější prevenci ztrát včelstev.

Switanek et al. (2017) zkoumali vliv klimatu na úspěšnost zimování včelstev v Rakousku, přičemž výsledky ukázaly výrazné statistické korelace mezi měsíčními klimatickými proměnnými a mírou úmrtnosti včelstev během zimy. Teplejší a sušší povětrnostní podmínky v předchozím roce byly doprovázeny zvýšenou zimní úmrtností. Toto zjištění později potvrdila i Wang (2021), která analyzovala potenciální dopady změny klimatu na včelaření v České republice s využitím dat z monitoringu zimních ztrát včelstev prováděného asociací COLOSS. Její výsledky naznačují, že nadprůměrné zvýšení roční teploty vzduchu oproti dlouhodobému trendu předchází výrazně vyšším zimním ztrátám v následujícím roce. Klimatická změna tak může v budoucnu negativně ovlivnit úspěšnost zimování včelstev, což by pro včelaře znamenalo značné ekonomické ztráty.

Změna klimatu může vymezit nové oblasti rozšíření *A. mellifera* a zároveň vést ke vzniku nových konkurenčních vztahů nejen mezi druhy a poddruhy včel, ale i mezi jejich parazity a patogeny (Ruttner, 1988). I včelaři budou nuceni přizpůsobit své metody chovu. Očekává se, že budou upřednostňovat kočovný chov včelstev s přesuny do nových snůškových oblastí a dovoz cizích poddruhů včel, aby otestovali jejich odolnost a přínos v novém prostředí (Neov et al., 2019).

2.2.2 Sezónní výkyvy počasí

Včely jsou velmi efektivním druhem opylovačů rostlin. Jejich letová aktivita je nejvíce ovlivněna okolní teplotou vzduchu a intenzitou slunečního záření, neboť včely vůbec nelétají, pokud není venku světlo (Komasilova et al., 2021). Disponují schopností vycítit změny meteorologických faktorů, jako je barometrický tlak, teplota a relativní vlhkost vzduchu, díky čemuž dokážou předpovídat nadcházející počasí. Proto před deštivými dny a krátce po nich pracují včelí dělnice intenzivněji, neboť se snaží nasbírat více potravy a vynahradit promeškanou snůšku během nepříznivého počasí (He et al., 2016).

Na změny povětrnostních podmínek reagují včely velmi citlivě, protože jejich biologické procesy jsou úzce spjaté s dostupností kvetoucích rostlin a vhodnými podmínkami pro sběr potravy. Jedná se o studenokrevné (tzv. ektotermní) živočichy, jejichž tělesná teplota se mění v závislosti na okolním prostředí. Z tohoto důvodu mohou vyšší okolní teploty vzduchu výrazně prodlužovat letovou aktivitu včel i celou včelařskou sezónu (Langowska et al., 2017). Naopak v dešti včely zpravidla nelétají, neboť v chladných a vlhkých podmínkách nedokážou dostatečně regulovat svou tělesnou teplotu (Ali et al., 2023). Pokud se včelím dělnicím nepodaří včas vrátit do úlu, mohou v důsledku deště a nepříznivých povětrnostních podmínek i uhynout (Komasilova et al., 2021). Významnou hrozbou pro *A. mellifera* může představovat také zvýšená variabilita úhrnů srážek. Dlouhotrvající deště výrazně omezují možnosti sběru nektaru (Jiang et al., 2016) a i mírné srážky mohou nepříznivě ovlivňovat letovou aktivitu včel, dokud květy rostlin neoschnou a nevytvoří novou dávku nektaru (Solovev, 2020). Naopak dlouhodobý nedostatek srážek omezuje v krajině dostupnost kvetoucích rostlin, což má negativní dopad na rostliny a jejich opylovače (Ali et al., 2023). Letová aktivita včel může být narušena nebo dokonce zcela pozastavena i vlivem působení větru. Hennessy et al. (2020) v laboratorním experimentu zkoumali vliv rychlosti větru na letovou aktivitu *A. mellifera* a zjistili, že s rostoucí rychlostí větru navštěvují včely výrazně méně květů, což snižuje jejich efektivitu při sběru potravy.

Klimatická změna je predispozicí pro častější a intenzivnější extrémní výkyvy počasí. Silné bouře a vydatné srážky mohou způsobovat rozsáhlé povodně. Jejich zvýšená frekvence a intenzita způsobená klimatickou změnou představuje pro chovaná včelstva přímou hrozbu, neboť v jejich důsledku dochází k ničení úlů a kolonií. Včelstva vlivem povodní tonou nebo jsou spolu s úlem odneseny přívalovou vodou (Ali et al., 2023). Velmi silné bouře, hurikány a tornáda mohou působením silného větru vážně poškodit úly a narušit jejich stabilní umístění, což vede ke ztrátám materiálu, včelstev i medných zásob. Tyto extrémní výkyvy počasí mohou včelařům způsobit značné ekonomické ztráty, neboť postižená včelstva potřebují dlouhé období na obnovu původního počtu jedinců, což výrazně zpomaluje jejich rozvoj (Mishra et al., 2023).

2.2.3 Dostupnost včelí pastvy

Změny klimatu mohou zásadně ovlivňovat geografické rozšíření mnoha živočišných a rostlinných druhů. S rostoucími teplotami vzduchu se totiž rostliny i opylovači přesouvají ze svých původních stanovišť do vyšších nadmořských výšek, kde nacházejí vhodnější klimatické podmínky (Kerr et al., 2015). Rostliny a jejich opylovači však reagují různou rychlostí, což vede k posunu fenologických událostí a trofické nesouladnosti mezi rostlinami a jejich opylovači. Tento nesoulad může vést k omezené dostupnosti potravy v klíčovém období rozvoje včelstva (Thackeray et al., 2010). Nejnovější studie však naznačují, že se *A. mellifera* dokáže případným změnám ve fenologii kvetení rostlin přizpůsobit díky její pestré stravě a dlouhému období sběru potravy (Ganie et al., 2024).

Krajinná heterogenita, tedy rozmanitost a složitost uspořádání různých typů habitatů v krajině, má zásadní vliv na včelstva a další opylovače rostlin. Vyšší habitatová rozmanitost a širší spektrum květinových druhů napříč různými typy prostředí podporují druhovou bohatost a jejich diverzitu (Fahrig et al., 2011). Monokulturní zemědělství sice poskytuje bohatý zdroj včelí pastvy během kvetení plodin, avšak po zbytek roku může v dané oblasti docházet k výraznému úbytku potenciální potravy opylovačů. Intenzivní zemědělství navíc snižuje heterogenitu krajiny, což vede k úbytku přirozených stanovišť volně žijících opylovačů (Aizen a Harder, 2009). Chov *A. mellifera* v městském prostředí se vyznačuje značnou variabilitou. Města poskytují včelám alternativní zdroje potravy po celý rok (např. parky nebo aleje) a zároveň snižují riziko intoxikace pesticidy ze zemědělských plodin. Pokud je však městské prostředí příliš urbanizované, nemusí být pro včely množství tamní vegetace dostatečné (Hung et al., 2018).

Včely jsou zcela závislé na nektaru a pylu z rostlin, přičemž dlouhotrvající sucho výrazně snižuje hojnost a pestrost květin v krajině. Suché oblasti celosvětově pokrývají přibližně 41 % pevninského povrchu a omezená dostupnost květin v těchto oblastech nutí včely létat delší vzdálenosti za alternativními zdroji potravy, což ovšem snižuje jejich efektivitu (Kimani, 2021). Rostliny vystavené suchu navíc kvetou méně a produkují menší množství nektaru, což ztěžuje opylovačům nacházení dostatečného množství potravy (Ganie et al., 2024). Z tohoto důvodu mají na produkci nektaru rostlin v kontinentálním, teplém a suchém klimatu velmi pozitivní dopad deště, neboť zvyšují vlhkost půdy i okolního vzduchu (Solovev, 2020). Nižší přísun potravy může u včel nastat ovšem i vlivem teplé deštivé zimy nebo neobvykle chladného jara. Zpožděný nástup jara totiž obvykle zkracuje dobu kvetení některých rostlin, což včelám značně ztěžuje využití veškerých dostupných zdrojů snůšky (Lecocq et al., 2015). Při snížení včelí pastvy se kolonie potýkají s nedostatkem sacharidů, tuků, bílkovin, minerálů a dalších látek, které jsou nezbytné pro správný chov plodu, tvorbu medných zásob a udržení imunity včelstva (Ali et al., 2023; Neov et al., 2019).

2.2.4 Patogeny a parazité včel

Rostoucí teploty vzduchu v důsledku změny klimatu mohou dále snižovat rezistenci včel vůči škodlivým parazitům, patogenům a nemocem. Zvyšování teploty vzduchu totiž může umožňovat rozšiřování exotických parazitů a patogenů do nových oblastí, čímž se zvyšuje riziko jejich přenosu na tamní včelstva. Tento potenciální přenos představuje pro včelaře značné komplikace. Například na území Evropy jsou nemoci a parazité spojováni s vyššími ztrátami kolonií (Neov et al., 2019).

Jedním z nejvýznamnějších a nejrozšířenějších parazitů ohrožující včelstva *A. mellifera* je roztoč **kleštík včelí** (*Varroa destructor*), který byl do Evropy zavlečen v 50. letech 20. století (Neov et al., 2019). Jedná se o nebezpečného parazita, který se živí krví (tzv. hemolymfou) dospělých i nevylihnutých jedinců. Výskyt kleštika přímo souvisí s oslabením imunity včel, které vykazují fyzické poškození, sníženou tělesnou hmotnost a deformaci křídel. Populace kleštika v zimním období obvykle klesá, ale na jaře a v létě se tyto parazité v úlu rychle množí. Zvyšování okolní teploty vzduchu během zimy ovšem může zapříčinit jeho vyšší reprodukci (Ali et al., 2023). Vlivem globálního oteplování se u včelstev období bez plodování pravděpodobně zkrátí, nebo dokonce zcela vymizí. Delší období plodování vede ke zvýšení množství dělničího i trubčího plodu (tzv. trubčiny) ve včelstvu (Le Conte a Navajas, 2008). Kvůli delší inkubační době trubců upřednostňuje kleštík právě trubčinu, jejíž vyšší zastoupení v úlu výrazně podporuje nárůst populace roztočů ke konci sezóny (Ruttner, 1988).

Mezi další významné patogeny patří **hmyzomorka včelí** (*Nosema apis* či *Nosema ceranae*). Jedná se o vnitrobuněčnou parazitickou houbu (tzv. mikrosporidii), která u včel během zimního období způsobuje průjmové onemocnění zvané nosematóza (*Nosematosis apium*), nebo dokonce latentní infekci, která může vést ke kolapsu celé kolonie (Neov et al., 2019). Studie prokázaly, že spory *Nosema ceranae* jsou vysoce odolné vůči teplu a suchu, což jim umožňuje lépe přežít v extrémních podmínkách. Díky své vysoké rezistenci mohou přetrvávat i v plástvích, které pochází z dříve infikovaných kolonií, čímž se zvyšuje riziko přenosu infekce na jiná včelstva (Fenoy et al., 2009).

Zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) je dalším oportunistickým škůdcem včel, jehož výskyt byl zaznamenán na všech kontinentech kromě Antarktidy. Jedná se o drobného motýla, jehož larvy způsobují včelařům značné škody, obzvláště na uskladněných plástvích (Neov et al., 2019). Tyto larvy mohou navíc fungovat jako potenciální mechanický přenašeč nejrůznějších patogenů. Hosni et al. (2022) hodnotili vliv globálního oteplování a změny klimatu na celosvětové rozšíření zavíječe voskového. Závěry studie ukazují, že v důsledku rostoucích teplot vzduchu se oblast výskytu tohoto škůdce v budoucnu výrazně rozšíří.

Lesknáček úlový (*Aethina tumida*) je malý úlový brouk, který pochází ze subsaharské Afriky. Ve včelstvech se živí pylem, medem a včelím plodem. V oblastech, kam byl lesknáček zavlečen, se projevil jako vysoce škodlivý parazit, který negativně ovlivňuje různé aspekty včelaření, včetně chovu matek, produkce a zpracování medu i opylovací činnosti. Největší škody způsobuje larvální stádium brouka, zatímco dospělí jedinci mají na včelstvo jen minimální negativní vliv, především tím, že narušují činnost dělnic a odvádějí je od jejich povinností (Ellis et al., 2010). Z těchto důvodů může další rozšiřování lesknáčka napříč Zemí představovat pro včelstva značný problém. Jamal et al. (2021) zkoumali vliv teploty vzduchu na jeho budoucí výskyt v Africe a jižní Evropě. Výsledky studie naznačují možný posun výskytu lesknáčka do severnějších oblastí Afriky, zejména do přímořských oblastí, a do států jižní Evropy.

2.2.5 Invazivní druhy živočichů a rostlin

Změna klimatu může urychlit rozšiřování výskytu invazivních druhů živočichů a rostlin do oblastí, kde se dříve běžně nevyskytovali. Tyto nepůvodní druhy představují významné riziko nejen pro opylovače, ale také pro původní druhy rostlin a celkovou krajinnou biodiverzitu. Míra jejich negativního dopadu závisí na konkrétním druhu, jeho četnosti výskytu a schopnosti přizpůsobit se novému prostředí.

Sršeň asijská (*Vespa velutina*) je v současné době rychle se rozšiřující druh invazivního hmyzu napříč Evropou. Pro své četné dopady na biodiverzitu se stává vážnou zdravotní, ekologickou, ale i ekonomickou hrozbou. Ve velkém decimuje včelstva, což způsobuje značné škody nejen včelařům, ale i celé společnosti. Sršeň asijská se žije převážně včelami, které tvoří až 70 % její potravy. Kvůli nedostatku účinné obrany je sršně nejen loví, ale také narušují jejich aktivitu při sběru potravy, což značně ohrožuje přežití kolonií (Requier et al., 2019). Biemann (2023) modeloval potenciální výskyt sršně asijské v Česku. Jeho výsledky naznačují, že místní podmínky by mohly v budoucnu postačovat tomu, aby se zde sršeň usadila. Jedná se zejména o zastavěné oblasti na západě země, v jižních Čechách a na jihu Moravy. Tohle zjištění potvrzují i první nálezy hnízd v obcích na Plzeňsku a Opavsku (AOPK ČR, 2025).

Argentinský mravenec (*Linepithema humile*) je vysoce invazivní druh mravence, který se z Jižní Ameriky rozšířil napříč všemi kontinenty (Merrill et al., 2018). Tito mravenci kradou včelám med z úlu a mohou fungovat i jako potenciální mechanický přenašeč patogenů. Jeho vliv na včelstva zkoumali Dobelmann et al. (2023) na Novém Zélandu. Přestože přítomnost argentinského mravence statisticky neovlivnila úhyny kolonií, musely včely v napadených úlech věnovat mnohem více času sběru potravy. Zároveň se u nich vyskytovala extrémně vysoká prevalence viru deformovaných křídel ve srovnání s úly, kde tito mravenci nebyli přítomni.

Invazní rostliny sice mohou být pro včely dobrým zdrojem potravy, ovšem narušují dostupnost klíčových živin poskytovaných pestrou včelí pastvou. Zarůstají totiž velké plochy a potlačují původní rostlinné druhy. Z celkového počtu 1 576 nepůvodních druhů rostlin je v Česku za invazní považováno 75 druhů (Pyšek et al., 2022). Typickým příkladem invazní rostliny je **netýkavka žláznatá** (*Impatiens glandulifera*), která pochází z Asie a rozšířila se napříč územím Evropy. Tato rostlina vytváří v krajině husté porosty a má výrazné květy s vysokým obsahem nektaru a pylu, čímž se pro *A. mellifera* stává velmi atraktivním zdrojem potravy, ovšem na úkor jiných druhů rostlin (Vanbergen et al., 2018).

2.2.6 Používání pesticidů

V současné době přicházejí opylovači do kontaktu s agrochemikáliemi (tj. všemi chemickými látkami, které se používají v zemědělství) právě v období, kdy jsou kvetoucí zemědělské plodiny jejich hlavním zdrojem potravy. Výzkumy ukazují, že používání různých agrochemikálií, zejména pesticidů, představuje vážnou hrozbu pro fyziologii *A. mellifera* a celkové zdraví jejich kolonií (Lin et al., 2023). Během období sucha jsou včely nuceny sbírat více vody, což vede k častějšímu kontaktu se znečištěnou vodou v blízkosti zemědělských oblastí (Ali et al., 2023). Pesticidy se do těchto vodních zdrojů dostávají prostřednictvím dešťových kapek, transportem na odplavovaných částicích půdy anebo splachem z ošetřených zemědělských plodin. Donald et al. (2005) zkoumali vliv intenzity srážkových úhrnů na kontaminaci vodních zdrojů pesticidy. Výsledky studie naznačují, že intenzivní přívalové deště mohou při zaplavení zemědělské krajiny výrazně přispět ke kontaminaci vodních zdrojů splachem pesticidů z ošetřených plodin, což zvyšuje riziko intoxikace opylovačů při jejich kontaktu s vodními zdroji.

Rostoucí globální teploty vzduchu v důsledku změny klimatu mohou ohrožovat *A. mellifera* i tím, že zvyšují toxicitu pesticidů, se kterými se včely setkávají při sběru potravy. Například vzájemné působení pesticidů a vyšších teplot vzduchu může vést k narušení orientace včel sběraček, oslabení imunitního systému včel a zpomalení růstu kolonie. Zvýšená toxicita pesticidů se při vysokých teplotách vzduchu dále zhoršuje,

protože oteplování klimatu mění dostupnost včelí pastvy i typické chování včel při sběru potravy z květných zdrojů (Ali et al., 2023). Bylo prokázáno, že oslabení imunitního systému včel zvyšuje jejich náchylnost k infekcím a parazitům. Kombinace více stresorů, které působí na včely, často vede k následnému kolapsu kolonií (Neov et al., 2019).

2.3 COLOSS: Monitoring úspěšnosti zimování včelstev

Nepříznivé vlivy okolního prostředí se každoročně projevují na úhynech včelstev *A. mellifera*, v posledních letech však dochází u nás i ve světě ke značně vysokým zimním ztrátám kolonií (Gray et al., 2023). Tento trend se snaží objasnit mezinárodní nezisková organizace COLOSS, která se na globální úrovni zaměřuje na zlepšování života včel, především *A. mellifera*. Asociace sídlí ve švýcarském Bernu a sdružuje vědecké pracovníky, veterináře, specialisty na zemědělství a také studenty (COLOSS, 2025). Jedním z hlavních projektů asociace COLOSS je monitoring úspěšnosti zimování včelstev, který probíhá v rámci 37 států světa a shromažďuje data o zimních úhynech kolonií (Gray et al., 2023). Samotný monitoring probíhá v Evropě od roku 2007 a je realizován pomocí anonymního dotazníku (viz Obr. 2), který včelaři vyplňují každý rok na jaře.

COLOSS: Monitoring úspěšnosti zimování včelstev v zimě 2019/20



Partneři projektu:



Prosíme o vyplnění a odeslání dotazníku do **30. dubna 2020** na tuto adresu: Jiří Danihlík, Katedra biochemie PŘF UP, Šlechtitelů 27, 783 71 Olomouc, heslo „včely“; Elektronická verze a informace k projektu jsou na www.coloss.cz, e-mail: monitoring.vcely@gmail.com. Odpovědi jsou anonymní a slouží pouze pro potřeby výzkumného projektu. Najdete nás i na Facebooku!

1. **Napište okres, v kterém máte umístěnu včelnici.**
V případě, že včelaříte ve více oblastech, napište okres, ve kterém je umístěna Vaše domácí / hlavní včelnice, případně sídlo Vaší firmy.
2. **Uveďte název obce, kde je Vaše hlavní včelnice nebo sídlo Vaší firmy.**
Pokud je tato hlavní včelnice mimo intravilán obce, uveďte název nejbližší obce.
3. **Uveďte PSČ obce, kde je Vaše hlavní včelnice nebo sídlo firmy.**
Pokud je tato hlavní včelnice mimo intravilán obce, uveďte PSČ nejbližší obce.
4. **Kolik máte stanovišť?**
5. **Pokud máte více stanovišť, jsou od hlavní včelnice nebo sídla firmy vzdálená více než 15 km? (Zatrhnete jednu z možností, pokud máte jen jednu včelnici, zatrhnete Ne.)**
 Ano Nevím Ne

V následujících otázkách uvádějte počty za celý svůj provoz, i když jej máte rozmístěný na více stanovištích. Za zimu považujte období od ukončení příprav na zazimování včelstev (obvykle po zakrmení) do začátku nového snůžkového období v letošním roce.

6. **Kolik produkčních včelstev jste zazimoval/a v roce 2019?**
Počítejte pouze produkční včelstva, od kterých jste v loňské sezóně očekávali produkci. Nezapočítávejte rezervní oddělky.
7. **Kolik produkčních včelstev jste ztratil/a v zimě 2019/20?**
 - a) **včelstev sice žijících, ale s problémy s matkou**
Např. ztracená, nekladoucí, trubcokladá atp.; tato včelstva jste následně spojili, nebo do nich dali novou matku.
 - b) **včelstev ztracených kvůli různým přírodním vlivům**
Odcizení, pád stromu, myši, medvěd, krádež, vyhoření, vandalismus...
 - c) **uhynulých včelstev**
Uly bez včel nebo s malou skupinkou včel, která sama o sobě není schopná přežít.

Obr. 2 Ukázka české verze dotazníku asociace COLOSS.
(zdroj: COLOSS Česká republika, 2020)

Cílem projektu COLOSS není jen kvantifikovat ztráty včelstev po zimě, ale především zkoumat souvislosti mezi úhyny kolonií a okolními faktory, které na ně mohou mít vliv (například snůškové podmínky nebo způsoby léčení). Česko je do projektu zapojeno od jara 2014, kdy proběhl pilotní ročník monitoringu stavu českých včelstev (Daníhlík, 2025). Národním koordinátorem projektu je Mgr. Jiří Daníhlík, Ph.D. z katedry biochemie Univerzity Palackého v Olomouci. Zpracované výsledky českého dotazníku jsou vždy publikovány na webových stránkách [COLOSS:Monitoring úspěšnosti zimování včelstev](#), které u nás slouží i k samotné propagaci projektu.

2.4 Dostupné klimatické datové sady

Změny klimatu a extrémní výkyvy počasí mohou negativně ovlivňovat mnoho živočišných druhů, včetně včely medonosné (*A. mellifera*). Vzhledem k narůstajícím projevům klimatických změn považuje autor této práce za důležité dále zkoumat vliv vývoje klimatu na včelstva. To však vyžaduje využití vhodných datových zdrojů umožňujících objektivní analýzu klimatických trendů v dané oblasti. Tato kapitola proto představuje přehled a charakteristiku klimatických datových sad, které jsou dostupné pro území Česka a poskytují záznamy v měsíčním i ročním časovém rozlišení (případně umožňují agregaci dat na požadovanou časovou úroveň).

ERA5 (Soci et al., 2024; Hersbach et al., 2020)

- **Producent:** European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) v rámci programu Copernicus Climate Change Service (C3S)
- **Datový formát:** GRIB, NetCDF
- **Datové rozhraní:** datové sady ERA5 jsou po registraci dostupné na stránkách projektu [Copernicus](#), následné stažení dat vyžaduje práci s příkazovým řádkem a programovacím jazykem Python
- **Prostorový rozsah dat:** globální, data jsou v některých datových sadách ERA5 dostupná v několika tlakových hladinách nad povrchem (pressure levels) a rozlišují se na atmosférické, oceánské a povrchové veličiny (single levels)
- **Veličiny:** teplota zemského povrchu, teplota mořské hladiny, úhrn srážek, globální radiace, výška sněhové pokrývky, rychlost větru a mnoho dalších (jejich kompletní seznam je uveden v dokumentaci na stránkách [ECMWF](#), databáze patří mezi nejobsáhlejší klimatické datové sady, ovšem dostupnost jednotlivých klimatických charakteristik se v rámci datových sad ERA5 liší)
- **Časové období:** 1940–současnost (denní data jsou aktualizována s pětidenním zpožděním, měsíční data se zpožděním přibližně šesti týdnů)
- **Časové rozlišení:** dle typu dat; 1 hodina, 3 hodiny, 6 hodin, měsíc
- **Prostorové rozlišení:** veškerá hodinová data jsou dostupná s rozlišením 0,25° pro atmosféru (v našich zeměpisných šířkách přibližně 18 km/pixel) a 0,5° pro oceánské vlny (~36 km/pixel), měsíční data mají prostorové rozlišení 0,1° (~7 km/pixel)

CLIMRISK (CzechGlobe, 2025)

- **Producent:** CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, data za Česko pochází z měřicích stanic ČHMÚ, pro střední Evropu byla použita datová sada E-OBS
- **Datový formát:** XLSX, PDF
- **Datové rozhraní:** data jsou k dispozici na stránkách [CLIMRISK](#), stahování dat je možné pouze po jednotlivých katastrálních územích
- **Prostorový rozsah dat:** Česko (jednotlivá katastrální území) a střední Evropa (různé úrovně regionů NUTS)
- **Veličiny:** maximální teplota vzduchu, průměrná teplota vzduchu, minimální teplota vzduchu, úhrn srážek, rychlost větru, relativní vlhkost vzduchu, délka slunečního svitu, globální radiace, počet mrazivých dní a mnoho dalších (celkem datová sada obsahuje 26 klimatických charakteristik, jejich kompletní seznam a popis je uveden v dokumentaci na stránkách [CLIMRISK](#))
- **Časové období:** třicetiletá období 1981–2010, 1991–2020 (historická měsíční, sezónní a roční data), budoucí predikce po třicetiletých normálech (2009–2038, 2011–2040, 2021–2050, 2031–2060, 2041–2070, 2051–2080, 2061–2090)
- **Časové rozlišení:** měsíční, sezónní, půlroční, roční
- **Prostorové rozlišení:** výstupy prezentované na stránkách projektu jsou v rozlišení 500 m/pixel pro Česko a přibližně 10 km/pixel pro střední Evropu

ClimateEU v 4.63 (Marchi et al., 2020; Biemann, 2023)

- **Producent:** University of Alberta, program ClimateEU pracuje s datovou sadou Climate Research Unit Time Series (CRU-TS) ve verzi 4.05 od Climatic Research Unit (University of East Anglia) a Met Office
- **Datový formát:** CSV, ASCII Grid
- **Datové rozhraní:** jedná se o program pro generování klimatických dat, který je dostupný na stránce [Andreas Hamann's personal website](#), úprava dat pro jejich následné stažení vyžaduje práci s programovacím jazykem R
- **Prostorový rozsah dat:** Evropa a západní Asie
- **Veličiny:** průměrná roční teplota vzduchu, teplotní kontinentalita, průměrná teplota nejteplejšího měsíce, průměrná teplota nejchladnějšího měsíce, průměrný roční srážkový úhrn, počet mrazivých dní a mnoho dalších (program ClimateEU umožňuje generování celkem 75 klimatických proměnných)
- **Časové období:** 1901–2020 (historická měsíční, sezónní a roční data), budoucí predikce po třicetiletých normálech (2010–2039, 2040–2069, 2070–2099)
- **Časové rozlišení:** měsíc, rok, 10 let, třicetiletý normál
- **Prostorové rozlišení:** 1,25' (v našich zeměpisných šířkách přibližně 1,5 km/pixel), ovšem s použitím DMR se dá docílit detailnějšího rozlišení (program dopočítává hodnoty na základě nadmořské výšky)

E-OBS (Cornes et al., 2019; Hofstra et al., 2009)

- **Producent:** Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) v rámci projektu European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)
- **Datový formát:** NetCDF
- **Datové rozhraní:** datová sada je dostupná na stránkách projektu [Copernicus](#), následné stažení dat vyžaduje práci s příkazovým řádkem a programovacím jazykem Python
- **Prostorový rozsah dat:** Evropa, severní Afrika, západní Asie
- **Veličiny:** maximální teplota vzduchu, průměrná teplota vzduchu, minimální teplota vzduchu, úhrn srážek, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru, solární radiace, tlak vzduchu a referenční nadmořská výška
- **Časové období:** 1950–současnost (rozsah časové řady závisí na konkrétních klimatických charakteristikách, data jsou aktualizována jednou za 6 měsíců)
- **Časové rozlišení:** denní
- **Prostorové rozlišení:** 0,1° (v našich zeměpisných šířkách přibližně 7 km/pixel) a 0,25° (~18 km/pixel)

WorldClim 2.1 (Cerasoli et al., 2022; Fick a Hijmans, 2017)

- **Producent:** WorldClim, data vychází z datové sady Climate Research Unit Time Series (CRU-TS) ve verzi 4.06 od Climatic Research Unit a Met Office
- **Datový formát:** GeoTIFF
- **Datové rozhraní:** data jsou dostupná ke stažení na stránkách [WorldClim](#)
- **Prostorový rozsah dat:** globální
- **Veličiny:** maximální teplota vzduchu, průměrná teplota vzduchu, minimální teplota vzduchu, úhrn srážek, rychlost větru, tlak vodních par, solární radiace, sada bioklimatických proměnných a referenční nadmořská výška
- **Časové období:** 1970–2000 (historická roční data), 1960–2021 (historická měsíční data) a budoucí predikce po dvacetiletých obdobích (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100)
- **Časové rozlišení:** dle typu dat; 10 let, 20 let, třicetiletý normál
- **Prostorové rozlišení:** 30" (v našich zeměpisných šířkách přibližně 1 km/pixel), 2,5' (~3 km/pixel), 5' (~6 km/pixel), 10' (~12 km/pixel)

ECLIPS 2.0 (Chakraborty et al., 2020; Biemann, 2023)

- **Producent:** Austrian Research Centre for Forests (BFW)
- **Datový formát:** GeoTIFF
- **Datové rozhraní:** celou datovou sadu lze stáhnout z repozitáře [Zenodo](#), který slouží k ukládání a publikování vědeckých dat
- **Prostorový rozsah dat:** Evropa
- **Veličiny:** průměrná teplota vzduchu, nejvyšší teplota nejteplejšího čtvrtletí, teplotní kontinentalita, úhrn srážek, vlhkostní indexy, počet mrazivých dní a mnoho dalších (datová sada obsahuje celkem 80 klimatických proměnných)
- **Časové období:** normály 1961–1990, 1991–2010 (historická měsíční, sezónní i roční data), budoucí predikce po desetiletých a dvacetiletých normálech (2011–2020, 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080, 2081–2100)
- **Časové rozlišení:** měsíční, sezónní, roční
- **Prostorové rozlišení:** 30" (v našich zeměpisných šířkách přibližně 1 km/pixel)

MERRA-2 (Gelaro et al., 2017; Bosilovich, 2013)

- **Producent:** NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Global Modeling and Assimilation Office (GMAO)
- **Datový formát:** NetCDF, ASCII Grid
- **Datové rozhraní:** datové sady MERRA-2 jsou dostupné na stránkách [NASA GES DISC](#)
- **Prostorový rozsah dat:** globální, data jsou v některých datových sadách MERRA-2 dostupná na několika tlakových hladinách nad povrchem (pressure levels) a v rozlišení na atmosférické, oceánské a povrchové veličiny (single levels)
- **Veličiny:** teplota zemského povrchu, průměrná teplota vzduchu, srážkový úhrn, relativní vlhkost vzduchu, rychlost větru a mnoho dalších (jejich kompletní seznam je uveden v dokumentaci na stránkách [NASA GES DISC](#), dostupnost klimatických charakteristik se v rámci datových sad MERRA-2 liší)
- **Časové období:** 1980–současnost (rozsah časové řady závisí na konkrétní datové sadě MERRA-2)
- **Časové rozlišení:** dle typu dat; 1 hodina, 3 hodiny, 6 hodin, den, měsíc
- **Prostorové rozlišení:** $0.5^\circ \times 0.625^\circ$ (v našich zeměpisných šířkách přibližně 35×45 km/pixel)

Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ (CENIA, 2024)

- **Producent:** Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), data za jednotlivé měřicí stanice jsou součástí klimatologické databáze CLIDATA
- **Datový formát:** JSON
- **Datové rozhraní:** data jsou k dispozici na [Národním geoportálu INSPIRE](#), jejich stažení a následná úprava vyžaduje práci s programovacím jazykem Python
- **Prostorový rozsah dat:** měřicí stanice ČHMÚ napříč územím Česka
- **Veličiny:** maximální teplota vzduchu, průměrná teplota vzduchu, minimální teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, úhrn srážek, doba trvání slunečního svitu a mnoho dalších (kompletní seznam klimatických charakteristik je uveden u jednotlivých datových sad ČHMÚ na [Národním geoportálu INSPIRE](#), jejich dostupnost se však v rámci pozorovacího programu měřicích stanic liší)
- **Časové období:** 1775–současnost (rozsah časové řady závisí na konkrétní meteorologické stanici, data jsou aktualizována jednou ročně)
- **Časové rozlišení:** dle typu dat; 1 den, 5 dní, měsíc, rok
- **Prostorové rozlišení:** data nemají definované prostorové rozlišení, protože jsou ryze bodového charakteru (1 bod \approx 1 meteorologická stanice)

3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

Po vyhotovení zadání vedoucím práce byla nejprve provedena rešeršní část dané problematiky. Bylo zpracováno několik odborných článků, jejichž cílem bylo zkoumání klimatických proměnných, které mohou nejvíce ovlivňovat úspěšnost zimování, fyziologii a chování včelstev *A. mellifera*. Na základě rešerše (kapitola 2) byly identifikovány klimatické proměnné s nejvýznamnějším dopadem na včelstva (jejich kompletní výčet je uveden v podkapitole 4.1.3) a zároveň byla vybrána vhodná klimatická datová sada pro potřeby této práce. Pro stahování a úpravu dat v rámci celé práce byla vytvořena sada automatizačních skriptů v programovacím jazyce Python. Každý skript provedl na klimatických datech jednu nebo více operací. Získaná klimatická data byla pomocí interpolačních modelů převedena do spojitě prostorové informace v podobě rastrů klimatických proměnných. Vygenerované rastry byly následně použity pro tvorbu klimatických anomálií a bioklimatických charakteristik. V rámci práce byly zpracovány výsledky dotazníkového šetření asociace COLOSS, konkrétně data z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev v České republice.

Použité metody

V teoretické části této práce je popisován význam *A. mellifera* mezi opylovači rostlin a vliv klimatických či povětrnostních podmínek na její chování a fyziologii. Dále jsou popsány dopady patogenů, parazitů, invazních druhů a pesticidů na včelstva, včetně toho, jak mohou změny klimatu přispívat k jejich šíření a zvyšování jejich negativního dopadu na zdravotní stav kolonií. Součástí rešerše je i popis monitoringu úspěšnosti zimování včelstev, který provádí asociace COLOSS s cílem objasnit příčiny zvýšených úhynů kolonií zaznamenaných v posledních letech u nás i ve světě. Závěrečná část rešerše obsahuje přehled a charakteristiku vybraných klimatických datových sad s cílem identifikovat vhodnou datovou sadu pro potřeby této práce.

Na základě poznatků uvedených v rešeršní části (kapitola 2) byla v kapitole 4.1 vybrána vhodná klimatická datová sada – ta však obsahuje poměrně velké množství klimatických proměnných (celkem 26). Z tohoto důvodu byl proveden v podkapitole 4.1.3 primární výběr klimatických charakteristik a dále byly zkoumány pouze proměnné, které dle dostupných studií přímo ovlivňují fyziologické procesy a aktivitu včel. Ke stažení a úpravě dat bylo v rámci celé práce využito několika skriptů vytvořených v programovacím jazyce Python. Sestavené skripty byly vždy testovány na minimálním vzorku dat a jsou navrženy tak, aby dokázaly stahovat a upravovat data požadovaného formátu. Všechny skripty byly validovány a optimalizovány pomocí **ChatGPT-4o**. Získaná data mají bodový charakter a pomocí vytvořených interpolačních modelů v prostředí Model Builder byly převedeny do rastrů. **Interpolace** je prostorová metoda, která slouží k predikci hodnoty jevu v místě s neznámou hodnotou na základě známých hodnot v okolí (Burrough et al., 2015). Celé nastavení interpolačních modelů je podrobně popsáno v kapitole 4.2.

Pomocí **kontingenčních tabulek** byly zpracovány záznamy z dotazníkového šetření asociace COLOSS, zaměřené na počty zazimovaných a následně uhynulých včelstev (více k dotazníkovému šetření v kapitole 4.3). Kontingenční tabulky umožňují snadnou agregaci tabelárních dat na úroveň dostupných PSC v jednotlivých ročnících monitoringu.

Z rastrů klimatických proměnných byly vypočteny klimatické anomálie (viz kapitola 4.4) a bioklimatické charakteristiky (viz kapitola 4.5). Ty následně sloužily jako podklad pro statistické hodnocení jejich vlivu na úspěšnost zimování včelstev. U bioklimatických charakteristik bylo kvůli jejich vyššímu počtu (celkem 19) provedeno statistické

vyhodnocení metodou **PCA**, které vedlo k vybrání pouze nejvlivnějších proměnných. Pomocí **korelační matice** byla zároveň vyhodnocena míra korelace mezi těmito proměnnými, na jejímž základě došlo k odstranění redundantních dat. Statistický výběr bioklimatických charakteristik je detailně popsán v podkapitole 4.7.

Pro vyhodnocení významnosti klimatických odchylek a bioklimatických proměnných byl použit **Spearmanův korelační koeficient**. V rámci sledovaného období byla u klimatických anomálií provedena korelace samostatně pro jednotlivé měsíce. U bioklimatických proměnných byla korelace vypočítána zvlášť pro každou analyzovanou proměnnou. Statisticky významné anomálie byly testovány pomocí **Kruskal-Wallisova testu**. Tento test rozděluje analyzovaná PSČ do kvartilů podle hodnot anomálií a ověřuje, zda jsou rozdíly ve ztrátách včelstev mezi těmito kvartily statisticky významné. Dále byl proveden **Dunnův test**, který umožňuje identifikovat konkrétní dvojice kvartilů, mezi nimiž se statisticky významný rozdíl skutečně vyskytuje. Výsledky Dunnova testu byly upraveny **Bonferroniho korekcí**, která snižuje riziko falešně pozitivních výsledků při vícenásobném testování. U všech provedených testů byla statistická významnost posuzována na hladině významnosti $p < 0,05$. Statistické vyhodnocení proměnných je popsáno v kapitole 5.3 a 5.4.

Po dokončení teoretické i praktické části následovala finalizace bakalářské práce, která zahrnovala úpravy a dokončení textu, vytvoření webových stránek a zpracování posteru sloužícího k vizuálnímu představení stěžejních výsledků a výstupů celé práce.

Použitá data

Bakalářská práce byla realizována za využití volně dostupných i neveřejných zdrojů dat. Žádná použitá data nebyla vytvořena ručním měřením ani digitalizací.

Jako klimatická datová sada byla zvolena **Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ** ve formě denních záznamů. Jedná se o data ze sítě meteorologických stanic, která jsou součástí klimatologické databáze CLIDATA. Datová sada byla očištěna od chybných nebo neúplných hodnot a uložena v tabelární podobě. Poskytovatelem a vlastníkem klimatické datové sady je Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Záznamy jednotlivých meteorologických stanic jsou distribuovány zdarma.

Hlavním datovým zdrojem o stavu včelstev jsou **výsledky dotazníkového šetření asociace COLOSS**, konkrétně data z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev v České republice. Dotazníkové šetření je každoročně prováděno v jarních měsících a reflektuje zkoumané události za uplynulý rok (například ztráty včelstev za rok 2013 jsou zaznamenány v rámci dotazníku na jaře roku 2014). Výsledky dotazníkového šetření byly na vyžádání poskytnuty RNDr. Janem Brusem, Ph.D. a Mgr. Jiřím Danihlíkem, Ph.D. v tabelárním formátu. Veškeré záznamy obsažené v datové sadě byly před zpřístupněním anonymizovány a očištěny od hrubých či záměrně chybných údajů dr. Brusem.

Kvůli zachování vyšší úrovně lokalizační přesnosti dat z dotazníkového šetření asociace COLOSS byla v této práci použita **polygonová vrstva ZIP**. Tato vrstva je distribuována Českým statistickým úřadem (ČSÚ) a obsahuje jednotlivé územní obvody adresních pošt (PSČ) na území České republiky. Vrstva byla poskytnuta dr. Brusem.

Při tvorbě interpolačních modelů a přípravě podkladů pro vizualizaci mapových výstupů byla použita data z databáze **ArcČR 500 verze 3.3**. Jedná se o digitální geografickou databázi, která obsahuje informace o České republice v měřítku 1 : 500 000. Datová sada je poskytována bezplatně společností ARCDATA PRAHA, s.r.o., ve spolupráci se Zeměměřickým úřadem (ZÚ) a Českým statistickým úřadem (ČSÚ).

Použité programy

Veškeré skripty v programovacím jazyce **Python** verze 3.11.10 byly vyvíjeny v prostředí programu **PyScripter** ve verzi 5.2.1. **PyScripter** je specializované integrované vývojové prostředí (integrated development environment – IDE), umožňující využívat Python nainstalovaný spolu s geografickým informačním systémem (GIS) jako výchozí prostředí pro spuštění skriptů. Tímto způsobem lze snadno integrovat knihovnu ArcPy a využívat ve skriptech nástroje ze sekce geoprocessing, které jsou dostupné v prostředí **ArcGIS Pro** (Esri, 2024a).

Jako hlavní program pro práci s prostorovými daty byl zvolen **ArcGIS Pro** ve verzi 3.4.3 od americké společnosti Esri. V něm probíhala tvorba interpolačních modelů a práce s rastrovými i vektorovými daty. Byl použit jak na práci s analytickými nástroji, tak na vytváření datových náhledů a prohlížení dat. V prostředí **ArcGIS Pro** rovněž probíhala příprava podkladů pro vizualizace mapových výstupů.

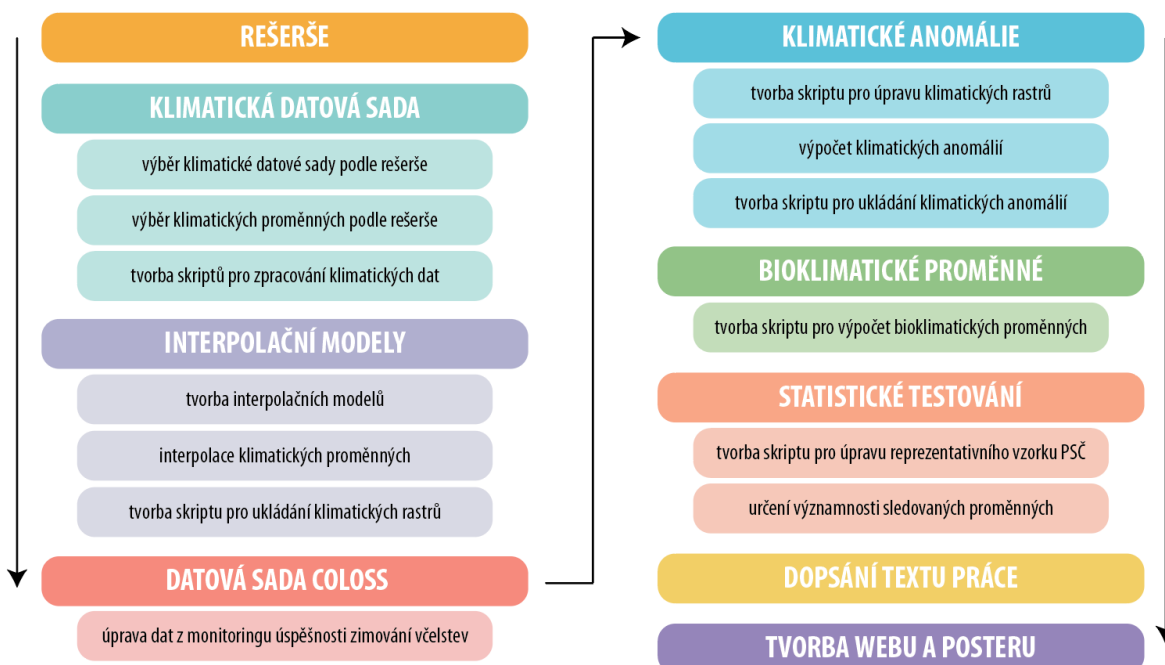
Nahlížení na tabelární data, úprava dat z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev a zpracování korelačních matic bioklimatických charakteristik probíhalo v programu **Microsoft Excel** z balíčku Microsoft Office 365.

Pro tvorbu statistických analýz byl použit program **RStudio** verze 2024.12.1 s jazykem **R** ve verzi 4.4.3.

Vzhledem k omezeným možnostem grafických úprav v prostředí **ArcGIS Pro** byl k finálnímu zpracování mapových výstupů využit program **Adobe Illustrator** z programové sady Adobe Creative Cloud.

Postup zpracování

Postup práce je patrný z grafického znázornění (Obr. 3).



Obr. 3 Postup zpracování dílčích kroků bakalářské práce.

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola detailně popisuje přípravu dat a jejich následné zpracování pro potřeby bakalářské práce. Na základě teoretických poznatků získaných v rešeršní části (kapitola 2) byla nejprve stažena a upravena meteorologická data, která byla pomocí interpolačních modelů převedena do rastrů. Z těchto vrstev byly následně odvozeny klimatické anomálie a bioklimatické charakteristiky. Dále byla zpracována data o úspěšnosti zimování včelstev v rámci dotazníkového šetření asociace COLOSS a provedena tvorba reprezentativního vzorku PSC pro následné statistické testování významnosti proměnných (viz kapitoly 5.3 a 5.4). Závěr této kapitoly je zaměřen na redukci počtu bioklimatických proměnných.

4.1 Stažení a úprava klimatických dat

Pro účely této práce bylo stěžejní zvolit vhodnou klimatickou datovou sadu, která poskytuje informace za jednotlivé měsíce a roky ve sledovaném období (2013–2023). Na základě poznatků uvedených v rešeršní části (kapitola 2) **byla vybrána datová sada Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ**. V době získávání dat byla datová sada dostupná pouze ve formě denních záznamů, které byly následně agregovány na měsíční a roční úroveň (tento postup je detailně popsán v podkapitole 4.1.3).

Ke stažení a úpravě dat do přijatelné podoby bylo využito několika prvních skriptů vytvořených v programovacím jazyce Python. V rámci úprav bylo zajištěno filtrování nepotřebných a neúplných záznamů, což bylo zásadní k zajištění kvality a použitelnosti získaných dat.

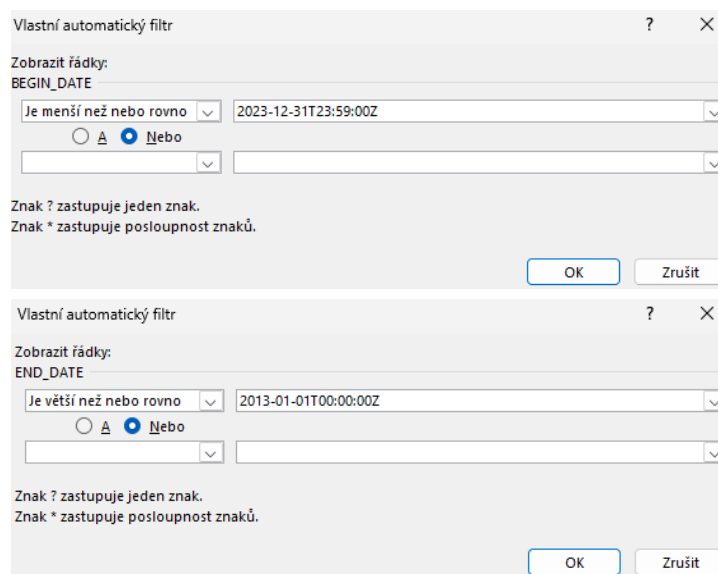
4.1.1 Stažení vybraných stanic

S využitím skriptu **00_stazeni_metadat.py** byly nejprve staženy všechny dostupné metadatové soubory, které poskytují relevantní informace o klimatické datové sadě ČHMÚ (skript rovněž převádí strukturu metadatových souborů z formátu JSON do formátu XLSX, který je vhodnější pro další uživatelské zpracování):

- **Meta_01.xlsx** (obsahuje názvy, datum zahájení a ukončení provozu, informace o poloze a kódové označení všech meteorologických stanic ČHMÚ)
- **Meta_02.xlsx** (zahrnuje seznam měřených klimatických proměnných a jejich měrné jednotky)
- **Meta_03.xlsx** (doplňující informace pro měřené klimatické proměnné)
- **Meta_04.xlsx** (obsahuje kódové označení a popis kvality denních záznamů měření klimatických proměnných)

Pro správné provedení a funkčnost dalších skriptů **byly klíčové soubory Meta_01.xlsx a Meta_04.xlsx**, které umožňují propojení důležitých informací se soubory měřících stanic a filtraci nevyhovujících záznamů měření.

Celkem datová sada obsahuje 1 560 souborů formátu JSON (každý soubor odpovídá jedné měřicí stanici). Aby se předešlo stahování nepotřebných stanic, které v průběhu sledovaného období neposkytují žádné denní záznamy měření klimatických proměnných, byly v metadatovém souboru **Meta_01.xlsx** nad sloupci BEGIN_DATE a END_DATE provedeny filtry (Obr. 4). Nastavení filtrů zajistí **výběr pouze meteorologických stanic, které měřily klimatické proměnné kdykoliv během let 2013–2023**.



Obr. 4 Nastavení filtrů pro sloupce BEGIN_DATE (nahore) a END_DATE (dole).

Všechny relevantní záznamy stanic byly přeneseny do nově vytvořeného listu metadatového souboru **Meta_01.xlsx**. Celkem bylo zkopírováno **1 141 záznamů**. Některé meteorologické stanice však opakovaně přerušily a obnovily měření – v metadatovém souboru se pro tyto stanice nachází více záznamů (např. stanice Abertamy, viz Obr. 5).

STATION	GH_ID	BEGIN_DATE	END_DATE	FULL_NAME	LONGITUDE	LATITUDE	ELEVATION
0-203-0-11302057001	L3ABER01	2015-06-02T11:30:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Abertamy	12,816447	50,367742	893
0-203-0-11302057001	L3ABER01	1989-01-01T00:00:00Z	2015-06-02T11:29:00Z	Abertamy	12,8164	50,3678	892
0-203-0-11401	L3AS0001	2012-03-15T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Aš	12,179572	50,220602	675
0-203-0-41502105102	B2BABI01	1997-01-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Babice nad Svitavou	16,6958	49,2889	470
0-203-0-10401028001	H3BAHN01	2002-10-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bahno	15,234033	49,866846	420
0-203-0-10502072001	P2BAKO01	1961-02-19T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bakov nad Jizerou	14,9391	50,4804	220
0-203-0-10504033001	P2BAST01	1942-01-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bašř, Bašřtek	14,4622	50,205	230
0-203-0-41601008001	B2BATE01	2012-04-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Batelov, Nová Ves	15,355278	49,278056	643
0-203-0-10803062001	C1BAVO01	2017-02-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bavorov	14,089722	49,123889	416
0-203-0-10803062001	C1BAVO01	1996-06-01T00:00:00Z	2016-10-31T23:59:00Z	Bavorov	14,0803	49,1228	442

Obr. 5 Ukázka tabulky vyhovujících meteorologických stanic. Hodnota 3999-12-31T23:59:00Z ve sloupci END_DATE značí, že stanice měří i v současnosti.

K vyhovujícím záznamům byl ručně přidán nový sloupec STATION_CODE (viz Obr. 6). Do tohoto sloupce byly vytvořeny nové hodnoty podle následujícího vzorce (parametr STATION odkazuje na hodnoty ve sloupci STATION, ve kterém se nachází kódové označení stanic):

$$="dly-" \& STATION \& ".json" \quad (1)$$

STATION	STATION_CODE	GH_ID	BEGIN_DATE	END_DATE	FULL_NAME	LONGITUDE	LATITUDE	ELEVATION
0-203-0-11302057001	dly-0-203-0-11302057001.json	L3ABER01	2015-06-02T11:30:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Abertamy	12,816447	50,367742	893
0-203-0-11302057001	dly-0-203-0-11302057001.json	L3ABER01	1989-01-01T00:00:00Z	2015-06-02T11:29:00Z	Abertamy	12,8164	50,3678	892
0-203-0-11401	dly-0-203-0-11401.json	L3AS0001	2012-03-15T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Aš	12,179572	50,220602	675
0-203-0-41502105102	dly-0-203-0-41502105102.json	B2BABI01	1997-01-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Babice nad Svitavou	16,6958	49,2889	470
0-203-0-10401028001	dly-0-203-0-10401028001.json	H3BAHN01	2002-10-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bahno	15,234033	49,866846	420
0-203-0-10502072001	dly-0-203-0-10502072001.json	P2BAKO01	1961-02-19T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bakov nad Jizerou	14,9391	50,4804	220
0-203-0-10504033001	dly-0-203-0-10504033001.json	P2BAST01	1942-01-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bašř, Bašřtek	14,4622	50,205	230
0-203-0-41601008001	dly-0-203-0-41601008001.json	B2BATE01	2012-04-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Batelov, Nová Ves	15,355278	49,278056	643
0-203-0-10803062001	dly-0-203-0-10803062001.json	C1BAVO01	2017-02-01T00:00:00Z	3999-12-31T23:59:00Z	Bavorov	14,089722	49,123889	416
0-203-0-10803062001	dly-0-203-0-10803062001.json	C1BAVO01	1996-06-01T00:00:00Z	2016-10-31T23:59:00Z	Bavorov	14,0803	49,1228	442

Obr. 6 Ukázka tabulky vyhovujících meteorologických stanic po vytvoření nových hodnot ve sloupci STATION_CODE.

Skript **01_stazeni_souboru_json.py** porovnává záznamy ve sloupci STATION_CODE s názvy dostupných souborů JSON, které obsahují denní záznamy měření klimatických proměnných, a v případě přesné shody soubory stáhne. Celkem bylo staženo **787 souborů formátu JSON**, kdy každý soubor odpovídá jedné meteorologické stanici.

4.1.2 Úprava stažených souborů

Některé stažené soubory obsahují kvůli aplikaci filtru v předchozím kroku i denní záznamy mimo sledované období. Skript **02_uprava_souboru_json.py** zajistí jejich odstranění. Výstupem skriptu jsou soubory formátu JSON obsahující záznamy pořízené pouze během sledovaném období. Pomocí skriptu **03_konverze_json_do_xlsx.py** byly tyto soubory převedeny do formátu XLSX – tento jednoduchý skript pouze převede strukturu všech upravených souborů do uživatelsky přívětivějšího formátu.

Denní záznamy ve stažených souborech obsahují druh měřené klimatické proměnné (sloupec ELEMENT), datum měření (DT), naměřenou hodnotu (VAL), kvalitu pořízených dat (QUALITY) a kódové označení stanice (STATION). Jednotlivým záznamům byly z metadatového souboru **Meta_01.xlsx** přiřazeny doplňující informace o poloze (zeměpisná šířka, zeměpisná délka a nadmořská výška) a název stanice (viz Obr. 7). K tomuto účelu slouží skript **04_geokodovani_stanic.py**. Tento krok bylo nutné provést kvůli následnému rozdělení souborů meteorologických stanic podle měřených klimatických proměnných (více v podkapitole 4.1.3).

STATION	ELEMENT	VTYPE	DT	VAL	FLAG	QUALITY
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-01T00:00:00Z	2		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-02T00:00:00Z	0,1		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-03T00:00:00Z	1,8		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-04T00:00:00Z	5,7		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-05T00:00:00Z	4,6		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-06T00:00:00Z	3,8		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-07T00:00:00Z	2,4		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-08T00:00:00Z	2,2		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-09T00:00:00Z	1,3		0
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-10T00:00:00Z	-0,4		0

STATION	ELEMENT	VTYPE	DT	VAL	FLAG	QUALITY	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVATION	FULL_NAME
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-01T00:00:00Z	2		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-02T00:00:00Z	0,1		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-03T00:00:00Z	1,8		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-04T00:00:00Z	5,7		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-05T00:00:00Z	4,6		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-06T00:00:00Z	3,8		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-07T00:00:00Z	2,4		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-08T00:00:00Z	2,2		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-09T00:00:00Z	1,3		0	50,220602	12,179572	675	Aš
0-203-0-11401	T	AVG	2013-01-10T00:00:00Z	-0,4		0	50,220602	12,179572	675	Aš

Obr. 7 Ukázka tabulky meteorologické stanice Aš před přidáním doplňujících informací (nahore) a po jejich přidání (dole). Informace o poloze jsou uvedeny ve sloupcích LATITUDE (zeměpisná šířka), LONGITUDE (zeměpisná délka) a ELEVATION (nadmořská výška).

Sloupec FULL_NAME obsahuje název stanice.

4.1.3 Primární výběr a agregace klimatických proměnných

Denní záznamy klimatických proměnných obsahují ve sloupci QUALITY vždy jednu z následujících hodnot kvality dat (jejich vysvětlující popis byl převzat z metadatového souboru **Meta_04.xlsx**):

- **0 (Kvalitní hodnota)**
- **1 (Podezřelá hodnota)**
- **2 (Podezřelá hodnota s nízkou kvalitou)**
- **3 (Odhadnutá hodnota)**
- **4 (Chybějící hodnota)**
- **5 (Kvalita neznámá)**

Po domluvě s vedoucím práce **byly ponechány pouze denní záznamy, jejichž kvalita dosahuje hodnot 0, 1 nebo 3**. Denní záznamy s kvalitou 2 a 5 byly vynechány kvůli vyloučení dat s nízkou nebo neznámou kvalitou. Záznamy s hodnotou kvality 4 byly vynechány, protože ponechání chybějících hodnot by následně vedlo ke špatně provedené interpolaci (více v kapitole 4.2).

Vzhledem k poměrně velkému množství potenciálně použitelných klimatických proměnných (celkem 26) obsažených v datové sadě ČHMÚ byla provedena jejich primární selekce. Ta vycházela z poznatků získaných v rámci rešerše (kapitola 2) a zahrnuje pouze klimatické proměnné, které podle dostupných studií přímo ovlivňují fyziologické procesy a aktivitu včelstev *A. mellifera*. **Byly vybrány následující proměnné** (uvedená zkratka je dále používána pro pojmenování souborů, geodatabází a výstupních rastrů):

- **Maximální teplota vzduchu (TMAX)**
- **Průměrná teplota vzduchu (TMEAN)**
- **Minimální teplota vzduchu (TMIN)**
- **Relativní vlhkost vzduchu (RHUM)**
- **Úhrn srážek (PREC)**
- **Doba trvání slunečního svitu (SOL)**
- **Průměrná rychlost větru (WS)**

Výběr validních záznamů měření a klimatických charakteristik byl implementován ve skriptu **05_vypocet_promennych.py**. Denní záznamy s nevyhovující kvalitou nebo s proměnnými mimo zvolený výběr nebudou do výpočtů skriptu vstupovat. Tento komplexní skript zpracovává data ze souborů meteorologických stanic a vytváří výstupní soubory, které jsou pojmenovány podle použitých klimatických proměnných. **Jednotlivé záznamy ve vytvořených souborech obsahují zprůměrované hodnoty meteorologických stanic** za měsíce nebo roky během sledovaného období (v závislosti na tom, zda se jedná o soubory s měsíčními nebo ročními průměry). **Pro úhrn srážek a dobu trvání slunečního svitu byly kromě průměrů vytvořeny také soubory označené příponou _TOTAL, které obsahují celkové sumy hodnot** za jednotlivé měsíce nebo roky. Celková suma úhrnu srážek byla použita i pro generování rastrů bioklimatických proměnných v podkapitole 4.5.1, které využívají právě kumulativní srážkové hodnoty.

Do tvorby průměrů a součtů za měsíční (resp. roční) období vstupovaly meteorologické stanice pouze tehdy, pokud stanice měřila klimatické proměnné během celého kalendářního měsíce a všechny záznamy měly během této doby validní hodnotu kvality. V případě ročních průměrů musely být validní hodnoty za všech 12 měsíců. Při nesplnění některé z těchto podmínek nebyly záznamy do výpočtů zahrnuty.

Posledním krokem úpravy dat bylo rozdělení stanic, podle jednotlivých měsíců a let. Skript **06_rozdeleni_promennych.py** nyní jednotlivé záznamy meteorologických stanic rozděluje kromě druhu klimatické proměnné i podle měsíčních nebo ročních údajů, v závislosti na typu souboru. Výstupem skriptu jsou soubory formátu CSV s výslednými hodnotami klimatických proměnných a informacemi o všech meteorologických stanicích (Obr. 8), které v daných měsících či letech prováděly měření výše uvedených klimatických proměnných.

	LONGITUDE	LATITUDE	ELEVATION	FULL_NAME	MONTH	VAL
1	12,391389	50,068333	483	Cheb	2013-01	0,36129
2	12,914167	50,201667	603	Karlovy Vary, Olšová Vr...	2013-01	-0,074194
3	12,678056	49,669444	742,76	Přimda	2013-01	-1,009677
4	13,62278	50,54417	240	Kopisty	2013-01	1,729032
5	13,32806	50,37667	321,71	Tušimice	2013-01	1,729032
6	13,378889	49,764722	359,8	Pižeň, Mikulka	2013-01	1,677419
7	13,615278	49,068333	1117,8	Churáňov	2013-01	-1,551613
8	13,93083	50,555	830,5	Milešovka	2013-01	-1,825806
9	13,838611	49,467222	519	Kocelovice	2013-01	0,283871
10	14,04111	50,68333	375,39	Ústí nad Labem, Kočkov	2013-01	0,16129

Obr. 8 Náhled na atributovou tabulku výstupního souboru CSV po nahrání do ArcGIS Pro (maximální teplota vzduchu agregovaná za leden v roce 2013), která obsahuje pouze důležité atributy pro další účely práce. Každý řádek odpovídá jedné měřicí stanici.

Na celkový počet stanic v souborech CSV má největší vliv právě měřená klimatická proměnná. Například mnohem více meteorologických stanic měří úhrn srážek než teplotu vzduchu, kdy jejich množství odpovídá velké proměnlivosti srážek napříč celým územím Česka (Možný et al., 2023). Počet stanic se ovšem u dané klimatické proměnné lehce liší i mezi jednotlivými měsíci a roky. Tato změna je ovlivněna nastavením filtrů v podkapitole 4.1.1, kdy byly za vyhovující označeny i stanice, které neprovádí měření po celé sledované období. Omezení na celé sledované období by výrazně snížilo množství použitelných stanic pro následnou interpolaci klimatických proměnných v podkapitolách 4.2.1 a 4.2.2, proto se autor této práce rozhodl u filtrů ponechat uvedené nastavení.

4.2 Interpolace klimatických proměnných

V následující kapitole je popsána tvorba a funkčnost interpolačních modelů pro klimatické proměnné ze získaných dat ve formátu CSV. Tyto modely byly sestaveny v prostředí Model Builder, který je součástí aplikace ArcGIS Pro.

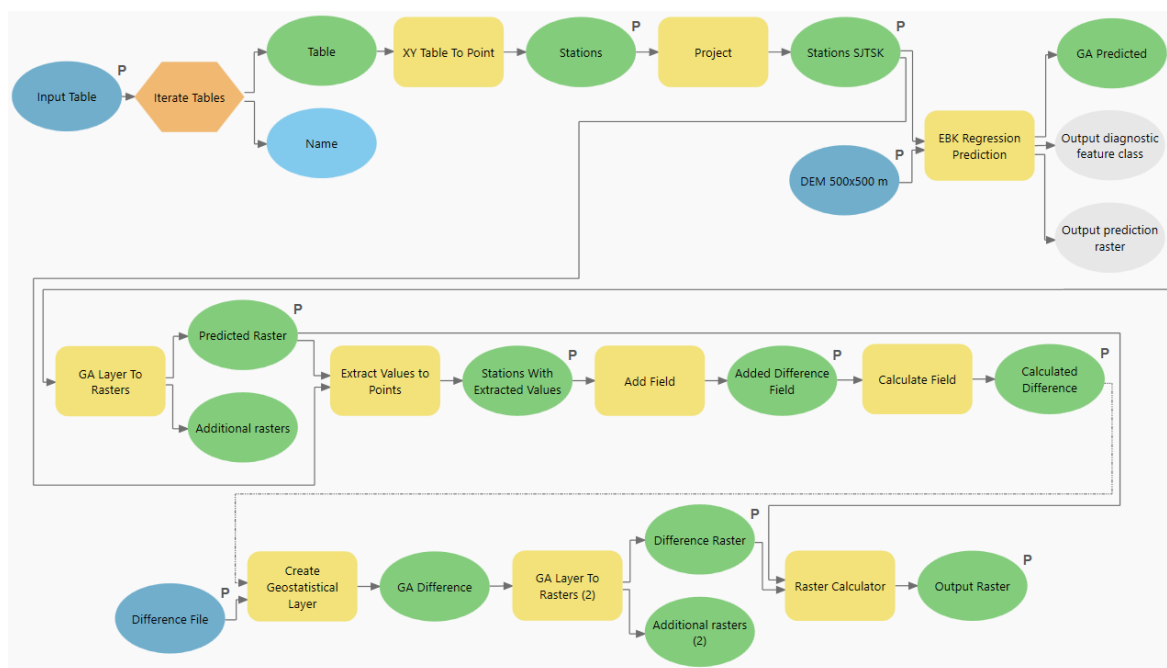
Jednotlivé záznamy meteorologických stanic v souborech CSV mají po převedení do prostředí ArcGIS Pro ryze bodový charakter a je nutné je převést do rastrů. Autor této práce při tvorbě interpolačních modelů vychází z certifikované metodiky vydávané **Českým hydrometeorologickým ústavem** s názvem **WEBOVÁ APLIKACE AGROPOČASÍ** (Možný et al., 2023). Tato metodika byla zvolena, protože využívá obdobná bodová data z měřicích stanic ČHMÚ a umožňuje interpolaci všech klimatických proměnných, které byly v podkapitole 4.1.3 vybrány. Metodický návrh tvorby modelů byl konzultován s dr. Brusem, s cílem zajistit správnost zpracování a kvalitu výsledných rastrů.

Autor práce upozorňuje, že specifické nastavení nástroje **Create Geostatistical Layer** (viz podkapitoly 4.2.1 a 4.2.2), který byl ve vytvořených modelech vícekrát použit, neumožňuje prvotní spuštění modelů pomocí okna Geoprocessing, ale vyžaduje použití editačního prostředí Model Builder. Bylo nutné nejprve správně nakonfigurovat všechny části modelu předcházející tomuto nástroji a model jednou spustit, následně nastavit zbývající části modelu (včetně uvedeného nástroje) a nakonec spustit kompletní model.

Před tvorbou interpolačních modelů byl do ArcGIS Pro nahrán (drag-and-drop metodou) digitální model reliéfu (DMR) z geografické databáze ArcČR 500 verze 3.3, ze kterého byl pomocí nástroje **Resample** vytvořen referenční rastr **snap_mask** s prostorovým rozlišením 500×500 metrů. Tento rastr slouží k zajištění vzájemného překryvu všech buněk a ořezání výstupních vrstev podle jeho rozsahu. **Referenční rastr byl nastaven jako parametr Snap Raster a Mask u všech nástrojů interpolačních modelů, jejichž výstupem je rastrový obraz.** Stejným způsobem byl vytvořen rastr **dmr500**, ze kterého byla nástrojem **Extract Values to Points** vygenerována bodová vrstva **DMR500_points** – do jednotlivých bodů byly z buněk rastru nahrány hodnoty nadmořské výšky. Tento rastr a bodová vrstva jsou použity k nastavení vybraných částí interpolačních modelů.

4.2.1 Interpolace teploty vzduchu

Pro interpolaci teplotních dat byl vytvořen model **Interpolační model teploty vzduchu**. Do interpolačního modelu vstupují proměnné **TMAX**, **TMEAN** a **TMIN** (viz podkapitola 4.1.3). Posloupnost modelu je z levého horního rohu (vstup modelu) do pravého dolního rohu (výstup modelu), a jednotlivé nástroje, které model obsahuje, jsou popsány ve stejném uspořádání. Přerušovaná čára v modelu označuje podmíněnou závislost (Precondition). Ta znamená, že určité procesy musí být splněny před spuštěním následující operace, aby byl interpolační model správně proveden. Pro správnou funkčnost modelu je nutné jeho parametry (označené písmenem P) definovat přímo uživatelem. Přesná struktura vytvořeného modelu je na Obr. 9).



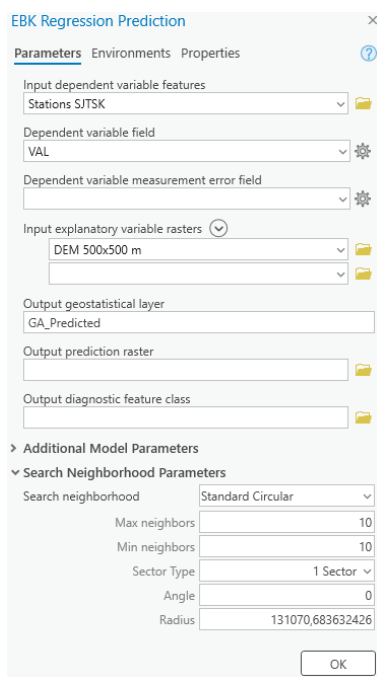
Obr. 9 Interpolační model teploty vzduchu.

Na vstupu modelu byl použit iterátor **Iterate Tables** a jeho parametr Wildcard byl nastaven na hodnotu *.csv – díky tomu iterátor pracuje pouze se soubory CSV. Iterátor zajišťuje, že celý proces interpolace bude proveden nad všemi soubory ve vstupní složce. Pomocí funkce **XY Table To Point** byly záznamy meteorologických stanic převedeny na bodovou vrstvu s názvem **Stations** (jednotným pojmenováním výstupu nástroje se zabrání vytváření unikátní dočasné vrstvy pro každý soubor a při opakovaném spuštění modelu se bude tato vrstva pouze přepisovat – tento princip pojmenování byl vyjma finálního výstupu modelu použit u všech jeho nástrojů). Nástroj **Project** převádí souřadnicový systém bodové vrstvy z *WGS 1984* (EPSG: 4326) na *S-JTSK/Krovak East North* (EPSG: 5514). Souřadnicový systém byl zvolen, protože odpovídá souřadnicovému systému referenčního rastru. Výstupem nástroje je vrstva **Stations_SJTSK**.

Pro výpočet výsledného rastru **byla provedena (1) interpolace naměřených hodnot stanic a (2) interpolace odchylek modelem predikovaných hodnot od naměřených hodnot**. Obě interpolace zohledňují i nadmořskou výšku.

U **(1) interpolace naměřených hodnot stanic** vstupuje vrstva **Stations_SJTSK** do nástroje **EBK Regression Prediction**, který využívá Empirical Bayesian Kriging (EBK) spolu s rastrem vysvětlující proměnné pro zvýšení přesnosti výsledné predikce závislé proměnné. Jako *Input explanatory variable raster* (tj. rastr vysvětlující proměnné, tedy takový, který přímo ovlivňuje hodnotu závislé proměnné (Esri, 2024b)) byl zvolen rastr **dmr500 (v modelu nazván DEM 500x500 m)**, který obsahuje informace o nadmořské výšce. Parametry *Max neighbors* a *Min neighbors* byly shodně nastaveny na hodnotu 10, protože interpolační model teploty vzduchu využívá při výpočtu hodnoty každého pixelu 10 nejbližších bodů (1 bod \approx 1 měřicí stanice) a jejich vztah k nadmořské výšce (Možný et al., 2023). *Sector Type* byl nastaven na *1 Sector*, čímž se zajistí použití právě 10 nejbližších bodů pro každý pixel. Nástroj tak používá data z měřicích stanic a nadmořské výšky z DMR k výpočtu hodnot mezi těmito body. Nastavení nástroje je na Obr. 10.

Výstupem nástroje **EBK Regression Prediction** je pouze dočasná vrstva geostatistické analýzy (*GA Layer*), která byla převedena na rastrový obraz pomocí nástroje **GA Layer To Rasters**. Výstupní rastr byl pojmenován **Predicted_Raster**.



Obr. 10 Nastavení nástroje EBK Regression Prediction.

Nástrojem **Extract Values to Points** byly do bodové vrstvy **Stations_SJTSK** přidány hodnoty z buněk rastru **Predicted_Raster** do nového sloupce RASTERVALU (sloupec je automaticky vytvořen po spuštění nástroje). Výstupní vrstva byla pojmenována **Extracted_Stations**. Všechny stanice v této bodové vrstvě kromě naměřených hodnot klimatické proměnné obsahují i predikované hodnoty z buněk rastru **Predicted_Raster** v místech stanic. Do bodové třídy prvků byl pomocí nástroje **Add Field** přidán nový sloupec **Difference** (*Field Type* nastaven na *Float 32-bit floating point*). Hodnota odchylky **Difference** je vypočtena pomocí nástroje **Calculate Field** s využitím následujícího vzorce, který byl vložen do pole Expression:

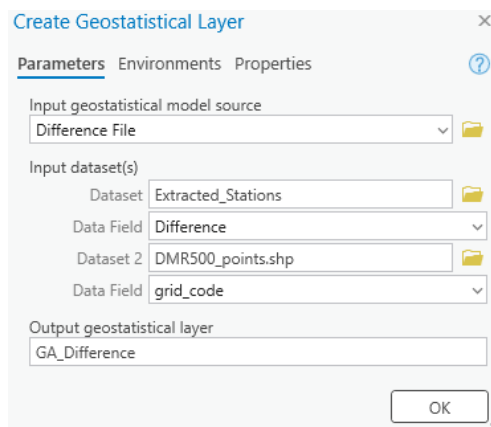
$$!VAL! - !RASTERVALU! \quad (2),$$

kde hodnota *VAL* odpovídá skutečně naměřené hodnotě proměnné a *RASTERVALU* odpovídá predikované hodnotě z **Predicted_Raster**. Tato odchylka bude využita k optimalizaci výsledné interpolace teplotního modelu.

Pro **(2) interpolaci odchylek modelem predikovaných hodnot od naměřených hodnot** slouží vrstvy **Extracted_Stations** a **DMR500_points**, u nichž byla provedena interpolace metodou *CoKriging* (tato metoda, vycházející z interpolační metody *Kriging*, využívá pro zlepšení tvorby spojitého povrchu primární vrstvy další bodovou vrstvou). Prostředí Model Builder však neumožňuje přímé využití Geostatistical Wizard, ve kterém se metoda nachází, a *CoKriging* není dostupný ani jako samostatný nástroj v sekci Geoprocessing. **Níže je popsán alternativní postup podle Dilts (2011), který tento problém řeší:**

Obě bodové vrstvy byly vloženy do prostředí Geostatistical Wizard. *Geostatistic Layer* byla nastavena na *Kriging/CoKriging*, přičemž pro *Input Dataset 1* byla použita vrstva **Extracted_Stations** a jako *Data Field* byla zvolena hodnota **Difference** (odchylky rastru **Predicted_Raster** od naměřených hodnot stanic). Pro *Input Dataset 2* byla nastavena vrstva **DMR500_points** s atributem nadmořské výšky. Jako druh interpolační metody byl zvolen *Universal Kriging*, jenž kromě prostorové závislosti zahrnuje pro výpočet krigingových vah (tj. hodnot určujících, jak moc se daný bod podílí na určení hodnoty v jiném bodě) také pomocné prediktory, které mohou predikci ovlivnit (Možný et al., 2023)). V sekci *Trend* a *Semivariogram/Covariance Modeling* byl model bez dalších změn optimalizován za účelem minimalizace střední kvadratické chyby (Esri, 2024c). Sekce *Searching Neighborhood* obsahuje parametry *Max neighbors* a *Min neighbors*, které byly nastaveny na hodnotu 10. *Sector Type* byl nastaven na *1 Sector*, čímž se zajistí použití právě 10 okolních bodů při výpočtu hodnoty každého pixelu.

Výstupní vrstva interpolace v prostředí Geostatistical Wizard byla pomocí **Save As Layer File** uložena ve formátu LYRX a pojmenována **Difference.lyrx (v modelu nazvána Difference File)**. Soubor **Difference.lyrx** byl nahrán jako *Input geostatistical model source* do nástroje **Create Geostatistical Layer**. Vrstva **Difference** uchovává kompletní nastavení interpolace a automaticky doplní všechny potřebné parametry do nástroje (Obr. 11). Uvedeným postupem lze provést interpolaci metodou *CoKriging* i v prostředí Model Builder.



Obr. 11 Nastavení nástroje *Create Geostatistical Layer* pro interpolaci odchylek modelem predikovaných hodnot od naměřených hodnot.

Výstupem nástroje **Create Geostatistical Layer** je dočasná vrstva geostatistické analýzy (*GA Layer*), která byla nástrojem **GA Layer To Rasters** převedena na rastrový obraz. Výstupní rastr byl pojmenován **Difference_Raster** a obsahuje interpolované odchylky modelem predikovaných hodnot od naměřených hodnot.

Pro rekapitulaci jsou zde uvedeny rastrové vrstvy nezbytné k výpočtu výsledného rastru interpolačního modelu teplot:

- **Predicted_Raster** (výstup z *EBK Regression Prediction*)
- **Difference_Raster** (interpolované odchylky modelem predikovaných hodnot od naměřených hodnot, tj. rozdíl mezi hodnotami z *Predicted_Raster* a naměřených hodnot stanicemi)

Nástroj **Raster Calculator** slouží k výpočtu výsledného rastru teplotních dat. **Tento rastr byl vypočten jako suma Predicted_Raster a Difference Raster**, tj.:

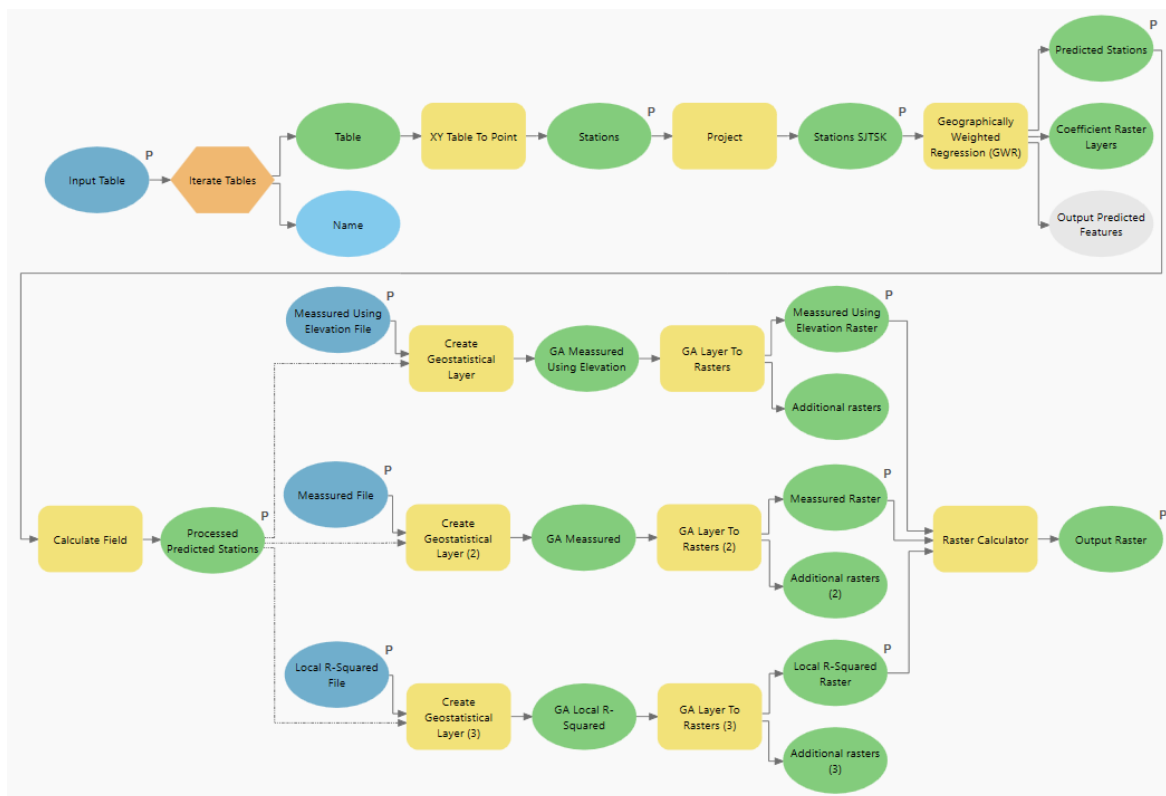
$$"%Predicted Raster%" + "%Difference Raster%" \quad (3)$$



Obr. 12 Výsledný rastr z interpolačního modelu teploty vzduchu (průměrná maximální teplota vzduchu agregovaná za rok 2013).

4.2.2 Interpolace úhrnu srážek

Pro interpolaci srážkových dat (**PREC**; **PREC_TOTAL**) byl vytvořen **Interpolační model úhrnu srážek**. Model umožňuje interpolaci i rychlosti větru (**WS**), slunečního svitu (**SOL**; **SOL_TOTAL**) a relativní vlhkosti vzduchu (**RHUM**), neboť použitá metodika od Možný et al. (2023) tento postup umožňuje. Přesná struktura vytvořeného modelu je na Obr. 13.



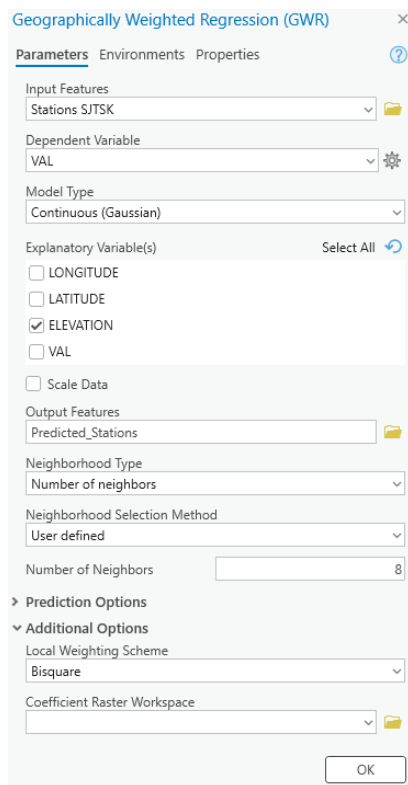
Obr. 13 Interpolační model úhrnu srážek.

Pro interpolační model srážek byly veškeré parametry vstupního iterátoru **Iterate Tables** a nástrojů **XY Table To Point** a **Project** nastaveny stejně jako v interpolačním modelu teplotních dat vzduchu (viz podkapitola 4.2.1).

Převedená bodová vrstva **Stations_SJTSK** v tomto modelu vstupuje do nástroje **Geographically Weighted Regression (GWR)**. Nástroj provádí geograficky váženou regresi, což je lokální forma lineární regrese používaná k modelování prostorově variabilních vztahů proměnných (Esri, 2024d). Geograficky vážená regrese zjišťuje, jak se vztah mezi závislou a vysvětlující proměnnou mění v různých místech území tím, že pro každý bod vypočítává specifickou regresní rovnici na základě dat z jeho okolí. V tomto případě je závislá proměnná úhrn srážek (resp. další klimatické proměnné vypsané výše). Protože má závislá proměnná spojitý charakter, byl **Model Type** nastaven na **Continuous (Gaussian)**. Model srážkových dat využívá podobně jako teplotní model závislosti na nadmořské výšce, proto byl parametr **Explanatory Variable** (vysvětlující proměnná) nastaven na atribut **ELEVATION**, který obsahuje údaje o nadmořské výšce stanic.

Možný et al. (2023) uvádějí, že pro výpočet lineární regrese každého bodu (1 bod \approx 1 měřicí stanice) bylo použito 8 nejblíže bodů v okruhu 15 km. Tento přístup však neumožňoval výpočet lineární regrese pro všechny stanice, protože ve většině případů se v daném okruhu nenacházelo dostatečné množství dalších stanic (autor této práce

přítom pracuje s větším počtem stanic, než kolik bylo použito ve zmíněné metodice). Z tohoto důvodu byla po domluvě s vedoucím práce podmínka 15 km vynechána a lineární regrese byla pro každý bod vypočtena z 8 nejbližších bodů bez ohledu na jejich vzdálenost. Pro parametr *Number of Neighbors* byl nastaven stejný počet sousedních stanic. Parametr *Local Weighting Scheme* byl nastaven na *Bisquare*, který zajistí, že stanice mimo zvolený počet nejbližších stanic nebudou ovlivňovat výpočet lineární regrese (Esri, 2024d). Přesné nastavení nástroje je na Obr. 14.



Obr. 14 Nastavení nástroje *Geographically Weighted Regression (GWR)*.

Výstupem nástroje je bodová vrstva **Predicted_Stations**. Stěžejním vypočítaným atributem je **Local R-Squared** (dále R^2), který určuje, jak dobře regresní model vysvětluje variabilitu závislé proměnné v daném místě. Hodnota R^2 se ve sloupci LOCALR2 pohybuje v rozmezí od 0 do 1, přičemž vyšší hodnota značí přesnější model (Esri, 2024d).

Hodnota R^2 byla u několika jednotek stanic negativní, což naznačuje, že model v těchto místech vysvětluje variabilitu velmi špatně, ovšem nelze s jistotou určit, jak moc špatně (Chicco et al., 2021). Místo negativních hodnot se obecně doporučuje použít hodnotu 0, protože negativní hodnota R^2 není v praxi interpretovatelná (Mittlböck, 2002). V nástroji **Calculate Field** byly negativní hodnoty převedeny na nulu pomocí následujícího vzorce vloženého do pole *Expression*, zatímco kladné hodnoty zůstaly beze změny:

$$0 \text{ if } !LOCALR2! < 0 \text{ else } !LOCALR2! \quad (4),$$

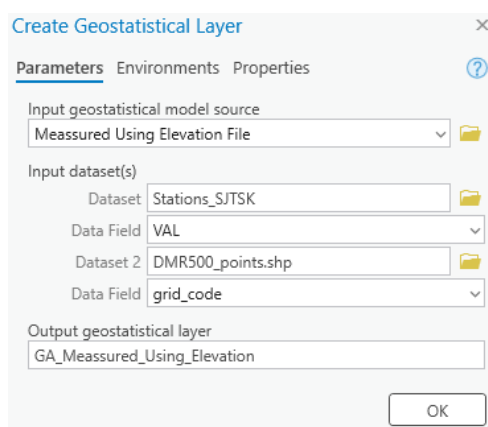
kde hodnota LOCALR2 odpovídá vypočtené hodnotě R^2 z vrstvy **Predicted_Stations**.

Výpočet výsledného rastru opět vychází z metodiky Možný et al. (2023) a sestává z (1) **interpolace naměřených hodnot zpřesněných metodou CoKriging pomocí dat nadmořské výšky**, (2) **interpolace naměřených hodnot stanic** a (3) **interpolace hodnot lineární regrese R^2** . Podrobný popis nastavení interpolace v prostředí Geostatistical

Wizard je popsán v podkapitole 4.2.1, níže jsou uvedeny pouze odlišnosti jednotlivých interpolací oproti zmíněnému nastavení, ostatní parametry byly ponechány beze změny.

Při **(1) interpolaci naměřených hodnot zpřesněných pomocí dat nadmořské výšky** byla pro Input Dataset 1 použita vrstva **Stations_SJTSK** a jako *Data Field* byla nastavena hodnota VAL (naměřená hodnota klimatické proměnné). Pro *Input Dataset 2* byla použita vrstva **DMR500_points**, kde byl jako *Data Field* zvolen atribut nadmořské výšky v daném místě (*grid_code*). V sekci *Searching Neighborhood* byly parametry *Max neighbors* a *Min neighbors* shodně nastaveny na hodnotu 8, protože srážkový model pro výpočet lineární regrese využívá 8 nejbližších bodů. *Sector Type* byl zvolen jako *1 Sector*.

Výstupní vrstva interpolace byla pomocí **Save As Layer File** uložena ve formátu LYRX, pojmenována **Measured_Elevation.lyrx (v modelu nazvána Measured Using Elevation File)** a nahrána jako *Input geostatistical model source* do nástroje **Create Geostatistical Layer**. Vytvořená vrstva v sobě uchovává kompletní nastavení interpolace a automaticky doplní všechny potřebné parametry do nástroje (Obr. 15).

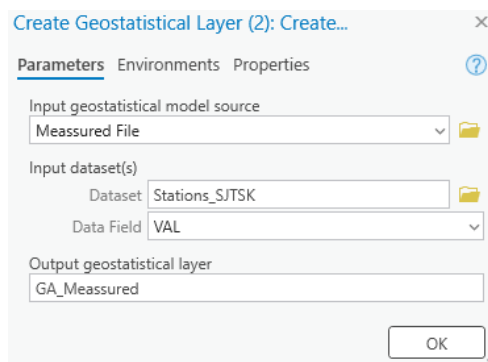


Obr. 15 Nastavení nástroje *Create Geostatistical Layer* pro interpolaci naměřených hodnot zpřesněných pomocí dat nadmořské výšky.

Na výstupu nástroje je pouze dočasná vrstva geostatistické analýzy, která byla nástrojem **GA Layer To Rasters** převedena na rastrovou vrstvu. Výstupní rastr s hodnotami proměnné byl pojmenován **Measured_Using_Elevation_Raster**.

(2) Interpolace naměřených hodnot využívá místo metody **CoKriging** metodu **Kriging** (ta využívá pouze jednu bodovou vrstvu bez vysvětlující proměnné). Pro zachování jednotnosti celého modelu byla tato metoda rovněž provedena v prostředí Geostatistical Wizard. Parametr *Input Dataset 1* využívá vrstvu **Stations_SJTSK**, přičemž jako *Data Field* byla nastavena hodnota **VAL** (naměřená hodnota klimatické proměnné). V sekci *Searching Neighborhood* byly parametry *Max neighbors* a *Min neighbors* nastaveny na hodnotu 8 a pro *Sector Type* byla vybrána varianta *1 Sector*.

Pomocí **Save As Layer File** byla výstupní vrstva uložena ve formátu LYRX pod názvem **Measured.lyrx (v modelu nazvána Measured File)** a následně nahrána do nástroje **Create Geostatistical Layer** jako *Input geostatistical model source*. Vrstva opět uchovává kompletní nastavení interpolace a v nástroji doplní všechny potřebné parametry (Obr. 16).

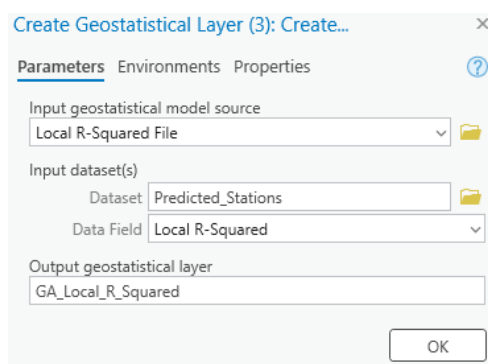


Obr. 16 Nastavení nástroje *Create Geostatistical Layer* pro interpolaci naměřených hodnot.

Vzniklá geostatistická vrstva z nástroje **Create Geostatistical Layer** byla převedena na rastr nástrojem **GA Layer To Rasters** a pojmenována **Measured_Raster**.

(3) Interpolace hodnot lineární regrese (R^2) také využívá metodu **Kriging** v prostředí Geostatistical Wizard. Do *Input Dataset 1* vstupuje bodová vrstva **Predicted_Stations** a parametr *Data Field* byl nastaven na atribut **Local R-Squared** (viz výše). V sekci *Searching Neighborhood* byly parametry *Max neighbors* a *Min neighbors* nastaveny na hodnotu 8, pro *Sector Type* byla vybrána varianta *1 Sector*.

Pomocí **Save As Layer File** byla výstupní vrstva uložena ve formátu LYRX pod názvem **Local_R_Squared.lyrx** (v modelu nazvána **Local R-Squared File**). Následně byla vrstva načtena do nástroje **Create Geostatistical Layer** jako Input geostatistical model source, která stejně jako předchozí vrstvy uchovává veškerá nastavení interpolace a automaticky vyplňuje všechny parametry nástroje (Obr. 17).



Obr. 17 Nastavení nástroje *Create Geostatistical Layer* pro interpolaci hodnot lineární regrese.

Vzniklá geostatistická vrstva byla opět převedena na rastrový obraz a pojmenována **Local_R_Squared_Raster**.

Pro rekapitulaci jsou zde uvedeny vzniklé interpolované rastrové vrstvy, které jsou podkladem pro výpočet výsledného rastru úhrnu srážek:

- **Measured_Using_Elevation_Raster** (naměřené hodnoty zpřesněné metodou *CoKriging* pomocí dat nadmořské výšky)
- **Measured_Raster** (naměřené hodnoty stanic)
- **Local_R_Squared_Raster** (hodnoty lineární regrese R^2)

Nástroj **Raster Calculator** slouží k výpočtu výsledného rastru úhrnu srážek. **Tento rastr byl vypočten z výše zmíněných rastrových vrstev** podle vzorce:

$$("%Meassured Raster%" * (1 - "%Local R-Squared Raster%")) + ("%Meassured Using Elevation Raster%" * "%Local R-Squared Raster%") \quad (5)$$



Obr. 18 Výsledný rastr z interpolačního modelu srážek (celková suma úhrnu srážek v roce 2013).

4.2.3 Ukládání rastrových dat

Výsledné rastry interpolačních modelů (Obr. 12; Obr. 18) byly pojmenovány *%Name%*, takže jejich název odpovídá názvu příslušného vstupního souboru CSV. Na výstupu interpolačních modelů bylo vytvořeno celkem **1 287 rastrů klimatických proměnných**.

Tyto rastry byly uloženy do příslušných geodatabází, které byly ručně vytvořeny a pojmenovány podle zkratk proměnných uvedených v podkapitole 4.1.3. Po dokončení interpolací byly všechny rastry pomocí skriptu **07_konverze_rastru_do_netcdf_a_tiff.py** převedeny do formátů NetCDF (více viz podkapitola 4.4.1) a TIFF. Skript zpracovává pouze geodatabáze s koncovou příponou *_M* (tedy rastry agregované po měsících), nebo *_Y* (rastry agregované po letech), přičemž pro správnou funkčnost vyžaduje, aby názvy geodatabází obsahovaly jednu z uvedených přípon. Ostatní geodatabáze jsou v kořenovém adresáři ignorovány, aby se předešlo převodu nežádoucích rastrů. Výstupem tohoto skriptu jsou adresáře obsahující rastry klimatických proměnných ve formátu NetCDF a TIFF, které nesou názvy vstupních geodatabází. Tyto rastry budou následně použity pro tvorbu anomálií (kapitola 4.4) a bioklimatických proměnných (kapitola 4.5).

4.3 Dotazníkové šetření asociace COLOSS

V rámci této kapitoly je podrobně popsána úprava dat ze studie monitoringu úspěšnosti zimování včelstev na území Česka do požadované podoby. Hlavním datovým zdrojem o stavu včelstev jsou výsledky dotazníkového šetření prováděného asociací COLOSS napříč sledovaným obdobím (2013–2023). **Monitoring je vždy prováděn v jarních měsících a reflektuje události za uplynulý rok** – například ztráty včelstev za rok 2013 jsou zaznamenány v rámci dotazníku na jaře roku 2014 (tedy v dotazníkovém šetření 2013/14). Pro účely práce **byl zásadní rok, kdy ke ztrátám došlo, nikoliv rok jejich následného zaznamenání**. Další informace o dotazníkovém šetření jsou uvedeny v kapitole 2.3.

Výsledky dotazníkového šetření (Obr. 19) byly na vyžádání poskytnuty RNDr. Janem Brussem, Ph.D. a Mgr. Jiřím Danihlikem, Ph.D. ve formátu XLSX. Datová sada obsahuje celkem **15 272 záznamů**, roční počty se liší na základě množství respondentů.

Survey	Year	ID survey	Langit	Longitude	Region	District	City	ZIP	Zazimováno	Queen Probi	Natural hazard	Lost	Ztraceno	Repka	lipa	
					Kraj	Okres	Obec	PSC	Wintered	Kolik produk	Kolik produ	Kolik prod	Lost total	Mélo vě	mNežst	Mélo vě
2023/24	2024	20243893	49.596	15.9016911	Vysočina	Zďár nad Sázavou	Hanný nad Sázavou	59101	18	0	0	0	0	0	Ano	
2023/24	2024	20243894	50.0577	15.4870917	Pardubický kraj	Pardubice	Kladrův nV.	53316	28	0	0	3	3	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243895	49.6072	16.9508307	Olomoucký kraj	Prostějov	Raková u Konice	79057	9	0	0	1	1	Ano		
2023/24	2024	20243896	48.8295	14.4625145	Jihočeský kraj	Český Krumlov	Velešín	38232	20	0	0	1	1	Ano		
2023/24	2024	20243897	49.3299	16.2381712	Vysočina	Zďár nad Sázavou	Břežské	59453	7	1	0	1	2	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243898	48.9223	13.7932697	Jihočeský kraj	Prachatice	Lenora	38451	4	0	0	0	0	Ne	Ano	
2023/24	2024	20243902	49.1617	15.8465926	Vysočina	Třebíč	Mikulovice	67522	12	0	0	0	0			
2023/24	2024	20243904	49.5267	17.5866432	Olomoucký kraj	Pterov	Lipník nad Bečvou	75131	14	0	0	0	0	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243905	49.6075	15.9163389	Vysočina	Zďár nad Sázavou	polníčka	59102	19	0	0	1	1			
2023/24	2024	20243909	49.0464	14.0733677	Jihočeský kraj	Prachatice	Vítejovice	38427	8	1	0	0	1	Ne	Ne	
2023/24	2024	20243911	49.3433	16.6598881	Jihomoravský kraj	Blansko	Blansko - Klepačov	67801	15	0	0	3	3	Ano		
2023/24	2024	20243913	49.5274	18.7541814	Moravskoslezský kraj	Frydek-Místek	Mosty u Jablunkova	73998	6	0	0	0	0	Ne	Ano	
2023/24	2024	20243914	49.6817	13.9801565	Saúdčeský kraj	Příbram	Bítezová Hory	26102	4	0	0	0	0	Ano		
2023/24	2024	20243917	49.1001	14.5721977	Jihočeský kraj	České Budějovice	Ševětín	37363	9	1	0	0	1	Ano	Ne	
2023/24	2024	20243918	49.5769	17.9617008	Moravskoslezský kraj	Nový Jičín	Starý Jičín	74101	11	2	0	0	2			
2023/24	2024	20243920	50.0732	17.3060529	Moravskoslezský kraj	Brunštal	Ludvíkov	79324	28	0	0	0	0			
2023/24	2024	20243923	49.772	18.4323316	Moravskoslezský kraj	Karviná	Havířov	73801	4	0	0	0	0	Nevím	Ano	
2023/24	2024	20243927	49.8455	18.1272379	Moravskoslezský kraj	Ostrava-město	Krásné Pole	72526	18	0	0	0	9	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243928	50.2412	16.1658475	Královéhradecký kraj	Rychnov nad Kněžnou	Trnov	51733	9	0	0	0	0	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243931	50.5509	15.5404818	Liberecký kraj	Semily	Studence u Horek	51233	4	0	0	1	1	Ano		
2023/24	2024	20243932	49.5351	18.3916509	Moravskoslezský kraj	Frydek-Místek	Ostravice	73914	6	0	0	6	6	Ne	Ne	
2023/24	2024	20243933	50.1291	16.1812873	Královéhradecký kraj	Rychnov nad Kněžnou	Častolovice	51750	2	0	0	0	0	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243934	49.5919	18.1912173	Moravskoslezský kraj	Nový Jičín	Vitčovice	74221	5	1	0	2	3	Ano	Ne	
2023/24	2024	20243936	49.9424	13.5145826	Píseňský kraj	Píseň-sever	Lednice	33141	81	0	0	0	0	Ano	Ne	
2023/24	2024	20243937	49.4397	12.9311435	Píseňský kraj	Domažlice	Ostrov	24525	40	2	0	0	2	Ano	Nevím	
2023/24	2024	20243938	49.947	18.1870189	Moravskoslezský kraj	Opava	Vřesina	74720	15	0	0	0	0	Ano		
2023/24	2024	20243940	50.0914	14.3767908	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	Střešovice	16200	9	0	0	4	4	Ne	Ano	
2023/24	2024	20243941	49.4361	16.3092615	Vysočina	Zďár nad Sázavou	Sejpek	59262	5	2	0	2	4	Ano	Ano	
2023/24	2024	20243943	49.9722	16.3996617	Pardubický kraj	Ústí nad Orlicí	Ústí nad Orlicí	56201	25	2	0	0	2	Ne	Ano	
2023/24	2024	20243947	49.4746	13.9365614	Jihočeský kraj	Strakonice	Uzenický, Černivsko	38801	12	4	0	4	8	Ano		
2023/24	2024	20243948	49.2479	16.5811134	Jihomoravský kraj	Brno-město	Brno	62100	5	0	0	0	0			
2023/24	2024	20243949	49.5918	18.1174211	Moravskoslezský kraj	Nový Jičín	Stramberk	74266	17	0	0	8	8	Ne	Ano	
2023/24	2024	20243950	49.4249	13.8817644	Jihočeský kraj	Strakonice	Blatná	38801	20	0	0	4	4	Ano		

Obr. 19 Náhled na poskytnutá data ze studie monitoringu úspěšnosti zimování včelstev.

4.3.1 Úprava dat z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev

Zadání bakalářské práce se zaměřuje na zjištění vlivu klimatických a bioklimatických proměnných na ztráty včelstev, výskyt nemocí, intenzitu snůšky, medný výnos a případné další ukazatele poskytované v rámci dotazníkového šetření asociace COLOSS. Za celé sledované období však datová sada obsahuje pouze záznamy o počtu zazimovaných (za zazimované včelstvo se v rámci dotazníku považuje pouze včelstvo, od něhož včelař během uplynulé sezóny očekával medný výnos, nikoliv vytvořený oddělek, smetenec nebo odchycený roj) a následně uhynulých včelstev. Ostatní sledované ukazatele byly evidovány pouze v některých letech. S ohledem na dostupnost dat byl po konzultaci s vedoucím práce dále zkoumán pouze **dopad vývoje klimatu na úspěšnost zimování včelstev, tedy na jejich zimní ztráty**.

K počítání ztrát lze přistupovat dvěma způsoby – počítání **(1) ztráty včelstev** a **(2) ztráty včelaře**. **Ztráty včelstev** se počítají jako podíl všech uhynulých včelstev v PSC a všech zazimovaných včelstev v PSC (např. v PSC bylo zazimováno celkem 100 včelstev, 20 uhynulo, tj. ztráty jsou 20 %). **Ztráty včelaře** se počítají jako průměrné procentuální ztráty včelstev všech včelařů v PSC (pokud jsou v PSC dva včelaři a jeden má ztráty 10 % a druhý 50 %, průměrná ztráta včelaře činí 30 %). Tyto dva přístupy mohou vyústit ve velmi

odlišné výsledky, obzvláště pokud se výrazně liší počet včelstev mezi jednotlivými včelaři (např. včelař A ztratil 1 včelstvo z 10 (tj. 10 %), včelař B ztratil 50 včelstev ze 100 (tj. 50 %); průměrná ztráta včeláře činí 30 %, ztráta včelstev však dosahuje 51 ze 110 včelstev, tj. 46,4 %). **Veškeré postupy v této práci počítají s variantou (1) ztráty včelstev.**

Záznamy z dotazníkového šetření jsou dostupné s podrobností na kraje, okresy, obce a územní obvody adresních pošt (PSC). Kvůli zachování co nejvyšší úrovně lokalizační přesnosti ve větších městech bylo zvoleno územní členění podle jednotlivých PSC.

Na základě výše uvedených skutečností jsou důležité **sloupce Survey (ročník prováděného průzkumu), PSC (jednoznačný číselný identifikátor), Wintered (zazimovaná včelstva) a Lost total (uhynulá včelstva)** (Obr. 19). Potřebné údaje byly očištěny od chyb (např. doplnění chybějících PSC (Česká pošta, 2025)) a zpracovány v aplikaci Microsoft Excel pomocí kontingenčních tabulek.

Pro každé PSC byla následně v rámci jednotlivých ročníků monitoringu stanovena hodnota ztrát včelstev. Upravená tabulka (Obr. 20) byla uložena ve formátu CSV a nahrána do prostředí ArcGIS Pro, kde byla pomocí **Add Join** spojena s polygonovou vrstvou ZIP.

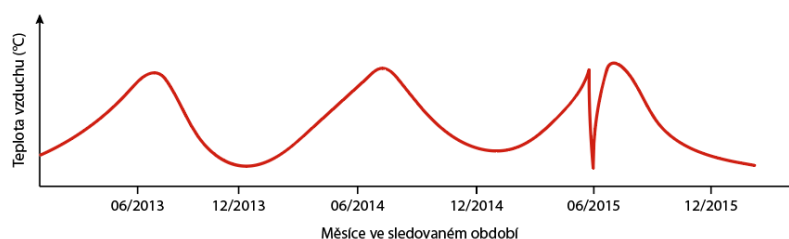
Takto upravené záznamy ztrát včelstev slouží jako podklad pro výběr reprezentativního vzorku PSC a následné určení proměnných, které nejvíce ovlivňují jejich výši (více ke statistickému testování v kapitole 5.3 a 5.4).

ZIP	NAZ_POSTA	L_13_p	L_14_p	L_15_p	L_16_p	L_17_p	L_18_p	L_19_p	L_20_p	L_21_p	L_22_p	L_23_p
1	76861 Bystřice pod Hostýnem 1	<Null>	13,793103	7,894737	7,142857	0	0	27,272727	0	6,097561	7,692308	3,389831
2	39901 Milevsko 1	0	11,22449	0	8,888889	6,818182	1,754386	12,5	14,893617	5,479452	33,333333	0
3	35801 Kraslice	0	6,666667	7,142857	11,111111	<Null>	81,818182	<Null>	0	<Null>	<Null>	0
4	76843 Kostelec u Holešova	<Null>	15	0	4	0	10	35,384615	12,5	0	0	<Null>
5	76842 Prusinovice	<Null>	<Null>	33,333333	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	100
6	76841 Bystřice pod Hostýnem 7	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	11,111111	<Null>	<Null>	0	100	0
7	44001 Louny 1	37,5	34,444444	0	7,017544	18	17,54386	10	74	6,666667	<Null>	25,641026
8	43982 Vroutek	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	0	<Null>	<Null>	<Null>	20
9	43981 Kryry	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
10	76852 Mířkovice u Holešova	<Null>	47,826087	0	4,761905	15,384615	43,75	9,090909	14,285714	0	6,818182	20

Obr. 20 Náhled na atributovou tabulku ztrát včelstev v ArcGIS Pro. Hodnota Null značí, že pro daný rok nebyly v příslušném PSC k dispozici žádné záznamy o ztrátách včelstev.

4.4 Klimatické anomálie

Jedním z cílů této práce byla detekce klimatických anomálií napříč sledovaným obdobím a statistické vyhodnocení významnosti jejich dopadu na včelstva. Anomálie představují neočekávané či náhlé změny, které se výrazně odchyľují od běžného chování sledované proměnné (Chandola et al., 2009). V této kapitole je proto podrobně popsána tvorba multidimenzionálních datasetů, generování klimatických anomálií a jejich následná agregace a ukládání v tabelární podobě.



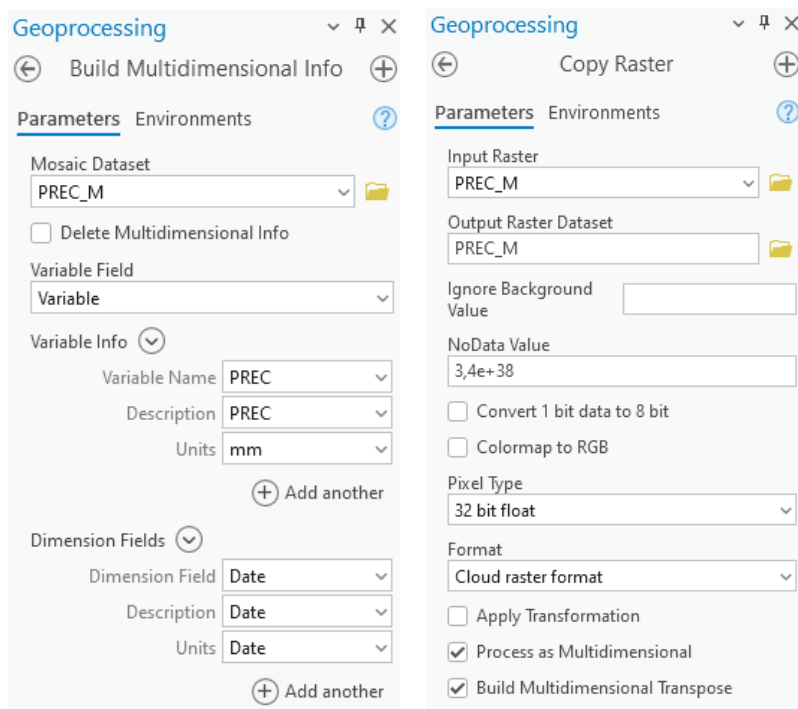
Obr. 21 Ilustrace principu anomálie na časové řadě teploty vzduchu. (zdroj: autor (podle Chandola et al., 2009))

4.4.1 Tvorba multidimenzionálních datasetů

Pro zjištění anomálií ve sledovaném období byly použity multidimenzionální rastry, které umožňují práci s hodnotami pixelů napříč všemi řezy rastrového datasetu. Tímto způsobem lze vzájemně porovnávat data zaznamenaná napříč celým sledovaným obdobím a detekovat náhlé změny, které mohly mít negativní dopad na včelstva. V podkapitole 4.2.3 byly klimatické rastry převedeny do formátu NetCDF, který práci s multidimenzionálními daty umožňuje. Tyto rastry ovšem neobsahují žádné časové informace, které by bylo možné využít k tvorbě časových řad jednotlivých klimatických proměnných. Tento problém řeší skript **08_uprava_rastru_netcdf.py**. Skript ve vstupním adresáři hledá veškeré geodatabáze s příponou `_M` nebo `_Y`, ve kterých vytváří nový Mosaic Dataset a následně jej naplňuje rastry formátu NetCDF z odpovídající složky (zásady pojmenování geodatabází a složek jsou specifikovány v podkapitole 4.2.3). Těmto **rastrům byl přidán atribut Date, který obsahuje časový údaj extrahovaný z jejich názvu** a slouží k následnému zajištění jejich správné časové posloupnosti.

Celkem bylo v ArcGIS Pro vygenerováno **18 rastrových datasetů** s rastry všech klimatických proměnných – pro každou ze sedmi používaných klimatických proměnných (viz podkapitola 4.1.3) vznikl **dataset měsíční** (obsahující 132 NetCDF souborů, kdy jeden soubor odpovídá jednomu měsíci v období 2013–2023) i **roční** (11 NetCDF souborů, jeden soubor odpovídá jednomu roku v období 2013–2023). Zároveň byly vytvořeny i čtyři další datasety obsahující měsíční a roční kumulativní hodnoty úhrnu srážek (PREC_TOTAL) a doby trvání slunečního svitu (SOL_TOTAL). Data průměrného denního úhrnu srážek (PREC) a průměrné denní doby trvání slunečního svitu (SOL) nebyly dále použity, neboť obsahují pouze duplicitní informace obsažené v kumulativních datech PREC_TOTAL a SOL_TOTAL. **Multidimenzionální rastry byly tedy dále vytvářeny pouze pro 14 rastrových datasetů.**

Po provedení skriptu byly datasety v prostředí ArcGIS Pro vloženy do nástroje **Build Multidimensional Info**. Nástroj rastrům v datasetech přiřazuje multidimenzionální metadata, která zahrnují klimatické, časové a prostorové informace (Esri, 2024e). Parametr *Variable Info* obsahuje údaje o druhu klimatické proměnné a její jednotce. Jako *Dimension Fields* byl zvolen atribut **Date**, který umožní správné seřazení rastrových dat do časové řady. Upravené datasety byly funkcí **Copy Raster** uloženy ve formátu CRF, což je nativní rastrový formát Esri, který umožňuje rychlejší zpracování multidimenzionálních rastrů. Parametr *Pixel Type* byl nastaven na *32-bit float*. Je **důležité zaškrtnout pole Process as Multidimensional**. Pole *Build Multidimensional Transpose* umožňuje optimalizovat rychlost zpracování dat. V prostředí *Environments* byl *Output Coordinate System* nastaven na *S-JTSK/Krovak East North* (EPSG: 5514), který je v práci používán pro všechny analýzy rastrových dat. Nastavení obou nástrojů je na Obr. 22.



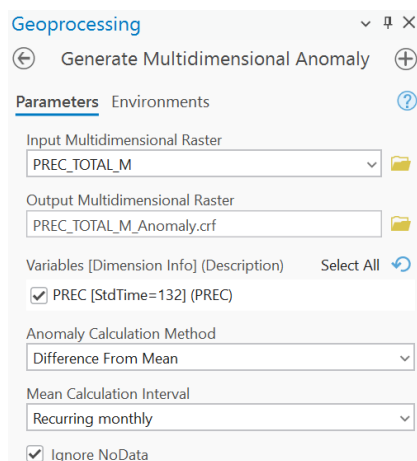
Obr. 22 Nastavení nástroje *Build Multidimensional Info* (vlevo) a následné uložení multidimenzionálního datasetu nástrojem *Copy Raster* (vpravo).

4.4.2 Generování klimatických anomálií

Z uložených multidimenzionálních datasetů byly vypočítány odchylky všech klimatických proměnných od jejich dlouhodobého průměru nástrojem ***Generate Multidimensional Anomaly***. Po domluvě s vedoucím práce byly nakonec **klimatické anomálie vygenerovány pouze pro měsíční datasety. Měsíční anomálie vyjadřují odchylku hodnot proměnné od jejího dlouhodobého průměru vypočteného zvláště pro každý kalendářní měsíc v rámci sledovaného období.** Tento přístup lépe odpovídá potřebám práce, neboť na rozdíl od dat agregovaných po letech umožňuje identifikovat i konkrétní měsíce, v nichž měly odchylky proměnných možný vliv na úspěšnost zimování včelstev (viz podkapitola 5.3.1).

Do nástroje *Generate Multidimensional Anomaly* vstupují měsíční multidimenzionální datasety klimatických proměnných TMAX, TMEAN, TMIN, PREC_TOTAL, RHUM, SOL_TOTAL a WS (viz podkapitola 4.1.3).

Pro výpočet odchylek klimatických proměnných od jejich dlouhodobého průměru byl v nástroji použit parametr *Anomaly Calculation Method*, nastavený na *Difference From Mean*. Parametr ***Mean Calculation Interval* byl nastaven na hodnotu *Recurring monthly***, což umožňuje počítání anomálií v rámci stejných měsíců (např. anomálie v lednu 2013 oproti průměrné hodnotě proměnné ve všech lednech v období 2013–2023). *Output Coordinate System* byl nastaven na *S-JTSK/Krovak East North* (EPSG: 5514). Výstupní multidimenzionální datasety, obsahující odchylky klimatických proměnných, byly uloženy ve formátu CRF s příponou *_Anomaly*. Přesné nastavení nástroje je vidět na Obr. 23.



Obr. 23 Nastavení nástroje *Generate Multidimensional Anomaly*.

Multidimenzionální datové sady klimatických anomálií byly jednotlivě vloženy do nástroje **Zonal Statistics as Table**, který umožňuje jejich agregaci na úroveň územních obvodů adresních pošt ve strukturované tabulární podobě. Jako parametr *Input Raster or Feature Zone Data* byla vybrána polygonová vrstva ZIP, která obsahuje stejnojmenný atribut s kódovým označením PSČ, který byl použit jako hodnota parametru *Zone Field*. K vypočítání průměrných hodnot za jednotlivá PSČ byla ve *Statistics Type* zvolena metoda *Mean*. V nástroji je důležité **zaškrtnout pole *Process as Multidimensional***, jinak dojde k agregaci pouze prvního rastru z časové řady datasetu. Všechny tabulky byly sloučeny dohromady pomocí nástroje **Merge**, který umožňuje spojení více vstupních vrstev. Tato tabulka obsahuje celkem **2 468 004 záznamů** – pro každé PSČ (2 671) obsahuje hodnoty klimatických anomálií všech sedmi proměnných zaznamenaných v jednotlivých měsících jedenácti sledovaných let (celkem 132 měsíců).

Pro následné statistické vyhodnocení významnosti dopadu anomálií na včelstva (kapitoly 5.3 a 5.4) byla tabulka nástrojem **Export Table** uložena ve formátu CSV a následně upravena skriptem **09_uprava_tabulky_anomalii.py**. Skript spojuje hodnoty atributů *Variable* a *StdTime* a z nich vytváří nové atributy, jejichž hodnoty odpovídají údajům ve sloupci *MEAN*. Výsledná transformace tabulky je na Obr. 24.

Takto upravená data jsou podkladem pro výběr reprezentativního vzorku PSČ a identifikaci klimatických anomálií, které mají největší potenciální vliv na úspěšnost zimování včelstev (viz kapitoly 5.3 a 5.4).

	ZIP	Variable	StdTime	MEAN		ZIP	PREC_diff_anomaly_01_01_2013	PREC_diff_anomaly_01_01_2014
1	10000	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	19,101778	1	10000	19,101778	1,161167
2	10100	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	18,14631	2	10100	18,14631	1,507191
3	10200	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	19,822453	3	10200	19,822453	0,410503
4	10300	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	21,711253	4	10300	21,711253	-3,337856
5	10400	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	20,092009	5	10400	20,092009	-2,1463
6	10600	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	19,282599	6	10600	19,282599	1,383505
7	10700	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	20,365998	7	10700	20,365998	-1,378972
8	10800	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	19,634014	8	10800	19,634014	0,835688
9	10900	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	19,55916	9	10900	19,55916	-0,829829
10	11000	PREC_diff_anomaly	01.01.2013	14,846673	10	11000	14,846673	1,62316

Obr. 24 Náhled na atributovou tabulku klimatických anomálií v ArcGIS Pro před úpravou (vlevo) a po její následné úpravě (vpravo).

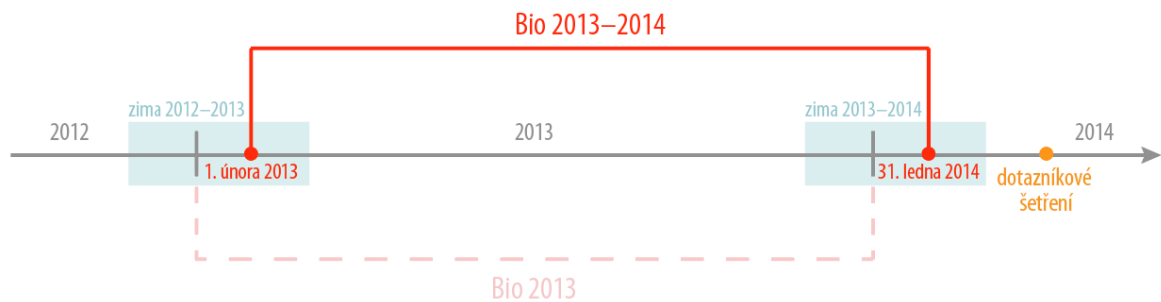
4.5 Bioklimatické proměnné

Jedním ze stěžejních výstupů práce bude určení bioklimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy mají nejvýznamnější dopad na včelstva. Tato kapitola popisuje tvorbu bioklimatických proměnných, jejich následnou agregaci a ukládání v tabelární podobě. Pro kvantifikaci změn klimatu, které nepřímo působí na živočišné druhy, se běžně používá 19 bioklimatických proměnných, které jsou odvozeny od teploty vzduchu a úhrnu srážek. Tyto proměnné popisují klimatické podmínky, které nejvíce souvisí s fyziologií druhů (O'Donnell a Ignizio, 2012). Existuje celkem 19 proměnných (11 teplotních a 8 srážkových), které jsou označeny Bio 1–Bio 19. Konkrétně se jedná o následující charakteristiky:

- **Bio 1 – Annual Mean Temperature** (Průměrná roční teplota vzduchu)
- **Bio 2 – Annual Mean Diurnal Range** (Průměrný roční rozsah denních teplot)
- **Bio 3 – Isothermality** (Izotermalita)
- **Bio 4 – Temp. Seasonality** (Teplotní sezónnost)
- **Bio 5 – Max Temp. of Warmest Month** (Max. teplota nejteplejšího měsíce)
- **Bio 6 – Min Temp. of Coldest Month** (Min. teplota nejchladnějšího měsíce)
- **Bio 7 – Annual Temp. Range** (Roční rozsah teplot)
- **Bio 8 – Mean Temp. of Wettest Quarter** (Prům. teplota nejvlhčího čtvrtletí)
- **Bio 9 – Mean Temp. of Driest Quarter** (Prům. teplota nejsuššího čtvrtletí)
- **Bio 10 – Mean Temp. of Warmest Quarter** (Prům. teplota nejtepl. čtvrtletí)
- **Bio 11 – Mean Temp. of Coldest Quarter** (Prům. teplota nejchlad. čtvrtletí)
- **Bio 12 – Annual Precipitation** (Roční úhrn srážek)
- **Bio 13 – Prec. of Wettest Month** (Úhrn srážek v nejvlhčím měsíci)
- **Bio 14 – Prec. of Driest Month** (Úhrn srážek v nejsušším měsíci)
- **Bio 15 – Prec. Seasonality** (Srážková sezónnost)
- **Bio 16 – Prec. of Wettest Quarter** (Úhrn srážek v nejvlhčím čtvrtletí)
- **Bio 17 – Prec. of Driest Quarter** (Úhrn srážek v nejsušším čtvrtletí)
- **Bio 18 – Prec. of Warmest Quarter** (Úhrn srážek v nejteplejším čtvrtletí)
- **Bio 19 – Prec. of Coldest Quarter** (Úhrn srážek v nejchladnějším čtvrtletí)

4.5.1 Generování rastrů bioklimatických proměnných

Bioklimatické proměnné se běžně počítají za jednotlivé kalendářní roky. Tento přístup ale není pro účely práce vhodný, protože v lednu kvůli nízkým teplotám vzduchu ještě nedochází ke zvýšené aktivitě včel – to znamená, že leden není pro následnou sezónu důležitý počáteční měsíc. Po domluvě s vedoucím práce a národním koordinátorem projektu COLOSS dr. Daníhlikem byly **všechny bioklimatické proměnné počítány od začátku února daného roku do konce ledna následujícího roku** (viz Obr. 25), neboť klíčovou roli v rozvoji včelstev během roku hraje teplota vzduchu od února do května. V případě vysokých únorových teplot vzduchu klade včelí matka časně z jara mnohem více vajíček, což vede k brzkému rozvoji včelích kolonií. Takto rychlý rozvoj ovšem prokazatelně způsobuje jejich následné oslabení a úpadek během roku (Bergmann, 1985). Do výpočtů bioklimatických proměnných jsou proto zahrnuty jen měsíce, které mohou přímo ovlivnit zdravotní stav včelstev v daném období a jejich úspěšnost zimování.



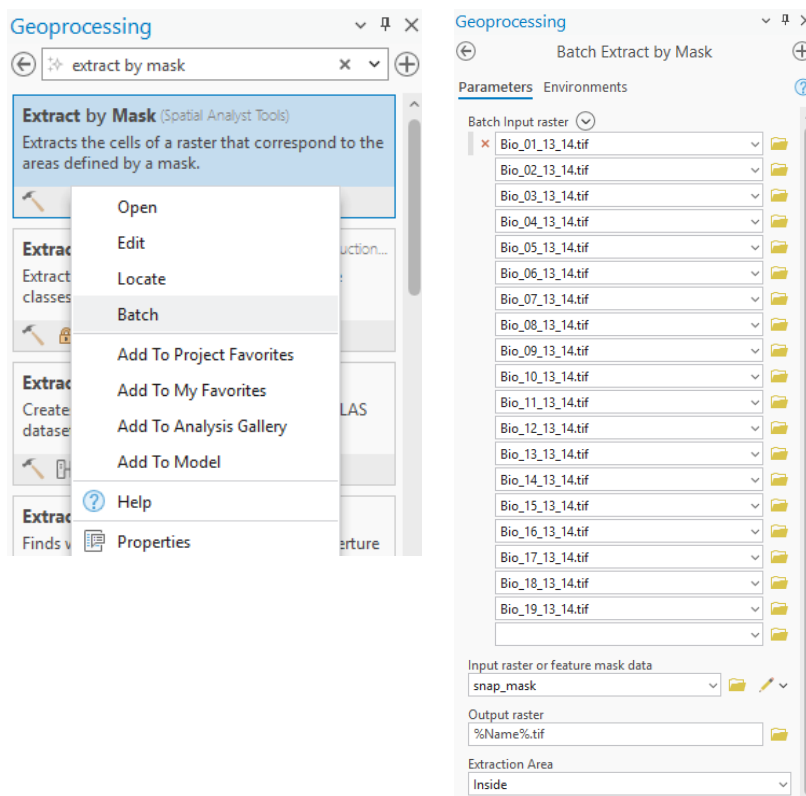
Obr. 25 Vymezení období pro výpočet bioklimatických proměnných. Bio 2013 odpovídá běžnému intervalu za kalendářní rok, Bio 2013–2014 označuje upravený časový rámec pro potřeby této práce. (zdroj: autor)

Pro výpočet bioklimatických charakteristik byly použity rastry klimatických proměnných ve formátu TIFF (viz podkapitola 4.2.3), které jsou agregované po jednotlivých měsících. Bioklimatické proměnné jsou odvozeny od měsíční minimální, průměrné a maximální teploty vzduchu a celkové sumy úhrnu srážek, proto byly **do výpočtů zahrnuty pouze klimatické proměnné TMAX, TMEAN, TMIN a PREC_TOTAL** (viz podkapitola 4.1.3).

Generování výstupních rastrů zajišťuje skript **10_vypocet_bio_promennych.py**. Tento komplexní skript ve vstupním adresáři vyhledává všechny složky, jejichž název obsahuje zkratku výše uvedených klimatických proměnných a příponu **_M** (zásady pojmenování složek jsou uvedeny v podkapitole 4.2.3). Skript z patřičných složek načte všechna rastrová data a ověří, zda se v adresáři nachází veškeré požadované rastry a jestli mají jednotné prostorové vlastnosti (prostorový rozsah a počet pixelů). Po provedení kontroly skript na základě předdefinovaných vzorců generuje bioklimatické rastry ve formátu TIFF pro každý meziroční interval (od února předchozího roku do ledna následujícího roku) v průběhu celého sledovaného období.

Všechny vzorce používané ve výpočtech skriptu jsou včetně jejich vysvětlujícího popisu uvedeny v dokumentaci vydávané americkou organizací **USGS** s názvem **Bioclimatic Predictors for Supporting Ecological Applications in the Conterminous United States** (O'Donnell a Ignizio, 2012).

V rámci sledovaného období vzniklo v 10 časových intervalech (Bio 2013–2014 až Bio 2022–2023) celkem **190 rastrů bioklimatických charakteristik**, kdy bylo v každém intervalu zahrnuto všech 19 vypočtených proměnných. Některé vygenerované rastry obsahovaly mimo zájmové území pixely s hodnotou *NoData*. Tento problém se však nepodařilo vyřešit přímo ve skriptu, proto byly rastry všech meziročních intervalů oříznuty pomocí dávkového zpracování nástrojem **Batch Extract by Mask** v ArcGIS Pro. Parametr *Input raster or feature mask data* využívá rastr **snap_mask**, který byl vytvořen v kapitole 4.2. Kvůli ukládání rastrů ve formátu TIFF bylo nutné nastavit *Output raster* na *%Name%.tif*. Tím bylo zároveň zajištěno, že označení oříznutých rastrů odpovídá názvům vstupních rastrů. *Output Coordinate System* byl nastaven na *S-JTSK/Krovak East North* (EPSG: 5514). Přesné nastavení nástroje je vidět na Obr. 26.



Obr. 26 Spuštění nástroje *Batch Extract by Mask* (vlevo) a jeho následné nastavení (vpravo). Nástroj byl pro každý časový interval bioklimatických charakteristik spuštěn zvlášť.

4.5.2 Ukládání bioklimatických proměnných

Oříznuté rastry bioklimatických proměnných byly agregovány na úroveň PSČ pomocí dávkového zpracování nástrojem **Batch Zonal Statistics**. Jako parametr *Input Raster or Feature Zone Data* byla zvolena polygonová vrstva ZIP obsahující stejnojmenný atribut s kódovým označením všech PSČ, který vstupuje do parametru *Zone Field*. Pro uložení výstupních rastrů ve formátu TIFF bylo pole *Output raster* nastaveno na *%Name%_Zonal.tif* (každý nový rastr bude pojmenován podle vstupního rastru a doplněn o příponu *_Zonal*). Kvůli výpočtu průměrných hodnot bioklimatických charakteristik za jednotlivá PSČ byla ve *Statistics Type* zvolena metoda *Mean*. *Output Coordinate System* byl nastaven na *S-JTSK/Krovak East North* (EPSG: 5514), jako parametr *Snap Raster* byl vybrán rastr **snap_mask** (viz kapitola 4.2).

Hodnoty agregovaných rastrů bioklimatických proměnných bylo nutné extrahovat do tabelárního formátu. Nástrojem **Feature To Point** byla nejprve z polygonové vrstvy ZIP vytvořena bodová vrstva **ZIP_points** (zaškrtnout pole *Inside*), která dále vstupuje do nástroje **Extract Multi Values to Points**. Pro parametr *Input rasters* bylo použito všech 190 agregovaných rastrů bioklimatických charakteristik. Výstupem nástroje je bodová vrstva s hodnotami bioklimatických proměnných. Tento výstup byl pomocí nástroje **Export Table** uložen jako samostatná tabulka (Obr. 27).

Takto upravená data jsou vhodná pro následné statistické testování a identifikaci bioklimatických proměnných, které mají největší dopad na včelstva (více ke statistickému vyhodnocení v kapitole 5.3 a 5.4).

	ZIP	Bio_01_13_14_Zonal	Bio_01_14_15_Zonal	Bio_01_15_16_Zonal	Bio_01_16_17_Zonal	Bio_01_17_18_Zonal
1	76861	9,376115	10,50997	10,09465	9,298496	10,05367
2	39901	8,129834	9,593513	9,561512	8,442161	9,451239
3	35801	5,751814	7,223203	6,870854	6,005132	6,917837
4	76843	9,668928	10,80683	10,31321	9,495035	10,26235
5	76842	9,695494	10,82659	10,35703	9,518478	10,28428
6	76841	8,530027	9,687798	9,243758	8,416269	9,153895
7	44001	8,977647	10,57023	10,33295	9,617416	10,52332
8	43982	8,351716	9,965477	9,812282	9,023046	10,05572
9	43981	8,412244	10,02711	9,89249	9,080973	10,16916
10	76852	9,898483	11,07183	10,55323	9,715749	10,48412

Obr. 27 Náhled na atributovou tabulku bioklimatických proměnných v ArcGIS Pro.

4.6 Stanovení reprezentativního vzorku PSČ

Tato kapitola se zaměřuje na výběr reprezentativního vzorku PSČ pro následné statistické testování vlivu klimatických anomálií (viz podkapitola 5.3) a bioklimatických charakteristik (viz podkapitola 5.4) na ztráty včelstev.

Tabelární data klimatických anomálií (viz podkapitola 4.4.2) a bioklimatických proměnných (viz podkapitola 4.5.2) byly pomocí **Add Join** spojeny s polygonovou vrstvou ZIP obsahující míru ztrát včelstev z dotazníkového šetření COLOSS (viz podkapitola 4.3.1).

Pro účely statistického vyhodnocení dopadu zkoumaných proměnných na včelstva bylo potřeba zvolit vhodný reprezentativní vzorek **PSČ, která mají k dispozici záznamy o ztrátách včelstev ve všech sledovaných letech** (zajištění časově konzistentních a srovnatelných dat v celém analyzovaném období). Tento výběr byl proveden ve sloupci **L_p_Validation**, který byl pomocí **Add Field** ručně přidán do polygonové vrstvy ZIP. Parametr *Data Type* byl nastaven na *Text*. Hodnota sloupce byla vypočtena pomocí nástroje **Calculate Field** s využitím následujícího vzorce, který byl vložen do pole *Expression*:

```

""join(["1" if !L_13_p! is not None else "0",
      "1" if !L_14_p! is not None else "0",
      "1" if !L_15_p! is not None else "0",
      "1" if !L_16_p! is not None else "0",
      "1" if !L_17_p! is not None else "0",
      "1" if !L_18_p! is not None else "0", (17),
      "1" if !L_19_p! is not None else "0",
      "1" if !L_20_p! is not None else "0",
      "1" if !L_21_p! is not None else "0",
      "1" if !L_22_p! is not None else "0",
      "1" if !L_23_p! is not None else "0"])

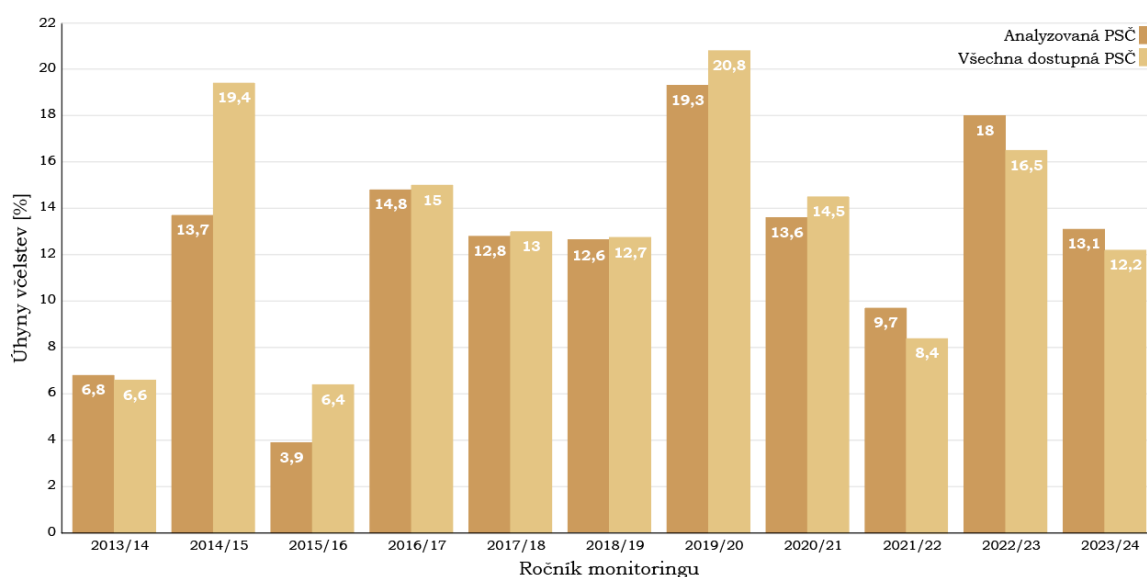
```

kde hodnoty L_{13_p} , ..., L_{23_p} odpovídají sloupcům s procentuálními ztrátami včelstev v letech 2013–2023 (např. sloupec L_{13_p} obsahuje ztráty za rok 2013 apod.).

Vzorec generuje pro každé PSČ jedenáctimístný textový řetězec složený z číslic 1 a 0. Hodnota 1 značí, že v příslušném PSČ existují v daném roce (v období 2013–2023) dostupné údaje o ztrátách včelstev. Naproti tomu hodnota 0 signalizuje, že pro toto období nejsou k dispozici žádné záznamy. Pomocí nástroje **Select by Attributes** byla vybrána

pouze ta PSČ, jejichž textový řetězec obsahuje výhradně číslice 1 – což odpovídá dostupnosti záznamů ztrát včelstev v celém sledovaném období. Pilotní ročník monitoringu 2013/2014 (bližší informace k dotazníkovému šetření COLOSS jsou uvedeny v kapitole 2.3 a 4.3) ovšem zahrnuje v porovnání s následujícími lety mnohem menší počet záznamů. Striktní výběr PSČ s dostupnými daty v tomto ročníku by tak výrazně snižoval rozsah reprezentativního vzorku. Po domluvě s vedoucím práce byla podmínka pro tento ročník vynechána a **bylo použito celkem 143 validních PSČ pro následnou statistickou analýzu dat**. Konkrétní záznamy s chybějícími údaji o ztrátách včelstev za daný ročník nebudou zahrnuty do následujících statistických analýz (viz kapitoly 5.3 a 5.4).

Je nutné podotknout, že se hodnoty ztrát včelstev ve zvoleném reprezentativním vzorku PSČ v některých ročnících monitoringu výrazně liší od hodnot zaznamenaných pro všechna dostupná PSČ, což může ovlivnit následné posouzení statistické významnosti sledovaných proměnných. Tyto rozdíly zachycuje Graf 1.



Graf 1 Srovnání zimních ztrát včelstev v analyzovaných a všech dostupných PSČ. Z grafu je patrné, že se rozdíly v úhnech kolonií mezi oběma datovými soubory v některých ročnících monitoringu projevují výrazněji než v jiných. (zdroj: autor)

Vybrané záznamy PSČ byly pomocí **Export Table** uloženy ve formátu CSV – tento krok byl proveden zvlášť pro klimatické anomálie a bioklimatické proměnné s cílem zkoumat jejich dopad na včelstva nezávisle na sobě. Uložené tabulky jsou na Obr. 28.

ZIP	L_13_p	L_14_p	PREC_01_01_13	PREC_01_01_14	ZIP	L_13_p	L_14_p	Bio_01_13_14	Bio_01_14_15
16000	0	45	22,86265709	-0,499689597	16000	0	45	9,9930182	11,632638
25082	41,379	10	18,3774937	-3,733300459	25082	41,379	10	9,3024206	10,878293
25101	0	28,5714	22,76635742	-5,132090239	25101	0	28,571	8,7026968	10,3473797
25210	0	4,34783	23,85743767	-5,14176198	25210	0	4,3478	8,3420048	9,8490543
25228	0	10	18,28643679	-3,636952016	25228	0	10	9,206831	10,7538347
25229	15,789	11,1111	17,19291412	-4,656474916	25229	15,789	11,111	8,8877926	10,4236851
25401	12,195	13,3333	19,0782189	-3,533372204	25401	12,195	13,333	8,6981897	10,3364487
25601	9,0909	39,2857	35,04214018	-12,22359662	25601	9,0909	39,286	8,5216293	10,0967064
25744		2,5	22,43809546	-5,247410874	25744		2,5	8,5984411	10,131259
25768		0	41,99857966	-14,57169892	25768		0	8,4830084	9,70576

Obr. 28 Ukázka tabulky klimatických anomálií (vlevo) a bioklimatických proměnných (vpravo).

Uložené tabulky s klimatickými anomáliemi a bioklimatickými proměnnými obsahují shodně 143 záznamů (1 záznam \approx 1 PSČ). Informace o konkrétních letech sledovaného období jsou přímo obsaženy v názvech všech sloupců, a to jak u ztrát včelstev, tak u zkoumaných proměnných. Pro účely statistického vyhodnocení však bylo nezbytné data rozdělit tak, aby každý sledovaný rok v rámci daného PSČ tvořil unikátní záznam. Vytvořený skript **11_rozdeleni_psc_po letech.py** převádí obě tabulky do požadovaného formátu a vytváří v nich nový sloupec **Year**. Upravené tabulky jsou na Obr. 29.

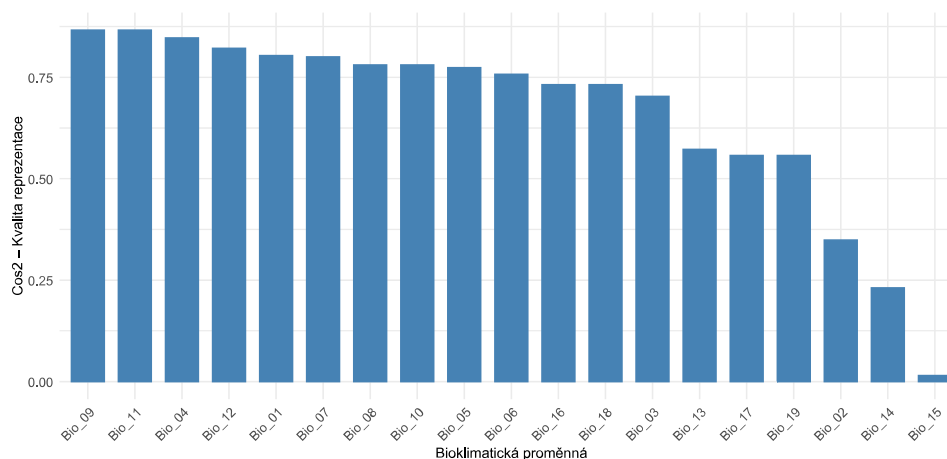
ZIP	L_p	Year	PREC_01_01	PREC_01_02	ZIP	L_p	Year	Bio_01	Bio_02
16000	0.000000	2013	22.862657	21.568071	16000	0.000000	2013	9.993018	7.863903
16000	45.000000	2014	-0.499690	-18.937812	16000	45.000000	2014	11.632638	8.239223
16000	22.222222	2015	-0.209970	-17.979082	16000	22.222222	2015	11.431520	8.771943
16000	0.000000	2016	4.976723	18.128866	16000	0.000000	2016	10.536000	8.330894
16000	20.000000	2017	-6.922631	-5.034916	16000	20.000000	2017	11.516029	8.039897
16000	50.000000	2018	-1.129666	-16.268844	16000	50.000000	2018	11.639944	8.616846
16000	22.222222	2019	-5.115309	-2.152024	16000	22.222222	2019	11.927214	8.627622
16000	27.777778	2020	-15.563772	25.757103	16000	27.777778	2020	11.351595	8.221166
16000	50.000000	2021	15.456203	12.572760	16000	50.000000	2021	10.415072	7.953154
16000	50.000000	2022	-5.421389	-11.800880	16000	50.000000	2022	11.638772	8.392443
16000	0.000000	2023	-8.433156	-5.853242					

Obr. 29 Ukázka upravené tabulky klimatických anomálií (vlevo) a bioklimatických proměnných (vpravo). Záznamy jsou v obou tabulkách rozděleny po letech.

4.7 Redukce počtu bioklimatických proměnných

Ačkoliv je možné do následné statistické analýzy (kapitola 5.4) zahrnout všechny bioklimatické charakteristiky (viz kapitola 4.5), jejich úplné využití není nutné. Některé zkoumané proměnné totiž mohou mezi sebou vzájemně korelovat, čímž by do výsledků statistického šetření vnášely několikrát tu samou informaci, která by následně mohla znepřesnit interpretaci výsledků. Kvůli poměrně velkému počtu bioklimatických proměnných (celkem 19) bylo nejdříve přistoupeno k jejich vyhodnocení pomocí **analýzy hlavních komponent (PCA)**. Tato metoda se využívá k transformaci všech proměnných do menšího počtu proměnných (hlavních komponent) s co nejmenší ztrátou původní informace. Zároveň umožňuje určit proměnné, které nejvíce přispívají do jednotlivých komponent, a tedy mají největší vliv na variabilitu dat (Abdi a Williams, 2010).

V programu RStudio byla PCA nejprve provedena pro všechny záznamy bioklimatických proměnných z reprezentativního vzorku PSČ (viz kapitola 4.6). Hlavní pozornost byla věnována příspěvku proměnných do prvních dvou hlavních komponent (PC1 a PC2), jelikož tyto komponenty zachycují největší podíl variability v datech (Abdi a Williams, 2010). Jejich příspěvek znázorňuje Graf 2.



Graf 2 Příspěvek bioklimatických proměnných do prvních dvou hlavních komponent (PC1 a PC2). (výstup z programu RStudio)

Nyní je teoreticky možné vybrat pouze proměnné s nejvyšším zastoupením v prvních dvou hlavních komponentách (PC1 a PC2) a využít je ke statistickému hodnocení jejich vlivu na včelstva. Takový přístup však může být problematický v případě, že tyto proměnné vykazují silnou vzájemnou korelaci, neboť by do analýzy vnášely duplicitní informace.

Z tohoto důvodu byla v ArcGIS Pro ze všech 19 vygenerovaných rastrů bioklimatických charakteristik (jejich tvorba je popsána v kapitole 4.5.1) vypočtena korelační matice pomocí nástroje **Band Collection Statistics**. Tento nástroj byl aplikován samostatně pro každý meziroční interval. V nástroji bylo označeno pole **Compute covariance and correlation matrices**. Celkem bylo vytvořeno 10 korelačních matic (pro Bio 2013–2014 až Bio 2022–2023), z nichž byla v aplikaci Microsoft Excel vypočítána výsledná korelační matice jako průměr odpovídajících hodnot (viz Obr. 30).

Korelační matice poskytuje informace o síle a směru vztahu mezi jednotlivými dvojicemi proměnných. Korelační koeficient se u matice pohybuje v rozsahu od -1,00 (záporná korelace) do +1,00 (kladná korelace). Koeficient 0,00 označuje absenci jakéhokoli vztahu mezi dvěma proměnnými (Patil a Franken, 2021).

	Bio 1	Bio 2	Bio 3	Bio 4	Bio 5	Bio 6	Bio 7	Bio 8	Bio 9	Bio 10	Bio 11	Bio 12	Bio 13	Bio 14	Bio 15	Bio 16	Bio 17	Bio 18	Bio 19
Bio 1	1,00	0,43	0,20	0,61	0,96	0,85	0,64	0,98	0,94	0,98	0,94	-0,66	-0,42	-0,55	0,35	-0,50	-0,67	-0,50	-0,67
Bio 2	0,43	1,00	0,90	0,04	0,56	0,20	0,66	0,40	0,52	0,40	0,52	-0,35	-0,18	-0,36	0,29	-0,19	-0,40	-0,19	-0,40
Bio 3	0,20	0,90	1,00	-0,33	0,27	0,14	0,28	0,12	0,40	0,12	0,40	-0,18	-0,09	-0,24	0,19	-0,05	-0,22	-0,05	-0,22
Bio 4	0,61	0,04	-0,33	1,00	0,67	0,34	0,68	0,73	0,32	0,73	0,32	-0,51	-0,32	-0,32	0,22	-0,44	-0,47	-0,44	-0,47
Bio 5	0,96	0,56	0,27	0,67	1,00	0,75	0,79	0,97	0,87	0,97	0,87	-0,69	-0,44	-0,55	0,36	-0,53	-0,70	-0,53	-0,70
Bio 6	0,85	0,20	0,14	0,34	0,75	1,00	0,21	0,80	0,88	0,80	0,88	-0,61	-0,44	-0,49	0,25	-0,48	-0,57	-0,48	-0,57
Bio 7	0,64	0,66	0,28	0,68	0,79	0,21	1,00	0,70	0,49	0,70	0,49	-0,47	-0,24	-0,37	0,30	-0,34	-0,51	-0,34	-0,51
Bio 8	0,98	0,40	0,12	0,73	0,97	0,80	0,70	1,00	0,87	1,00	0,87	-0,69	-0,44	-0,56	0,36	-0,53	-0,68	-0,53	-0,68
Bio 9	0,94	0,52	0,40	0,32	0,87	0,88	0,49	0,87	1,00	0,87	1,00	-0,62	-0,41	-0,56	0,35	-0,45	-0,64	-0,45	-0,64
Bio 10	0,98	0,40	0,12	0,73	0,97	0,80	0,70	1,00	0,87	1,00	0,87	-0,69	-0,44	-0,56	0,36	-0,53	-0,68	-0,53	-0,68
Bio 11	0,94	0,52	0,40	0,32	0,87	0,88	0,49	0,87	1,00	0,87	1,00	-0,62	-0,41	-0,56	0,35	-0,45	-0,64	-0,45	-0,64
Bio 12	-0,66	-0,35	-0,18	-0,51	-0,69	-0,61	-0,47	-0,69	-0,62	-0,69	-0,62	1,00	0,76	0,78	-0,32	0,86	0,84	0,86	0,84
Bio 13	-0,42	-0,18	-0,09	-0,32	-0,44	-0,44	-0,24	-0,44	-0,41	-0,44	-0,41	0,76	1,00	0,51	0,25	0,88	0,48	0,88	0,48
Bio 14	-0,55	-0,36	-0,24	-0,32	-0,55	-0,49	-0,37	-0,56	-0,56	-0,56	-0,56	0,78	0,51	1,00	-0,52	0,57	0,81	0,57	0,81
Bio 15	0,35	0,29	0,19	0,22	0,36	0,25	0,30	0,36	0,35	0,36	0,35	-0,32	0,25	-0,52	1,00	0,10	-0,60	0,10	-0,60
Bio 16	-0,50	-0,19	-0,05	-0,44	-0,53	-0,48	-0,34	-0,53	-0,45	-0,53	-0,45	0,86	0,88	0,57	0,10	1,00	0,55	1,00	0,55
Bio 17	-0,67	-0,40	-0,22	-0,47	-0,70	-0,57	-0,51	-0,68	-0,64	-0,68	-0,64	0,84	0,48	0,81	-0,60	0,55	1,00	0,55	1,00
Bio 18	-0,50	-0,19	-0,05	-0,44	-0,53	-0,48	-0,34	-0,53	-0,45	-0,53	-0,45	0,86	0,88	0,57	0,10	1,00	0,55	1,00	0,55
Bio 19	-0,67	-0,40	-0,22	-0,47	-0,70	-0,57	-0,51	-0,68	-0,64	-0,68	-0,64	0,84	0,48	0,81	-0,60	0,55	1,00	0,55	1,00

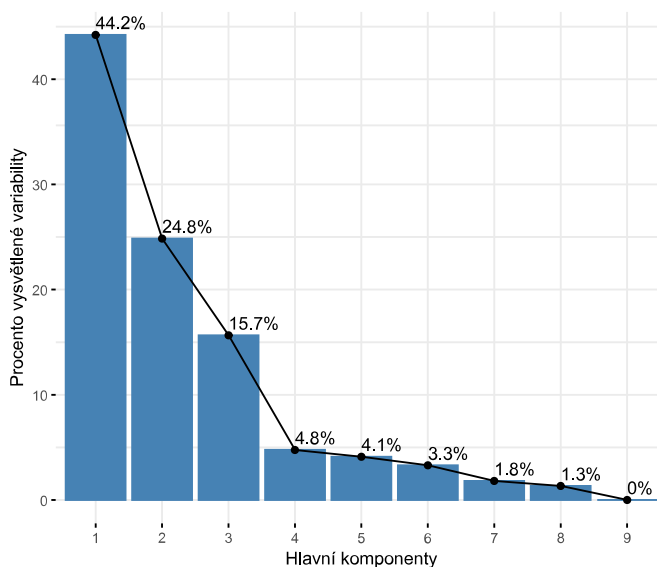
Obr. 30 Korelační matice bioklimatických proměnných. Tmavé odstíny červené značí silnou pozitivní korelaci, tmavé odstíny modré naopak silnou negativní korelaci.

Z výsledné korelační matice je patrné, že teplotní proměnné (Bio 1–Bio 11) vykazují vůči srážkovým proměnným (Bio 12–Bio 19) vesměs negativní korelaci.

Finální výběr bioklimatických charakteristik proběhl na základě porovnání příspěvku jednotlivých proměnných do prvních dvou hlavních komponent (Graf 2) a jejich vzájemné korelace (Obr. 30). Cílem bylo omezit vysokou vzájemnou korelaci proměnných a zároveň vybrat takové proměnné, které lépe vysvětlují variabilitu dat (např. Bio 5 a Bio 10 navzájem silně korelují, ale kvůli vyššímu příspěvku do PC1 a PC2 bylo upřednostněno Bio 5). Na základě konzultace s vedoucím práce **byly vybrány následující bioklimatické proměnné, které budou dále podrobeny statistickému testování jejich významnosti:**

- **Bio 3 – Isothermality** (Izotermalita)
- **Bio 4 – Temp. Seasonality** (Teplotní sezónnost)
- **Bio 5 – Max Temp. of Warmest Month** (Max. teplota nejteplejšího měsíce)
- **Bio 6 – Min Temp. of Coldest Month** (Min. teplota nejchladnějšího měsíce)
- **Bio 7 – Annual Temp. Range** (Roční rozsah teplot)
- **Bio 11 – Mean Temp. of Coldest Quarter** (Prům. teplota nejchlad. čtvrtletí)
- **Bio 15 – Prec. Seasonality** (Srážková sezónnost)
- **Bio 18 – Prec. of Warmest Quarter** (Úhrn srážek v nejteplejším čtvrtletí)
- **Bio 19 – Prec. of Coldest Quarter** (Úhrn srážek v nejchladnějším čtvrtletí)

Výsledná PCA, založená pouze na výše uvedených proměnných, ukazuje, že první dvě hlavní komponenty dohromady vysvětlují 69 % celkové variability dat (viz Graf 3).



Graf 3 Procento variability vysvětlené jednotlivými hlavními komponentami. (výstup z programu RStudio)

5 VÝSLEDKY

Tato kapitola shrnuje dosažené výsledky bakalářské práce. Kromě dílčích výstupů podrobně popsanych v kapitole 4 je zde zahrnuto také statistické vyhodnocení vlivu zkoumaných klimatických anomálií (kapitola 5.3) a bioklimatických proměnných (kapitola 5.4) na úspěšnost zimování včelstev.

5.1 Automatizační skripty

Jedním z výsledků práce jsou **automatizační skripty určené ke zpracování dat z klimatické datové sady Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ**, která byla v této práci použita (podrobný popis tvorby a funkcionality skriptů je uveden v kapitole 4.1). V případě potřeby je možné skripty dále uživatelsky upravit, což umožňuje zpracování až 26 klimatických proměnných dostupných v datové sadě, a to od roku 1775 až po současnost (vzhledem ke každoroční aktualizaci datové sady bude tento postup nejspíš možné využít i pro stahování nejnovějších klimatických dat v následujících letech). Dle dohledaných informací se pravděpodobně jedná o vůbec první veřejně dostupný a detailně popsáný nástroj pro hromadné zpracování dat z uvedené datové sady. Kromě skriptů pro stahování a úpravu klimatických dat bylo vytvořeno také **několik dalších skriptů, které sloužily ke zpracování dalších datových podkladů**, které byly v práci použity (viz kapitola 4). Veškeré skripty jsou součástí elektronických volných příloh jako Příloha 1.

5.2 Interpolační modely klimatických proměnných

Dalším výsledkem bakalářské práce jsou **vytvořené interpolační modely, které umožňují prostorovou interpolaci klimatických proměnných používaných v této práci** (viz podkapitola 4.1.3). Tvorba modelů je detailně popsána v kapitole 4.2 a vychází z informací uvedených v metodice vydávané Českým hydrometeorologickým ústavem (Možný et al., 2023) – tato metodika byla zvolena, neboť umožňuje interpolaci obdobných bodových dat. Výstupní rastry klimatických proměnných jsou dále použity pro výpočet klimatických anomálií (kapitola 4.4) a bioklimatických proměnných (kapitola 4.5). Oba vytvořené modely jsou součástí Toolboxu *Interpolacni_Modely.atbx*, který je uložen jako elektronická volná Příloha 2 této práce.

5.3 Určení významnosti klimatických anomálií

Hlavním výsledkem práce je **určení klimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy měly nejvýznamnější dopady na včelstva**. Tato kapitola se proto zaměřuje na analýzu vlivu anomálií klimatických proměnných na ztráty včelstev a identifikaci klíčových proměnných, které byly vyhodnoceny jako statisticky významné – tyto proměnné budou následně podrobeny i doplňujícím analýzám (více v podkapitolách 5.3.1, 5.3.2 a 5.3.3).

Vzhledem k tomu, že data z monitoringu úspěšnosti zimování včelstev (kapitola 4.3) nevykazují normální rozdělení, byl pro statistické vyhodnocení vlivu klimatických odchylek na včelstva použit Spearmanův korelační koeficient. Jedná se o neparametrickou (tj. na rozdělení nezávislou) metodu, kterou určujeme sílu a směr monotónního vztahu mezi dvěma proměnnými (Hauke a Kossowski, 2011).

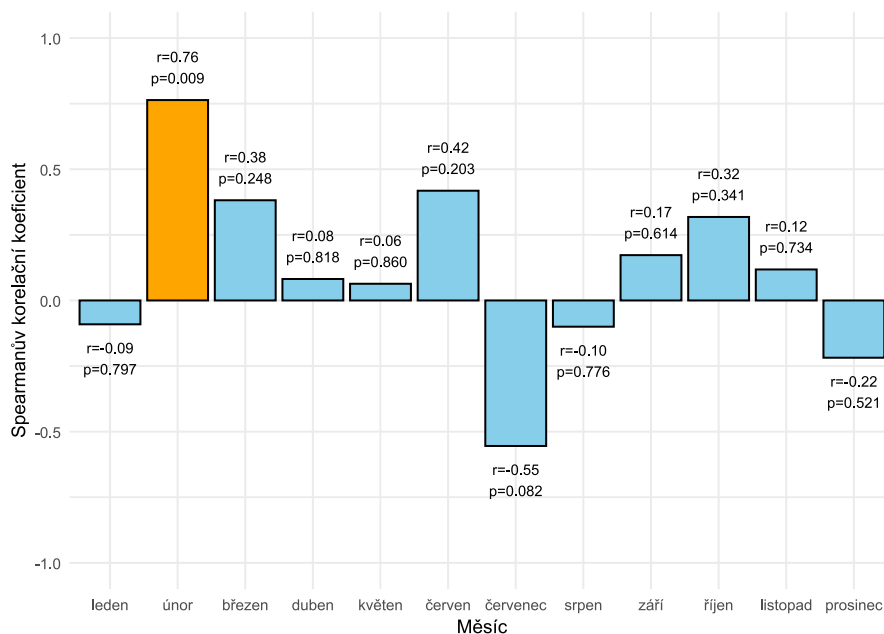
V programu RStudio byla pro vstupní data klimatických anomálií a ztrát (viz kapitola 4.6) provedena korelační analýza těchto proměnných. Pro každý měsíc v jednotlivých letech (2013–2023) byla spočítána průměrná hodnota dané klimatické anomálie ze všech reprezentativních PSC. Dále byly vypočítány průměrné ztráty ze všech PSC za každý rok sledovaného období. Průměrné hodnoty klimatických anomálií v jednotlivých měsících byly následně podrobeny korelační analýze se ztrátami včelstev napříč sledovaným obdobím – tento postup umožňuje identifikaci klimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy měly na včelstva potenciálně největší vliv.

Výsledek Spearmanovy korelace anomálií maximální teploty vzduchu se ztrátami včelstev vykazuje v únoru statisticky významnou a silnou pozitivní korelaci ($r = 0,80$; $p = 0,005$). Možnou souvislost s odchylkami maximální teploty vzduchu uvádí i Bergmann (1985), který zjistil, že vyšší maximální teploty vzduchu v únoru vedou k předčasnému rozvoji včelstev. Tento urychlený ovšem rozvoj prokazatelně oslabuje imunitu včel a může vést k jejich následnému kolapsu, kdy jedním z možných faktorů je mimo jiné i vysoká prevalence roztoče *Varroa destructor*, vyvolaná dřívějším začátkem plodování v důsledku zvýšených teplot vzduchu právě na začátku včelařské sezóny (Nürnberg et al., 2019). V ostatních měsících nebyl statisticky významný vztah prokázán. Výsledek korelace znázorňuje Graf 4.

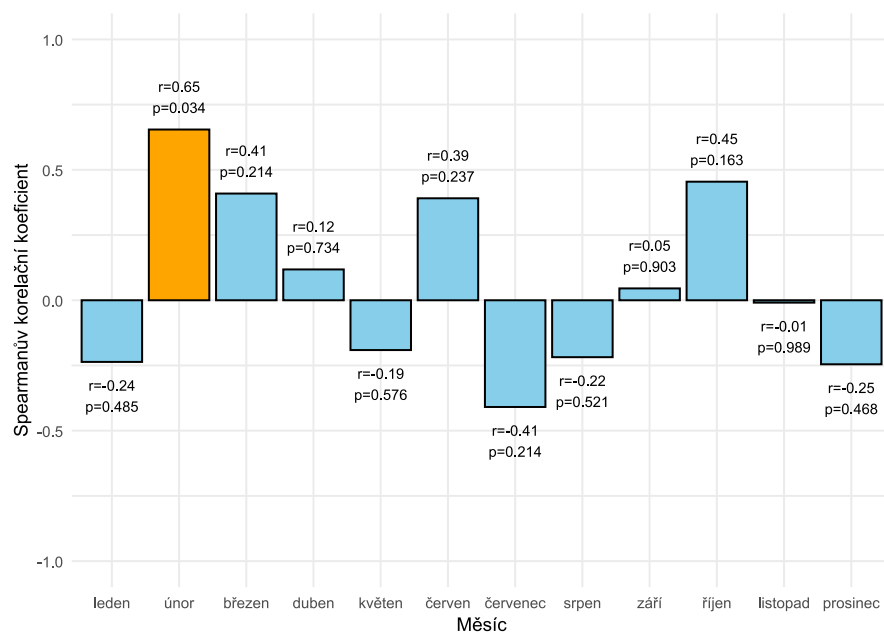


Graf 4 Spearmanova korelace odchylek maximální teploty vzduchu se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Spearmanova korelace odhalila silný pozitivní vztah i únorových průměrných ($r = 0,76$; $p = 0,009$) a **minimálních teplot vzduchu** ($r = 0,65$; $p = 0,034$). V žádném jiném měsíci nebyl statisticky významný vztah mezi odchylkami průměrné a minimální teploty vzduchu se ztrátami včelstev prokázán (viz Graf 5; Graf 6).

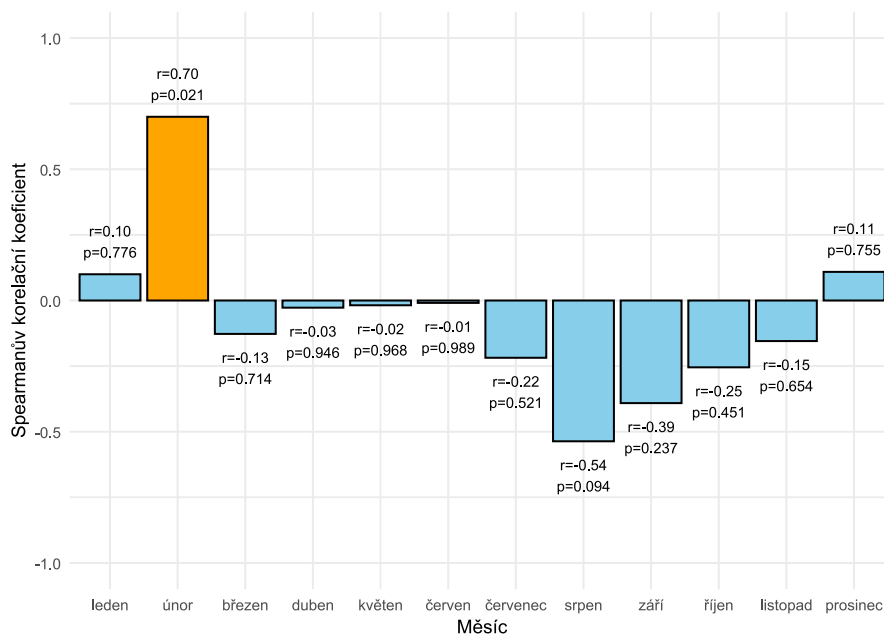


Graf 5 Spearmanova korelace odchylek průměrné teploty vzduchu se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)



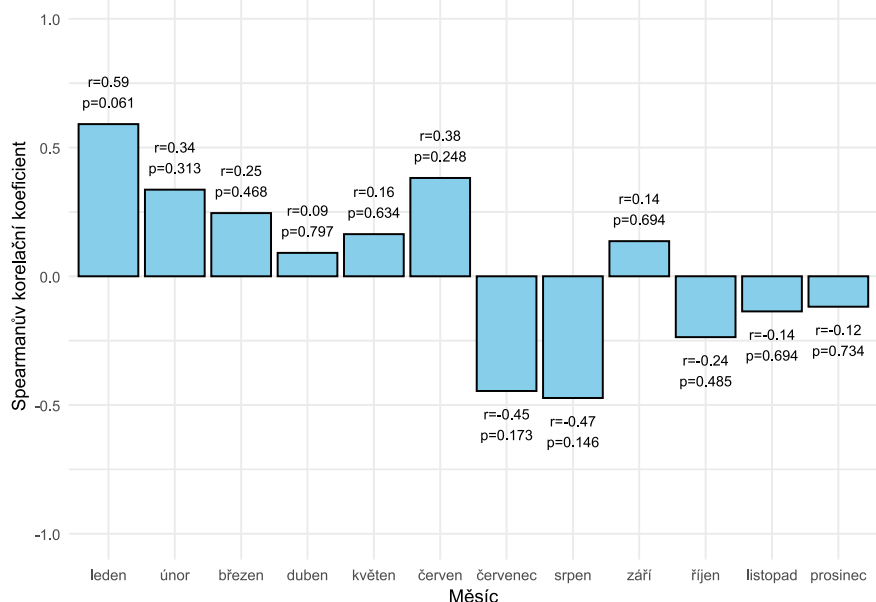
Graf 6 Spearmanova korelace odchylek minimální teploty vzduchu se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Výsledná korelace odchylek průměrné rychlosti větru vykazuje v únoru se ztrátami včelstev statisticky významnou a silnou pozitivní korelaci ($r = 0,70$; $p = 0,021$). Přestože záporná korelace v srpnu dosahuje hodnot blízko hranice statistické významnosti ($r = -0,54$; $p = 0,094$), v žádném dalším měsíci nebyl statisticky významný vztah prokázán. Výsledek korelace zachycuje Graf 7.



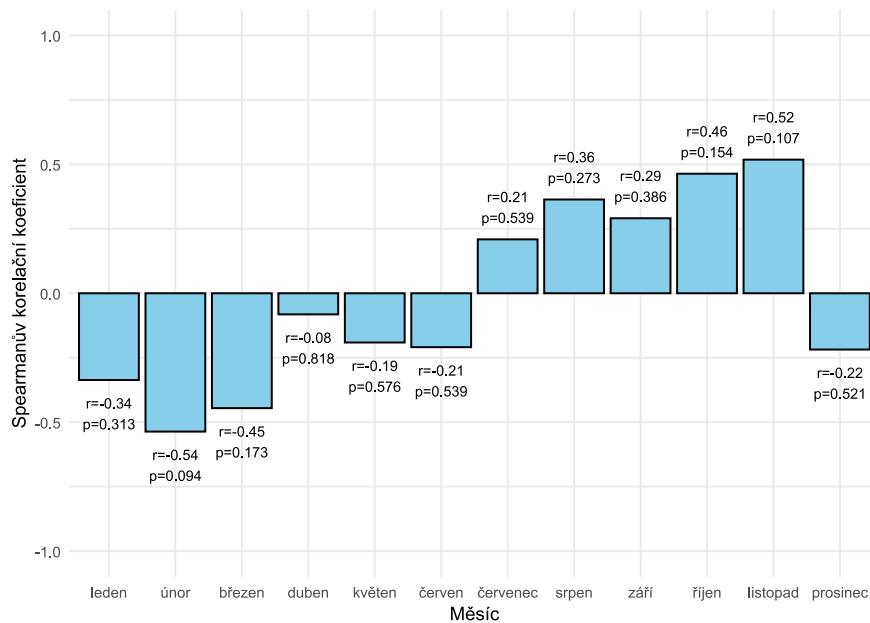
Graf 7 Spearmanova korelace odchylek průměrné rychlosti větru se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Ačkoliv Spearmanova korelace odchylek doby trvání slunečního svitu v lednu se zimními ztrátami včelstev dosáhla hodnot velmi blízkých statistické významnosti ($r = 0,59$; $p = 0,061$), v žádném měsíci nebyl statisticky významný vztah těchto dvou proměnných potvrzen (viz Graf 8).



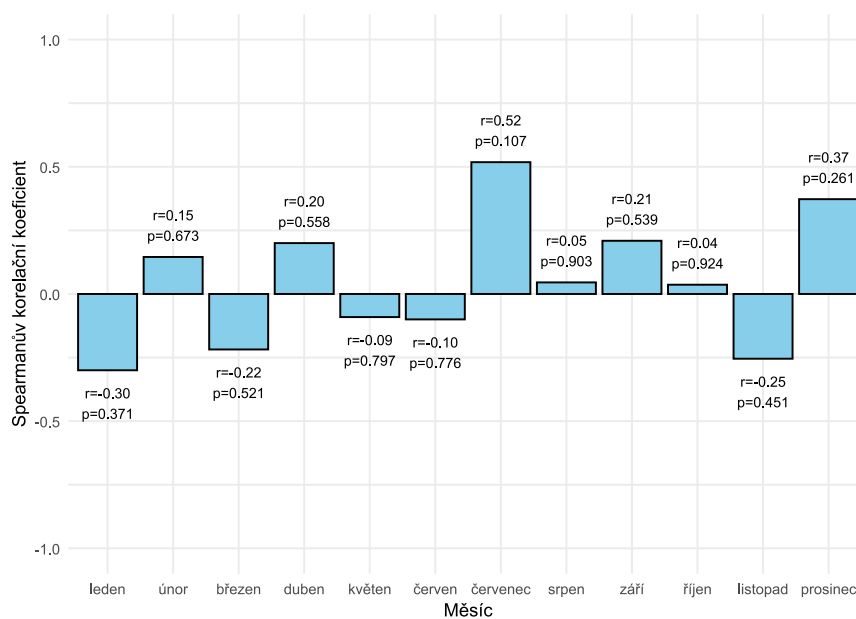
Graf 8 Spearmanova korelace odchylek doby trvání slunečního svitu se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Statisticky významná korelace se zimními ztrátami nebyla prokázána ani v případě relativní vlhkosti vzduchu v žádném ze sledovaných měsíců. Blízko hranice statistické významnosti byla pouze záporná korelace v únoru ($r = -0,54$; $p = 0,094$). Výsledek korelace znázorňuje Graf 9.



Graf 9 Spearmanova korelace odchylek relativní vlhkosti vzduchu se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Výsledek Spearmanovy korelace odchylek celkové sumy úhrnu srážek se ztrátami včelstev neprokázal v žádném měsíci statisticky významný vztah. V žádném z měsíců nebyla zjištěna ani korelace blízka hranici statistické významnosti (viz Graf 10).



Graf 10 Spearmanova korelace odchylek celkové sumy úhrnu srážek se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

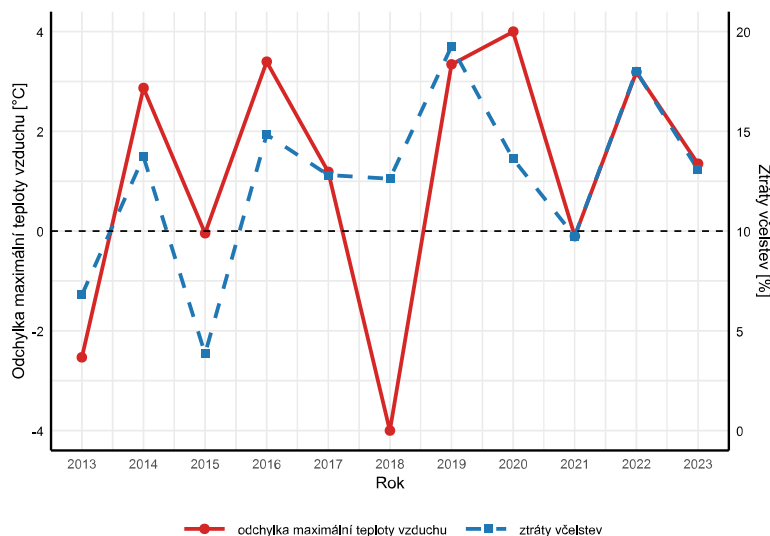
Na základě výše uvedených zjištění se autor práce domnívá, že **únor představuje klíčový měsíc pro správný rozvoj včelstev během sezóny**, neboť výraznější odchylky maximální, průměrné a minimální teploty vzduchu a průměrné rychlosti větru v tomto měsíci mohou předcházet zvýšeným zimním ztrátám v daném roce.

Další analýzy jsou prováděny pouze pro klimatické anomálie, u nichž byl v únoru zjištěn statisticky významný vztah ($p < 0,05$) se zimními ztrátami včelstev (zkoumání dalších proměnných a měsíců by vzhledem k jejich statistické nevýznamnosti nebylo opodstatněné). Jedná se o únorové anomálie klimatických proměnných TMAX, TMEAN, TMIN a WS (viz podkapitola 4.1.3).

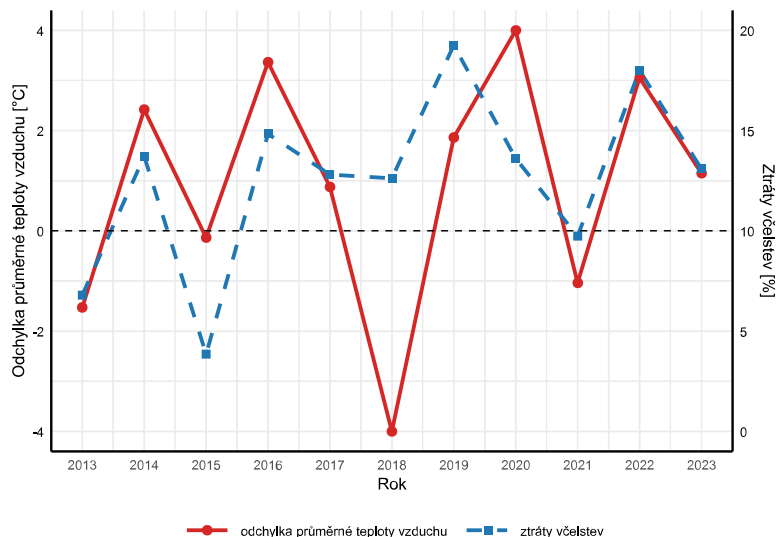
5.3.1 Srovnání hodnot klimatických anomálií a ztrát včelstev

Pro statisticky významné únorové odchylky bylo v programu RStudio provedeno grafické porovnání jejich hodnot se zimními ztrátami včelstev ve sledovaných letech pomocí spojnicového grafu – jedná se o vizuální interpretaci zjištěných odchylek a jejich možného vztahu k míře zimních úhynů.

Vyšší kladné hodnoty odchylek maximální a průměrné teploty vzduchu v únoru byly ve většině let spojeny se zvýšenými zimními ztrátami včelstev. Naopak při nižších či záporných hodnotách anomálií byly zpravidla zaznamenány menší hodnoty ztrát. V letech 2018 a 2020 byl ovšem tento zjištěný vztah výrazně slabší, neboť míra ztrát včelstev v těchto letech nekorelovala s hodnotami anomálií průměrné teploty vzduchu. Lze tedy předpokládat, že míru ztrát v těchto letech mohlo významně ovlivnit působení dalších okolních faktorů, které však nebyly předmětem zkoumání této práce. V nejméně ztrátovém roce 2015 byly v únoru zaznamenány téměř nulové teplotní odchylky. Naopak nejvíce ztrátový rok 2019 vykazoval téměř nejvyšší kladné hodnoty anomálie. Toto srovnání zachycuje Graf 11 a Graf 12.

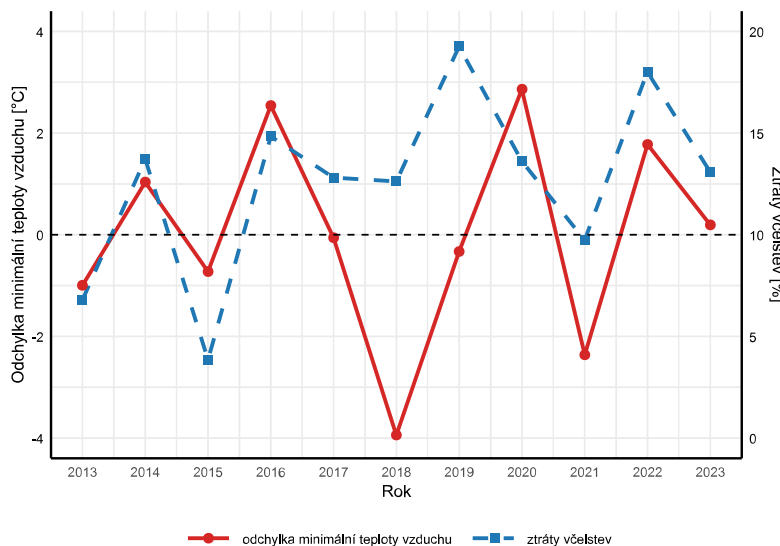


Graf 11 Srovnání odchylek maximální teploty vzduchu v únoru a ztrát včelstev napříč lety. (výstup z programu RStudio)



Graf 12 Srovnání odchylek průměrné teploty vzduchu v únoru a ztrát včelstev napříč lety. (výstup z programu RStudio)

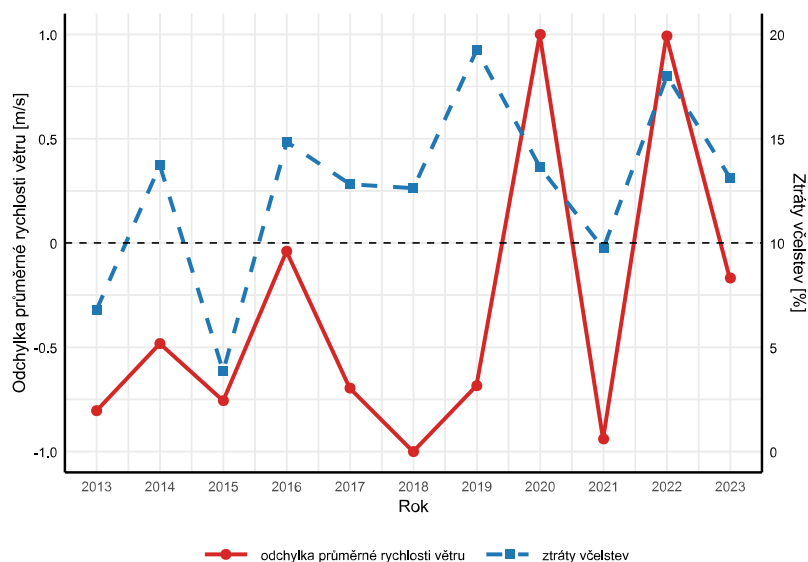
Také **vyšší kladné hodnoty únorových odchylek minimální teploty vzduchu ve většině sledovaných let předcházely vyšším zimním ztrátám** (viz Graf 13). Výraznější nesoulad s tímto vztahem byl zaznamenán v letech 2018 a 2019, kdy míra zimních ztrát nekorelovala s hodnotami anomálie. Zajímavým zjištěním je, že nejvíc ztrátový rok 2019 vykazoval velmi podobné hodnoty anomálií minimální teploty vzduchu jako nejméně ztrátový rok 2015.



Graf 13 Srovnání odchylek minimální teploty vzduchu v únoru a ztrát včelstev napříč lety. (výstup z programu RStudio)

Vyšší záporné odchylky průměrné rychlosti větru v únoru byly ve většině let spojeny s nižšími úhyny včelstev. Výjimkou jsou roky 2018 a 2019, kdy byl vztah mezi odchylkami a ztrátami méně zřetelný. Únor roku 2015 s nejnižšími ztrátami i únor roku 2019 s nejvyššími ztrátami včelstev vykazovaly téměř shodné hodnoty anomálie průměrné rychlosti větru, ovšem zjištěný rozsah únorových anomálií rychlosti větru byl oproti

odchylkám teplotních proměnných velmi malý (od -1 do 1 m/s), což může znamenat, že i malé odchylky rychlosti větru mohou mít významný dopad na včelstva. Tento výsledek je však nutné interpretovat s určitou mírou opatrnosti, neboť dle poznatků získaných v rešeršní části (kapitola 2) ovlivňuje rychlost větru především letovou aktivitu včel (Hennessy et al., 2020), nikoliv přímo úspěšnost zimování. Potenciální vliv tohoto faktoru na ztráty (dle dohledaných informací) nebyl doposud jednoznačně prokázán, a proto je žádoucí další výzkum zaměřený na podrobnější analýzu tohoto jevu. Přehled těchto odchylek znázorňuje Graf 14.



Graf 14 Srovnání odchylek průměrné rychlosti větru v únoru a ztrát včelstev napříč lety. (výstup z programu RStudio)

5.3.2 Srovnání ztrát podle hodnot klimatických anomálií

Pro statisticky významné anomálie byl dále proveden Kruskal–Wallisův test. Jedná se o neparametrickou (tj. na rozdělení nezávislou) metodu, která slouží k ověření, zda mezi porovnávanými skupinami existují statisticky významné rozdíly (Vargha a Delaney, 1998).

V prostředí RStudio byly **všechny záznamy PSČ automaticky rozděleny do kvartilů podle velikosti klimatických anomálií** (např. PSČ s 25 % nejnižších hodnot tvoří kvartil 1 apod.) a bylo zkoumáno, zda se ztráty včelstev mezi těmito kvartily statisticky významně liší (mezní hodnoty kvartilů zobrazuje Tabulka 1):

- **Kvartil 1 – nejnižší hodnoty anomálie (percentil 0–25)**
- **Kvartil 2 – nižší hodnoty anomálie (percentil 26–50)**
- **Kvartil 3 – vyšší hodnoty anomálie (percentil 51–75)**
- **Kvartil 4 – nejvyšší hodnoty anomálie (percentil 76–100)**

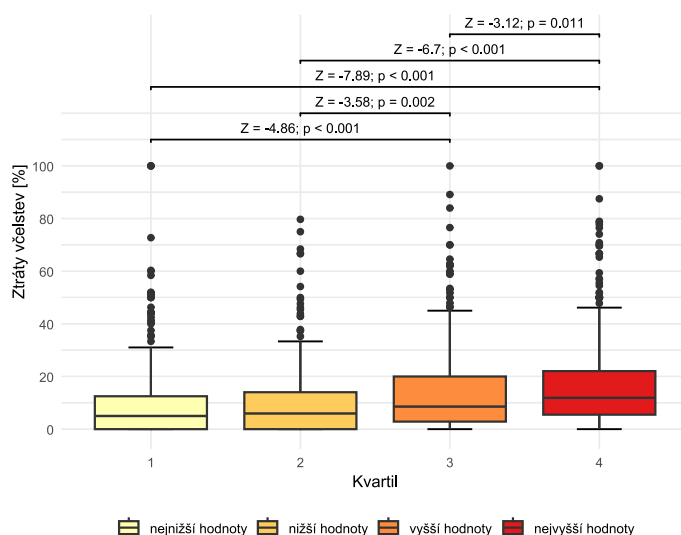
Tabulka 1 Mezní hodnoty porovnávaných kvartilů klimatických anomálií.

Klimatická anomálie	Kvartil 1	Kvartil 2	Kvartil 3	Kvartil 4
Anomálie maximální teploty vzduchu [°C]	<-6,37; -1,23)	<-1,23; 0,44)	<0,44; 2,05)	<2,05; 3,74>
Anomálie průměrné teploty vzduchu [°C]	<-5,44; -1,44)	<-1,44; 0,36)	<0,36; 1,81)	<1,81; 3,49>
Anomálie minimální teploty vzduchu [°C]	<-5,41; -1,06)	<-1,06; -0,02)	<-0,02; 1,71)	<1,71; 3,80>
Anomálie průměrné rychlosti větru [m/s]	<-1,44; -0,40)	<-0,40; -0,18)	<-0,18; 0,26)	<0,26; 1,74>

Pomocí Kruskal–Wallisova testu byl u všech klimatických anomálií prokázán statisticky významný rozdíl ve ztrátách včelstev mezi zkoumanými kvartily ($p < 0,001$).

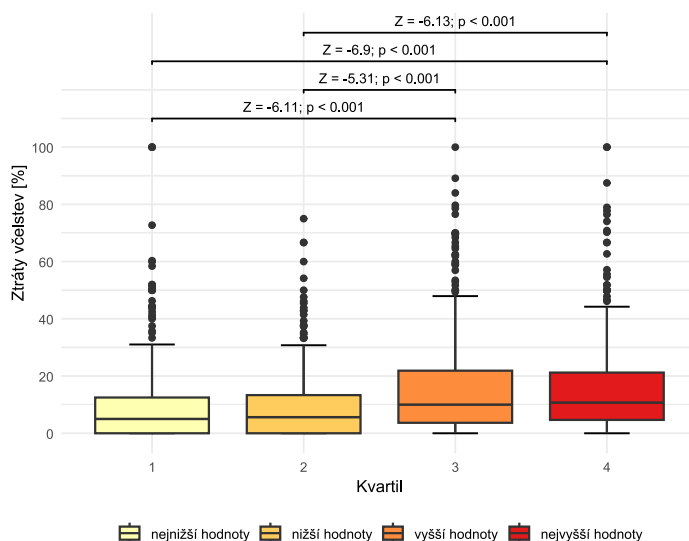
Kruskal–Wallisův test však pouze určuje, zda existuje statisticky významný rozdíl mezi porovnávanými kvartily, avšak neposkytuje informaci o tom, mezi kterými konkrétními kvartily tento rozdíl nastává. Z tohoto důvodu byl v programu RStudio proveden Dunnův test, který představuje vhodnou neparametrickou metodu pro vícenásobné párové porovnání, umožňující identifikovat konkrétní skupiny, mezi nimiž se rozdíl skutečně vyskytuje. Výsledky Dunnova testu byly upraveny pomocí Bonferroniho korekce, která snižuje riziko falešně pozitivních výsledků při vícenásobném testování prostřednictvím úpravy hladiny významnosti (Dinno, 2015).

Výsledky Dunnova testu odhalily statisticky významné rozdíly ve ztrátách včelstev mezi všemi porovnávanými kvartily odchylek maximální teploty vzduchu, s výjimkou kvartilů 1 a 2, kde rozdíl významný nebyl. Největší rozdíl byl zaznamenán mezi kvartilem 1 a 4 ($Z = -7,89$; $p < 0,001$), tedy mezi PSČ s nejnižšími a nejvyššími hodnotami anomálií maximální teploty vzduchu. Výsledky testu znázorňuje Graf 15.

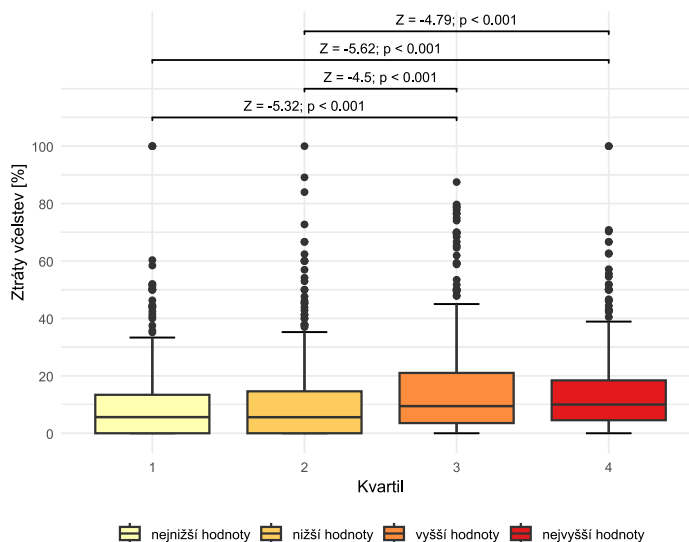


Graf 15 Rozdíly ve ztrátách včelstev mezi kvartily únorových odchylek maximální teploty vzduchu. Zobrazeny jsou pouze statisticky významné rozdíly mezi kvartily. (výstup z programu RStudio)

U většiny kvartilů anomálií průměrné a minimální teploty vzduchu byly rovněž zjištěny statisticky významné rozdíly v úhynech včelstev. Významný rozdíl se u těchto anomálií neprojevil pouze mezi kvartily 1 a 2 kvartily 3 a 4, což naznačuje, že ztráty včelstev v PSČ zařazených do těchto kvartilů byly srovnatelné. Naopak **největší rozdíly byly zaznamenány mezi kvartily 1 a 4.** Přehled výsledků znázorňuje Graf 16 a Graf 17.

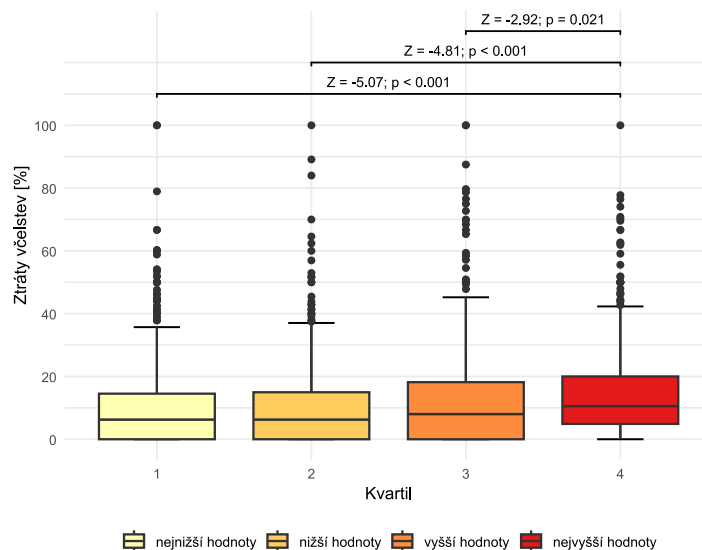


Graf 16 Rozdíly ve ztrátách včelstev mezi kvartily únorových odchylek průměrné teploty vzduchu. Zobrazeny jsou pouze statisticky významné rozdíly mezi kvartily. (výstup z programu RStudio)



Graf 17 Rozdíly ve ztrátách včelstev mezi kvartily únorových odchylek minimální teploty vzduchu. Zobrazeny jsou pouze statisticky významné rozdíly mezi kvartily. (výstup z programu RStudio)

Statisticky významné rozdíly mezi kvartily anomálií průměrné rychlosti větru byly zjištěny mezi kvartily 2 a 4 ($Z = -4,81; p < 0,001$), 3 a 4 ($Z = -2,92; p = 0,021$) a nejvýraznější rozdíl byl zaznamenán u kvartilů 1 a 4 ($Z = -5,07; p < 0,001$). Ostatní párová porovnání byla statisticky nevýznamná. Výsledky párového porovnání kvartilů shrnuje Graf 18.



Graf 18 Rozdíly ve ztrátách včelstev mezi kvartily únorových odchylek průměrné rychlosti větru. Zobrazeny jsou pouze statisticky významné rozdíly mezi kvartily. (výstup z programu RStudio)

Výsledky Kruskal–Wallisova a navazujícího Dunnova testu naznačují, že **PSČ, v nichž byly v únoru během let 2013–2023 zaznamenány nejvyšší hodnoty klimatických anomálií (kvartil 4), měly statisticky významné vyšší ztráty včelstev oproti PSČ s nejnižšími hodnotami anomálií (kvartil 1).**

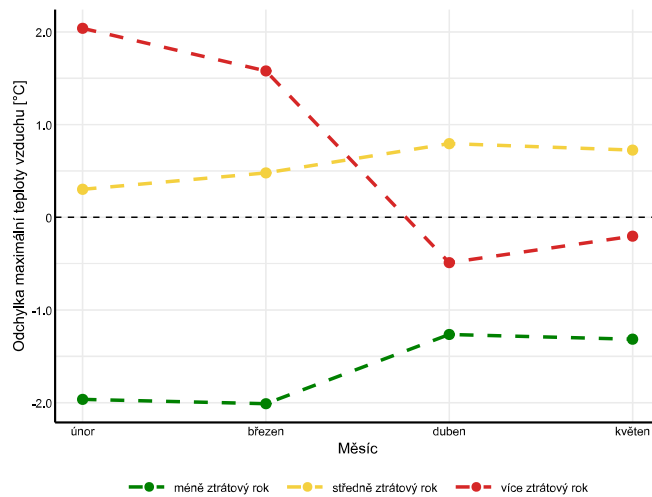
5.3.3 Srovnání hodnot anomálií podle míry zimních ztrát

Protože se únor ukázal jako statisticky významný měsíc a například teplota vzduchu od února do května hraje klíčovou roli v rozvoji včelstev během roku (Bergmann, 1985), bylo dále vizuálně zkoumáno, jak se v tomto období liší hodnoty klimatických anomálií. **Sledované roky byly rozděleny do tří skupin podle hodnot zimních ztrát** (tyto skupiny byly stanoveny tak, aby zahrnovaly roky s podobnou mírou úhynů včelstev, viz Graf 1):

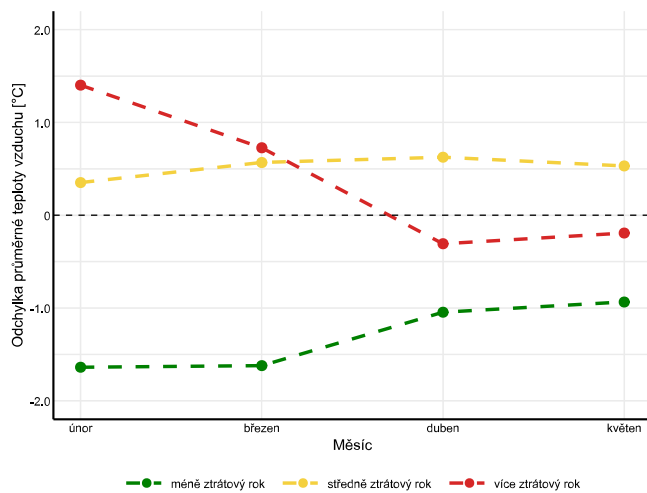
- **méně ztrátové roky** (do 10 %)
- **středně ztrátové roky** (10,1–15 %)
- **více ztrátové roky** (nad 15 %)

V programu RStudio byly vytvořeny spojnicové grafy, které zachycují průměrné hodnoty statisticky významných klimatických anomálií od února do května podle jednotlivých skupin ztrát.

Vysoké kladné anomálie teploty vzduchu v měsících únoru a březnu byly pozorovány v letech s vysokými zimními ztrátami včelstev. Hodnoty anomálií mezi březnem a dubnem poměrně výrazně klesají a přecházejí do záporných hodnot. Středně ztrátové roky se vyznačují poměrně stabilními a spíše nižšími kladnými anomáliemi v průběhu celého sledovaného období. U méně ztrátových let lze naopak pozorovat vyšší záporné anomálie, které mezi březnem a dubnem klesají. Toto porovnání zachycuje Graf 19 a Graf 20.

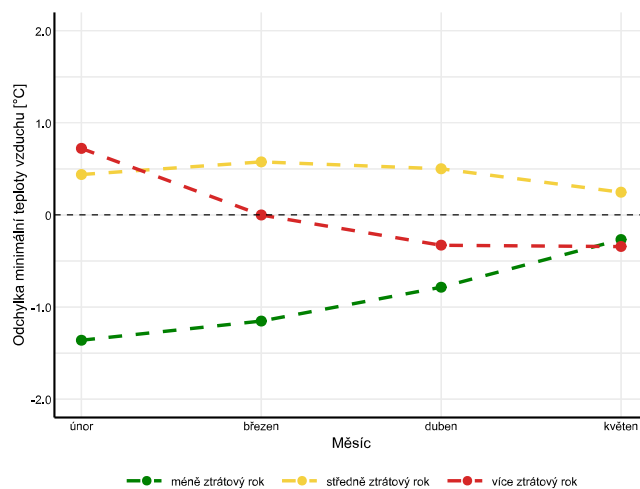


Graf 19 Srovnání odchylek maximální teploty vzduchu od února do května podle výše ročních ztrát včelstev. (výstup z programu RStudio)



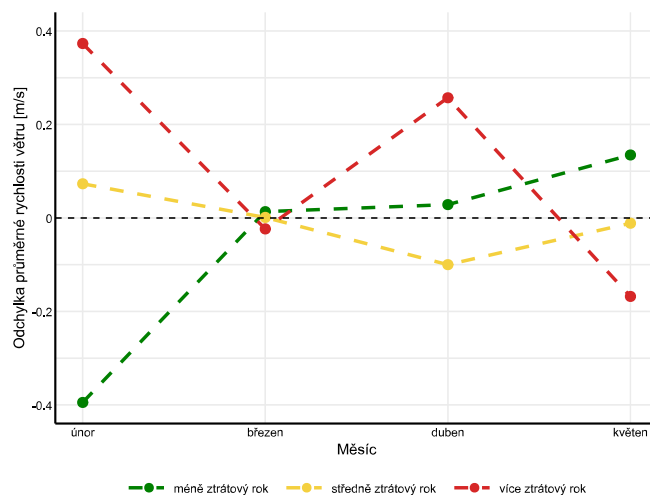
Graf 20 Srovnání odchylek průměrné teploty vzduchu od února do května podle výše ročních ztrát včelstev. (výstup z programu RStudio)

Více a středně ztrátové roky vykazují v únoru velmi podobné hodnoty anomálie minimální teploty vzduchu. U více ztrátových let je však patrná téměř nulová odchylka minimální teploty v březnu, po níž následuje pokles do záporných hodnot v následujících měsících. Středně ztrátový rok se vyznačuje stabilními hodnotami anomálie v celém sledovaném období. Naopak nejméně ztrátové roky jsou charakteristické trvale vyššími zápornými anomáliemi, jejichž hodnoty postupně klesají. Toto porovnání znázorňuje Graf 21.



Graf 21 Srovnání odchylek minimální teploty vzduchu od února do května podle výše ročních ztrát včelstev. (výstup z programu RStudio)

V případě anomálií průměrné rychlosti větru jsou u velmi ztrátových let patrné výrazné změny v průběhu celého sledovaného období, přičemž nejvyšší kladné odchylky byly v těchto letech zaznamenány v únoru, nejvyšší záporné naopak v květnu. Středně ztrátové roky vykazují ve všech sledovaných měsících téměř nulové hodnoty anomálií. Méně ztrátové roky se vyznačují výraznější zápornou anomálií v únoru, zatímco ve zbývajících měsících se hodnoty pohybují blízko nuly. Ve všech třech skupinách byly v březnu zaznamenány téměř nulové odchylky průměrné rychlosti větru (viz Graf 22).



Graf 22 Srovnání odchylek průměrné rychlosti větru od února do května podle výše ročních ztrát včelstev. (výstup z programu RStudio)

Vizuální porovnání průměrných hodnot (za období 2013–2023) klimatických anomálií v období od února do května naznačuje, že **nadprůměrně teplý únor a březen a výraznější kolísání rychlosti větru v jarním období mohou nepříznivě ovlivňovat míru ztrát včelstev**. Je však nutné tato zjištění interpretovat s určitou mírou opatrnosti, neboť se jedná pouze o vizuální interpretaci rozdílů mezi ztrátovými skupinami v tomto období, a statisticky významný vliv klimatických anomálií byl prokázán pouze v únoru.

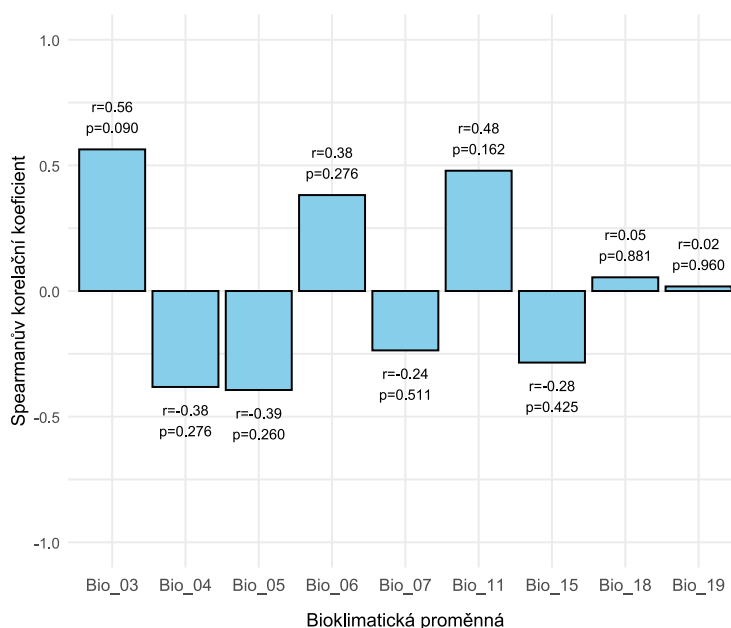
5.4 Určení významnosti bioklimatických proměnných

Mezi hlavní výsledky práce patří rovněž **identifikace bioklimatických proměnných, jejichž meziroční výkyvy měly nejvýznamnější dopad na včelstva**. Tato kapitola se zaměřuje na analýzu jejich vlivu na ztráty včelstev.

Dopad bioklimatických proměnných na včelstva byl, stejně jako v případě klimatických anomálií v podkapitole 5.3.1, analyzován pomocí Spearmanova korelačního koeficientu.

V programu RStudio byla pro vstupní tabelární data (viz kapitola 4.6) vypočtena korelace bioklimatických proměnných uvedených v kapitole 4.7 vůči zimním ztrátám včelstev. Pro každý rok (2013–2022) byla nejprve stanovena průměrná hodnota úhynů a jednotlivých proměnných napříč všemi analyzovanými PSČ. Následně byl pro každou proměnnou vypočten korelační vztah se ztrátami napříč těmito lety – tento způsob umožňoval určit bioklimatické proměnné, jejichž meziroční výkyvy měly největší vliv na včelstva. Nicméně rok 2023 nebyl do této analýzy zahrnut, neboť v době stahování klimatických dat nebyla k dispozici data za leden 2024, která jsou nezbytná pro výpočet bioklimatických proměnných za meziroční období 2023–2024.

Výsledky Spearmanovy korelace naznačují, že žádná z bioklimatických proměnných nevykazuje vůči zimním ztrátám včelstev statisticky významný vztah (u všech proměnných je hodnota $p > 0,05$), a to i přesto, že Bio 3 dosahuje hodnot blízko hranice statistické významnosti ($r = 0,56$; $p = 0,090$). Z tohoto důvodu nebyly pro žádnou z těchto proměnných prováděny další statistické analýzy. Jejich další zkoumání by s ohledem na statistickou nevýznamnost nebylo opodstatněné. Výsledek testu zobrazuje Graf 23.

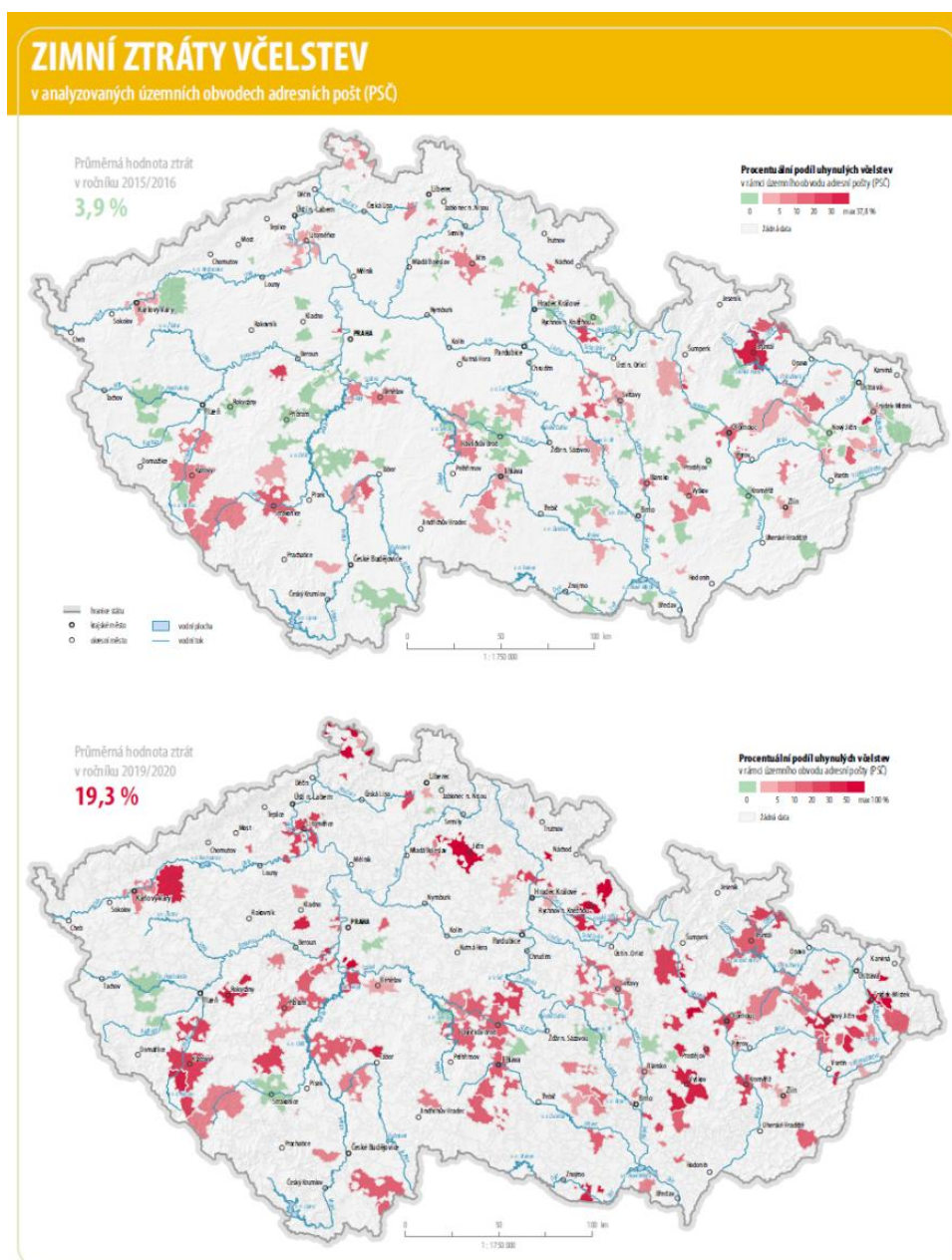


Graf 23 Spearmanova korelace bioklimatických proměnných se ztrátami včelstev. (výstup z programu RStudio)

Bioklimatické proměnné jsou nejčastěji průměrovány na úroveň čtvrtletí (všechny výpočty proměnných popisují O'Donnell a Ignizio (2012)), avšak z takto agregovaných dat nelze vyčíst statisticky významný vztah mezi jednotlivými proměnnými a mírou ztrát, což může naznačovat, že výraznější dopady na včelstva mohou mít spíše individuální měsíce (viz kapitola 5.3).

5.5 Znázornění problematiky zimních ztrát včelstev

Za účelem přiblížení problematiky zimních ztrát včelstev byla vytvořena dvojice map (Obr. 31), porovnávající úhyny včelstev ve 143 analyzovaných PSČ v nejméně ztrátovém (2015/2016) a nejvíce ztrátovém ročníku monitoringu (2019/2020). Na těchto mapách je dobře patrný rozdíl nejen v celkové míře ztrát, ale i v jejich prostorovém rozložení. V ročníku 2015/2016 byly hodnoty ztrát ve většině PSČ velmi nízké, mnohdy dokonce nulové, a vysoké ztráty byly zaznamenány pouze ojediněle. Oproti tomu v ročníku 2019/2020 došlo k výraznému nárůstu úhynů napříč celým územím České republiky. Přestože většina včelařů považuje ztráty včelstev do 20 % za přijatelné (Ganie et al., 2024), v řadě oblastí byly zaznamenány hodnoty, které tuto pomyslnou hranici výrazně převyšují. Vytvořené mapy jsou součástí vázaných příloh jako Příloha 3 a 4.



Obr. 31 Srovnání zimních ztrát včelstev v nejméně ztrátovém (2015/2016) a nejvíce ztrátovém (2019/2020) ročníku v analyzovaných PSČ. Mapy jsou dostupné samostatně jako vázané přílohy 3 a 4. (zdroj: autor, databáze COLOSS)

6 DISKUZE

V průběhu řešení bakalářské práce se vyskytla řada problémů a nedokonalostí v datech a metodických postupech, které musel autor řešit a které ovlivnily postup zpracování.

Klimatická data

Na samotném začátku stojí za zmínku stahování klimatických dat z datové sady Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ. Dle dohledaných informací doposud neexistuje žádný volně dostupný návod ani nástroj, který by umožňoval hromadné stahování a následnou úpravu denních záznamů z uvedené datové sady. Z tohoto důvodu byla vytvořena vlastní sada skriptů v programovacím jazyce Python (kapitola 4.1), která zpracování dat umožňuje. Přestože by bylo technicky proveditelné upravit skripty tak, aby celý postup probíhal bez nutnosti manuálních zásahů ze strany uživatele, bylo by toto řešení časově i zpracovatelsky příliš náročné.

Kvalita získaných klimatických dat mohla být do jisté míry ovlivněna způsobem jejich zpracování, neboť výběr validních záznamů meteorologických stanic vycházel pouze z omezeného rozsahu informací uvedených v dostupném metadatovém souboru. Denní záznamy, u nichž byla autorem vyhodnocena nedostatečná kvalita, nebyly dále zahrnuty do výpočtu měsíčních a ročních hodnot klimatických proměnných (viz podkapitola 4.1.3).

Interpolační modely klimatických dat

Část, u níž si je autor vědom jistých nedostatků, je tvorba interpolačních modelů klimatických proměnných (kapitola 4.2). Použitá metodika Možného et al. (2023), ze které autor při sestavování modelů vycházel, poskytuje pouze nepříliš detailní postup interpolace dat. Kromě základního nastavení (např. druh interpolační metody, prostorové rozlišení výstupního rastru apod.) nejsou v metodice podrobněji popsány dílčí kroky tvorby modelů, což může vést k případným nepřesnostem výsledného postupu. Dopad možných nepřesností v nastavení modelů na kvalitu provedené interpolace nelze ovšem podle autora jednoznačně posoudit.

Postup, ve kterém se výrazněji odlišuje tvorba modelu úhrnu srážek od postupu popsaném v metodice Možného et al. (2023), je výpočet lineární regrese (viz podkapitola 4.2.2). Tento výpočet byl pro každý pixel proveden na základě hodnot z osmi nejbližších meteorologických stanic, ale bez metodikou pevně stanoveného okruhu 15 km, v jehož rámci by se měly okolní stanice nacházet. Přestože bylo v práci celkem použito více vstupních stanic, než kolik je uvedeno v metodice, nebylo možné tento krok realizovat bez zmíněného vypuštění 15 km vzdálenosti, neboť v některých případech se ani 8 pro výpočet potřebných stanic v 15 km okruhu nenacházelo. Hodnota lineární regrese vyšla u několika stanic záporná, což naznačuje, že model v těchto místech velmi špatně vysvětluje variabilitu, ovšem nelze s jistotou říct, jak moc špatně (Chicco et al., 2021). Vzhledem k tomu, že tento problém není v použité metodice popsán, byly negativní hodnoty podle Mittlböck (2002) převedeny na nulovou hodnotu. Otázkou však zůstává, jaký vliv by mělo na výslednou interpolaci případné vynechání těchto stanic.

Pro implementaci metody *CoKriging* v prostředí ModelBuilder (podkapitoly 4.2.1 a 4.2.2) byl zvolen postup podle Dilts (2011), který však upozorňuje, že tento přístup je vhodné použít pouze pokud se prostorové charakteristiky interpolovaných dat výrazně neliší. Jelikož se jedná (dle dohledaných informací) o jedinou možnost přímé implementace metody *CoKriging* v prostředí ModelBuilder, nebyl tento aspekt dále podrobněji zkoumán.

Dalším problémem byla nutnost využití nástroje *Create Geostatistical Layer*, který je v rámci modelů opakovaně použit, a s tím spojená komplikace, že jeho specifické nastavení neumožňuje prvotní spuštění modelu pomocí okna Geoprocessing. Vzhledem k tomu, že nalezení alternativního řešení by bylo časově velmi náročné, bylo využito nastavení modelů uvedené v podkapitolách 4.2.1 a 4.2.2.

Dotazníkové šetření asociace COLOSS

Jednotlivé záznamy z dotazníkového šetření asociace COLOSS lze lokalizovat na úrovni krajů, okresů, obcí a územních obvodů adresních pošt (PSČ). S cílem zachování vyšší lokalizační přesnosti ve větších městech bylo zvoleno územní členění podle jednotlivých PSČ. Otázkou však zůstává, do jaké míry zvolený způsob prostorového vymezení ovlivnil výsledky statistického testování (viz kapitoly 5.3 a 5.4). Vrstva PSČ je totiž velmi nehomogenní a obsahuje i větší oblasti pokrývající více menších obcí. Přestože použití PSČ ve městech představuje vhodnější řešení, v mimoměstských oblastech může snižovat prostorovou přesnost lokalizace tamních ztrát.

Kromě nižšího počtu respondentů v počátečních letech dotazníkového šetření asociace COLOSS je největším omezením datové sady její nízká reprezentativita, neboť se každoročně do monitoringu zapojuje pouze určitá část včelařů. Poskytnutá polygonová vrstva ZIP obsahovala již vypočtenou míru reprezentativity vůči referenčním údajům o počtu včelstev z databáze Ministerstva zemědělství (MZe). Původním záměrem bylo použít oblasti, kde počet včelstev dosahuje alespoň 2 % z celkového evidovaného počtu včelstev podle dat MZe – tímto způsobem by například došlo k vyloučení PSČ, v němž ztrátu nahlásil jediný včelař s jedním uhynulým včelstvem ze svých dvou (tj. ztráta 50 % za celé PSČ), avšak při existenci dalších 1 000 včelstev v této oblasti se může reálná hodnota ztrát výrazně lišit. Použití reprezentativity by však vedlo k výraznému snížení velikosti reprezentativního vzorku PSČ (viz kapitola 4.6), a proto nebyla v této práci nakonec zohledněna. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je nutné výsledky interpretovat s určitou mírou opatrnosti, neboť mohly být tímto faktorem částečně ovlivněny.

Dalším nedostatkem datové sady je pouze omezená dostupnost některých sledovaných ukazatelů. Původním záměrem bylo analyzovat vliv vývoje klimatu nejen na zimní ztráty včelstev, ale také na výskyt nemocí, intenzitu snůšky, medný výnos a případně i další ukazatele zaznamenávané v rámci dotazníkového šetření asociace COLOSS. Za celé sledované období však datová sada obsahuje pouze údaje o počtu zazimovaných a následně uhynulých včelstev. Vzhledem k omezené dostupnosti ostatních ukazatelů dotazníkového šetření byl v práci zkoumán pouze dopad vývoje klimatu na zimní ztráty včelstev.

Datová sada zahrnuje mimo jiné také údaj o délce včelařské praxe jednotlivých respondentů, který představuje významný faktor ovlivňující spolehlivost poskytnutých údajů. Lze totiž předpokládat, že se méně zkušenější včelaři mohou při chovu včelstev dopouštět častějších chyb, čímž zvyšují riziko úhynů svých včelstev. Vyloučení těchto respondentů by mohlo přispět k objektivnějšímu posouzení dopadu klimatických změn na zimní ztráty včelstev, nicméně kvůli absenci těchto údajů v počátečních ročních monitoringu nebyla uvedena skutečnost v práci zohledněna.

Klimatické anomálie

K tvorbě klimatických anomálií je nutno podotknout, že jejich hodnoty byly vypočítány vůči dlouhodobým průměrům klimatických proměnných v rámci sledovaného období 2013–2023, nikoliv oproti klimatickému normálu 1991–2020. Pro výpočet oproti normálu by v prostředí ArcGIS Pro byla potřeba zpracování klimatických dat za celé období normálu, což by bylo zpracovatelsky a časově velmi náročné a z těchto důvodů bylo od tohoto postupu upuštěno.

Bioklimatické proměnné

Nedostatkem při výpočtu bioklimatických proměnných (podkapitola 4.5.1) byla absence klimatických dat za rok 2024, která v době jejich zpracování nebyla dostupná. Z tohoto důvodu nebylo možné vytvořit bioklimatické proměnné pro meziroční období 2023–2024, a statistické testování vycházelo pouze z deseti meziročních intervalů.

Postup, ve kterém se odlišuje výpočet bioklimatických proměnných od postupu popsaném O'Donnell a Ignizio (2012), je jejich výpočet od začátku února daného roku do konce ledna roku následujícího, namísto standardního výpočtu podle kalendářních let. Tato úprava byla zvolena, neboť klíčovou roli v rozvoji včelstev během roku hraje teplota vzduchu právě od února do května (Bergmann, 1985). I tato úprava výpočtu však mohla ovlivnit výsledky statistické analýzy (kapitoly 5.3 a 5.4).

Nedostatky statistického testování

Poslední částí, u níž si je autor vědom jistých nedokonalostí, je statistické vyhodnocení dopadu zkoumaných klimatických anomálií a bioklimatických proměnných na ztráty včelstev. Je třeba zohlednit skutečnost, že se reprezentativní PSČ (viz kapitola 4.6) mohou nacházet v oblastech s velmi rozdílnými charakteristikami prostředí (např. z hlediska nadmořské výšky, krajinného pokryvu, přítomnosti chorob a parazitů, dostupnosti melecitózy, ale i zkušenostmi včelařů apod.), které mohou včelstva významně ovlivňovat. Například oblasti s intenzivním monokulturním zemědělstvím (Aizen a Harder, 2009) nebo vysokým stupněm urbanizace (Hung et al., 2018) mohou omezovat dostupnost tamní včelí pastvy, jejíž nedostatek má negativní dopad na zdravotní stav včelstev (Ali et al., 2023; Neov et al., 2019). Vzhledem k tomu, že statistické testování PSČ na základě podobnosti environmentálních faktorů není cílem této práce, nebyly tyto faktory nijak zohledněny.

Možná rozšíření do budoucna

Do budoucna by bylo vhodné, s ohledem na rostoucí počet respondentů, rozšířit práci o zkoumání vlivu klimatických anomálií a bioklimatických proměnných i na další dostupné ukazatele dotazníkového šetření asociace COLOSS (např. výskyt nemocí, intenzita snůšky, medný výnos apod.), než pouze na úspěšnost zimování včelstev. Například výskyt nemocí a parazitů je na území Evropy často spojován s vyššími ztrátami včelstev (Neov et al., 2019). Je tedy potřeba dále zkoumat souvislosti nejen mezi změnou klimatu a zimními úhyny včelstev, ale i dalšími faktory, které mohou rovněž ovlivňovat fungování a zdravotní stav včelstev *A. mellifera* během roku.

Vhodným rozšířením práce by bylo počítat klimatické anomálie vůči klimatickému normálu z let 1991–2020 a porovnat, do jaké míry by se lišily výsledky statistického testování oproti zjištěním uvedeným v této práci. Zohlednění klimatického normálu při výpočtu anomálií by umožnilo identifikaci odchylek od dlouhodobých klimatických podmínek, což může přispět k relevantnějšímu posouzení vlivu klimatických faktorů na úspěšnost zimování včelstev.

Další návazností práce může být i zkoumání vlivu týdenních a sezónních klimatických odchylek na včelstva. Přestože analýza měsíčních anomálií umožňuje poměrně detailní identifikaci odchylek klimatických proměnných, nedokáže vystihnout případnou rizikovitost konkrétních týdnů či ročních období. Tato zkoumání mohou dále odhalit riziková období v průběhu roku a přispět k hlubšímu porozumění dopadu změn klimatu na včelstva.

Z výsledků práce vyplývá, že únor představuje klíčový měsíc pro rozvoj včelstev během roku. Zajímavým rozšířením do budoucna by proto byla tvorba predikčního modelu, který by na základě únorových (případně jarních) odchylek klimatických proměnných dokázal předpovídat ztráty včelstev v daném roce a poskytoval by včelařům včasné informace o možném riziku zvýšených úhynů v konkrétních oblastech.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo **analyzovat vývoj klimatu na území Česka v průběhu let 2013–2023 a určit jeho dopad na včelstva včely medonosné (*Apis mellifera*)**. Hodnocení vlivu vývoje klimatu bylo provedeno na základě vypočítaných klimatických anomálií a bioklimatických proměnných, a to ve vztahu k zimním ztrátám včelstev zaznamenaným prostřednictvím dotazníkového šetření asociace COLOSS.

Rešerše byla věnována popisu včely medonosné (*A. mellifera*), jejímu významu mezi opylovači rostlin a vlivu klimatických a povětrnostních podmínek na její životní projevy. Dále byl popsán dopad patogenů, parazitů, invazních druhů a pesticidů na zdravotní stav včelstev, včetně způsobu, jakým mohou změny klimatu přispívat k jejich šíření a zesilování negativních účinků těchto faktorů. Byla přiblížena činnost mezinárodní asociace COLOSS, jejímž cílem je identifikovat a analyzovat souvislosti mezi zimními ztrátami včelstev a vlivy okolního prostředí (Daníhlík, 2025). Zároveň byly analyzovány dostupné klimatické datové sady pro území Česka, které poskytují záznamy za celé sledované období. Na základě rešerše **byla vybrána datová sada Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ a 7 klimatických proměnných**, které dle dostupných informací ovlivňují chování a fyziologii včel.

V praktické části byla nejprve stažena a zpracována **data z meteorologických stanic** pomocí sady **automatizačních skriptů** vytvořených v programovacím jazyce Python, a to tak, aby byla zajištěna kvalita a použitelnost získaných dat. Pro interpolaci získaných dat byly v prostředí Model Builder vytvořeny **interpoláčnı modely**, jejichž výstupem byly zinterpolované rastry klimatických proměnných. Z těchto rastrových dat byly následně v programu ArcGIS Pro vypočteny **klimatické anomálie** pro jednotlivé měsíce v letech 2013–2023 a pomocí samostatného Python skriptu byl vypočten soubor celkem **19 bioklimatických proměnných** pro meziroční období 2013–2014 až 2022–2023. Dále byla zpracována data **úspěšnosti zimování včelstev** z dotazníkového šetření asociace COLOSS, agregovaná na úroveň územních obvodů adresních pošt (PSČ). Na podkladu těchto dat byl vytvořen reprezentativní vzorek PSČ obsahující záznamy, u nichž byly k dispozici záznamy o ztrátách včelstev v každém roce sledovaného období 2013–2023. Z těchto PSČ byly v programu ArcGIS Pro vytvořeny **mapy** znázorňující problematiku zimních ztrát včelstev, které byly následně graficky upraveny programem Adobe Illustrator.

Veškerá další práce probíhala v programu RStudio, kde bylo provedeno **statistické testování dopadu klimatických anomálií a bioklimatických proměnných na včelstva**. U klimatických anomálií byl zkoumán jejich vliv na ztráty včelstev v jednotlivých kalendářních měsících, dále zda existují statisticky významné rozdíly v zimních ztrátách mezi PSČ s odlišnými hodnotami anomálií a byly vizuálně porovnány i rozdíly hodnot anomálií v závislosti na míře zimních ztrát. V případě bioklimatických proměnných byl zkoumán pouze vliv daných proměnných na včelstva.

Na základě výsledků této práce lze soudit, že únor představuje klíčové období pro správný rozvoj včelstev v nadcházející sezoně, neboť **zvýšené únorové anomálie teploty vzduchu a rychlosti větru mohou negativně ovlivňovat zimní ztráty včelstev**. Přestože výsledky práce poskytují včelařům i odborné a laické veřejnosti cenné poznatky o dopadech změn klimatu na včelstva v České republice, jejich reálný přínos bude do jisté míry záviset na dalším vývoji klimatu a na schopnosti včelařů se těmto změnám v následujících letech účinně přizpůsobit.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ABDI, Hervé a Lynne J. WILLIAMS, 2010. Principal component analysis. *WIREs Computational Statistics* [online]. **2**(4), 433-459 [cit. 2025-04-15]. ISSN 1939-5108. Dostupné z: doi:10.1002/wics.101

AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY a KRAJINY ČR, 2025. Sršeň asijská. *AOPK ČR: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [online]. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://invaznidruhy.aopk.gov.cz/srsen-asijska>

AIZEN, Marcelo A. a Lawrence D. HARDER, 2009. The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology* [online]. **19**(11), 915-918 [cit. 2025-02-23]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2009.03.071

ALI, Mahmoud Abbas, Islam M. ABDELLAH a Mohamed R. ELETMANY, 2023. CLIMATE CHANGE IMPACTS ON HONEYBEE SPREAD AND ACTIVITY: a SCIENTIFIC REVIEW. *Chelonian Conservation And Biology* [online]. **18**(2), 531-554 [cit. 2025-05-02]. ISSN 1071-8443. Dostupné z: doi:10.18011/2023.10(2).531.554

BERGMANN, Joachim Hans, 1985. Vývoj plodového hnízda na jaře v závislosti na denních maximálních teplotách. *Odborné včelařské překlady*. Praha: Český svaz včelařů, **1985**(01), 29. ISSN 0322-8851.

BIEMANN, Ondřej, 2023. *PROSTOROVĚ ZALOŽENÝ MODEL PRO PREDIKCI POTENCIÁLNÍHO VÝSKYTU SRŠNĚ ASIJSKÉ v ČESKÉ REPUBLICE* [online]. Olomouc [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/magisterske/biemann23/text/DP_Biemann.pdf. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky. Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

BOSILOVICH, Michael G., 2013. Regional Climate and Variability of NASA MERRA and Recent Reanalyses: U.S. Summertime Precipitation and Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* [online]. **52**(8), 1939-1951 [cit. 2025-03-17]. ISSN 1558-8424. Dostupné z: doi:10.1175/JAMC-D-12-0291.1

BURROUGH, P. A., Rachael MCDONNELL a Christopher D. LLOYD, c2015. *Principles of geographical information systems*. Third edition. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-874284-5.

CENIA, 2024. Historická meteorologická data měřená v síti stanic ČHMÚ. CENIA. *Národní geoportál INSPIRE* [online]. [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/php/micka/?Bbox=&Text=Historick%C3%A1+meteorologick%C3%A1+data+m%C4%9B%C5%99en%C3%A1+v+s%C3%ADti+stanic+%C4%8CHM%C3%A9&wtxt=0&sort=title&sd=A>

CERASOLI, Francesco, Paola D'ALESSANDRO a Maurizio BIONDI, 2022. Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between-version mismatches in Habitat Suitability Models predictions across Europe. *Ecology and Evolution* [online]. **12**(2), 1-20 [cit. 2025-03-18]. ISSN 2045-7758. Dostupné z: doi:10.1002/ece3.8430

CLARKE, Dominic a Daniel ROBERT, 2018. Predictive modelling of honey bee foraging activity using local weather conditions. *Apidologie* [online]. (3), 386-396 [cit. 2025-01-27]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1007/s13592-018-0565-3

COLOSS ČESKÁ REPUBLIKA, 2020. *JAK je na TOM NAŠE VČELÁŘENÍ?* [online]. [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: <https://www.coloss.cz/story/>

COLOSS, 2025. *Who we are* [online]. [cit. 2025-02-24]. Dostupné z: <https://coloss.org/who-we-are/>

COOPER, Paul D., William M. SCHAFFER a Stephen L. BUCHMANN, 1985. Temperature Regulation Of Honey Bees (*Apis Mellifera*) Foraging In The Sonoran Desert. *Journal of Experimental Biology* [online]. 1985-01-01, **114**(1), 1-15 [cit. 2025-03-02]. ISSN 0022-0949. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.114.1.1

CORNES, Richard C., Gerard VAN DER SCHRIER, Else J. M. VAN DEN BESSELAAR a Philip D. JONES, 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [online]. 2018-09-16, **123**(17), 9391-9409 [cit. 2025-03-17]. ISSN 2169-897X. Dostupné z: doi:10.1029/2017JD028200

CZECHGLOBE. Informace o projektu. *ClimRisk - jak se u vás změní klima?* [online]. 2025 [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://www.climrisk.cz/o-projektu/>

ČAVOJSKÝ, Valent, Oldřich HARAGS, Ludmila HARAGSIMOVÁ, Milan KRESÁK a Michal MAČIČKA, 1981. *Včelárstvo*. Bratislava: Příroda.

ČESKÁ POŠTA. Vyhledávání PSČ a doručovacích informací. ČESKÁ POŠTA. *Pošta online* [online]. 2025 [cit. 2025-03-29]. Dostupné z: <https://www.postaonline.cz/vyhledat-psc>

DILTS, Thomas, 2011. Using the Geostatistical Wizard in modelbuilder. In: *Esri Community* [online]. 20. 5. 2011 [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://community.esri.com/t5/geoprocessing-questions/using-the-geostatistical-wizard-in-modelbuilder/td-p/179575>

DINNO, Alexis, 2015. Nonparametric Pairwise Multiple Comparisons in Independent Groups using Dunn's Test. *The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata* [online]. **15**(1), 292-300 [cit. 2025-04-26]. ISSN 1536-867X. Dostupné z: doi:10.1177/1536867X1501500117

DOBELMANN, Jana; FELDEN, Antoine a LESTER, Philip J. An invasive ant increases deformed wing virus loads in honey bees. Online. *Biology Letters*. 2023, roč. 19, č. 1. ISSN 1744-957X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2022.0416>. [cit. 2025-03-03].

DONALD, David B., Fraser G. HUNTER, Ed SVERKO, Bernard D. HILL a Jim SYRGIANNIS, 2005. Mobilization of pesticides on an agricultural landscape flooded by a torrential storm. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 2005-01-01, **24**(1), 2-10 [cit. 2025-03-04]. ISSN 0730-7268. Dostupné z: doi:10.1897/03-668.1

DURAZZO, Alessandra, Massimo LUCARINI, Manuela PLUTINO, et al., 2021. Bee Products: a Representation of Biodiversity, Sustainability, and Health. *Life* [online]. **11**(9), 1-32 [cit. 2025-02-23]. ISSN 2075-1729. Dostupné z: doi:10.3390/life11090970

ELLIS, J. D., S. SPIEWOK, K. S. DELAPLANE, S. BUCHHOLZ, P. NEUMANN a W. L. TEDDERS, 2010. Susceptibility of *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) Larvae and Pupae to Entomopathogenic Nematodes. *Journal of Economic Entomology* [online]. 2010-02-01, **103**(1), 1-9 [cit. 2025-03-06]. ISSN 00220493. Dostupné z: doi:10.1603/EC08384

ESRI, 2024a. *Python and geoprocessing* [online]. *Esri*. [cit. 2025-04-01]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/basics/python-and-geoprocessing.htm>

ESRI, 2024b. *EBK Regression Prediction (Geostatistical Analyst)* [online]. *Esri*. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/geostatistical-analyst/ebk-regression-prediction.htm>

ESRI, 2024c. *Using cross validation to assess interpolation results* [online]. *Esri*. [cit. 2025-02-06]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm>

ESRI, 2024d. *How Geographically Weighted Regression works* [online]. *Esri*. [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/how-geographicallyweightedregression-works.htm>

ESRI, 2024e. *Build Multidimensional Info (Multidimension)* [online]. *Esri*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/multidimension/build-multidimensional-info.htm>

EVROPA v DATECH, 2020. *Včely v Evropě* [online]. [cit. 2025-02-24]. Dostupné z: <https://www.evropavdatech.cz/clanek/61-vcely-v-evrope/>

EVROPSKÝ PARLAMENT, 2018. Evropský trh s medem. *Evropský parlament* [online]. [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20180222STO98435/evropsky-trh-s-medem-infografika>

EVROPSKÝ PARLAMENT, 2021. Proč ubývá včel a dalších opylovačů? *Evropský parlament* [online]. [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20191129STO67758/proc-ubyva-vcel-a-dalsich-opylovacu-infografika>

FAHRIG, Lenore, Jacques BAUDRY, Lluís BROTONS, et al., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* [online]. **14**(2), 101-112 [cit. 2025-03-06]. ISSN 1461-023X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x

FENOY, S., C. RUEDA, M. HIGES, R. MARTÍN-HERNÁNDEZ a C. DEL AGUILA, 2009. High-Level Resistance of *Nosema ceranae*, a Parasite of the Honeybee, to Temperature and Desiccation. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. **75**(21), 6886-6889 [cit. 2025-03-02]. ISSN 0099-2240. Dostupné z: doi:10.1128/AEM.01025-09

FICK, Stephen E. a Robert J. HIJMANS, 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* [online]. **37**(12), 4302-4315 [cit. 2025-03-18]. ISSN 0899-8418. Dostupné z: doi:10.1002/joc.5086

GANIE, Sajad A., Tamjeeda NISAR, Sheikh Aafreen REHMAN, Arjumand JOHN, M. A. PARAY, Javeed A. LONE, Parveena BANO a Rizwana KHURSHID, 2024. Impact of climate change on insect pollinators and its implication for food security: a review. *SKUAST Journal of Research* [online]. **26**(1), 1-14 [cit. 2025-03-03]. ISSN 0972-1126. Dostupné z: doi:10.5958/2349-297X.2024.00001.1

GELARO, Ronald, Will MCCARTY, Max J. SUÁREZ, et al., 2017. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate* [online]. **30**(14), 5419-5454 [cit. 2025-03-17]. ISSN 0894-8755. Dostupné z: doi:10.1175/JCLI-D-16-0758.1

GESLIN, B., B. GAUZENS, M. BAUDE, et al., 2017. Massively Introduced Managed Species and Their Consequences for Plant–Pollinator Interactions. *Networks of Invasion: Empirical Evidence and Case Studies* [online]. Elsevier, 147-199 [cit. 2025-01-30]. Advances in Ecological Research. ISBN 9780128133286. Dostupné z: doi:10.1016/bs.aecr.2016.10.007

GRAY, Alison, Nouredine ADJLANE, Alireza ARAB, et al., 2023. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. *Journal of Apicultural Research* [online]. 2023-03-15, **62**(2), 204-210 [cit. 2025-02-24]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.1080/00218839.2022.2113329

GRIMALDI, David A. a Michael S. ENGEL, 2005. *Evolution of the insects*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 05-218-2149-5.

GUTZLER, David S., 2000. *GSA TODAY* [online]. Boulder, Colorado: The Geological Society of America [cit. 2025-03-07]. ISSN 1052-5173. Dostupné z: <https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/10/10/pdf/i1052-5173-10-10-1.pdf>

HAUKE, Jan a Tomasz KOSSOWSKI, 2011. Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data. *QUAGEO* [online]. 2011-6-1, **30**(2), 87-93 [cit. 2025-04-15]. ISSN 0137-477X. Dostupné z: doi:10.2478/v10117-011-0021-1

HE, Xu-Jiang, Liu-Qing TIAN, Xiao-Bo WU a Zhi-Jiang ZENG, 2016. RFID monitoring indicates honeybees work harder before a rainy day. *Insect Science* [online]. **23**(1), 157-159 [cit. 2025-01-28]. ISSN 1672-9609. Dostupné z: doi:10.1111/1744-7917.12298

HENNESSY, Georgia, Ciaran HARRIS, Charlotte EATON, Paul WRIGHT, Emily JACKSON, Dave GOULSON a Francis F.L.W. RATNIEKS, 2020. Gone with the wind: effects of wind on honey bee visit rate and foraging behaviour. *Animal Behaviour* [online]. 23-31 [cit. 2025-01-27]. ISSN 00033472. Dostupné z: doi:10.1016/j.anbehav.2019.12.018

HERSBACH, Hans, Bill BELL, Paul BERRISFORD, et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* [online]. **146**(730), 1999-2049 [cit. 2024-04-13]. ISSN 0035-9009. Dostupné z: doi:10.1002/qj.3803

HOFSTRA, Nynke, Malcolm HAYLOCK, Mark NEW a Phil D. JONES, 2009. Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [online]. 2009-11-16, **114**(D21101), 1-16 [cit. 2025-03-18]. ISSN 0148-0227. Dostupné z: doi:10.1029/2009JD011799

HOSNI, Eslam M., Areej A. AL-KHALAF, Mohamed G. NASSER, Hossam F. ABOU-SHAARA a Marwa H. RADWAN, 2022. Modeling the Potential Global Distribution of Honeybee Pest, *Galleria mellonella* under Changing Climate. *Insects* [online]. **13**(5), 1-12 [cit. 2025-03-06]. ISSN 2075-4450. Dostupné z: doi:10.3390/insects13050484

HUNG, Keng-Lou James, Jennifer M. KINGSTON, Matthias ALBRECHT, David A. HOLWAY a Joshua R. KOHN, 2018. The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2018-01-10, **285**(1870) [cit. 2025-05-02]. ISSN 0962-8452. Dostupné z: doi:10.1098/rspb.2017.2140

CHAKRABORTY, Debojyoti, Laura DOBOR, Anita ZOLLES, Tomáš HLÁSNÝ a Silvio SCHUELER, 2020. High-resolution gridded climate data for Europe based on bias-corrected EURO-CORDEX: The ECLIPS dataset. *Geoscience Data Journal* [online]. **8**(2), 121-131 [cit. 2025-03-17]. ISSN 2049-6060. Dostupné z: doi:10.1002/gdj3.110

CHANDOLA, Varun, Arindam BANERJEE a Vipin KUMAR, 2009. Anomaly detection. *ACM Computing Surveys* [online]. **41**(3), 1-58 [cit. 2025-02-19]. ISSN 0360-0300. Dostupné z: doi:10.1145/1541880.1541882

CHICCO, Davide, Matthijs J. WARRENS a Giuseppe JURMAN, 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science* [online]. **7**, 17 [cit. 2025-02-08]. ISSN 2376-5992. Dostupné z: doi:10.7717/peerj-cs.623

JAMAL, Zakia A., Hossam F. ABOU-SHAARA, Samina QAMER, et al., 2021. Future expansion of small hive beetles, *Aethina tumida*, towards North Africa and South Europe based on temperature factors using maximum entropy algorithm. *Journal of King Saud University - Science* [online]. **33**(1), 1-7 [cit. 2025-03-06]. ISSN 10183647. Dostupné z: doi:10.1016/j.jksus.2020.101242

JIANG, Joe-Air, Chien-Hao WANG, Chi-Hui CHEN, et al., 2016. a WSN-based automatic monitoring system for the foraging behavior of honey bees and environmental factors of beehives. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. **123**, 304-318 [cit. 2025-02-23]. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2016.03.003

JIRÍ DANIHLÍK, 2025. *O projektu* [online]. [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://coloszcz.webnode.cz/o-nas/>

KERR, Jeremy T., Alana PINDAR, Paul GALPERN, et al., 2015. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* [online]. 2015-07-10, **349**(6244), 177-180 [cit. 2025-03-02]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aaa7031

KIMANI, James, 2017. EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON BEE FARMING. a CRITICAL REVIEW OF LITERATURE. *International Journal of Climatic Studies* [online]. 2017-04-12, **1**(1), 67 [cit. 2025-03-02]. ISSN 2710-1061. Dostupné z: doi:10.47604/ijcs.1203

KOMASILOVA, Oľvija, Vitalijs KOMASILOVS, Armands KVIESIS a Aleksejs ZACEPINS, 2021. Modeling of the Potential Honey Bee Colony Foraging Activity Based on the Agrometeorological Factors. *Baltic Journal of Modern Computing* [online]. **9**(3), 280-289 [cit. 2025-01-28]. ISSN 22558950. Dostupné z: doi:10.22364/bjmc.2021.9.3.04

LANGOWSKA, Aleksandra, Michał ZAWILAK, Tim H. SPARKS, Adam GLAZACZOW, Peter W. TOMKINS a Piotr TRYJANOWSKI, 2017. Long-term effect of temperature on honey yield and honeybee phenology. *International Journal of Biometeorology* [online]. **61**(6), 1125-1132 [cit. 2025-01-27]. ISSN 0020-7128. Dostupné z: doi:10.1007/s00484-016-1293-x

LE CONTE, Y. a M. NAVAJAS, 2008. Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE* [online]. 2008-08-01, **27**(2), 503 [cit. 2025-03-02]. ISSN 0253-1933. Dostupné z: doi:10.20506/rst.27.2.1819

LECOCQ, Antoine, Per KRYGER, Flemming VEJSNÆS, Annette BRUUN JENSEN a Guy SMAGGHE, 2015. Weight Watching and the Effect of Landscape on Honeybee Colony Productivity: Investigating the Value of Colony Weight Monitoring for the Beekeeping Industry. *PLOS ONE* [online]. 2015-7-6, **10**(7) [cit. 2025-01-26]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0132473

LIN, Zheguang, Siyi SHEN, Kang WANG a Ting JI, 2023. Biotic and abiotic stresses on honeybee health. *Integrative Zoology* [online]. **19**(3), 442-457 [cit. 2025-03-04]. ISSN 1749-4877. Dostupné z: doi:10.1111/1749-4877.12752

MARCHI, Maurizio, Dante CASTELLANOS-ACUÑA, Andreas HAMANN, Tongli WANG, Duncan RAY a Annette MENZEL, 2020. ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe. *Scientific Data* [online]. **7**(1), 1-9 [cit. 2025-03-17]. ISSN 2052-4463. Dostupné z: doi:10.1038/s41597-020-00763-0

MERRILL, Korie C., Christina L. BOSER, Cause HANNA, David A. HOLWAY, Ida NAUGHTON, Dong-Hwan CHOE a Erin E. Wilson RANKIN, 2018. Argentine Ant (*Linepithema humile*, Mayr) Eradication Efforts on San Clemente Island, California, USA. *Western North American Naturalist* [online]. **78**(4), 829 [cit. 2025-03-03]. ISSN 1527-0904. Dostupné z: doi:10.3398/064.078.0422

MISHRA, Dr. Matangi, Pritam BHUNIA, Shubham SHUBHAM, et al., 2023. The Impact of Weather Change on Honey Bee Populations and Disease. *Journal of Advanced Zoology* [online]. 2023-12-13, **44**(7), 180-190 [cit. 2025-03-07]. ISSN 0253-7214. Dostupné z: doi:10.17762/jaz.v44iS7.2755

MITTLBÖCK, Martina, 2002. Calculating adjusted R2 measures for Poisson regression models. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* [online]. **68**(3), 208 [cit. 2025-02-08]. ISSN 01692607. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-2607(01)00173-0

MOŽNÝ, Martin, Lenka HÁJKOVÁ a Vojtěch VLACH, 2023. *WEBOVÁ APLIKACE AGROPOČASÍ* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2025-01-25]. ISBN 978-80-7653-053-9. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/nakladatelstvi/assets/metodika_agropocasi.pdf

NEOV, Boyko, Ani GEORGIEVA, Rositsa SHUMKOVA, Georgi RADOSLAVOV a Peter HRISTOV, 2019. Biotic and Abiotic Factors Associated with Colonies Mortalities of Managed Honey Bee (*Apis mellifera*). *Diversity* [online]. **11**(12), 1-16 [cit. 2024-04-13]. ISSN 1424-2818. Dostupné z: doi:10.3390/d11120237

NÜRNBERGER, Fabian, Stephan HÄRTEL a Ingolf STEFFAN-DEWENTER, 2019. Seasonal timing in honey bee colonies: phenology shifts affect honey stores and varroa infestation levels. *Oecologia* [online]. **189**(4), 1121-1131 [cit. 2025-03-03]. ISSN 0029-8549. Dostupné z: doi:10.1007/s00442-019-04377-1

O'DONNELL, M. S. a D. A. IGNIZIO, 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States: U.S. Geological Survey Data Series 691. USGS [online]. [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/ds/691/ds691.pdf>

PATIL, Vivek H. a Frederick H. FRANKEN, 2021. Visualization of statistically significant correlation coefficients from a correlation matrix: a call for a change in practice. *Journal of Marketing Analytics* [online]. **9**(4), 286 [cit. 2025-02-19]. ISSN 2050-3318. Dostupné z: [doi:10.1057/s41270-021-00120-z](https://doi.org/10.1057/s41270-021-00120-z).

PHIRI, Bernard J., Damien FÈVRE a Arata HIDANO, 2022. Uptrend in global managed honey bee colonies and production based on a six-decade viewpoint, 1961–2017. *Scientific Reports* [online]. **12**(1), 1-10 [cit. 2025-03-05]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: [doi:10.1038/s41598-022-25290-3](https://doi.org/10.1038/s41598-022-25290-3)

PYŠEK, Petr, Jiří SÁDLO, Jindřich CHRTEK, et al., 2022. Catalogue of alien plants of the Czech Republic (3rd edition). *Preslia* [online]. **94**(4), 447-577 [cit. 2025-03-03]. ISSN 0032-7786. Dostupné z: [doi:10.23855/preslia.2022.447](https://doi.org/10.23855/preslia.2022.447)

RADER, Romina, James REILLY, Ignasi BARTOMEUS a Rachael WINFREE, 2013. Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. *Global Change Biology* [online]. **19**(10), 3103-3110 [cit. 2025-01-29]. ISSN 1354-1013. Dostupné z: [doi:10.1111/gcb.12264](https://doi.org/10.1111/gcb.12264)

REQUIER, Fabrice, Quentin ROME, Guillaume CHIRON, et al., 2019. Predation of the invasive Asian hornet affects foraging activity and survival probability of honey bees in Western Europe. *Journal of Pest Science* [online]. **92**(2), 567-578 [cit. 2025-03-07]. ISSN 1612-4758. Dostupné z: [doi:10.1007/s10340-018-1063-0](https://doi.org/10.1007/s10340-018-1063-0)

RUTTNER, Friedrich, 1988. *Biogeography and Taxonomy of Honeybees* [online]. [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: [doi:10.1007/978-3-642-72649-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1)

SOCI, Cornel, Hans HERSBACH, Adrian SIMMONS, et al., 2024. The ERA5 global reanalysis from 1940 to 2022. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* [online]. **150**(764), 4014-4048 [cit. 2025-03-18]. ISSN 0035-9009. Dostupné z: [doi:10.1002/qj.4803](https://doi.org/10.1002/qj.4803)

SOLOVEV, v V, 2020. Influence of weather conditions on the honey productivity of bee colonies in the Valdai district of the Novgorod region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2020-12-01, **613**(1), 1-8 [cit. 2025-01-28]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: [doi:10.1088/1755-1315/613/1/012142](https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012142)

SPARKS, TIM H., ALEKSANDRA LANGOWSKA, ADAM GŁAZACZOW, ZDZISŁAW WILKANIEC, MAŁGORZATA BIEŃKOWSKA a PIOTR TRYJANOWSKI, 2010. Advances in the timing of spring cleaning by the honeybee *Apis mellifera* in Poland. *Ecological Entomology* [online]. **35**(6), 788-791 [cit. 2025-01-30]. ISSN 0307-6946. Dostupné z: [doi:10.1111/j.1365-2311.2010.01226.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2010.01226.x)

SWITANEK, Matthew, Karl CRAILSHEIM, Heimo TRUHETZ a Robert BRODSCHNEIDER, 2017. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Science of The Total Environment* [online]. **579**, 1581-1587 [cit. 2024-04-13]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.178

THACKERAY, STEPHEN J., TIMOTHY H. SPARKS, MORTEN FREDERIKSEN, et al., 2010. Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Global Change Biology* [online]. **16**(12), 3304-3313 [cit. 2025-01-30]. ISSN 1354-1013. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02165.x

THUILLER, Wilfried, 2007. Climate change and the ecologist. *Nature* [online]. **448**(7153), 550 [cit. 2025-03-07]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/448550a

TONG, Ze-Yu, Ling-Yun WU, Hui-Hui FENG, Meng ZHANG, W Scott ARMBRUSTER, Susanne s RENNER a Shuang-Quan HUANG, 2023. New calculations indicate that 90% of flowering plant species are animal-pollinated. *National Science Review* [online]. 2023-10-04, **10**(10), 1-3 [cit. 2025-02-23]. ISSN 2095-5138. Dostupné z: doi:10.1093/nsr/nwad219

VALIDO, Alfredo, María C. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ a Pedro JORDANO, 2019. Honeybees disrupt the structure and functionality of plant-pollinator networks. *Scientific Reports* [online]. **9**(1), 1-5 [cit. 2025-02-23]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-019-41271-5

VANBERGEN, Adam J., Anahí ESPÍNDOLA a Marcelo A. AIZEN, 2018. Risks to pollinators and pollination from invasive alien species. *Nature Ecology & Evolution* [online]. **2**(1), 16-25 [cit. 2025-03-03]. ISSN 2397-334X. Dostupné z: doi:10.1038/s41559-017-0412-3

VARGHA, András a Harold D. DELANEY, 1998. The Kruskal-Wallis Test and Stochastic Homogeneity. *Journal of Educational and Behavioral Statistics* [online]. **23**(2), 170-192 [cit. 2025-04-26]. ISSN 1076-9986. Dostupné z: doi:10.3102/10769986023002170

VICENS, Narcís a Jordi BOSCH, 2000. Weather-Dependent Pollinator Activity in an Apple Orchard, with Special Reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae). *Environmental Entomology* [online]. 2000-06-01, **29**(3), 413-420 [cit. 2025-01-29]. ISSN 0046-225X. Dostupné z: doi:10.1603/0046-225X-29.3.413

VISICK, Oliver D. a Francis L. W. RATNIEKS, 2023. Density of wild honey bee, *Apis mellifera*, colonies worldwide. *Ecology and Evolution* [online]. **13**(10), 12 [cit. 2025-03-03]. ISSN 2045-7758. Dostupné z: doi:10.1002/ece3.10609

WANG, Yuan, 2021. *PORTRAYAL OF LIKELY CLIMATE CHANGE IMPACTS ON BEEKEEPING BASED ON EARTH OBSERVATION DATA* [online]. Olomouc [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/magisterske/wang22/files/ThesisText_Yuan.pdf. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky. Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

WARREN, R., J. PRICE, E. GRAHAM, N. FORSTENHAEUSLER a J. VANDERWAL, 2018. The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C. *Science* [online]. 2018-05-18, **360**(6390), 791-795 [cit. 2025-02-27]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aar3646

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 (elektronická volná) **Automatizační skripty pro zpracování použitých dat**

Příloha 2 (elektronická volná) **Toolbox obsahující interpolační modely klimatických proměnných**

Příloha 3 (vázaná) **Mapa Zimní ztráty včelstev v analyzovaných územních obvodech adresních pošt (PSČ) v ročníku 2015/2016**

Příloha 4 (vázaná) **Mapa Zimní ztráty včelstev v analyzovaných územních obvodech adresních pošt (PSČ) v ročníku 2019/2020**

Příloha 5 (elektronická volná) **Poster**

Popis struktury odevzdávaných digitálních dat na datové úložiště katedry

Interpolacni_Modely

Poster

Skripty

Text_Prace

Vstupni_Data

 Stanice_CHMU

Vystupni_Data

 Bioklimaticke_Promenne

 Bio_CSV

 Bio_TIFF

 Klimaticke_Anomalie

 Anomalie_CRF

 Anomalie_CSV

 Klimaticke_Promenne

 Klima_NetCDF

 Klima_TIFF

Web

 assets

 docs

 images

Veškerá data z dotazníkového šetření monitoringu úspěšnosti zimování včelstev asociace COLOSS, poskytnutá RNDr. Janem Brusem, Ph.D., a Mgr. Jiřím Danihlíkem, Ph.D., byla využita výhradně pro potřeby této bakalářské práce. Případné další použití těchto dat je možné pouze se souhlasem jejich vlastníka.

ZIMNÍ ZTRÁTY VČELSTEV

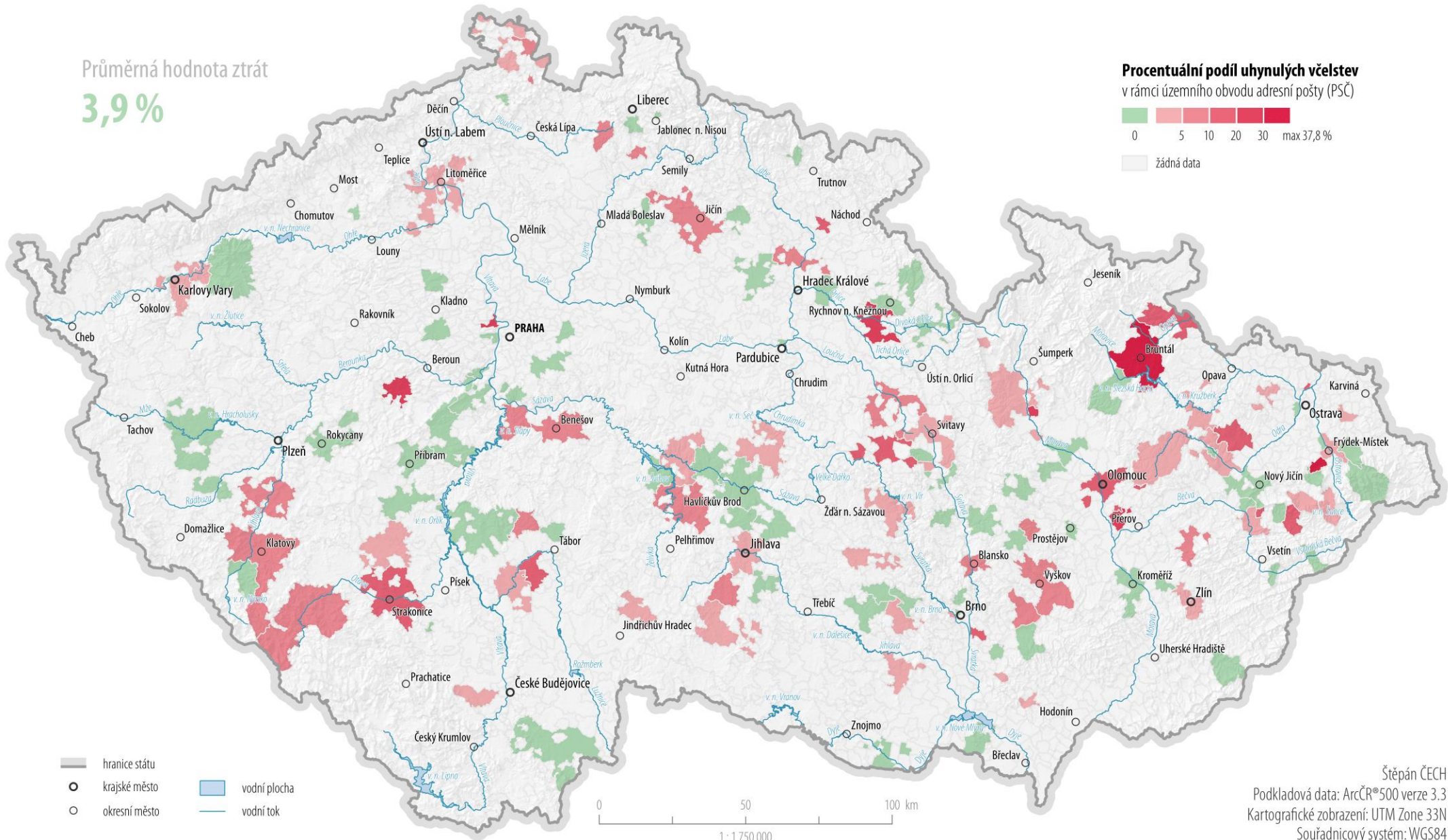
v analyzovaných územních obvodech adresních pošt (PŠČ) v ročníku 2015/2016

Průměrná hodnota ztrát
3,9%

Procentuální podíl uhynulých včelstev
v rámci územního obvodu adresní pošty (PŠČ)



žádná data



- hranice státu
- krajské město
- okresní město
- vodní plocha
- vodní tok

Štěpán ČECH
Podkladová data: ArcCR®500 verze 3.3
Kartografické zobrazení: UTM Zone 33N
Souřadnicový systém: WGS84
Olomouc, 2025

ZIMNÍ ZTRÁTY VČELSTEV

v analyzovaných územních obvodech adresních pošt (PSC) v ročníku 2019/2020

Průměrná hodnota ztrát

19,3 %

Procentuální podíl uhynulých včelstev
v rámci územního obvodu adresní pošty (PSC)

