

# Metodická východiska pro původní analýzy prezentované v rámci koncepčního dokumentu Okno příležitosti pro čejku chocholatou

*Sládeček Martin, Šálek Miroslav E., Trejbalová Kateřina, Zámečník Václav, Burešová Pešková Lucie, Chajma Petr*

*Fakulta Životního Prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129 165 00 Praha-Suchbát*

## 1 Úvod

Tento dokument shrnuje metodická východiska zpracování koncepce **Okno příležitosti pro čejku chocholatou**. Zejména doplňuje popis datových zdrojů a analytických postupů, z nichž vycházejí vlastní výsledky prezentované v koncepci. Jedná se především o grafy a číselné údaje, u nichž není uveden odkaz na jinou publikaci. Tyto postupy zahrnovaly sběr a přípravu dat o hnízdní úspěšnosti, přežívání kuřat a výskytu čejky chocholaty a akvizici environmentálních prediktorů z otevřených zdrojů, jakož i metody zpracování a statistického vyhodnocení použité při přípravě výstupů koncepce. Základním účelem dokumentu je doložit původ těchto výsledků, umožnit posouzení jejich vypovídací hodnoty a vymezit podmínky jejich interpretace a využití při formulaci ochranných doporučení.

## 2 Sběr a příprava dat

### 2.1 Data o hnízdní úspěšnosti

Údaje o hnízdní úspěšnosti pocházely z terénních záznamů řešitelského týmu a jeho spolupracovníků z jižních Čech, zejména z Českobudějovické pánve, a z širší oblasti východních Čech. Zahrnuty byly záznamy z let 2013–2025, což umožnilo jejich propojení s časově odpovídajícími satelitními daty Landsat 8. V průběhu řešení projektu (2024–2026) byl soubor doplňován především ve východních Čechách o hnízda telemetricky nebo barevně značených jedinců a o další hnízda nalezená při odchycích a související terénní práci. Po sjednocení zdrojových dat, odstranění neúplných či metodicky nevyužitelných záznamů a kontrole jejich konzistence zahrnoval připravený soubor 1 001 hnízd.

Hnízda byla opakovaně kontrolována v nepravidelných intervalech, obvykle nepřesahujících jeden týden. Při jednotlivých návštěvách byl zaznamenáván stav hnízda, počet vajec a případné líhnutí nebo neúspěch hnízdění. Pokud bylo možné příčinu neúspěchu určit, rozlišovala se predace, zničení zemědělskou technikou, opuštění a další příčiny. Stáří snůšky a očekávaný termín líhnutí byly odhadovány flotační metodou podle polohy a vztahu vajec ve vodě (van Paassen et al. 1984). U hnízd nalezených prázdných v době očekávaného líhnutí nebo později byla jako doklad vylíhnutí využívána přítomnost drobných úlomků skořápek ve výstelce (Mabee et al. 2006).

Terénní záznamy byly převedeny do dvou propojených tabulek. Základní tabulka obsahovala jeden záznam pro každé hnízdo s jeho jedinečným identifikátorem, rokem, souřadnicemi, výsledkem hnízdění a časovými údaji. Evidováno bylo datum nálezu, poslední kontrola prokazatelně aktivního hnízda a následná kontrola, při níž byl zjištěn jeho konečný stav. Doplněny byly také odhad počátku hnízdění a předpokládané datum líhnutí.

Při přípravě dat bylo rozlišeno období prokazatelného přežívání hnízda a interval, během něhož mohlo dojít k jeho selhání. Přesný den neúspěchu tak byl považován za neznámý, pokud jej terénní kontroly neumožňovaly určit. Sledované období začínalo nálezem hnízda. Při vymezení jeho konce byly zohledněny výsledky kontrol i očekávaný termín líhnutí. Hnízda s nejasným konečným osudem byla do hodnocení zahrnuta pouze do poslední pozitivní kontroly, při níž bylo prokázáno, že je hnízdo stále aktivní. K tomuto datu bylo jejich sledování pravostranně cenzorováno a pozdější období nebylo započítáno jako přežití ani jako neúspěch. Tento postup zachoval informace o rozdílné délce sledování jednotlivých hnízd a nejistotě načasování jejich zániku.

V rámci druhé tabulky byl vytvořen zvláštní záznam pro každý den, v průběhu kterého bylo hnízdo sledováno a ke každému takto vytvořenému záznamu byly přiřazeny časově odpovídající environmentální charakteristiky, zejména vegetační a vlhkostní indexy ze satelitních dat a meteorologické údaje. Stabilní charakteristiky prostředí byly přiřazovány k hnízdu jako celku. Před modelováním byly vyřazeny záznamy s chybějícími hodnotami ve vybraném souboru charakteristik hnízdiště. Kontrolována byla časová návaznost nálezu, kontrol a očekávaného líhnutí, kladná délka sledování a úplnost denních řad bez duplicit. Takto připravená data tvořila podklad pro modelování denní pravděpodobnosti přežití hnízda; způsob získávání prediktorů je popsán v kapitole 3. Hnízdní úspěšnost se zde vztahuje k přežití hnízda do vylíhnutí, nikoli k následnému přežití kuřat do vzletnosti.

## **2.2 Data o přežívání kuřat**

Samice byly odchyťvány na hnízdech v dubnu a květnu. Hnízda byla vyhledávána pozorováním inkubujících ptáků pomocí stativového dalekohledu na plochách s předem vytipovaným výskytem čejek. Odchyt byl prováděn nejdříve ve druhé třetině inkubace pomocí dálkově spouštěné sklopné pasti umístěné na hnízdě. Po dobu odchyty byla vejce dočasně nahrazena 3D tištěnými podkladky (Chajma et al. 2026) a uchovávána v tepelně stabilních podmínkách, aby se předešlo jejich poškození při sklapnutí pasti. Návrat samice na hnízdo a její polohu sledoval druhý člen týmu, který dával pokyn k bezpečnému spuštění pasti. Pokud se pták nevrátil do 60–90 minut (podle venkovních podmínek), byl pokus ukončen. Odchyty pro sledování v letech 2024–2025 probíhaly ve východních Čechách na Pardubicku a Královéhradecku a v jižních Čechách na Písecku.

Odchycené samice byly vybaveny GPS–GSM vysílačem Interrex MINI 2G o hmotnosti přibližně 6 g, upevněným na zádech pomocí popruhů s překřížením na hrudi. Pěnová podložka pod vysílačem omezovala oděr a zlepšovala oslunění solárního panelu. Zařízení standardně zaznamenávalo polohu v hodinových intervalech a aktivitu odvozenou z tříosého akcelerometru, vyjádřenou ukazatelem ODBA, každých deset minut po dobu tří sekund. Při plně nabitě baterii se interval záznamu polohy i

aktivity zkracoval na jednu minutu. Záznamy byly předávány prostřednictvím mobilní sítě a umožňovaly průběžně sledovat pohyb a změny chování samic.

Po vylíhnutí byla péče o kuřata rozpoznávána z průběhu aktivity a pohybu samice. Pro období vodění kuřat byly charakteristické časté vrcholy aktivity ve dne i v noci. Přežívání rodinky bylo hodnoceno zejména podle telemetrických záznamů samice a jejich behaviorální interpretace, v menší míře též dle terénních inspekcí. Náhlá změna chování, odpovídající ukončení péče o rodinku, byla považována za indikaci úhynu posledního kuřete. Hodnocena tak byla doba, po kterou v rodince přežívalo alespoň jedno kuře.

Na základě těchto záznamů byly rekonstruovány polohy rodinek v jednotlivých dnech po vylíhnutí a sledovány jejich přesuny mezi zemědělskými plochami. Poloha pečující samice umožňovala určit prostředí využívané rodinkou i po opuštění původní hnízdní plochy a propojit je s podmínkami v daném dni. Výchozí soubor obsahoval 730 polohových záznamů pro 44 rodinek z let 2024–2025, z toho 15 rodinek v roce 2024 a 29 v roce 2025.

### **2.3 Příprava údajů o výskytu**

Pro hodnocení výběru prostředí byl připraven soubor prezencí a srovnávacích lokalit postupem shodným s přípravou dat pro mapu výskytu čejky chocholaté v České republice (Sládeček et al. 2026, kap. 2). Použita byla pozorování z Faunistické databáze České společnosti ornitologické AVIF, včetně záznamů projektu Monitoring čejky chocholaté (ČSO, n.d. a, b). Výběr zahrnoval území České republiky a období od 1. dubna do 30. června v letech 2013–2025. Tento časový rozsah odpovídal hlavní části hnízdní sezóny a dostupnosti satelitních dat Landsat 8.

Do souboru byla zařazena pouze dostatečně přesně lokalizovaná pozorování. Přednost měly souřadnice konkrétního pozorování; obecnější poloha vycházky byla při jejich absenci přijata pouze u projektů Čejka, Rings, TRANS a LSD, jejichž způsob sběru umožňoval dostatečně přesné přiřazení lokality. Záznamy přeletujících a uhynulých jedinců byly vyřazeny. Pokud byl počet ptáků uveden intervalem, byla použita jeho střední hodnota; počet párů byl převeden na počet jedinců násobením dvěma.

Pozorování byla prostorově propojena s díly půdních bloků (DPB) registru LPIS, vždy s roční vrstvou odpovídající roku záznamu (MZe 2022). Pozorování mimo DPB nebo bez jednoznačného přiřazení byla vyřazena. Pro další zpracování výskytových dat byla poloha nahrazena centroidem příslušného DPB, aby byla prostorová jednotka prezencí shodná s jednotkou srovnávacích lokalit. Pokud se v jednom DPB během jedné sezóny vyskytovalo více pozorování, bylo náhodně vybráno jediné. Výsledný soubor obsahoval 5 292 prezenčních záznamů.

### **2.4 Výběr pseudoabsencí a zohlednění pozorovacího úsilí**

Srovnávací lokality neboli pseudoabsence byly vybírány ze zemědělských ploch bez záznamu čejky v příslušném roce, které ležely v území s doloženou ornitologickou aktivitou. Představovaly vzorek dostupného prostředí pro porovnání s místy výskytu; nešlo o terénně potvrzené absence. Výběr

zohledňoval nerovnoměrné prostorové a časové rozložení pozorovacího úsilí stejným způsobem jako při přípravě mapy (Sládeček et al. 2026, kap. 2.2).

Pozorovací úsilí bylo odvozeno ze všech neutajených pozorování všech druhů ptáků v AVIF s použitelnou polohou, zaznamenaných od března do července v letech 2013–2025. Záznamy byly přiřazeny do malých atlasových mapovacích polí o přibližných rozměrech  $2,5 \times 3$  km, odpovídajících šestnáctině standardního pole používaného pro atlasová mapování (Šťastný et al. 2021). Pro tuto prostorovou úroveň bylo možné využít i obecnější souřadnice vycházky. Za jednu návštěvu byla považována kombinace pozorovatele, dne a mapovacího pole. Opakovaná hlášení z téže návštěvy tak nezvyšovala odhad úsilí.

Pro každý rok byla jednotlivým polím přiřazena relativní váha podle počtu návštěv. Do polí s doloženým úsilím byly podle centroidu přiřazeny DPB a vyřazeny ty, na nichž byla v daném roce zaznamenána čejka. Váha mapovacího pole byla rovnoměrně rozdělena mezi zbývající kandidátní DPB a výsledné váhy byly v rámci roku normalizovány na součet jedna. Pseudoabsence se poté vybíraly náhodně s pravděpodobnostmi odpovídajícími těmto vahám, v počtu desetinásobku počtu DPB s prezencí v daném roce. Pole s větším počtem zemědělských ploch tak nezískávala vyšší celkovou váhu pouze kvůli většímu počtu kandidátů.

Každé pseudoabsenci bylo následně náhodně, s opakováním, přiřazeno datum z reálně doložených návštěv stejného atlasového pole ve stejném roce. Toto datum určovalo časové přiřazení proměnlivých environmentálních prediktorů. Soubor tak zohledňoval nejen prostorové rozmístění sledovaných lokalit, ale také sezónní průběh terénní aktivity.

### **3 Příprava environmentálních prediktorů**

Příprava environmentálních charakteristik navazovala na postupy použité při tvorbě mapy výskytu čejky (Sládeček et al. 2026, kap. 3). Shodné zdroje dat, definice proměnných a pravidla prostorového a časového přiřazení umožňovaly hodnotit výskyt a reprodukční podmínky v návaznosti na mapový podklad. Prediktory zahrnovaly vlastnosti zemědělských ploch a půdy, strukturu okolní krajiny a sezónně proměnlivý stav vegetace a povrchu.

#### **3.1 Prostorové a časové přiřazení**

U prezencí a pseudoabsencí byla základní lokální plochou oblast o rozměrech  $200 \times 200$  m se středem v centroidu příslušného DPB. Satelitní charakteristiky byly současně odvozovány pro širší plochu  $600 \times 600$  m se stejným středem. Při vyhodnocování satelitních dat byla zahrnuta pouze zemědělská část těchto ploch pokrytá LPIS. Vlastnosti půdního bloku byly převzaty přímo z příslušného DPB a struktura krajiny byla hodnocena v kruhovém okolí o poloměru 1 km.

Časově proměnlivé charakteristiky byly přiřazovány k datu pozorování nebo k datu vylosovanému pro pseudoabsenci. U hnízdních dat bylo rozhodující sledované období jednotlivého hnízda, u rodinek pak jejich poloha v konkrétním dni. Denní uspořádání dat umožňovalo zachytit změny vegetace během inkubace i změny prostředí při přesunech kuřat. Společná příprava zdrojových

vrstev a definice prediktorů zachovávaly kompatibilitu s mapovou metodikou, zatímco prostorové a časové přiřazení respektovalo sledovanou jednotku.

### **3.2 Charakteristiky zemědělských ploch a topografie**

Z ročních vrstev LPIS pro období 2013–2025 byly získány hranice a vlastnosti zemědělských ploch (MZe 2022). Výměra DPB byla vypočtena z geometrie polygonu a vyjádřena v hektarech. Nadmořská výška a svažitost byly převzaty z atributů LPIS. Použití vrstvy odpovídající roku záznamu zohledňovalo meziroční změny vymezení a využití zemědělských ploch.

### **3.3 Půdní charakteristiky**

Půdní podmínky byly odvozeny z vektorové vrstvy bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) poskytované Státním pozemkovým úřadem (SPÚ, n.d.). Význam jednotlivých částí kódu byl převzat z eKatalogu BPEJ (VÚMOP, n.d.). Hodnocen byl klimatický region, hlavní půdní jednotka, skeletovitost a hloubka půdy. Z atributů vrstvy byla převzata rovněž úřední cena půdy v Kč/m<sup>2</sup> jako souhrnná charakteristika její produkční hodnoty. U prezencí a pseudoabsencí byly tyto údaje přiřazeny prostorovým překryvem reprezentativního bodu s polygonem BPEJ.

Hlavní půdní jednotky byly sloučeny do širších skupin v souladu s přípravou dat pro mapu: černoze (HPJ 1–8), hnědozemě (9–13), luvizemě (14–17), rendziny a pararendziny (18–20), regozemě (21–23), kambizemě (24–33), půdy chladných oblastí (34–36), mělké půdy (37–39), silně svažité půdy (40–41), pseudogleje (42–54), fluvizemě (55–59), černice (60–63) a gleje (64–78). Koluvizemě a antropozemě byly z výskytového souboru vyřazeny pro zanedbatelné zastoupení.

Kategorie skeletovitosti a hloubky půdy byly pro kvantitativní vyhodnocení převedeny na reprezentativní číselné hodnoty. Skeletovitost byla vyjádřena hodnotami 5, 17,5, 37,5 a 75 %; hluboké, středně hluboké a mělké půdy byly reprezentovány hodnotami 80, 45 a 15 cm. Pro kombinované kategorie byl použit průměr příslušných hodnot. Převody byly shodné s mapovou metodikou.

### **3.4 Struktura okolní krajiny**

Struktura krajiny byla popsána zastoupením orné půdy, travních porostů, lesního pokryvu, zástavby a vody v okruhu 1 km. Zdrojové vrstvy byly převedeny na společný rastr s rozlišením 100 m a podíly prostředí vypočteny pomocí kruhového pohyblivého okna. Orná půda zahrnovala standardní ornou půdu a úhor v LPIS, travní porosty zahrnovaly travní porost na orné půdě a trvalý travní porost. Použity byly roční vrstvy LPIS odpovídající hodnocenému roku.

Lesní a stromový pokryv byl odvozen z produktu Copernicus High Resolution Layer Dominant Leaf Type (EEA, n.d.), přičemž byly sloučeny plochy klasifikované jako listnatý a jehličnatý porost. Pro každý rok byla využita nejnovější dostupná referenční vrstva nepřekračující daný rok. Zastavěné a vodní plochy byly získány z OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, n.d.). Vymezení zahrnutých kategorií odpovídalo mapové metodice (Podrobná metodika 2026, kap. 3.3). Vrstva OpenStreetMap byla použita jako statický podklad shodný pro všechny hodnocené roky.

Vedle plošných podílů byly určeny vzdálenosti k nejbližší 100m buňce obsahující les, zástavbu nebo vodu. Při hodnocení vzdálenosti k vodě byly kromě polygonů zahrnuty také řeky, potoky, kanály, příkopy a odvodňovací kanály. Liniové prvky bez údaje o šířce nebyly započítány do plošného podílu vody. Členitost krajinné mozaiky byla vyjádřena počtem samostatných polygonů CORINE Land Cover 2018 zasahujících do okruhu 1 km (EEA 2020). Tento ukazatel vyjadřoval počet krajinných plošek, nikoli počet různých kategorií pokryvu.

### **3.5 Satelitní data a charakteristiky vegetace a povrchu**

Aktuální stav vegetace, vlhkost a charakter povrchu byly hodnoceny pomocí dat Landsat 8 Collection 2 Level 2, dostupných v Google Earth Engine v kolekci LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2 (EROS Center 2020; Google, n.d.; Gorelick et al. 2017). Zpracovány byly snímky území České republiky z let 2013–2025 pořízené od 1. března do 31. srpna. Zahrnuty byly scény s oblačností nižší než 50 % a sluneční elevací vyšší než 10°. Optická data byla zpracována v rozlišení 30 m v souřadnicovém systému WGS 84 / UTM 33N (EPSG:32633).

Na základě kvalitativních vrstev byly odstraněny pixely ovlivněné oblačností, cirry, stíny oblaků, sněhem, vysokou aerosolovou zátěží, radiometrickou saturací a výplňovými hodnotami. Digitální hodnoty atmosféricky korigované povrchové odrazivosti byly převedeny vztahem  $\text{odrazivost} = \text{DN} \times 0,0000275 - 0,2$  a omezeny na interval 0–1. Použita byla modrá, zelená, červená, blízká infračervená a dvě krátkovlnná infračervená pásma (Google, n.d.).

Z očištěných dat byly vypočteny indexy NDVI, EVI, EVI2, SAVI, NDWI, MNDWI, NDMI, BSI, GCI a NBR. Jejich definice i původní metodické zdroje odpovídaly tabulce A1 mapové metodiky (Sládeček et al. 2026). Indexy popisovaly množství a stav vegetace, vlhkost, přítomnost vody a odkrytého půdního povrchu. Pro každý dostupný termín snímkování byl v zemědělské části ploch 200 × 200 m a 600 × 600 m vypočten plošně vážený medián jednotlivých indexů. Váha zohledňovala skutečný plošný překryv 30m pixelu s hodnocenou částí plochy.

Stejným způsobem jako pro mapu byly odvozeny plošné podíly vybraných kategorií povrchu. Holou půdu vymezovala současná platnost podmínek  $\text{NDVI} < 0,20$ ,  $\text{EVI2} < 0,20$ ,  $\text{SAVI} < 0,25$ ,  $\text{BSI} > 0$ ,  $\text{MNDWI} < 0$  a  $\text{NDWI} < 0$ . Otevřenou vodu vymezovaly podmínky  $\text{MNDWI} > 0,10$ ,  $\text{NDWI} > 0$ ,  $\text{NDVI} < 0,15$ ,  $\text{EVI2} < 0,15$  a  $\text{BSI} < 0$ . Plochy s nízkou vegetací byly vymezeny hodnotou  $\text{NDVI} < 0,40$ . Velmi vlhký povrch zahrnoval otevřenou vodu nebo pixely současně splňující  $\text{MNDWI} > 0$ ,  $\text{NDMI} > 0,20$ ,  $\text{NDVI} < 0,35$  a  $\text{BSI} < 0,10$ . Podíl každé kategorie byl vypočten z platných pixelů s plošným vážením, samostatně pro obě prostorová měřítka. Jde o spektrálně odvozené charakteristiky povrchu, nikoli o přímá měření výšky porostu nebo půdní vlhkosti.

### **3.6 Časové přiřazení satelitních prediktorů**

Pro každou hodnocenou plochu a rok byla sestavena časová řada satelitních charakteristik. Pokud bylo pro stejný den dostupných více hodnot, byly nejprve zprůměrovány. Hodnota k požadovanému datu byla určena lineární interpolací mezi nejbližšími dostupnými termíny snímkování. Pokud datum leželo mimo rozsah dostupných snímků daného roku, byla použita

hodnota nejbližšího snímku. Tento postup zajišťoval časově srovnatelné přiřazení prediktorů k prezencím, pseudoabsencím a jednotlivým dnům sledování reprodukce a odpovídal přípravě vstupních dat mapy (Sládeček et al. 2026, kap. 3.5).

### **3.7 Meteorologická data**

Údaje o počasí byly získány ze serveru Open-Meteo prostřednictvím rozhraní Historical Weather API (Zippenfenig 2023). Staženy byly denní průměry, minima a maxima teploty vzduchu ve výšce 2 m nad zemí a denní úhrny srážek pro období od 1. února do 31. července v každém roce 2013–2025. Požadavky používaly časové pásmo Europe/Prague. Zdrojem byly prostorově souvislé meteorologické reanalýzy zpřístupněné touto službou.

Data byla stahována pro pravidelnou síť souřadnic s krokem 0,1° zeměpisné šířky i délky, pokrývající Českou republiku a její okolí. Denní vrstvy byly převedeny ze souřadnicového systému WGS 84 do UTM 33N a bilineární interpolací převzorkovány do rastru s velikostí buňky 10 × 10 km. Z těchto denních řad byly následně agregovány teplotní a srážkové charakteristiky za předchozí období využitě při modelování přežívání. Výběr a další úprava meteorologických prediktorů hnízdního přežívání jsou popsány v kapitole 4.4.

## **4 Statistické analýzy a příprava výstupů koncepce**

Analýzy byly provedeny v prostředí R (R Core Team 2026) a navazovaly na přípravu dat popsanou v kapitolách 2 a 3. Výskyt čejek byl porovnáván s dostupným prostředím zastoupeným pseudoabsencemi, zatímco reprodukční úspěšnost byla hodnocena samostatně pro přežívání hnízd a rodinek s kuřaty. Při popisu vztahů k prostředí byly rozlišovány dílčí analýzy jednotlivých prediktorů a víceproměnné modely. Výběr vysvětlujících proměnných měl explorační charakter. Kompatibilita s mapou spočívala ve společné přípravě vstupních dat a prediktorů. Níže popsané analýzy však sloužily k inferenci a interpretaci ekologických vztahů a přípravě grafů koncepce.

### **4.1 Vztah výskytu čejky k vlastnostem prostředí**

Vztahy mezi výskytem čejky a charakteristikami prostředí byly hodnoceny zobecněnými lineárními modely s binomickým rozdělením a logit link-funkcí. Pro každý DPB a rok byl ponechán nejvýše jeden záznam, označený jako prezence nebo pseudoabsence. Číselné prediktory byly v dílčích analýzách standardizovány odečtením průměru a dělením směrodatnou odchylkou. Grafy jejich efektů tak vyjadřovaly změnu logaritmu šancí na prezenci při zvýšení prediktoru o jednu směrodatnou odchylku, s 95% intervalem spolehlivosti odvozeným jako odhad  $\pm 1,96$ násobek střední chyby. Dílčí modely byly doplněny společnými modely půdních, vegetačních a krajinných charakteristik. Při jejich sestavování byly kontrolovány korelace prediktorů a použita obousměrná kroková selekce podle Akaikeho informačního kritéria (AIC).

Pro srovnání půdních skupin a plodin byly odhadnuty samostatné hodnoty pro jednotlivé kategorie pomocí binomických modelů bez společného interceptu. Odhady a 95% intervaly spolehlivosti získané profilováním věrohodnosti byly převedeny z logit škály na procenta. Do srovnání plodin

vstupovaly kategorie s více než 150 záznamy v souboru prezencí a pseudoabsencí. Graf půdních skupin byl doplněn mediánem úřední ceny půdy v dané skupině. Procentní hodnoty výskytových modelů vyjadřují podíl prezencí v analyzovaném souboru a závisejí na výběru pseudoabsencí. Slouží tedy k odhadu efektu jednotlivých charakteristik prostředí, nikoli jako odhad absolutní pravděpodobnosti obsazení daného pozemku.

## **4.2 Sezónní a meziroční změny využívání plodin**

Změny zastoupení plodin byly hodnoceny pouze mezi prezenčními záznamy hnízd, toku a rodinek s kuřaty od 91. do 161. dne roku. Informace o plodině byly propojeny s terénním popisem habitatu. Pro řepku, ozimé obiloviny, jarní obiloviny, travní porosty, kukuřici a úhory byl samostatně odhadnut binomický model, který porovnával výskyt dané skupiny plodin se zbývajícimi záznamy a obsahoval den v roce a kalendářní rok jako současně působící prediktory. Sezónní křivky byly predikovány při průměrném roce a meziroční průběhy při průměrném dni sezóny. Výsledky popisovaly změny ve využívání plodin čejkami v rámci zaznamenaných výskytů, nikoli plošné zastoupení těchto plodin v krajině.

## **4.3 Odhad hnízdní úspěšnosti**

Hnízdní úspěšnost byla odhadována regresním modelem denní pravděpodobnosti přežití s logit link-funkcí, který umožňoval zohlednit nepravidelné kontroly i proměnlivé podmínky prostředí v jednotlivých dnech (Dinsmore et al. 2002). Vstup tvořily údaje o osudu a době sledování jednotlivých hnízd propojené s denními charakteristikami prostředí. Sledování začínalo nálezem aktivního hnízda. Období před nálezem tedy do modelu nevstupovalo.

Pravděpodobnost přežití období, po které bylo hnízdo prokazatelně aktivní, byla vyjádřena součinem denních pravděpodobností přežití. U neúspěšných hnízd se tento součin násobil pravděpodobností zániku mezi poslední pozitivní kontrolou a koncem intervalu, v němž byl zánik možný. Ta byla vypočtena jako jedna minus součin denních pravděpodobností přežití tohoto intervalu. Model tak zahrnoval nejistotu dne zániku bez přiřazení konkrétního data. U úspěšných hnízd a hnízd s nejasným osudem přispívalo do věrohodnosti pouze období vymezené podle pravidel v kapitole 2.1. U hnízd s nejasným osudem končilo poslední pozitivní kontrolou.

Parametry byly odhadnuty metodou maximální věrohodnosti pomocí vlastní funkce využívající balíček RTMB (Kristensen 2026), s numerickou optimalizací funkcí nlminb. Při výpočtu byla kontrolována konvergence; střední chyby byly získány z křivosti logaritmické věrohodnosti v okolí optima. Z modelu obsahujícího pouze intercept byla odhadnuta celková denní míra přežívání. Jejím umocněním na 27 byla získána pravděpodobnost přežití referenční 27denní inkubace za předpokladu stálé denní míry přežití. Stejný přepočít byl použit u grafických srovnání habitatů.

Při porovnání habitatů byly meziplodiny sloučeny s úhory a zahrnuty pouze kategorie s více než 15 hnízdy. Pro každou kategorii byla samostatně odhadnuta denní míra přežívání a její 95% Waldův interval spolehlivosti. Odhad i obě meze intervalu byly následně převedeny na pravděpodobnost přežití 27denní inkubace a zobrazeny spolu s počtem hnízd. Tento postup tvořil podklad grafu

úspěšnosti čejek na různých typech zemědělských ploch. Termíny zahájení snůšek byly dále popsány histogramem a jejich meziroční změna lineární regresí; do tohoto hodnocení vstupovala pouze hnízda s odhadnutým počátkem hnízdění.

#### **4.4 Souvislosti hnízdního přežívání s počasím a prostředím**

Nejprve byly samostatně posouzeny vztahy denního přežívání k termínu sezóny, roku, fázi inkubace, počasí, satelitním indexům a charakteristikám půdy a krajiny. Meteorologické prediktory vycházely z denních dat Open-Meteo popsanych v kapitole 3.7., přičemž porovnány byly proměnné pro různě dlouhá předchozí období (1-30 dní) a vybrány časové úseky s nejnižším AIC. Pro společný model tak byla použita průměrná teplota za předchozích sedm dní a suma srážek za předchozích čtrnáct dní. Obě proměnné byly před zařazením do modelu nahrazeny rezidui z jejich lineárního vztahu ke dni v roce. Jejich efekty tak popisovaly souvislost přežívání s odchylkou počasí od průměrného lineárního sezónního průběhu.

Do širšího společného modelu vstupovaly proměnné vybrané na základě dílčích analýz, a to pokud v nich dosáhly  $p < 0,1$ . Následovala obousměrná kroková selekce podle AIC a další zjednodušení modelu. Model použitý pro souhrnný graf efektů zahrnoval den v roce, teplotní a srážkovou odchylku a vzdálenost hnízda od okraje pole. Efekty byly zobrazeny na logit škále s 95% Waldovými intervaly spolehlivosti; kladná hodnota znamenala vyšší denní přežívání. Vysvětlující schopnost byla doplnkově hodnocena McFaddenovým pseudo- $R^2$  vůči modelu obsahujícímu pouze intercept.

Samostatně byla hodnocena také souvislost přežívání s počtem známých sousedních hnízd do vzdálenosti 200 m. Za časově související bylo považováno sousední hnízdo, jehož interval od nejčasnějšího do nejpozdějšího evidovaného data se alespoň částečně překrýval s obdobně vymezeným intervalem hodnoceného hnízda, rozšířeným o pět dní na obě strany. Vlastní hnízdo se do počtu nezahrnovalo. Ukazatel tak charakterizoval lokální shlukování evidovaných hnízd.

#### **4.5 Přežívání rodinek s kuřaty**

Přežívání rodinek bylo analyzováno pro období do 30. dne věku kuřat (předpokládaného přibližného data dosažení vzletnosti) pomocí zobecněných lineárních smíšených modelů s binomickým rozdělením a logit link-funkcí, odhadovaných funkcí glmer v balíčku lme4 (Bates et al. 2015). Vysvětlovanou událostí byl zánik celé rodinky, tedy úhyn posledního kuřete odvozený z chování samice způsobem popsáným v kapitole 2.2. Náhodný intercept pro rodinku zohledňoval opakovaná denní pozorování téže rodinky.

Jednotlivé prediktory byly posuzovány v samostatných modelech po standardizaci: věk kuřat, den v roce, vzdálenost od polohy v předchozím dni, vzdálenost od okraje pole, výměra a úřední cena půdy, teplotní a srážkové charakteristiky a lokální satelitní ukazatele prostředí. Pro každý vztah byl zaznamenán odhad efektu, jeho p-hodnota a AIC. Kladný koeficient zde znamenal vyšší riziko zániku rodinky. Analýza vypovídala o přežívání alespoň jednoho kuřete v rodince. Neposkytovala tak odhad úmrtnosti jednotlivých kuřat.

#### 4.6 Sezónní změny vegetačních podmínek

Vegetační podmínky na využívaných a srovnávacích plochách byly porovnány pomocí lokálního indexu NDVI. Zahrnuta byla data o výskytu čejek získaná z databáze avif a příslušné pseudoabsence (viz kap. 2.3 a 2.4). Lineární model vysvětlující hodnoty NDVI obsahoval coby prediktory status prezence či pseudoabsence, standardizovaný den v roce a jejich interakci, která umožňovala posoudit, zda se sezónní průběh NDVI mezi oběma skupinami lišil. Rozdělení NDVI na využívaných plochách bylo dále charakterizováno decily a graficky porovnáno s dostupným prostředím. Tato analýza poskytovala podklad pro interpretaci vegetačních podmínek využívaných čejkami během sezóny.

#### 4.7 Modelování úbytku vhodného hnízdního prostředí pomocí GAM

Sezónní a meziroční změny dostupnosti vhodného hnízdního prostředí byly hodnoceny ze souboru všech zemědělských dílů půdních bloků (DPB) a všech zpracovaných snímků Landsat 8 pořízených během sezóny v letech 2013–2025. Jednotkou analýzy byla kombinace DPB a snímku, přičemž soubor zahrnoval přibližně 65 milionů těchto kombinací. Pro každou takovou kombinaci byl stanoven medián NDVI za celý DPB; plocha byla v daném termínu klasifikována jako vegetačně vhodná při  $NDVI \leq 0,45$  a jako nevhodná při vyšší hodnotě. Vysvětlovanou proměnnou modelu byla tato binární klasifikace.

Byl použit zobecněný aditivní model (GAM) s binomickým rozdělením a logit link-funkcí, odhadnutý funkcí `bam` v balíčku `mgcv` (Wood 2017). Model zahrnoval hladké efekty dne v roce, kalendářního roku a nadmořské výšky a tenzorové interakce dne v roce s nadmořskou výškou a s rokem. Ty umožňovaly, aby se sezónní průběh vhodnosti měnil podél výškového gradientu i mezi roky. Použity byly kubické regresní spliny typu *cr* s dimenzí báze  $k = 10$  pro den v roce a nadmořskou výšku a  $k = 3$  pro rok. Stejně dimenze byly použity pro příslušné složky tenzorových interakcí *ti*. Míra vyhlazení byla odhadnuta metodou `fREML`. Pro efektivní zpracování rozsáhlého souboru byla použita diskretizace prediktorů a paralelní výpočet ve čtyřech vláknech.

Z jednoho společného modelu byly odvozeny sezónní křivky pro roky 2013 a 2025 v 300 rovnoměrně rozložených termínech mezi nejnižším a nejvyšším dnem v roce zastoupeným ve vstupních datech. Obě křivky byly predikovány při stejné referenční nadmořské výšce, určené jako průměr nadmořských výšek záznamů výskytového souboru s více než jedním jedincem a známou nadmořskou výškou. Predikce i jejich střední chyby byly získány na logit škále. Odhady byly následně převedeny inverzní logit funkcí na pravděpodobnost, čímž vznikly odhadované křivky.

Model odhadoval pravděpodobnost, že medián NDVI celého DPB nepřesáhne hranici 0,45 při daném termínu, roce a nadmořské výšce. Jednotlivé záznamy DPB–snímek vstupovaly do modelu se stejnou vahou, bez vážení výměrou. Křivky proto vyjadřují modelovaný podíl vegetačně vhodných DPB při referenční nadmořské výšce, nikoli podíl celkové výměry zemědělské půdy v České republice. Jde o ukazatel vegetačních podmínek pro zahnízdění, nikoli skutečného obsazení ploch nebo hnízdní úspěšnosti.

## 5. Použité zdroje

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Česká společnost ornitologická [ČSO]. (n.d. a). Faunistická databáze ČSO (Avif). Databázový portál: <https://avif.birds.cz/>. Popis zdroje: <https://www.birdlife.cz/co-delame/vyzkum-a-ochrana-ptaku/vyzkum-ptaku/avif/> [cit. 9. 10. 2026].

Česká společnost ornitologická [ČSO]. (n.d. b). Monitoring čejky chocholaté. Projekt České společnosti ornitologické. <https://projekty.birds.cz/cejka/> [cit. 9. 10. 2026].

Dinsmore, S. J., White, G. C. & Knopf, F. L. (2002). Advanced techniques for modeling avian nest survival. *Ecology*, 83(12), 3476–3488. <https://doi.org/10.2307/3072096>

Earth Resources Observation and Science (EROS) Center [EROS Center]. (2020). Landsat 8-9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2 [dataset]. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6>.

European Environment Agency [EEA]. (2020). CORINE Land Cover 2018 (vector), Europe, 6-yearly, version 2020\_20u1. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/71c95a07-e296-44fc-b22b-415f42acfd0>.

European Environment Agency [EEA]. (n.d.). High Resolution Layer Tree Cover and Forests: Dominant Leaf Type. Katalog datových produktů Copernicus Land Monitoring Service. [https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-forests-and-tree-cover?tab=dominant\\_leaf\\_type](https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-forests-and-tree-cover?tab=dominant_leaf_type) [cit. 9. 10. 2026].

Google. (n.d.). USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1. Earth Engine Data Catalog, kolekce LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2. [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C02\\_T1\\_L2](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2) [cit. 9. 10. 2026].

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

Chajma, P. & Sládeček, M. 2026. Open biomimetic 3D-printable surrogate eggs for avian incubation research and conservation breeding [dataset]. Verze V2. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.22893273>.

Kristensen, K. (2026). RTMB: 'R' Bindings for 'TMB'. Balíček pro R. <https://CRAN.R-project.org/package=RTMB>

Mabee, T. J., Wildman, A. M. & Johnson, C. B. (2006). Using egg flotation and eggshell evidence to determine age and fate of Arctic shorebird nests. *Journal of Field Ornithology*, 77, 163–172. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2006.00037.x>

Ministerstvo zemědělství České republiky [MZe]. (2022). Veřejný export dat LPIS. Publikováno 13. 4. 2022. Registr půdy LPIS, Portál farmáře. <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/farmer/LPIS/uzivatelske-prirucky/prirucky-pro-verejny-lpis/export-dat-lpis> [cit. 9. 10. 2026].

OpenStreetMap contributors. (n.d.). OpenStreetMap. Průběžně aktualizovaná geografická databáze. <https://www.openstreetmap.org/>. Informace o autorství a licenci: <https://www.openstreetmap.org/copyright> [cit. 7. 10. 2026].

Podrobná metodika tvorby, modelování a interpretace mapových predikcí výskytu čejky chocholaté v České republice. (2026). Pracovní metodika k mapové aplikaci, aktuální verze poskytnutá autory. Soubor Mapova\_aplikace\_cejka\_metodika.docx. V textu zkráceně citováno jako „Podrobná metodika 2026“.

R Core Team. (2026). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Sládeček, M., Telenský, T. & Chajma, P. 2026. Podrobná metodika tvorby, modelování a interpretace mapových predikcí pro odbornou mapu „Potenciál hnízdního výskytu čejky chocholaté (*Vanellus vanellus*) na orné půdě v ČR“. Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. 27 s. [https://bergmaps.fzp.czu.cz/projects/lapwing/Mapova\\_aplikace\\_cejka\\_metodika.pdf](https://bergmaps.fzp.czu.cz/projects/lapwing/Mapova_aplikace_cejka_metodika.pdf).

Státní pozemkový úřad [SPÚ]. (n.d.). Bonitované půdně-ekologické jednotky. Celostátní databáze BPEJ a přístup k vektorovým datům. <https://spu.gov.cz/pudni-sluzba/bpej>. Datový portál: <https://geoportal.spucr.cz/web/cz/bpej-open-data> [cit. 9. 10. 2026].

Šťastný, K., Bejček, V., Mikuláš, I. & Telenský, T. (2021). Atlas hnízdního rozšíření ptáků v České republice 2014–2017. Aventinum, Praha.

van Paassen, A. G., Veldman, D. H. & Beintema, A. J. (1984). A simple device for determination of incubation stages in eggs. *Wildfowl*, 35, 173–178. [https://www.chirpscholekster.nl/downloads/Paassen\\_Wildfowl\\_1984.pdf](https://www.chirpscholekster.nl/downloads/Paassen_Wildfowl_1984.pdf)

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. [VÚMOP]. (n.d.). eKatalog BPEJ. Interpretace a charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek. <https://bpej.vumop.cz/> [cit. 9. 10. 2026].

Wood, S. N. (2017). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. 2nd edition. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315370279>

Zippenfenig, P. (2023). Open-Meteo.com Weather API [software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7970649>. Dokumentace Historical Weather API: <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api> [cit. 9. 10. 2026].