

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie a ornitologická laboratoř



**Modelování regionálního rizika nakažení klíšťovou
encefalitidou pomocí abundance drobných hlodavců
a klimatické variability**

Bakalářská práce

Nikola Dorníčáková

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie a ekologie

Forma studia: Prezenční

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala sama, s pomocí mého vedoucího pana prof. MVDr. Emila Tkadlece, CSc. a citované literatury.

V Olomouci dne

Podpis

DORNIČÁKOVÁ N. Modelování regionálního rizika nakažení klíšťovou encefalitidou pomocí abundance drobných hlodavců a klimatické variability. Bakalářská práce, Katedra zoologie a ornitologická laboratoř, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 42 s., česky.

Abstrakt

Klíšťová encefalitida patří k jednomu z nejčastějších a zároveň nejzávažnějších virových onemocnění v České republice, které je přenášeno klíšťaty. I přes to, že existuje na klíšťovou encefalitidu očkování, stále roste počet případů lidí nakažených tímto virem. při čemž až 1 % končí smrtí. Předchozí výzkum ukázal, že riziko nakažení lze předpovědět pro celou Českou republiku s použitím početnosti hraboše polního a indexů klimatické variability. Cílem této bakalářské práce je prošetřit, zda se dá riziko předpovědět také na regionální úrovni, tj. na úrovni krajů.

Roční incidence klíšťové encefalitidy jsem analyzovala pomocí autoregresních lineárních modelů 0 až 2 řádu, v nichž byly jako regresory využity podzimní abundance hraboše polního a roční index NAO v roce $t-1$. Tyto modely byly vytvořeny jak pro jednotlivé kraje, tak i pro celou Českou republiku. Modely se ukázaly jako účinné na celostátní úrovni. Pro jednotlivé kraje České republiky se předpověď rizika nakažení KE za pomoci zmiňovaných regresorů zcela potvrdila pouze v 5 krajích, a to kraji Jihočeském, Pardubickém, kraji Vysočina, Jihomoravském a Olomouckém kraji. Z práce vyplývá, že hustota populace hraboše polního a klimatické vlivy jsou na regionální úrovni méně efektivní než na celostátní úrovni.

Klíčová slova: klíště obecné, hraboš polní, klíšťová encefalitida, predikce nakažení klíšťovou encefalitidou, Česká republika

DORNIČÁKOVÁ N. Modelling regional risk of tick-borne encephalitis infection using small rodent host abundance and climatic variability. Bachelor's thesis, Department of Zoology and Ornithological Laboratory, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 42 pp., Czech.

Abstract

Tick-borne encephalitis is one of the most common and at the same time the most serious viral diseases in the Czech Republic, which is transmitted by ticks. Despite the fact that there is a vaccine for tick-borne encephalitis, the number of cases of people infected with the virus is still increasing, with up to 1 % dying. Previous research has shown that the risk of infection can be predicted for the entire Czech Republic using vole abundance and climate variability indices. The aim of this bachelor's thesis is to investigate whether the risk can also be predicted at the regional level, i.e. at the level of the regions.

I analyzed the annual incidence of tick-borne encephalitis using autoregressive linear models of order 0 to 2, in which autumn vole abundance and the annual NAO index in year $t - 1$ were used as regressors. These models were created both for individual regions and for the entire Czech Republic. The models have proven to be effective at the national level. For individual regions of the Czech Republic, the prediction of the risk of contracting TBE with the help of the mentioned regressors was fully confirmed in only 5 regions, namely South Bohemia, Pardubice, Vysočina, South Moravia and Olomouc regions. The work shows that the population density of the field vole and climatic influences are less effective at the regional level than at the national level.

Keywords: castor bean tick, common vole, tick-borne encephalitis, prediction of tick-borne encephalitis, Czech Republic

Obsah

Seznam tabulek	7
Seznam obrázků	8
Poděkování.....	10
Úvod.....	11
Klíšťová encefalitida.....	11
Ekologie klíšťat a jejich role v přenosu viru na člověka.....	13
Klíště obecné.....	14
Podmínky prostředí.....	16
Dynamika hostitelských populací	17
Význam hraboše polního pro predikci rizika nakažení.....	18
Cíle práce	22
Materiál a metody	23
Výsledky	25
Diskuse.....	35
Závěr	38
Literatura.....	39

Seznam tabulek

Tab. 1. Rozdíly v Akaikého informačním kritériu (AICc) od nejlepšího modelu. Pro časové řady incidencí KE v letech 2000–2021 byly použity autoregresní lineární modely 0–2 řádu s početností hraboše polního a ročním indexem NAO jakožto regresory. Model s AICc, která se rovná 0 a který je nižší alespoň o 2 než druhý nejlepší model, indikuje nejlepší model s nejvyšší podporou dat..... 33–34

Seznam obrázků

- Obr. 1. Vývojová stádia klíštěte obecného (*Ixodes ricinus*). Shora největší je dospělá samice (v nenapitém stavu), uprostřed dvě larvy a dole jedna nymfa (podle Lindquist a kol., 2008) 14
- Obr. 2. Geograficky znázorněný výskyt klíšťat *Ixodes ricinus* na západní straně a *Ixodes persulcatus* na východní straně. Zelené pole znázorňuje překryv výskytu obou klíšťat. Tečkovaná čára značí hranici endemické oblasti KE (Lindquist a kol., 2008). 16
- Obr. 3. Kraje České republiky, pro které jsem vytvořila modely pro rizika nakažení klíšťovou encefalitidou (Raždík, 2020). 23
- Obr. 4. Meziroční dynamika incidencí KE (modrá čára) v ČR a jednotlivých krajích (Česká republika (a), Středočeský kraj (b), Jihočeský kraj (c), Plzeňský kraj (d), Karlovarský kraj (e), Ústecký kraj (f), Liberecký kraj (g), Královéhradecký kraj (h) a Pardubický kraj (i)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou. 25
- Obr. 5. Meziroční dynamika incidencí KE (modrá čára) v jednotlivých krajích (kraj Vysočina (a), Jihomoravský kraj (b), Olomoucký kraj (c), Moravskoslezský kraj (d) a Zlínský kraj (e)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou. 26
- Obr. 6. Meziroční abundance hraboše polního (modrá čára) v ČR a jednotlivých krajích (Česká republika (a), Středočeský kraj (b), Jihočeský kraj (c), Plzeňský kraj (d), Karlovarský kraj (e), Ústecký kraj (f), Liberecký kraj (g), Královéhradecký kraj (h) a Pardubický kraj (i)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou. 27
- Obr. 8. Meziroční dynamika indexu NAO (modrá čára) v letech 2000–2021. Časový trend odhadnut pomocí vyhlazovacích funkcí znázorněny černou čarou. 28
- Obr. 7. Meziroční abundance hraboše polního (modrá čára) v jednotlivých krajích (kraj Vysočina (a), Jihomoravský kraj (b), Olomoucký kraj (c), Moravskoslezský kraj (d) a Zlínský kraj (e)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou. 28
- Obr. 9. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a abundance hraboše polního pro celou ČR a jednotlivé kraje (po řádcích zleva doprava: Česká republika, Středočeský kraj, Jihočeský kraj, Plzeňský kraj, Karlovarský kraj, Ústecký kraj, Liberecký kraj, Královéhradecký kraj a Pardubický kraj). Maximální pozitivní korelace se ukazuje pro celou ČR a kraj Středočeský, Jihočeský, Ústecký a Pardubický. 29
- Obr. 10. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a abundance hraboše polního pro jednotlivé kraje ČR (po řádcích zleva doprava: kraj Vysočina, Jihomoravský kraj, Olomoucký

kraj, Moravskoslezský kraj a Zlínský kraj). Maximální pozitivní korelace se ukazuje pro kraj Vysočina a Jihomoravský.	30
Obr. 11. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a ročního indexu NAO pro celou ČR a jednotlivé kraje (po řádcích zleva doprava: Česká republika, Středočeský kraj, Jihočeský kraj, Plzeňský kraj, Karlovarský kraj, Ústecký kraj, Liberecký kraj, Královéhradecký kraj a Pardubický kraj). Maximální negativní korelace se ukazuje pro celou ČR a kraj Jihočeský, Plzeňský a Karlovarský.....	31
Obr. 12. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a ročního indexu NAO pro jednotlivé kraje ČR (po řádcích zleva doprava: kraj Vysočina, Jihomoravský kraj, Olomoucký kraj, Moravskoslezský kraj a Zlínský kraj). Maximální negativní korelace se ukazuje pro kraj Vysočina, Jihomoravský a Olomoucký.	32

Poděkování

Tímhle bych chtěla poděkovat panu prof. MVDr. Emilu Tkadlecovi, CSc. nejen za odborné vedení mé bakalářské práce a poskytnutí literatury, ale i za pomoc, trpělivost, ochotu a předání cenných rad. Dále chci poděkovat mé rodině za to, že mě podporovala po celou dobu studia a byla mi velikou oporou. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mým přátelům za pomoc a vzájemnou podporu po celou dobu studia.

Úvod

Klíště obecné (*Ixodes ricinus* Linnaeus.) může být původcem mnoha závažných onemocnění jak u lidí, tak u živočichů. Mezi nejběžnější onemocnění přenášené klíštětem v Evropě a taktéž České republice patří lymeská borelióza, jejímž původcem jsou pohyblivé gramnegativní mikroaerofilní bakterie *Borrelia burgdorferi* sensu lato. Komplex bakterie obsahuje přinejmenším 21 genodruhů, z nichž každý druh vykazuje afinitu k rozdílným tkáním. Přenašečem onemocnění je již zmiňované klíště obecné, a to nejčastěji ve stádiu nymfy a dospělého. Cílovými rezervoáry jsou plazi, ptáci a drobní i velcí savci. Onemocnění je také přenositelné na člověka, avšak nejedná se o hlavní hostitelskou skupinu, nýbrž o zcela náhodný jev (Kybicová a kol., 2018). Dalším z nejčastějších infekčních onemocnění vyskytujícím se na našem území je klíšťová encefalitida. I v tomto případě se jedná o onemocnění, jehož přenašečem je klíště obecné (viz níže).

K dalším onemocněním vyskytujícím se na území ČR, jejichž vektorem je klíště obecné, patří babesiosy. Nejčastějším původcem této nemoci je parazit *Babesia microti*. Zcela výjimečně byla zaznamenána nemoc granulocytární ehrlichiozy, která je šířena za pomoci mikrobu s názvem *Anaplasma phagocytophila*. Dále bartonellosa, kterou způsobuje parazit *Bartonella henselae*, a rickettsiosy s původcem *Rickettsia slovaca* a *Rickettsia helvetica* (Havlík, 2010; Kříž, 2014).

Klíšťová encefalitida

Jde o závažné virové onemocnění napadající centrální nervovou soustavu, které způsobuje zánět mozku a mozkových blan. Klíšťová encefalitida (KE) je onemocnění způsobeno RNA virem z rodu Flavivirů a čeledi Flaviviridae. Tato čeleď dostala název podle svého zástupce viru žluté zimnice. Flaviviry jsou kromě klíšťat přenášeny i komáry. Virus KE se dále dělí na tři subtypy, a to evropský, dálnévýchodní a sibiřský. V České republice se nachází evropský subtyp, jehož vektorem je právě klíště obecné (Růžek a kol., 2015). Původce tohoto závažného onemocnění je řazen do skupiny arbovirů, což je obecné označení pro viry, které přenáší členovci. Stejně jako ostatní onemocnění přenášené klíšťaty, i KE je zoonóza. Jedná se tedy o onemocnění zejména volně žijících zvířat s možným přenosem na člověka (Kříž a kol., 2015).

Přenašečem tohoto onemocnění je klíště obecné, které parazituje na infikovaných zvířatech, ze kterých může onemocnění přenést i na člověka. (Kánská, 2021). Onemocnění klíšťové encefalitidy se přenáší na člověka při sání krve hostitele. Existují však případy, kdy došlo k nakažení KE při pozření tepelně neupraveného mléka či mléčných výrobků pocházejících od infikovaných hospodářských zvířat (Lindquist a kol., 2008). Po zakousnutí klíštěte do hostitele dochází k vylučování jeho slin spolu s virem KE. Ten napadá jako první buňky v okolí kousnutí, kde se replikuje. Zanedlouho na to se virus dostává pomocí lymfy do mízních uzlin, poté do krve, čímž se dostane do dalších orgánů (Růžek a kol., 2015).

Klíšťová encefalitida je onemocnění s přírodní ohniskovostí. Vyskytuje se v oblastech, ve kterých jsou příhodné podmínky pro život klíštěte, jakožto přenašeče a také rezervoáru, který představují zejména drobní hlodavci pro jejich rychle se množící populace. Dospělá samice či jiné vývojové stádium klíštěte při sání krve na obratlovcích svého hostitele nakazí, ten se stává infikovaným a rozvíjí se u něj virémie. Pokud se na obratlovce přisaje nové klíště, stává se z něj přenašeč viru, a to na celou dobu svého vývoje (transstadiální přenos). K přenosu viru může dojít i tzv. transovariálně, kdy samička, sloužící jako nosič nemoci, klade infikovaná vajíčka. Tím dochází k přirozenému koloběhu onemocnění. V případě nakažení člověka se vir dále nepřenáší, neboť člověk není cílovým hostitelem klíštěte. Taktéž není zaznamenán přenos infekce z člověka na člověka. Další podmínkou přírodního ohniska je dostatečná vlhkost klimatu a teplota půdy, která nesmí v zimě klesnout pod $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tyto podmínky často najdeme na lesních mýtinách, v údolích podél řek, podél křovitých cest v lese a na jeho okrajích (Havlík, 2010).

V České republice se nachází spousta míst s vhodnými ekologickými podmínkami pro život jak přenašečů, tak i rezervoárů nemoci. Dlouhá je i doba výskytu klíšťat. Ty začínají být aktivní na jaře, kdy teplota přesáhne $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sezónní výskyt klíšťat se pohybuje od března do listopadu. Můžeme ale na ně narazit i během teplé zimy (Kánská, 2021).

Průběh klíšťové encefalitidy je zpravidla dvoufázový a jeho inkubační doba se odhaduje na 3–30 dní. Po proniknutí viru KE do těla hostitele u něj dochází k vytváření specifických protilátek. Ve dvou třetinách případů tak dochází pouze k bezpříznakové infekci. Ve zbylých případech se po uplynutí inkubační doby rozvíjí první fáze onemocnění. Virus se dostává do lymfatických uzlin, kde se replikuje. Odtud putuje do krve, s čímž se začínají projevovat první příznaky podobající se chřipce, jako je

únava, horečka, bolest hlavy, kloubů a svalů. Tato fáze trvá asi 3–5 dní. Poté následuje období klidu s délkou 1–20 dní. U některých lidí touhle fází onemocnění končí a dochází k uzdravení. V opačném případě se začíná rozvíjet v závažnější druhou fázi. Virus se dostává do centrální nervové soustavy a poškozuje neurony. Postižený má silné bolesti hlavy, znovu se začíná objevovat horečka, zvracení, trpí světloplachostí, poruchou paměti, spánku, nebo naopak se objevuje spavost, dále porucha hybnosti svalů, dochází také k neurologickým potížím, jako jsou poruchy hlavových nervů, bulbární syndrom, nervová obrna. Tato fáze může trvat až 3 týdny. Jelikož neexistuje přímá léčba KE, můžeme pouze tišit její symptomy, dokud neustanou. V některých případech dochází ke vzniku trvalých následků ve formě obrny jedné ze dvou horních končetin, přetrvávat může i únava, deprese, neschopnost soustředění, porucha spánku a chronická bolest hlavy. Ve výjimečných případech má onemocnění KE fatální následky. V České republice dochází k úmrtí vlivem nemoci přibližně u 1 % případů. V úvahu bereme i věk pacientů. V 80 % případů jsou nemocní dospělí. Se zvyšujícím se věkem roste také závažnost onemocnění. Nejrizikovější skupinou za rok 2020 byli lidé ve věku 60–64 let (Petraš, 2007; Petroušová a kol., 2014; Kánská, 2021; Orlíková a kol., 2021).

Na klíšťovou encefalitidu, jako na jedinou u nás se vyskytující nemoc přenášenou klíšťaty, existuje očkování. Jedná se o účinnou ochranu před onemocněním. V případě správné aplikace trvá ochrana až tři roky. Další forma ochrany je pasivní. Tkví ve volbě vhodného oblečení, obuvi a použití repelentů. Popřípadě vyhýbání se místům s vyšší rizikovostí nákazy (Havlík, 2010).

Ekologie klíšťat a jejich role v přenosu viru na člověka

Vyloučíme-li transovariální přenos viru, pak se musí klíšťe, jakožto vektor nemoci, nejprve setkat s nějakým rezervoárem viru a tím jsou obratlovci. Nejčastěji se jedná o drobné zemní hlodavce z rodu *Apodemus* či *Microtus*. Tito živočichové jsou vhodnými hostiteli larválního, stádia klíšťe, jelikož se pohybují blízko při zemi. Pokud se larva napije krve od viremického hostitele, nese si s sebou virus přes všechna vývojová stádia. Vývojové stádium nymfy již začíná šplhat na vegetaci, kde číhají na středně velké obratlovce včetně člověka. Dospělé samice klíšťat šplhají po vegetaci ještě výše, a proto se dostávají na hostitele převážně z velkých savců, jako jsou například velcí kopytníci nebo člověk. Tito živočichové, na kterých klíšťe parazituje, mohou mít v těle vir KE, který se následně sáním krve dostává do klíšťe, nebo naopak

se může vir stejnou cestou dostat z klíštěte do těla hostitele, ze kterého se poté napije jiné klíště a stává se tak přenašečem. Tento mechanismus udržuje koloběh viru v přírodě.

Rezervoárem viru nemusí být jen divoká zvířata. Může se jednat i o hospodářská zvířata, jako jsou ovce, kozy či skot. Virus může mít v těle také pes či kočka. Pro cirkulaci viru v přírodě však není jejich role nijak význačná.

Důležitou roli pro cirkulaci viru v přírodě jsou odlišné ekologické podmínky pro život rezervoárových živočichů. Pro klíště je tedy velká šance nalezení hostitele v ekologických podmínkách, které právě potřebuje (Růžek a kol., 2015).

Klíště obecné

Klíště obecné, *Ixodes ricinus* Linnaeus, je našim nejhojnějším klíštětem. Radíme ho do kmene Arthropoda (členovci), třídy Chelicerata (klepítkatci), řádu Acarina (roztoči) a čeledi Ixodidae (klíšťovití). Jde o ektoparazita, což je označení pro organismus parazitující na povrchu těla hostitele. Živí se krví plazů, ptáků či savců, a to včetně člověka. Zároveň je přenašečem řady závažných onemocnění, čímž se stává pro člověka hrozbou (Volf a kol., 2007).



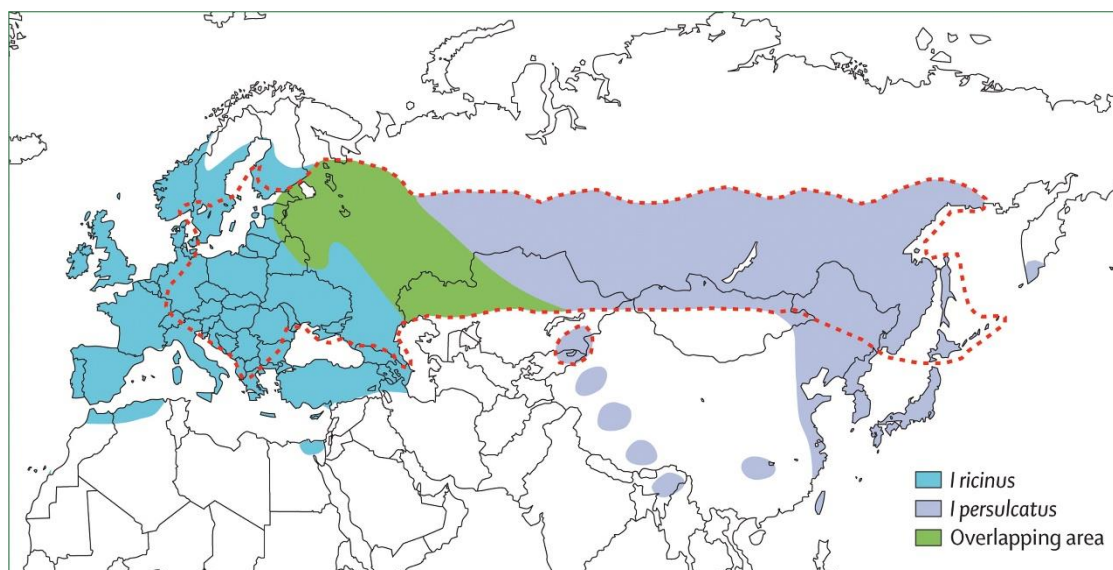
Obr. 1. Vývojová stádia klíštěte obecného (*Ixodes ricinus*). Shora největší je dospělá samice (v nenapitém stavu), uprostřed dvě larvy a dole jedna nymfa (podle Lindquist a kol., 2008)

Klíště obecné má tři stádia vývoje: larva, nymfa a dospělec (obr. 1). Pro dosažení vyššího stupně vývoje, nebo k tvorbě vajíček v případě samice musí vždy vyhledat potravu. Hovoříme tedy o tzv. tříhostitelském cyklu, jelikož pro ukončení svého vývoje potřebuje tři odlišné hostitele. Celý cyklus tak může trvat i několik let (Volf a kol., 2007). Podle vývojové fáze si rovněž hledá vhodného hostitele. V případě larvy, která měří kolem 0,8 mm a má pouze tři páry končetin (Klíště.cz), se jedná spíše o drobné hlodavce, ještěrky nebo například ptáky (Volf a kol., 2007). Po napití larva z hostitele odpadne a mění se v nymfu. Ta měří mezi 1,2 až 1,5 mm a nese čtyři páry nohou. Rovněž dochází k přeměně larválních orgánů. Nymfy vyhledávají podobné živočichy jako larvy, mohou parazitovat i na větších obratlovcích jako jsou ježci, zajáci, psy, či kočky. Po nasátí krví se nymfa mění v dospělou samici nebo samce (Klíště.cz).

Samci se dále krví neživí, často se však nachází na stejných hostitelích jako samice, kde hledají partnerku pro páření. Dospělé samice měřící 4 mm si k napití vybírají velké savce jako jsou domácí kopytníci, lesní zvěř, a běžně i psi (Volf a kol., 2007). Příjem potravy může trvat několik dnů až týdnů, poté samice naklade vajíčka a uhynie. Na jednu samici připadá 2500 až 4000 vajíček (Klíště.cz). V případě člověka jakožto hostitele nezáleží na vývojovém stádiu klíštěte (Volf a kol., 2007).

Klíště obecné má tělo rozděleno na hlavovou část (gnathosoma) a tělo (idiosoma). Tělo klíštěte je elastické. Na hřbetní straně je kryto tvrdým štítkem (scutum), který u samců pokrývá téměř celé tělo, zatím co u samic pouze třetinu až polovinu těla. To umožňuje samicím několikanásobně zvětšit velikost těla při napití. Zároveň slouží k rozeznání pohlaví klíštěte.

Gnathosoma je tvořena hypostomem neboli chobůtkem, makadly a chelicerami. Chobůtek je důležitý orgán umožňující sání krve. Celý je pokryt zpětně směřujícími zoubky, které slouží k ukotvení v místě sání. Pro střet s hostitelem klíšťata vyčkáávají na vegetaci. Jelikož nemají oči, používají k detekci hostitele Hallerův orgán, kterým jsou schopni zachytit především teplo a oxid uhličitý, který hostitel vydechuje. Po nalezení hostitele se klíště ihned nepřisaje, ale vyhledává vhodné místo pro přísátí pomocí senzorických orgánů nacházejících se především na jeho makadlech. Po zakousnutí se do hostitele vydrží sát krev i několik dní (Volf a kol., 2007).



Obr. 2. Geograficky znázorněný výskyt klíšťat *Ixodes ricinus* na západní straně a *Ixodes persulcatus* na východní straně. Zelené pole znázorňuje překryv výskytu obou klíšťat. Tečkovaná čára značí hranici endemické oblasti KE (Lindquist a kol., 2008).

Klíště obecné osidluje téměř celou Evropu a část severní Afriky. Na východě Evropy se prolíná s příbuzným druhem *Ixodes persulcatus* (obr. 2), který se hojně vykytuje v Rusku a dalších státech Asie. Biotopem u nás se vyskytujícího klíštěte obecného jsou lesy, křoviny, pastviny s křovinami, okolí řek, ale i městské parky či zahrady. Faktorem výskytu je vysoká vlhkost vzduchu a teplota. Nedílnou součástí výskytu klíšťat je i dostatečná přítomnost jejich hostitelů (Hubálek a kol., 2014).

Podmínky prostředí

Jednou z nejdůležitějších podmínek pro přežití klíšťat v přírodě je klima, na které jsou klíšťata velmi citlivá. Teplota spolu s vlhkostí vzduchu ovlivňují nejen jejich aktivitu, ale také zda jedinec přežije či nikoliv. Nízké teploty způsobují delší vývoj mezi jednotlivými stádii, což má za následek i vyšší úmrtnost. Naopak příliš vysoké teploty vedou k velkým ztrátám vody v těle.

To vede k dalšímu problému, kterým je vlhkost vzduchu. Klíšťata jsou náchylná k vysychání, proto je důležitá právě vysoká vlhkost vzduchu související také s množstvím srážek na daném území. Ideální teplotní optimum, které je vhodné pro život klíšťat se pohybuje mezi 10 až 35 °C, při tom relativní vlhkost vzduchu by neměla být nižší než 80 %. Při extrémních podmínkách dokáží klíšťata přežít, ale jen po krátkou dobu. Klima ovlivňuje rozsah výskytu klíšťat vzhledem k nadmořské

výšce. To se běžně pohybuje mezi 200–800 m n. m. Vlivem změny klimatu se však můžeme setkat s klíštětem i ve výškách 1100 metrů n. m. Teplota a relativní vlhkost vzduchu jsou také limitující faktory pro rozšíření oblasti výskytu na sever mírného pásu nebo také do vyšších nadmořských výšek, kde je sice vysoká vlhkost vzduchu, ale panují zde nízké teploty a na jih, kde jsou naopak vhodné teplotní podmínky, ale nedostačující vlhkost vzduchu.

Se změnami klimatu také souvisí aktivita klíšťat. V závislosti na oblasti výskytu klíšťat a také nadmořské výšce se mění doba jejich výskytu. Ve střední Evropě dosahují nejvyšší aktivity v měsících duben–květen a září–říjen. Doba aktivity však nemusí být každý rok stejná (Estrada-Peña a kol., 2012; nzip.cz, 2022).

Dynamika hostitelských populací

Kromě abiotických faktorů prostředí ovlivňuje velikost populace klíštěte obecného také množství vyskytujících se hostitelů. Pro larvy klíšťat jsou typickými hostiteli drobní obratlovci, a to především hlodavci. Jsou také vhodnými rezervoáry různých patogenů způsobujícími řadu klíšťových onemocnění, jako je lymeská borelióza, babesiosa nebo klíšťová encefalitida.

Populační dynamika hlodavců hraje klíčovou roli v četnosti populace klíštěte obecného. Některé studie dokonce ukazují opožděnou závislost hustoty hledajících nymf na počtech hlodavců. To značí, že vysoká hojnost hlodavců skýtá více příležitostí pro úspěšné nalezení hostitele pro larvy, jejich lepší přežívání a následný vývoj většího počtu nymf (Cayol a kol., 2017). Mezi nejběžnější hlodavce, kteří slouží jako hostitel pro larvy klíšťat, patří zástupci rodu *Apodemus*, jako je například myšice lesní (*A. flavicollis* Melchior) nebo myšice křovinná (*A. sylvaticus* L.). Typickým hostitelem je také jeden z nejrozšířenějších lesních hlodavců v ČR, norník rudý (*Myodes glareolus* Schreber). K významným kompetentním hostitelům patří také hraboš polní (*Microtus arvalis* Pallas), který obývá otevřenou zemědělskou krajinu, ale v letech přemnožení osidluje i stanoviště vhodná pro klíšťata. K dalším příležitostným hlodavcům patří myš domácí (*Mus musculus* L.), potkan (*Rattus norvegicus* Berkenhout) (Balážová a kol., 2021), hraboš mokřadní (*Microtus agrestis* L.), veverka obecná (*Sciurus vulgaris* L.), myška drobná (*Micromys minutus* Pallas), hrabošík podzemní (*Microtus subterraneus* de Sélys-Longchamps) či plch velký (*Glis glis* L.). Kromě hlodavců mohou larvy klíšťat parazitovat i na hmyzožravcích, jako je rejsek obecný (*Sorex araneus* L.), krtek obecný (*Talpa europaea* L.) a ježek východní (*Erinaceus concolor* L.). Ze zástupců

plazů můžeme nalézt larvy klíšťat například na ještěrce zelené (*Lacerta viridis* Laurenti) (Růžek a kol., 2015).

Dalším vývojovým stádiem v životě klíštěte je nymfa. Ta si vybírá za svého hostitele středně velké savce, jako je například liška obecná (*Vulpes vulpes* L.), zajíc polní (*Lepus europaeus* Pallas), dále to mohou být také vodní ptáci či bažanti. Často také parazitují na stejných hostitelích jako larvy. Je nejhojnějším stádiem, které je schopno nakazit člověka. Jeho početnost proto udává přímo riziko nakažení člověka klíšťovými nemocemi.

Posledním vývojovým stupněm klíštěte, které sají krev na obratlovcích, jsou dospělé samice. Ty při čekání na potravu šplhají po vegetaci do větších výšek, a proto se zaměřují na velké obratlovce. Těmi jsou především velcí kopytníci, jako je jelen evropský (*Cervus elaphus* L.), srnec obecný (*Capreolus capreolus* L.) nebo prase divoké (*Sus scrofa* L.) (Růžek a kol., 2015).

Význam hraboše polního pro predikci rizika nakažení

Hraboš polní (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) nepatří mezi hlavní hostitele klíšťat, ale pro predikci rizika nakažení klíšťovými nemocemi je nepostradatelný, neboť jeho početnost je na území ČR každoročně monitorována. Je to drobný savec patřící do kmene Mammalia (savci), řádu Rodentia (hlodavci) a čeledi Cricetidae (křečkovití). Patří mezi nejhojnějšího hlodavce České republiky. Jeho časté přemnožení představuje závažný problém zejména v zemědělství, kde požírá a ničí plodiny. Další, avšak neméně závažný problém představuje přenos různých patogenů z hraboše, jakožto rezervoáru, na člověka za pomoci členovců, zejména klíštěte obecného.

Hraboš polní patří mezi drobné hlodavce. V dospělosti dosahuje hmotnosti až 45 gramů, většinou však váží mezi 20 až 25 gramy. Tělo má válcovitý tvar, dosahuje délky 8–13 cm. Zbarvení srsti je ze hřbetní strany hnědošedé, břicho má světlé, šedobílé až lehce nažloutlé. Čenich má tupě zaoblený, ušní boltce jsou malé skryté v srsti. Ocas je krátký, jeho délka činí méně než polovinu délky těla, v průměru cca 3,5 cm. Na předních končetinách má 4 prsty, zadní končetiny nesou 5 prstů a jsou bez pigmentace. Díky svému vzhledu může být snadno zaměněn s jinými druhy hrabošů, především pak s hrabošem mokřadním (*Microtus agrestis* L.). Podobný je mu i norník rudý (*Myodes glareolus* Schreber), hryzec vodní (*Arvicola terrestris* Linnaeus) nebo

hrabošík podzemní (*Microtus subterraneus* de Sélys-Longchamps)
(Obdržálková a kol.)

Hraboš polní se nachází v celé Evropě, kromě Anglie, Skandinávie a části Středomoří. Dále osidluje Asii až k Uralu, kde je jeho rozšíření méně jasné vzhledem k výskytu jiných morfologicky velmi podobných druhů. V České republice byl jeho výskyt zjištěn na více než 90 % území státu. Najdeme ho jak v nížinách, tak v horských oblastech. Běžně se pohybuje v rozpětí nadmořské výšky 200–1000 metrů, byl však spatřen na Sněžce a jiných částech vysokých hor Krkonoš. Jeho typické prostředí pro život jsou stepi. Trvale tak obývá travnaté pole a louky, kde se mu daří nejlépe. Dokáže se ale přizpůsobit i jiným životním podmínkám. Proto ho můžeme nalézt na okraji lesů, v okolí silnic a železničních tratí, na okrajích vod, někdy proniká i hluboko do lesů. Při přemnožení osidluje sekundární stanoviště, tedy ornou půdu s vysázeným obilím, řepkou olejkou, hráchem, fazolí, cukrovou řepou, brambory nebo jinými plodinami (Hanzák, 1970; Jacob a kol., 2013; Mačát, 2013). Hraboši se tak dostávají i do osídlených území se zatravněnými plochami, jako jsou zahrady, nebo přímo do lidských sídel. Nacházejí se tak v bezprostřední blízkosti lidí, což s sebou nese riziko nákazy řadou onemocnění.

Hraboš polní je stejně jako spousta jiných hlodavců rezervoárem celé řady patogenů. Mezi nejzávažnější patří bakterie *Borrelia burgdorferi* sensu lato způsobující lymeskou boreliózu a virus klíšťové meningoencefalitidy způsobující onemocnění klíšťovou encefalitudu. Jedná se o dvě nejčastěji se vyskytující onemocnění přenášené klíšťaty v ČR. K dalším onemocněním střední Evropy, jejichž rezervoárem je hraboš polní, patří tularémie, leptospiróza, toxoplazmóza, Q horečka a hantaviróza.

K získání některého z onemocnění tak vede jednoduchá cesta. Nakažené klíšťe, hledající hostitele, se přisaje na těle hraboše polního (může se také teprve nakazit příjmem krve od hraboše), ten se přesune do blízkosti lidských obydlí, zde napité klíšťe odpadne a po přeměně na vyšší vývojový stupeň znova vyhledává hostitele, kterým se může stát právě člověk. Proto je dobré pozorovat oblasti výskytu tohoto drobného hlodavce (Zapletal a kol., 2017).

Hraboš polní je sociální živočich žijící v koloniích. Žije v norách 10–30 cm pod zemí. Nory tvoří spletitou síť chodeb, které se sbíhají do kulovitého hnízda. Výstupy z nor na povrch směřují ke zdrojům potravy. Hraboši se živí různými druhy jednoděložných a dvouděložných rostlin. Požírají jak zelené části rostlin, tak kořínky,

hlízy či cibule. Dále se živí semeny, nebo také kůrou stromů. Ojediněle se v jídelníčku hraboše může vyskytovat hmyz, či jiní bezobratlí živočichové. Za den potřebují sníst alespoň tolik potravy, co sami váží. Část potravy si ukládají do podzemních zásobáren. Jeho aktivita je známa jak ve dne, tak v noci. Většinou se jedná o 2–3hodinové intervaly aktivity, po kterých následuje přibližně stejná doba odpočinku.

Hraboš polní je typickým zástupcem r-strategů. Má rychlou reprodukci na úkor kvality potomstva. Častá je i vysoká úmrtnost mláďat. Rozmnožování zpravidla začíná v březnu a končí v říjnu. Samice je březí 19–21 dní, poté rodí 5–6 mláďat, ojediněle může mít více než 10 potomků. Pohlavní dospělosti mláďata dosahují v brzkém věku. Samice může být pohlavně dospělá již ve 13. dnu života, tedy v době, kdy ji matka ještě příležitostně kojí. Za příznivých podmínek dochází k dalšímu páření ihned po porodu. To znamená, že mláďata ze dvou vrhů mohou být od sebe stará pouhé tři týdny. V průměru jedna samice zvládne vyprodukovat 4,5 vrhu za chovné období. K reprodukci může docházet i během teplejší zimy, při větším množství potravy a s dostačující sněhovou pokrývkou, která je chrání před predátory.

Délka života těchto drobných hlodavců je za dobrých podmínek kolem 1,5 roku. Mnozí se toho však nedožijí kvůli jejich vysoké predaci. Jedná se totiž o důležitou složku potravního řetězce pro spoustu živočichů. Jsou tak běžnou součástí jídelníčku lasic, sov, kání, poštolek a mnoha dalších predátorů (Hanzák, 1970; Jacob a kol., 2013; Mačát, 2013; Obdržálková a kol.).

Populační dynamika hraboše polního se mění jak v rámci jednoho roku, tak i v rámci víceletých cyklů. Úspěšnost při rozmnožování poté řídí sezónní změny ve velikosti populace. Během jednoho kalendářního roku roste hustota populace od jara (rozmnožovací období začíná ve druhé polovině února a v březnu), kdy jsou populace nižší, do podzimu, kdy četnost populace dosahuje maxima.

V rámci několika let je hraboš polní typickým zástupcem hlodavců s cyklickým nárůstem hustoty populace v pravidelných intervalech 2–5 let, nejčastěji 3 let. Toto období můžeme rozdělit do několika fází cyklu. První fází je populační minimum, poté následuje vzestupná fáze až do fáze populačního maxima s následující sestupnou fází. Na konci tohoto období dochází k velkému přemnožení, a to až na více než 2000 jedinců na hektar. Poté dochází k populačnímu zlomu, tedy k rychlému vymírání populace (Jacob, a kol. 2013; Obdržálková a kol.).

Při krátkém pozastavení pohlavní aktivity v zimním období, nastává na jaře delší doba rozmnožování, jejíž počátek a průběh rozhoduje o dalším vývoji. Tento

vývoj populace můžeme předpovídat na základě určení data prvního jarního vrhu, počtu mláďat ve vrhu, rychlosti pohlavního dospívání mláďat a podílu jednotlivých generací na rozmnožování. Prognózy vývoje populace jsou důležité pro včasné zakročení při její regulaci, především aby nedocházelo k velkému přemnožení a následným ekonomickým škodám při ničení zemědělských plodin (Zejska a kol., 2004).

S velikostí populace se mění také chování jedinců. Samci i samice vykazují teritoriální chování v oblastech s nízkou hustotou populace. Naopak při vysoké hustotě populace teritoriální chování ustupuje, zejména v koloniích příbuzných jedinců.

Na dynamiku populace hraboše polního má vliv spousta přímých i nepřímých faktorů. Jedním z nich je například počasí. Povětrnostní podmínky mají vliv na vyšší úmrtnost jedinců. Počasí dále ovlivňuje i růst rostlin. Za dobrých podmínek dochází k lepšímu růstu rostlin, což vede nejen k lepší dostupnosti potravy, ale také to snižuje riziko napadení predátory. Počasí má i vliv na množství podzemní vody, která je pro hraboše nepříznivá. Dalším důležitým faktorem, který negativně ovlivňuje hustotu populace je využívání rodenticidů v zemědělství. Při přemnožení se hraboši uchylují k obývání zemědělské půdy, kde jsou hubeni právě za pomoci chemických látek. Také narušování půdy orbou negativně ovlivňuje dynamiku populace (Jacob a kol., 2013). Dalším faktorem může být i přítomnost parazitů či nemocí.

Cíle práce

Riziko nakažení klíšťovou encefalitidou v ČR v průběhu let silně kolísá mezi 300 až 100 jedinců. Tato variabilita se běžně vysvětlovala klimatickými, krajinnými a socio-ekonomickými proměnnými. Avšak v Severní Americe, kde je nejběžnějším klíšťovým onemocněním lymeská borelióza, byla v roce 2001 vytvořena studie na jejímž základě byl prokázán vliv variability početnosti drobných zemních hlodavců na riziko nakažení (Ostfeld a kol., 2001). V roce 2019 byl tento vliv prokázán i ve střední Evropě za pomoci modelů jak pro lymeskou boreliózu, tak pro klíšťovou encefalitidu, ve kterých byla využita abundance hraboše polního (Tkadlec a kol., 2019). Již vytvořený model pro Českou republiku však nemusí dobře fungovat pro jednotlivé regiony, jelikož ohniska klíšťové encefalitidy se vyskytují spíše v zalesněných oblastech, kdežto hraboš polní se vyskytuje obzvláště na zemědělské půdě v nižších nadmořských výškách a jeho dynamika se na území ČR liší. Proto je žádoucí vytvořit modely pro menší územní celky.

V této bakalářské práci se budu zabývat vytvořením modelů pro rizika nakažení na lokální krajské úrovni, což by mohlo vést k přesnějším lokálním předpovědím. V práci budou aplikovány autoregresní lineární modely 0. až 2. řádu, v nichž budou jako regresor vystupovat abundance hraboše polního a roční index NAO (index severoatlantické oscilace). Nejlepší model, který bude mít nejvyšší datovou podporu, bude nalezen pomocí AICc.

Materiál a metody

Pro analýzu a následné vyhodnocení modelů pro rizika nakažení klíšťovou encefalitidou jsem zvolila data incidencí z období od roku 2000 až po rok 2021. Modely jsou vytvořeny pro všechny kraje České republiky vyjímaje kraj Praha



Obr. 3. Kraje České republiky, pro které jsem vytvořila modely pro rizika nakažení klíšťovou encefalitidou (Raždík, 2020).

(obr. 3), jelikož lidé z tohoto kraje přichází ke klíštěti, a tedy i ke klíšťové encefalitidě v jiných částech republiky, tudíž výsledek z vytvořeného modelu pro zmíněný kraj by byl zkreslený. Data o populačních hustotách hraboše polního byla získána od ÚKZUZ v Brně. Jde o populační index, který je založen na počtu aktivních východů z nor přepočítaných na hektar. Index se zjišťuje tak, že se spočítají všechny aktivní východy (východy, které nesou známky přítomnosti hraboše polního: uhlažený východ, zatažená tráva, čerstvý výhrabek apod.) podél 4 stometrových transektů o šířce 2,25 m. Tato suma se následně vynásobí 10, aby se získal odhad na 1 hektar. V práci byly použity podzimní hustoty sbírané v období září–listopad, které vykazují nejvyšší meziroční variabilitu. Okruh vzorkovaných plodin byl pro analýzu zúžen jen na píce (vojtěška, jetele, trvalé travní porosty, sady), které vyžadují jen minimum zásahů, vydrží na lokalitě déle a lépe tak odrážejí populační cyklus hraboše polního.

Klimatické faktory byly reprezentovány ročním indexem severoatlantské oscilace (NAO), který měl v dřívějších analýzách nejsilnější efekt (Tkadlec a kol., 2019). Data byla získána z National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA (<https://ncar.ucar.edu/>)

Statistické nástroje analýzy časových řad byly vyvinuty pro data s konstantním průměrem a variancí. Proto bylo nutné nejdříve stabilizovat varianci a odstranit časový trend. Proto byly incidence nejdříve transformovány pomocí Box–Coxovy transformace s použitím funkcí `BoxCox.lambda` a `BoxCox`. Tato transformace hledá optimální koeficient λ , který je následně použit k transformaci dat. Časové trendy byly potom odstraněny pomocí neparametrických vyhlazovacích funkcí (funkce `smooth.spline`).

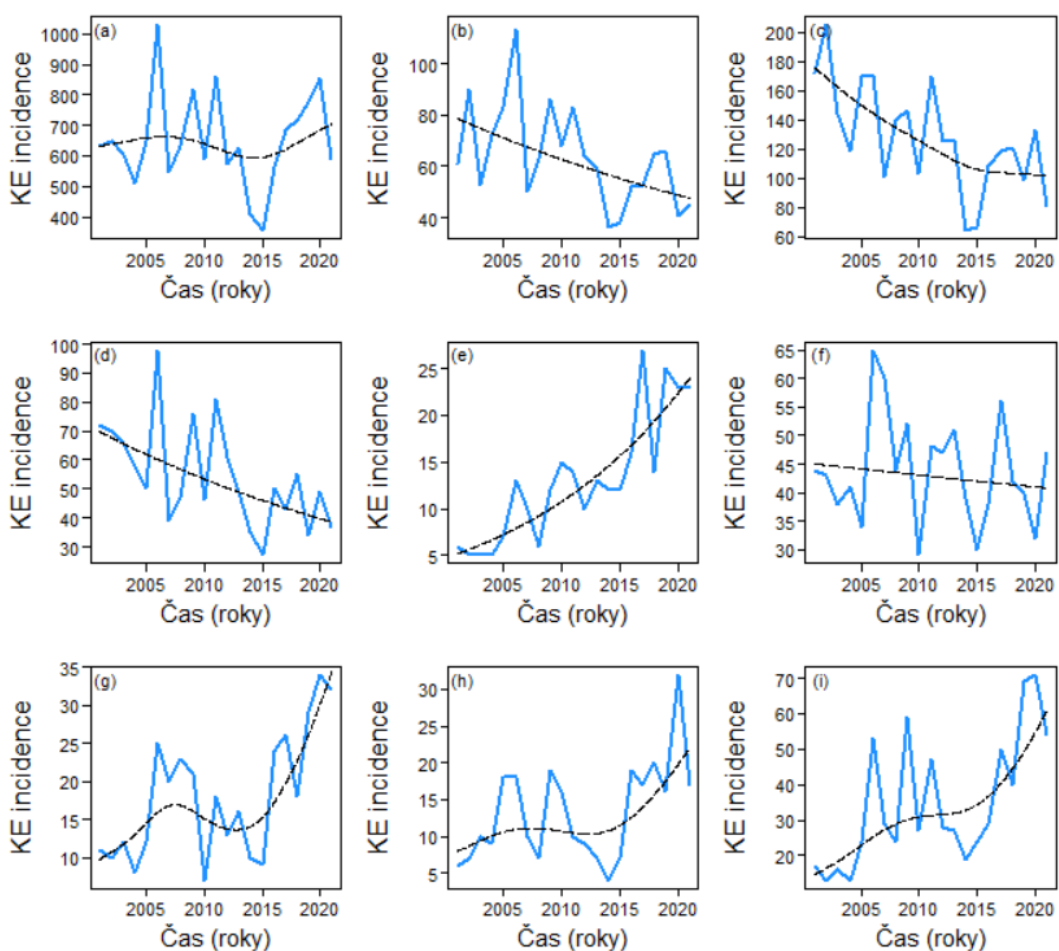
U všech krajů ČR, včetně ČR jako celku, jsem provedla výpočet křížových korelací (funkce `ccf` v R) pro vzájemné vztahy mezi hustotou hraboše polního, výskytem klíšťové encefalitidy a indexem NAO, abych zjistila, do jaké míry je jejich dynamika synchronní. Data incidencí byla analyzována pomocí autoregresních lineárních modelů 0–2 řádu za použití funkce `arima`. Tyto modely vyžadují normální rozdělení chyby. Jako regresory jsou v modelech použity logaritmované početnosti hraboše polního v roce $t-1$ a klimatický index NAO v roce $t-1$. Pro vytvoření modelů byla použita následující rovnice,

$$X_t = a_0 + a_1X_{t-1} + a_2X_{t-2} + a_3V_{t-1} + a_4C_{t-1} + \varepsilon_t$$

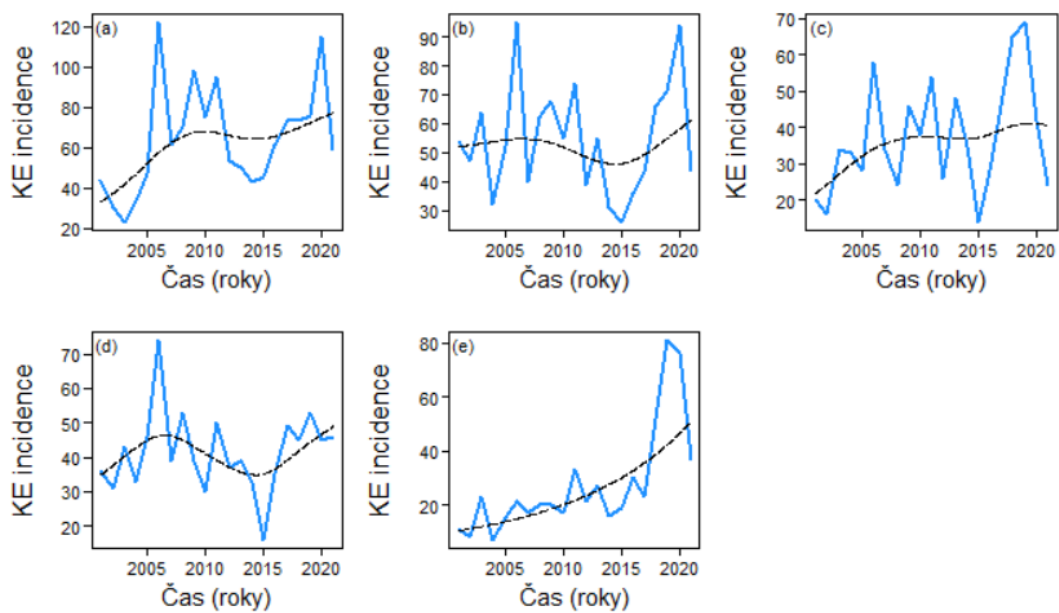
kde X představuje roční incidence onemocnění, a_0 , a_1 , a_2 jsou autoregresní koeficienty měřící sílu závislosti na předchozích hodnotách, a_3 je regresní koeficient měřící sílu efektu hraboše polního, V_{t-1} je abundance hraboše polního v roce $t-1$ a a_4 je regresní koeficient měřící sílu klimatického efektu, C představuje klimatický faktor v roce $t-1$ a ε značí normálně rozdělenou chybu modelu. Pro nalezení nejlepšího modelu, který je nejvíce podporován daty, jsem použila Akaikeho informační kritérium (AICc), které je vhodné pro malé vzorky. Nejlepší model byl takový, který měl nejnižší hodnotu AICc a jeho rozdíl od druhého nejlepšího modelu byl větší než 2. Všechny modely vytvořené pro tuto bakalářskou práci byly vytvořeny v programu R (R Core Team 2020).

Výsledky

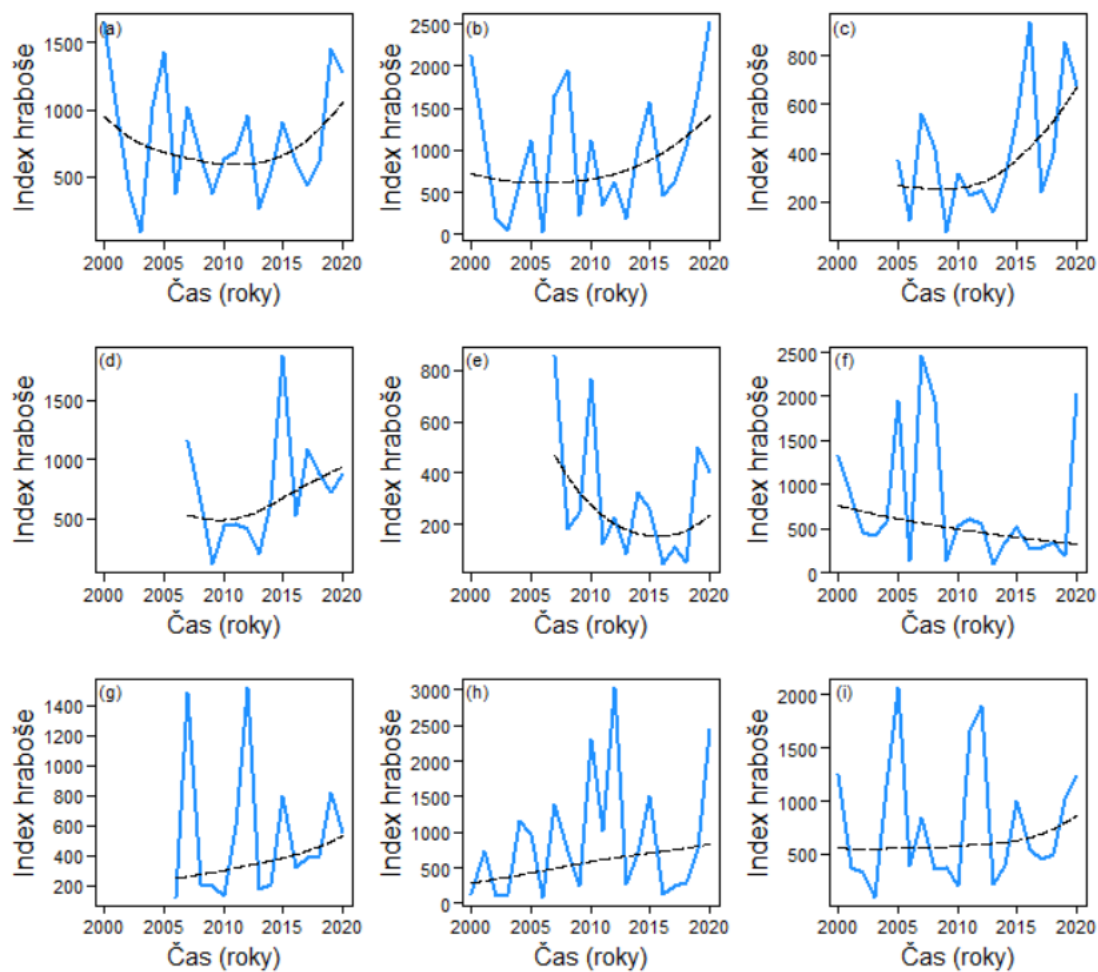
Výskyt klíšťové encefalitidy se v České republice i v jednotlivých krajích v průběhu let značně mění. Některé kraje ČR dokonce vykazují narůstající trend. Zároveň trend incidencí KE vykazuje téměř lineární charakter (obr. 4–5). Stejně je tomu i u trendů hraboše polního (obr. 6–7) a ročního indexu NAO (obr. 8).



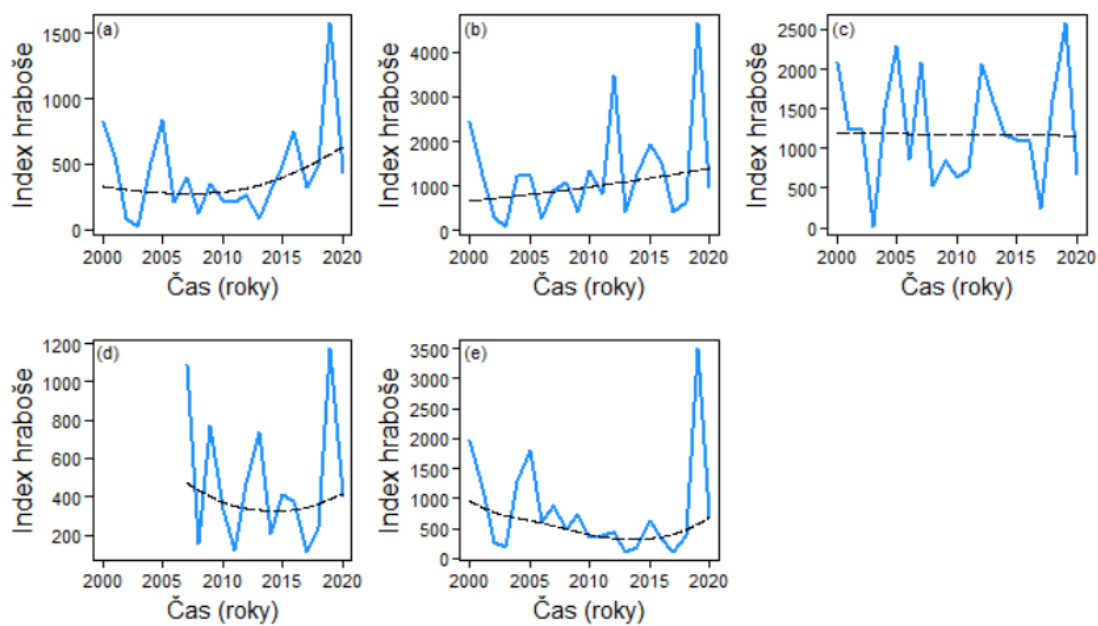
Obr. 4. Meziroční dynamika incidencí KE (modrá čára) v ČR a jednotlivých krajích (Česká republika (a), Středočeský kraj (b), Jihočeský kraj (c), Plzeňský kraj (d), Karlovarský kraj (e), Ústecký kraj (f), Liberecký kraj (g), Královéhradecký kraj (h) a Pardubický kraj (i)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou.



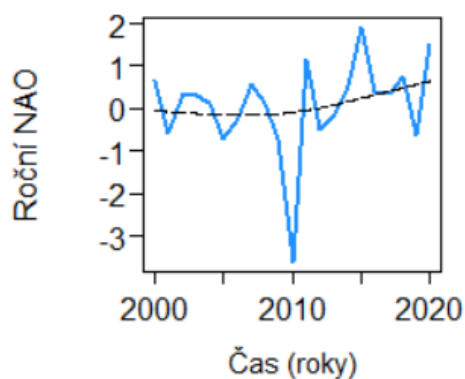
Obr. 5. Meziroční dynamika incidencí KE (modrá čára) v jednotlivých krajích (kraj Vysočina (a), Jihomoravský kraj (b), Olomoucký kraj (c), Moravskoslezský kraj (d) a Zlínský kraj (e)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou.



Obr. 6. Meziroční abundance hřaboše polního (modrá čára) v ČR a jednotlivých krajích (Česká republika (a), Středočeský kraj (b), Jihočeský kraj (c), Plzeňský kraj (d), Karlovarský kraj (e), Ústecký kraj (f), Liberecký kraj (g), Královéhradecký kraj (h) a Pardubický kraj (i)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou.

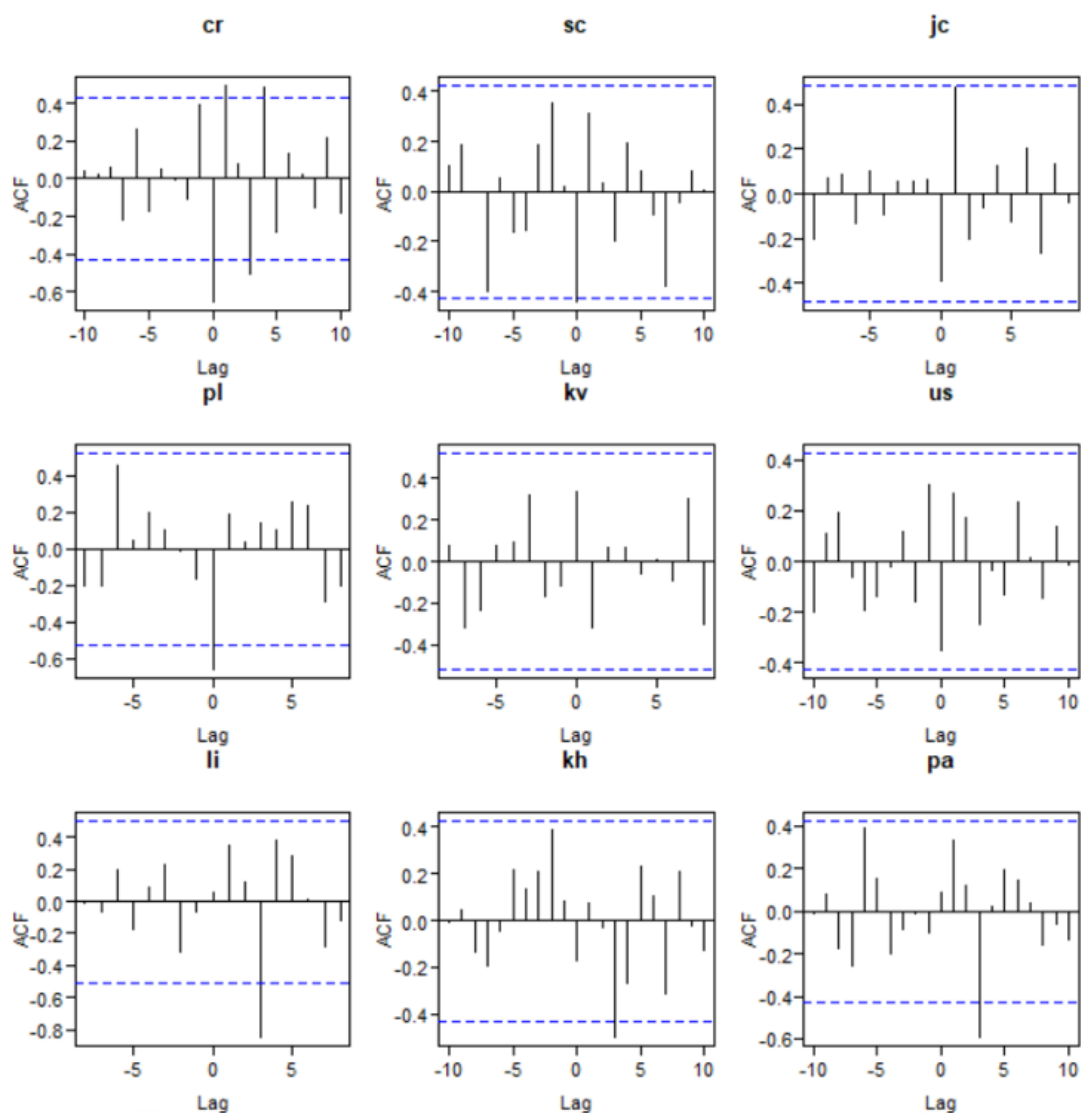


Obr. 8. Meziroční abundance hraboše polního (modrá čára) v jednotlivých krajích (kraj Vysočina (a), Jihomoravský kraj (b), Olomoucký kraj (c), Moravskoslezský kraj (d) a Zlínský kraj (e)) v letech 2000–2021. Časové trendy odhadnuté pomocí vyhlazovacích funkcí jsou znázorněny černou čarou.

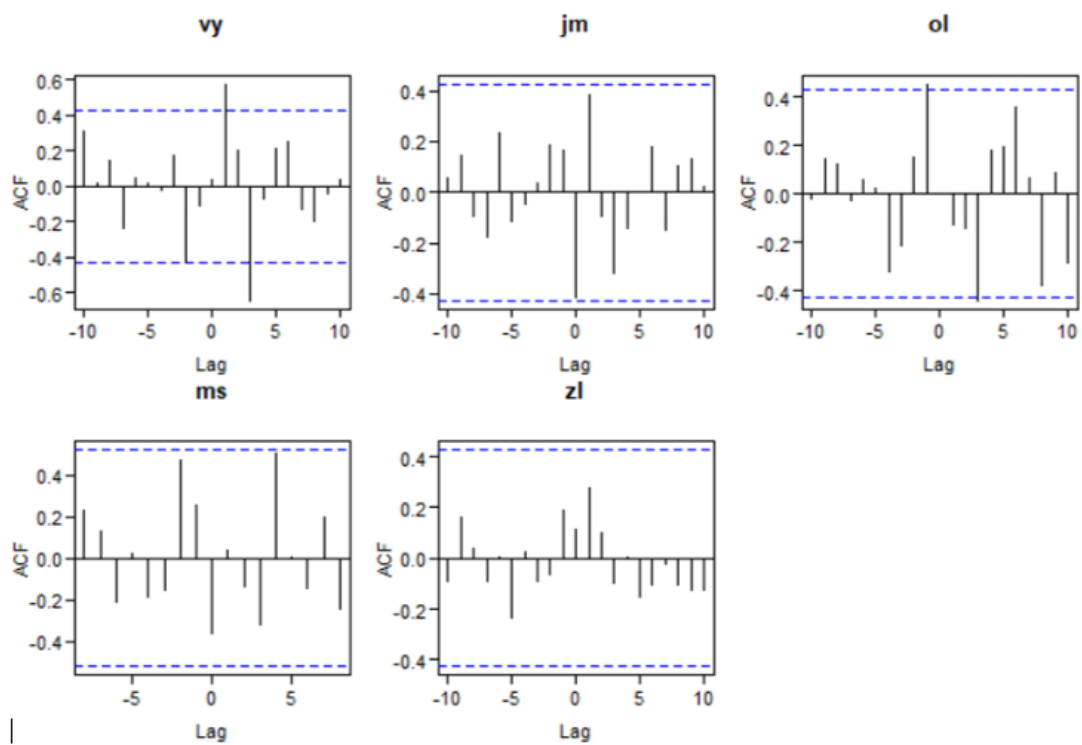


Obr. 7. Meziroční dynamika indexu NAO (modrá čára) v letech 2000–2021. Časový trend odhadnut pomocí vyhlazovacích funkcí znázorněny černou čarou.

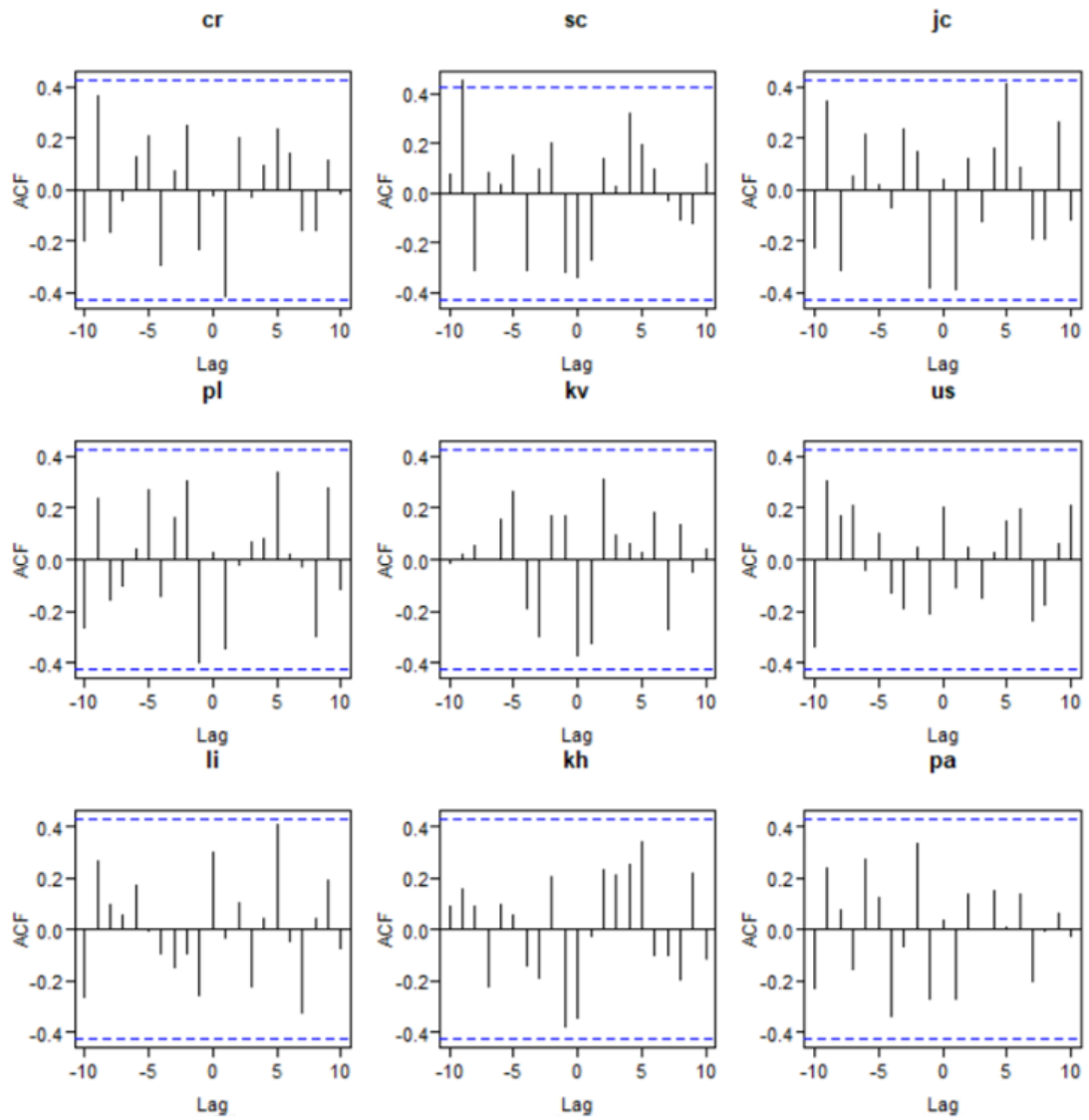
Křížové korelace odhalily silný pozitivní korelační vztah mezi výskytem KE v roce t a hustotou populace hraboše polního v roce $t - 1$, a to jak pro celou ČR, tak i pro kraj Středočeský, Jihočeský, Ústecký, Pardubický, Jihomoravský a kraj Vysočina. Naopak pro Karlovarský kraj křížové korelace neindikují žádné zpoždění (obr. 9–10). Další křížové korelace byly vytvořeny pro vztah mezi ročním indexem NAO v čase $t - 1$ a výskytem KE v čase t . Ty ukázaly negativní korelaci pro celou ČR a také pro kraj Jihočeský, Plzeňský, Karlovarský, Vysočina, Jihomoravský a Olomoucký. Korelace Královéhradeckého kraje nevykazují žádné zpoždění (obr. 11–12).



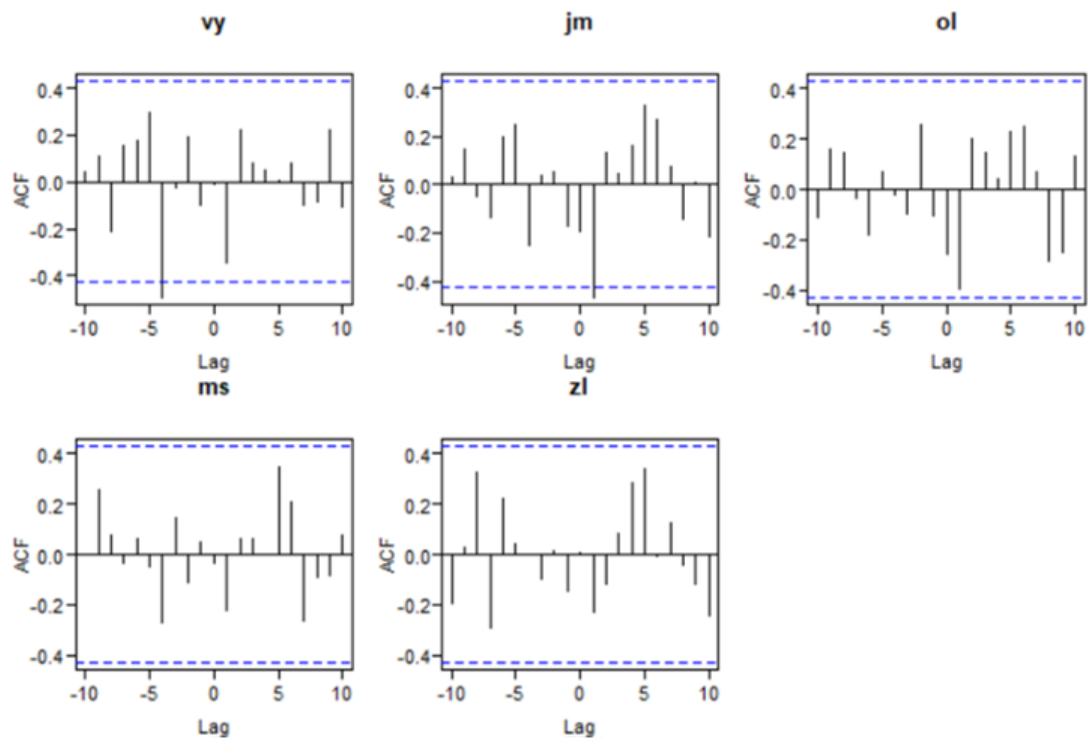
Obr. 9. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a abundance hraboše polního pro celou ČR a jednotlivé kraje (po řádcích zleva doprava: Česká republika, Středočeský kraj, Jihočeský kraj, Plzeňský kraj, Karlovarský kraj, Ústecký kraj, Liberecký kraj, Královéhradecký kraj a Pardubický kraj). Maximální pozitivní korelace se ukazuje pro celou ČR a kraj Středočeský, Jihočeský, Ústecký a Pardubický.



Obr. 10. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a abundance hraboše polního pro jednotlivé kraje ČR (po řádcích zleva doprava: kraj Vysočina, Jihomoravský kraj, Olomoucký kraj, Moravskoslezský kraj a Zlínský kraj). Maximální pozitivní korelace se ukazuje pro kraj Vysočina a Jihomoravský.



Obr. 11. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalidity a ročního indexu NAO pro celou ČR a jednotlivé kraje (po řádcích zleva doprava: Česká republika, Středočeský kraj, Jihočeský kraj, Plzeňský kraj, Karlovarský kraj, Ústecký kraj, Liberecký kraj, Královéhradecký kraj a Pardubický kraj). Maximální negativní korelace se ukazuje pro celou ČR a kraj Jihočeský, Plzeňský a Karlovarský.



Obr. 12. Křížové korelace incidencí klíšťové encefalitidy a ročního indexu NAO pro jednotlivé kraje ČR (po řádcích zleva doprava: kraj Vysočina, Jihomoravský kraj, Olomoucký kraj, Moravskoslezský kraj a Zlínský kraj). Maximální negativní korelace se ukazuje pro kraj Vysočina, Jihomoravský a Olomoucký.

Autoregresní lineární modely dokázaly, že vliv hustoty populace hraboše polního spolu s ročním indexem NAO v roce $t - 1$ jednoznačně ovlivňují výskyt klíšťové encefalitidy v Jihočeském kraji, Pardubickém kraji a v kraji Vysočina. Tento model také platí obecně pro celou Českou republiku. Slabý vliv obou faktorů je znatelný pro kraj Středočeský, Karlovarský a Zlínský. Autoregresní lineární modely dále ukazují vliv ročního indexu NAO v roce $t - 1$ u Jihomoravského a Olomouckého kraje a slabší vliv u kraje Plzeňského. Vliv hraboše polního v roce $t - 1$ je značný v Ústeckém kraji a částečně také v kraji Libereckém. Ve zbývajících krajích ČR (Královéhradecký a Moravskoslezský) nebyl prokázán žádný vliv uvedených faktorů (tab. 1).

Tab. 1. Rozdíly v Akaikeho informačním kritériu (AICc) od nejlepšího modelu. Pro časové řady incidencí KE v letech 2000–2021 byly použity autoregresní lineární modely 0–2 řádu s početností hraboše polního a ročním indexem NAO jakožto regresory. Model s AICc, která se rovná 0 a který je nižší alespoň o 2 než druhý nejlepší model, indikuje nejlepší model s nejvyšší podporou dat.

Struktura modelu	Řád AR modelu		
	0	1	2
Česká republika			
Čistý AR model	6,0	8,8	11,7
Hraboš _{t-1}	3,7	6,5	9,9
NAO _{t-1}	3,4	6,4	7,9
Hraboš _{t-1} + NAO _{t-1}	0,0	2,9	5,9
Středočeský kraj			
Čistý AR model	0,0	2,6	5,4
Hraboš polní _{t-1}	0,8	2,6	5,2
Roční index NAO _{t-1}	1,4	2,2	6,9
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	2,4	4,4	8,3
Jihočeský kraj			
Čistý AR model	4,5	7,3	10,9
Hraboš polní _{t-1}	1,9	4,9	9,3
Roční index NAO _{t-1}	4,3	7,9	6,6
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	0,0	4,2	8,7
Plzeňský kraj			
Čistý AR model	0,0	3,2	6,8
Hraboš polní _{t-1}	2,7	6,8	11,4
Roční index NAO _{t-1}	1,5	5,3	10,2
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	2,9	8	14,2
Karlovarský kraj			
Čistý AR model	0,0	2,6	5,8
Hraboš polní _{t-1}	1,7	5,5	9,5
Roční index NAO _{t-1}	1,5	4,4	8,3
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	1,2	6,3	9,6
Ústecký kraj			
Čistý AR model	0,0	2,8	5,0
Hraboš polní _{t-1}	0,0	3,1	4,7
Roční index NAO _{t-1}	2,7	5,8	8,1
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	2,6	6,1	7,9
Liberecký kraj			
Čistý AR model	0,0	2,6	4,1
Hraboš polní _{t-1}	0,9	1,0	5,7
Roční index NAO _{t-1}	3,2	6,1	8,7
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	4,3	5,7	11,5
Královéhradecký kraj			
Čistý AR model	0,0	1,5	3,2
Hraboš polní _{t-1}	2,7	4,5	6,7
Roční index NAO _{t-1}	2,6	4,6	6,6
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	5,7	8,0	10,6
Pardubický kraj			
Čistý AR model	2,2	2,5	4,2
Hraboš polní _{t-1}	2,9	1,8	5,0
Roční index NAO _{t-1}	2,3	3,0	3,1
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	0,6	0,0	3,1
Kraj Vysočina			
Čistý AR model	13,1	11,0	11,0
Hraboš polní _{t-1}	8,7	1,6	2,0
Roční index NAO _{t-1}	10,5	10,1	9,7
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	6,9	1,2	0,0
Jihomoravský kraj			
Čistý AR model	3,4	6,1	9,2
Hraboš polní _{t-1}	2,6	4,6	7,9
Roční index NAO _{t-1}	0,0	3,0	6,2
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	0,4	3,7	7,7

Olomoucký kraj			
Čistý AR model	1,6	4,2	5,6
Hraboš polní _{t-1}	4,4	7,3	9,1
Roční index NAO _{t-1}	0,0	2,9	3,6
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	3,0	6,4	7,6
Moravskoslezský kraj			
Čistý AR model	0,0	3,3	5,8
Hraboš polní _{t-1}	3,3	7,3	10,9
Roční index NAO _{t-1}	2,3	6,3	9,1
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	6,3	11,4	15,6
Zlínský kraj			
Čistý AR model	0,0	2,1	5,1
Hraboš polní _{t-1}	1,0	3,2	6,7
Roční index NAO _{t-1}	1,1	2,9	6,4
Hraboš polní _{t-1} + roční index NAO _{t-1}	2,6	4,6	8,4

Diskuse

V této bakalářské práci jsem se zabývala predikcí rizika nakažení klíšťovou encefalitidou na regionální úrovni s využitím abundance hraboše polního a klimatické variability. Metodou analýzy časových řad incidencí klíšťové encefalitidy jsem zjistila, že ze 13 studovaných krajů lze v 5 z nich prokázat jednoleté zpoždění ve výskytu klíšťové encefalitidy za dynamikou abundance hraboše polního a ročního indexu NAO. Stejný výsledek se ukázal i pro celou Českou republiku, podobně jako tomu bylo v práci Tkadlec a kol. (2019). Tyto výsledky ukazují, že použitelnost těchto dvou faktorů pro úspěšné modelování rizika nakažení klíšťovou encefalitidou je omezena jen na některé regiony České republiky, zatímco pro zbytek území bude nutné hledat jiné přístupy.

V práci jsem prokázala významný prediktivní vliv abundance hraboše polního a ročního indexu NAO z předchozího roku v 5 krajích: Jihočeský kraj, Pardubický kraj, kraj Vysočina, Jihomoravský kraj a Olomoucký kraj. Zatímco v kraji Jihočeském, Pardubickém a Vysočině dominoval spíše vliv hraboších abundancí, ve dvou moravských krajích dominoval spíše klimatický vliv. V těchto 5 krajích tak byla potvrzena hypotéza o jednoletém zpoždění dynamiky rizika, jako v případě České republiky (Tkadlec et al. 2019). To, že má vliv hustota drobných hlodavců na počet nymf v následujícím roce bylo dokázáno již v Severní Americe (Ostfeld a kol., 2001), kde bylo zjištěno, že početnost populace drobných hlodavců v roce $t - 1$ má přímý vliv na početnost nymf *Ixodes scapularis* v roce t . Dále také prokázali, že počet žaludů, které jsou hlavním zdrojem potravy hlodavců vyskytujících se ve studii, ovlivňuje hustotu hlodavců v následujícím roce. Studie tedy prokázala, že větší množství žaludů v roce $t - 2$ vede k větší hustotě populace hlodavců v roce $t - 1$ a to má za následek vyšší početnost nymf v roce t , což vede ke zvýšení výskytu onemocnění lymeskou boreliózou u lidí.

V mé bakalářské práci uvádím jako jednoho z faktorů pro předpověď onemocnění KE hraboše polního. Tento hlodavec není označován jako hlavní hostitel pro klíště obecné, jelikož se jedná o hlodavce osidlující především zemědělskou půdu. Avšak při přemnožení, které nastává v pravidelných intervalech (nejčastěji 3–5 let) dochází k tomu, že se přesunuje do lesů a jejich okrajů, kde je větší pravděpodobnost střetu s klíštětem obecným. Hraboš se tak stává ideálním hostitelem pro larvy klíšťat. Přítomnost hraboše polního tak posiluje výskyt klíštěte obecného, jak je patrné i ze

studie Tkadlec a kol. (2019). Také se jeví jako důležitý rezervoár nejen viru klíšťové encefalitidy, ale i jiných onemocnění přenášené klíšťaty, spolu s dalšími druhy drobných hlodavců (Achazi a kol., 2011; Zöldi a kol., 2015). Dalším jevem je populační dynamika hrabošů, která řídí dynamiku populací jiných hlodavců, což může vést k jejich synchronnímu nárůstu populací a tím pádem i k nárůstu početnosti nymf v následujícím roce (Carlslake a kol., 2010).

Dalším prediktorem pro předpověď nakažení KE je roční index NAO. Ten je schopen zlepšit funkčnost modelů zejména u moravských krajů. Také to plyne z ekologie klíšťat. Ta potřebují dostatek vláhy, což zabraňuje ztrátě vody v těle, a příznivé teplotní podmínky, které umožňují vyšší pravděpodobnost přežití larev a jejich přeměnu v nymfy. Negativní roční index NAO je spojen s teplotně mírnými a vlhčími léty s dostatkem srážek. To vytváří ideální podmínky pro vysokou aktivitu klíšťat. Predikcí výskytu klíšťat pomocí klimatických podmínek se zabývá i Státní zdravotní ústav spolu s Českým hydrometeorologickým ústavem. Ten vydává předpověď aktivity klíšťat na základě jejich podílu na dané lokalitě, která jsou přichystána k napadení hostitele, a to vždy na den dopředu (Daniel a kol., 2022). Dalším, kdo se zabýval predikcí výskytu klíšťate obecného a onemocnění klíšťové encefalitidy je například Daniel a kol. (2006). V této studii byl potvrzen vztah mezi počasím a aktivitou klíšťat, která hledají hostitele, čímž se stávají rizikem nakažení KE. Tedy můžeme říct, že počasí se dá použít jako prediktor rizika nakažení KE. Podobně tomu bylo v ČR v roce 2006, kdy náhle stoupl počet případů KE (Daniel a kol., 2008). Pro úplné vysvětlení maximální incidence v roce 2006 je ale nutné vzít také do úvahy nejen klimatické vlivy, ale také mimořádně silné přemnožení hraboše polního v roce 2005.

Přes prokazatelný vliv hraboše polního spolu s ročním indexem NAO na početnost nymf v nadcházejícím roce a tím pádem i na výskyt KE, data ukázala, že je tento vliv jednoznačně znatelný pouze v 5 krajích České republiky. Naopak u ČR jako celku, se vliv prediktorů potvrdil. Tyto výsledky naznačují, že na regionální úrovni nejsou výsledky tak uspokojivé jako na úrovni celostátní. Jedním z důvodů může být to, že se nezaznamenávají údaje o tom, kde se dotyčný člověk nakazil. To znamená, že se člověk může nakazit například při cestování v jiném kraji, než je poté zaznamenáno do databáze. Dalším odůvodněním může být prostředí, ve kterém se klíšťe obecné a hraboš polní nachází. Větší výskyt hraboše je v krajích, kde se nachází více zemědělské půdy. Naopak vyšší početnost klíšťate bude v krajích s bohatším

zalesněním. To znamená, že pokud má kraj více zemědělské půdy nebo naopak je více zalesněný, nemusí docházet k tak častému střetu mezi klíštětem a hostitelem. Zásadní roli při zhotovování modelů pro predikci rizika nakažení KE je velikost vzorku dat. I to by mohlo být příčinou zkreslení výsledků.

Závěr

Výsledky ukázaly, že modelování rizika nakažení klíšťovou encefalitidou pomocí abundance drobných hlodavců a klimatické variability je zajímavou cestou, jak předpovídat výskyt tak závažného klíšťového onemocnění. Avšak pro další výzkumy by bylo jistě vhodné shromáždit větší vzorek dat, který by vedl k přesnějším výsledkům. Také by bylo vhodné získat data s přesným místem styku s klíštětem, abychom zjistili, ve kterém kraji došlo k nakažení klíšťovou encefalitidou. Zajímavým faktorem pro další práce by mohla být i proočkovanosť populace. Tedy zjistit, zda lidé žijící v rizikových oblastech, s vysokou pravděpodobností nakažení klíšťovou encefalitidou nejsou více proočkováni než lidé z jiných oblastí. Všechny tyto faktory by mohly přinést lepší výsledky při zjišťování predikce rizika nakažení klíšťovou encefalitidou a tím přispět třeba i k redukci počtu ročně nakažených osob.

Literatura

ACHAZI K., RŮŽEK D., DONOSO-MANTKE O., SCHLEGEL M., ALI H. S., WENK M., SCHMIDT-CHANASIT J., OHLMEYER L., RÜHE F., VOR T., KIFFNER CH., KALLIES R., ULRICH R. G. A NIEDRIG M. Rodents as Sentinels for the Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus. *Vector borne and zoonotic diseases* [online]. 2011, 11(6), 641–647 [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1089/vbz.2010.0236>

BALÁŽOVÁ A., NOSKOVÁ E., ŠIROKÝ P., DURRANT Ch. a BALÁŽ V. Diversity and dynamics of zoonotic pathogens within a local community of small mammals. *Biologia* [online]. 2021, 76, 3267–3273 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00797-8>

CARSLAKE D., CORNULIER T., INCHAUSTI P. a BRETAGNOLLE V. Spatio-temporal covariation in abundance between the cyclic common vole *Microtus arvalis* and other small mammal prey species. *Ecography*. 2011, 34, 327–335.

CAYOL C., KOSKELA E., MAPPES T., SIUKKOLA A. a KALLIO E. R. Temporal dynamics of the tick *Ixodes ricinus* in northern Europe: epidemiological implications. *Parasites Vectors* [online]. 2017, 10(166) [cit. 2022-04-05]. ISSN 1756-3305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2112-x>

DANIEL M., KRÍŽ B., DANIELOVÁ V. a BENEŠ Č. Sudden increase in tick-borne encephalitis cases in the Czech Republic, 2006. *International Journal of Medical Microbiology*. 2008, 298(1), 81–87.

DANIEL M., KRÍŽ B., ZITEK K., DANIELOVÁ V., HOLUBOVÁ J., VALLTER J., VRÁBLÍK T. a KOTT I. Předpověď aktivity klíštěte obecného na území České republiky. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2022 [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/prevence/predpoved-aktivity-klisete-obecneho-na-uzemi-ceske-1?highlightWords=kl%C3%AD%C5%A1t%C4%9B+obecn%C3%A9>

DANIEL M., ZITEK K., DANIELOVÁ V., KRÍŽ B., VALTER J. a KOTT I. Risk assessment and prediction of *Ixodes ricinus* tick questing activity and human tick-borne encephalitis infection in space and time in the Czech Republic. *International Journal of Medical Microbiology*. 2006, 296(1), 41–47.

ESTRADA-PEÑA A., AYLLÓN N. a DE LA FUENTE J. Impact of Climate Trends on Tick-Borne Pathogen Transmission. *Frontiers in Physiology* [online]. 2012, 3(64) [cit. 2022-04-03]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2012.00064

HANZÁK J. Hraboš polní – hraboš polný. *Naši savci*. Praha: Albatros, 1970, 206–209.

HAVLÍK J. Proč je výskyt klíšťové meningoencefalitidy v České republice stále vysoký?. *Medicína pro praxi*. 2010, 7(6–7), 254–256. Dostupné z: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2010/06/02.pdf>

HUBÁLEK Z. a RUDOLF I. Mikrobiální zoonózy a saponózy. 3., dopl. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2014. ISBN 978-80-210-7516-0.

JACOB J., MANSON P., BARFKNECHT R. a FREDRICKS T. Common vole (*Microtus arvalis*) ecology and management: implications for risk assessment of plant protection products. *Pest Management Science* [online]. 2013, 70(6), 869–878 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ps.3695>

KÁNSKÁ P. B. Klíšťová encefalitida – příznaky, léčba a prevence. *EUC.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://euc.cz/clanky-a-novinky/clanky/klistova-encefalitida-priznaky-lecba-a-prevence/>

KŘÍŽ B. a BENEŠ Č. Situace ve výskytu klíšťové encefalitidy do roku 2011 v České republice. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2012 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/prevence/klistova-encefalitida>

KŘÍŽ, B. Světový den zdraví – onemocnění přenášená vektory (Vector-borne diseases- VBD). *Státní zdravotní ústav* [online]. 2014 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/prevence/svetovy-den-zdravi-onemocneni-prenasena-vektory-vector-borne?highlightWords=onemocn%C4%9Bn%C3%AD+p%C5%99en%C3%A1%C5%A1en%C3%A1+kl%C3%AD%C5%A1%C5%A5aty>

Klíšťová encefalitida: Infekční nemoci. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/46-klistova-encefalitida>

- KYBICOVÁ K., BALÁTOVÁ P. a LUKAVSKÁ A. Diagnostika lymeské borreliózy. ZPRÁVY CEM [online]. SZÚ, Praha, 2018, 27(7–8), 187–190 [cit. 2022- 03-28]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/CeM/Zpravy_EM/27_2018/07_08_cervenec_srpen/187_diagnostika.pdf
- LINDQUIST L. a VAPALAHTI O. Tick-borne encephalitis. *The lancet*. 2008, 371(9627), 1861–1871. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60800-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60800-4)
- MAČÁT Z. *Microtus arvalis* – hraboš polní. *Natura Bohemica: příroda České republiky* [online]. 2013 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <http://www.naturabohemica.cz/microtus-arvalis/>
- OBDRŽÁLKOVÁ O., ZAPLETAL M., ZEJDA J. a HEROLDOVÁ M. *Hraboš polní Microtus arvalis (Pallas, 1778): závažný škůdce v zemědělství* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství ve spolupráci se Státní rostlinolékařskou správou [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/60020/Hrabos_polni.pdf
- ORLÍKOVÁ H., LENZ P., VLČKOVÁ I. a KYNČL J. Klíšťová encefalitida v České republice v roce 2020. *Zprávy CEM*. SZÚ, Praha, 2021, 30(7–8), 236–245.
- OSTFELD R., SCHAUBER E. M., CANHAM CH. D., KEESING F., JONES C. G. a WOLFF J. O. Effects of Acorn Production and Mouse Abundance on Abundance and *Borrelia burgdorferi* Infection Prevalence of Nymphal *Ixodes scapularis* Ticks. *Vector borne and zoonotic diseases*. Mary Ann Liebert, Inc. 2001, 1(1), 55–63.
- PETRÁŠ M. Očkování proti klíšťové encefalitidě. *Medicína pro praxi*. 2007, 3, 100–101.
- PETROUŠOVÁ L. a ZJEVÍKOVÁ A. Klíšťová encefalitida v dětském věku, význam očkování. *Pediatric pro praxi*. 2014, 15(2), 67–69.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAŽDÍK T. Má vize pro Moravskoslezský kraj. In: *Ing. Tomáš Raždík* [online]. 2020 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://tomas-razdik.cz/moravskoslezsky-kraj/ma-vize-pro-moravskoslezsky-kraj/>

RŮŽEK D., DANIELOVÁ V., DANIEL M., CHMELÍK V., CHRDLA A., PAZDIORA P., PRYMULA R., SALÁT J., SÝKORA J. a ŽAMPACHOVÁ E. *Klišťová encefalitida*. Praha: Grada Publishing, 2015, 22 s. ISBN 978-80-247-5305-8.

TKADLEC E., VÁCLAVÍK T. a ŠIROKÝ P. Rodent Host Abundance and Climate Variability as Predictors of Tickborne Disease Risk 1 Year in Advance. *Emerging Infectious Diseases*. 2019, 25(9), 1738–1741. ISSN 1080-6059.

VOLF P., HORÁK P., ČEPIČKA I., FLEGR J., LUKEŠ J., MIKEŠ L., SVOBODOVÁ M., VÁVRA J. a VOTÝPKA J. *Paraziti a jejich biologie*. Praha: TRITON, 2007, 318 s. ISBN 978-80-7387-008-9.

ZAPLETAL M. a OBDRŽÁLKOVÁ D. Hraboš polní stále aktuální nejen pro zemědělce. *Agromanual.cz* [online]. Brno: Česká společnost rostlinolékařská z. s., 2017 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/hrabos-polni-stale-aktualni-nejen-pro-zemedelce>

ZEJDA J., ZAPLETAL M., HEROLDOVÁ M. a TKADLEC E. Analýza časně jarního vzorku populace hraboše polního (*Microtus arvalis*). *Lynx* [online]. Praha, 2004, 35, 247–252 [cit. 2022-04-11]. ISSN 0024–7774. Dostupné z: <https://publikace.nm.cz/file/a5fdc33b8a1df9a7c12919284faea58a/15989/Zejda2004lynx.pdf>

ZÖLDI V., PAPP T., REICZIGEL J. a EGYEDL. Bank voles show high seropositivity rates in a natural TBEV focus in Hungary. *Infectious Diseases*. 2015, 47, 178–181.

Životní cyklus klišťat. *Klišťe.cz* [online]. 2020 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.kliste.cz/cz/vse-o-klistatech/clanek/zivotni-cyklus-klistat>