

PAVEL ŠVEC, VÁCLAV HÖNIG, MILAN DANIEL, VLASTA DANIELOVÁ,
LIBOR GRUBHOFFER

VYUŽITÍ GIS PRO MAPOVÁNÍ KLÍŠŤAT A KLÍŠŤATY PŘENÁŠENÝCH PATOGENŮ V JIHOČESKÉM KRAJI

P. Švec, V. Hönig, M. Daniel, V. Danielová, L. Grubhoffer: *Use of GIS for mapping of ticks and tick-borne pathogens in South Bohemia*. – Geografie–Sborník ČGS, 114, 3, pp. 157–168 (2009). – Ticks and tick-borne diseases (TBD) represent a serious health risk in numerous European countries, including Czechia. The South Bohemian Region is a TBD high-risk area. The aims of the current project are: to map the distribution of ticks and tick-borne diseases in the South Bohemian Region, to identify the key factors determining their distribution and to use the obtained data for creation of a TBD risk prediction model. The current article deals with the use of the geographic information system (GIS) for selection of localities for field work (tick collections, estimation of tick activity). Data sources and methods of their processing are described, examples of the main outputs are presented, further possibilities of GIS use in the project are outlined. The field work confirmed GIS analysis as an efficient approach to identification of appropriate sites for field analysis of tick activity.

KEY WORDS: GIS – ticks – tick-borne encephalitis – mapping – Lyme borreliosis – ArcGIS.

Projekt je spolufinancován Evropskou unií z Evropského fondu pro regionální rozvoj, Jihočeským krajem a výzkumnými centry MSM 6007665801 a Z60220518.

Úvod

Klíšťaty přenášená onemocnění představují vážná zdravotní rizika. Mezi nejvýznamnější onemocnění přenášená těmito krevsajícími členovci patří Lymeská borrelióza, jejímž původcem je bakterie *Borrelia burgdorferi* sensu lato, a klíšťová encefalitida, která je původu virového. Ve většině evropských zemí je v poslední době pozorován setrvalý nárůst počtu případů těchto onemocnění. Česko patří dlouhodobě k zemím s vysokým výskytem klíšťové encefalitidy (průměr z let 1999–2008: 645 případů ročně) i Lymeské borreliózy (průměr z let 1999–2008: 3 662 případů ročně; EPIDAT, Státní zdravotní ústav, Praha). Jihočeský kraj je v rámci republiky oblastí s dlouhodobě nejvyšším výskytem klíšťové encefalitidy (Kříž a Beneš 2007; Daniel a kol. 2008).

Prostorová epidemiologie se zabývá distribucí infekčních onemocnění, jejichmi příčinami a následky. Charakter distribuce infekčních onemocnění přenášených vektory bývá mozaikovitý. Příčinou takové distribuce je vazba patogena, jeho vektorů či hostitelů na určitý typ prostředí apod. (Ostfeld a kol. 2005). Právě provázanosti mezi faktory prostředí a výskytem patogena se využívá pro tvorbu predikčních map rizika těchto infekčních onemocnění. Je-li možné identifikovat environmentální faktory, které determinují výskyt daného onemocnění, lze na základě hodnot těchto faktorů stanovit riziko i v oblastech, kde by nebylo možno uskutečnit nákladný výzkum v terénu. V přístupu se

s výhodou využívá kombinace Dálkového průzkumu země (DPZ) a geografických informačních systémů (GIS) coby zdrojů poskytujících velké množství vhodných geografických dat (Ostfeld a kol. 2005, Kalluri a kol. 2007). Přímou v oblasti modelování rizika klíšťaty přenášených patogenů pak těchto přístupů využívají např. Daniel a kol. (2008), Kitron a Kazmierczak (2006) či Estrada-Pena a kol. (1997). GIS jsou zároveň nástrojem pro zpracování a vizualizaci dat. Další možností odhadu rizika infekčních onemocnění v prostoru je mapování výskytu klinických případů. Tento přístup má však svá omezení (například závislost na míře aktivity lidí v oblasti, negativní ovlivnění kvality dat nepřesnou diagnostikou, nedokonalostmi v systému hlášení klinických případů, případně ovlivnění vakcinací apod.).

Klíšťová encefalitida i Lymeská borrelióza patří mezi přírodně ohniskové nákazy – nákazy udržující se v určitých ekologicky vyhraněných a geograficky ohraničených oblastech cirkulací mezi přirozenými hostiteli (hlodavci, hmyzožravci, zajáci, vysokou zvěř, ptáky) a přenašeči (v Evropě zejména klíště obecné, *Ixodes ricinus*). Příčinou ohniskového výskytu je vzájemná provázanost mezi faktory prostředí, hostiteli klíšťat, klíšťaty a samotnými patogeny. Člověk bývá pak nakažen při vstupu do ohniska po napadení infikovaným vektorem, na další cirkulaci patogena v ohnisku se však nepodílí (Rosický, Daniel a kol. 1989).

V případě nálezů přenášených hematofágními členovci je riziko infekce významně ovlivněno abundancí vektorů schopných dané onemocnění přenášet. V některých modelech se riziko infekce vektorem přenášeným patogenem přímo odvozuje od aktivity a populační hustoty vektora. Tento přístup má tu výhodu, že abundance hematofágních členovců je ve většině případů silně závislá na některých relativně přesně stanovitelných environmentálních proměnných (Ostfeld a kol. 2005). Pro mapování rizika klíšťaty přenášených nálezů se nejčastěji využívá silná vazba vektorů na určitý typ biotopu. Nejčastěji se používají DPZ a GIS systémy založené na řízené (případně kombinaci řízené a neřízené) klasifikaci mapovaného území na základě satelitních snímků či terénního průzkumu (např. Daniel a kol. 1998, 2006; Eisen a kol. 2006). Model Daniela a kol. (1998, 2006) zohledňuje kromě predikce abundance vektorů i vlastní riziko přenosu klíšťové encefalitidy zapojením epidemiologických dat.

Cílem projektu „Klíšťata a jimi přenášená infekční onemocnění v podmínkách Jihočeského kraje“ je zmapovat výskyt klíšťat a jimi přenášených patogenů v systému 30 testovacích lokalit na území Jihočeského kraje a získat tak co nejkomplexnější představu o reálném riziku infekce klíšťaty přenášenými onemocněními na těchto lokalitách, identifikovat faktory, které toto riziko ovlivňují a na jejich základě se pokusit navrhnout obecný model pro predikci rizika pro části území, které analyzovány nebyly.

V první fázi projektu bylo pomocí GIS vytipováno na území Jihočeského kraje 30 lokalit pro sběr klíšťat. V tomto příspěvku bychom rádi přiblížili možnosti použití GIS pro tyto účely z pohledu použitých dat a přístupů k jejich zpracování a nastínili další možnosti zapojení GIS ve fázi analýzy a vizualizace výsledků.

V průběhu roku 2008 se na vytipovaných lokalitách již uskutečnily terénní sběry klíšťat, při nichž byla rámcově stanovena jejich sezónní aktivita. V dalším pokračování projektu budou klíšťata vyšetřena na přítomnost původců klíšťové encefalitidy a Lymeské borreliózy. V konečné fázi bude vyhodnocena rizikovitost jednotlivých lokalit a identifikovány faktory ovlivňující distribuci klíšťat, zejména jedinců infikovaných studovanými patogeny. Na tomto základě a v kombinaci s epidemiologickými daty bude navržen model predikce rizika.

Kriteria pro výběr lokalit a jejich zdůvodnění

Cílem první části projektu bylo vytipovat 30 lokalit pro terénní sběry klíšťat tak, aby bylo rovnoměrně pokryto celé území kraje a aby bylo možné získat dostatečné množství klíšťat pro následné laboratorní analýzy.

Vzhledem k cílům projektu byla vhodnost lokalit hodnocena podle následujících kritérií: nadmořská výška, vegetační pokryv, výskyt klinických případů klíšťové encefalitidy, turistická a rekreační atraktivita, vzdálenost od obytné zástavby, přístupnost terénu pro účely sběrů.

V současnosti dochází k posunu distribuce klíšťat směrem k vyšším nadmořským výškám (hranice výskytu populací klíštěte *Ixodes ricinus* v Krkonoších minimálně 1 100 m n. m.), jejich populační denzita však s rostoucí nadmořskou výškou klesá (Materna et al. 2008). Při nízkých populačních denzitách klíšťat by bylo obtížné získat dostatek materiálu pro laboratorní analýzy přítomnosti patogenů.

Klíšťata, jejich fyziologické pochody i dynamika jejich populací jsou velmi silně spjata s (biotickými a abiotickými) podmínkami prostředí. Klíšťata preferují určité biotopy, ve kterých jednotlivé faktory dosahují pro ně co možná nejoptimálnějších hodnot. Jelikož zmiňované abiotické faktory zároveň ovlivňují typ vegetačního krytu, je možné na základě typu vegetace odhadnout celkový environmentální stav dané lokality. Charakter vegetace může fungovat jako indikátor podmínek prostředí vhodných pro klíšťata (Nosek, Krippel 1974). Tento vztah, mnohonásobně empiricky ověřený, je aplikován i ve studiích využívajících satelitní data (Daniel a kol. 1998).

Výskyt klíšťové encefalitidy slouží jako indikátor aktivity klíšťat a přítomnosti přírodního ohniska klíšťové encefalitidy v oblasti. Zároveň z části postihuje i aktivitu lidí v oblasti a indikuje tedy důležitost oblasti z pohledu ochrany veřejného zdraví.

Obdobně kritéria turistické a rekreační atraktivity, blízkosti obytné zástavby a přístupnosti terénu byla zařazena s ohledem na praktické využití výstupů projektu v ochraně veřejného zdraví.

Datové zdroje a metodika jejich zpracování

Na základě stanovených kritérií byly vyhledány soubory odpovídajících vstupních dat pro analýzu GIS. Některé datové soubory musely být pro účely projektu upraveny. Analýza byla provedena pomocí softwaru ArcGIS 9.2 na licenční úrovni ARCINFO. Dále byla využita extenze Spatial Analyst pro výpočet interpolačních algoritmů.

Byly použity následující mapové podklady: mapový podklad o administrativním členění Česka z digitální vektorové geografické databáze ArcČR 500 a rastrový podklad digitálního modelu reliéfu (DMR; ArcDATA, Praha). Z dalších mapových podkladů (zejména topografického charakteru) byla využita data z WMS serveru geoportálu CENIA – vybrané prvky z Digitálního modelu území 1 : 25 000 (DMÚ 25) a barevná ortofotomapa Česka s rozlišením 1 m.

Kritérium nadmořské výšky bylo zohledněno klasifikací digitálního modelu terénu do dvou tříd rozdělených hranicí 750 m n. m., oblasti nad touto hranicí byly z důvodu očekávané nízké populační denzity klíšťat z výběru lokalit vyloučeny.

Informace o typu vegetačního pokryvu byly získány z lesnických typologických map poskytnutých Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) s po-

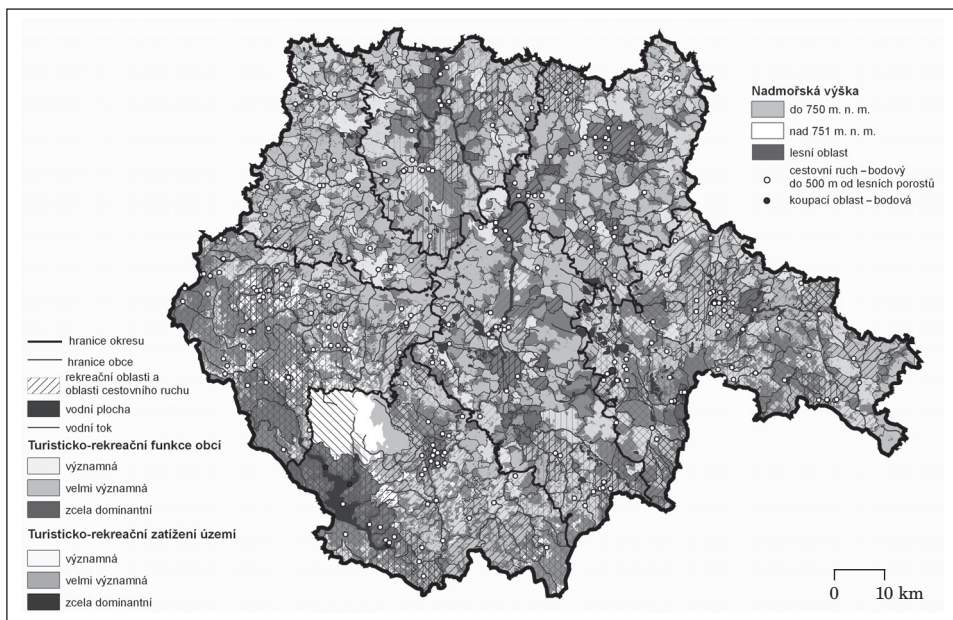
bočkou v Českých Budějovicích. Tato data byla dále doplněna o informace z atlasu Klíšťová encefalitida v České republice (Daniel, Kríž 2002). Klíšťata jsou silně vázána především na určité typy lesních biotopů – pozornost byla soustředěna zejména na listnaté až smíšené heterogenní porosty s četnými ekotony. Zemědělské plochy, drobné plochy městské zeleně apod. byly z výběru vyřazeny. Naopak byl kladen důraz na zastoupení různých typů pro klíšťata vhodných biotopů pro následné porovnávání v rámci analýzy vztahů mezi typem biotopu a sledovanou aktivitou klíšťat případně aktivitou infikovaných klíšťat.

Epidemiologická data o výskytu klinických případů klíšťové encefalidity byla poskytnuta Státním zdravotním ústavem Praha (systém EPIDAT) jako počty případů klíšťové encefalidity v období let 2001–07 za jednotlivé obce Jihočeského kraje. Systém EPIDAT obsahuje údaje o pravděpodobném místě přisátí infikovaného klíšťete (jak bylo pacientem nahlášeno ošetřujícímu lékaři), což je z hlediska potřeb projektu přesnější informace než např. počet rezidentů, kteří onemocněli klíšťovou encefalitidou, bez udání místa přisátí pravděpodobně infekčního klíšťete. V případech, kdy nebylo místo napadení infikovaným klíšťetem definováno dostatečně přesně (tzn. na úrovni obce) byl tento údaj z analýzy vypuštěn. Pro zachování informační hodnoty z hlediska aktivity člověka v oblasti, byly použity absolutní počty případů bez přepočtu na obyvatele. Údaje byly sumarizovány a napojeny na bodovou vrstvu základní sídelní jednotky z ArcČR 500. Pro konstrukci mapy byl v extenzi Spatial Analyst po otestování různých interpolačních algoritmů (IDW, Kriging, Spline) jako nejvhodnější pro konkrétní výběr testovacích ploch zvolen algoritmus „Spline with Barriers“. Obdobně byla data napojena na polygonovou vrstvu obce Česka a jednotlivé mapové výstupy porovnány. Pro další analýzu pak byla vybrána jako vhodnější interpolovaná mapa (obr. 3). Do výběru byly zařazeny obce s alespoň pěti případy klíšťové encefalidity v letech 2001–07.

Informace o úrovni cestovního ruchu a turistické atraktivitě byly získány z map Turisticko-rekreační funkce obcí a Turisticko-rekreační zatížení území, Atlasu cestovního ruchu České republiky (Vystoupil a kol. 2006), dále pak byly využity údaje o cestovním ruchu poskytnuté Krajským úřadem Jihočeského kraje a to zejména data o plošných a bodových oblastech cestovního ruchu, přírodních atraktivitách, koupacích lokalitách apod. Data o cestovním ruchu z Atlasu cestovního ruchu byla klasifikována jak pro mapu turisticko-rekreačního zatížení území tak i pro mapu turisticko-rekreační funkce obcí. Dle metodiky uvedené v tomto atlasu byly zvýrazněny ty obce, u kterých byla funkce týkající se cestovního ruchu významná, velmi významná či zcela dominantní. Ostatní obce byly po exportu dat vypuštěny. Z dat týkajících se cestovního ruchu poskytnutých Krajským úřadem Jihočeského kraje byly vybrány pouze ty bodové prvky, které ležely do vzdálenosti 500 m od hranice lesa. Plošné areály cestovního ruchu byly označeny různými druhy šrafur (obr. 1). Tato data sloužila jako pomocná kritéria pro výběr – byly preferovány epidemiologicky významné turistické oblasti. Podmínka přístupnosti terénu nemohla být algoritmizována, v jednotlivých případech bylo přihlédnuto k lokálním podmínkám.

Analýza dat

Po shromáždění dat a provedení potřebných úprav a klasifikací bylo přistoupeno k samotné analýze. Od původní myšlenky použití některých nástrojů pro automatizaci výběru dle definovaných kritérií bylo pro velký počet zohledňovaných faktorů upuštěno. Velkou roli v tomto rozhodnutí také sehrálo to, že



Obr. 1 – Vstupní data pro výběr testovacích ploch v Jihočeském kraji (2008). Mapový podklad ArcCR 500. Krajský úřad Jihočeského kraje, UHÚL České Budějovice. Zdroj dat: ESF Brno. Souřadnicový systém SJTSK.

v případě automatizace výběru by nebylo možno využít osobních praktických zkušeností při vyhledávání lokalit zejména s ohledem na vegetační pokryv, znalost regionu a další faktory. Vegetační pokryv reprezentovaný vektorovými lesnickými typologickými mapami nebylo možné jednoduše klasifikovat do několika málo jednotlivých skupin, vzhledem k desítkám kategorií, jež obsahují. Problematickým bodem bylo zejména zapracování kritéria cestovní ruch, kde např. lokalita (obec) Malonty má z hlediska cestovního ruchu potenciál nízký, ale vzhledem k 1 092 obyvatelům (SLDB 2001) a čtyřem registrovaným případům klišťové encefalitidy, byla do výběru zahrnuta a je lokalitou i s přihlédnutím k vysoké nadmořské výšce (730 m n. m.) vysoce zajímavou. Výše uvedené faktory proto znemožnily zcela zautomatizovat průběh analýzy.

Hlavním vodítkem pro primární výběr celkem 30 lokalit byla mapa „Výskyt klišťové encefalitidy v Jihočeském kraji“ (obr. 3). Jednotlivé lokality byly poté přiblíženy v měřítku 1:25 000 (případně větším) na pozadí topografického podkladu DMÚ 25, barevné ortofotomapy a dalších výše uvedených podkladů. Vhodnost lokalit byla dále testována podle kritéria nadmořské výšky a z hlediska cestovního ruchu. Pokud lokalita odpovídala výše uvedeným kritériím, přistoupilo se k podrobnému testování vegetačního pokryvu. Pro rozlišení jednotlivých kategorií lesnických typologických map bylo využito jednak Přehledu souborů lesních typů (UHÚL 2007), zejména však Převodu souborů lesních typů (Löw a kol. 1995) na skupiny typů geobiocénů (Buček, Lacina 1999), podle kterých byly určeny jednotlivé lesní habitaty. Při výběru byl zohledněn požadavek na zastoupení typově různých biotopů vhodných pro klišťata.

Na základě těchto vstupů byly vytipovány a do mapy digitálně zakresleny pro každou lokalitu budoucího sběru dvě vybrané plochy o výměře několika hektarů, které se jevíly jako vhodné pro následný terénní průzkum. Vybrané



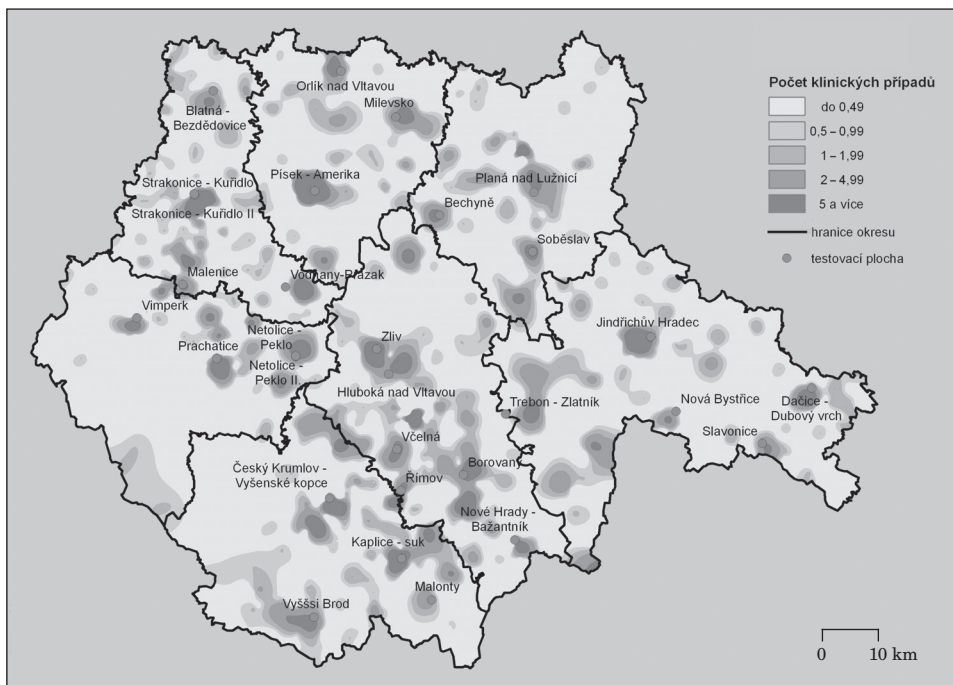
Obr. 2 – Potenciální sběrná plocha

plochy byly ještě zpětně ověřeny na vhodnost vegetačního pokryvu a rizikovost z pohledu nákazy klíšťové encefalitidy z atlasu Klíšťová encefalitida v České republice (Daniel, Kříž 2002). Výstupem z této analýzy jsou mapové podklady pro jednotlivé lokality (příklad viz obr. 2), které byly v tištěné formě použity pro terénní průzkum, výběr a ověření vybraných lokalit. Z dalších mapových podkladů, které vznikly pro tyto účely, to jsou např. přehledové mapy s jednotlivými vytipovanými lokalitami. Při terénním průzkumu byla pak definitivní plocha sběru na lokalitě vybrána a zaměřena na jedné z takto „předvybraných“ ploch.

Ověření vhodnosti a definitivní výběr testovacích ploch v terénu

Terénní průzkum probíhal v širším území vybraném při analýze pomocí GIS se snahou získat dostatek informací o dané lokalitě a zachytit prostorové vazby v území. Plocha, která reálně nejvíce splňovala kritéria užitá pro předvýběr pomocí GIS, byla vybrána jako testovací plocha, dále byla označena v terénu a digitálně zaznamenána přístrojem GPS v aplikaci ArcPAD (Švec, Lacina 2007). Zároveň byly zaznamenány základní fyzikogeografické charakteristiky (sklon, expozice, nadmořská výška apod.) a k nim také údaje o vegetačním pokryvu (Moravec 1994), přičemž bylo zaznamenáno stromové vegetační patro (Uředníček, Maděra a kol. 2001) a dominantní druhy z patra bylinného (Kubát a kol. 2002).

Stejný metodický postup byl aplikován na všech 30 lokalitách. Výsledkem, po transformaci dat ze souřadnicového systému WGS 84, je mapa lokalit a testovacích ploch sběru klíšťat v Jihočeském kraji (obr. 3).



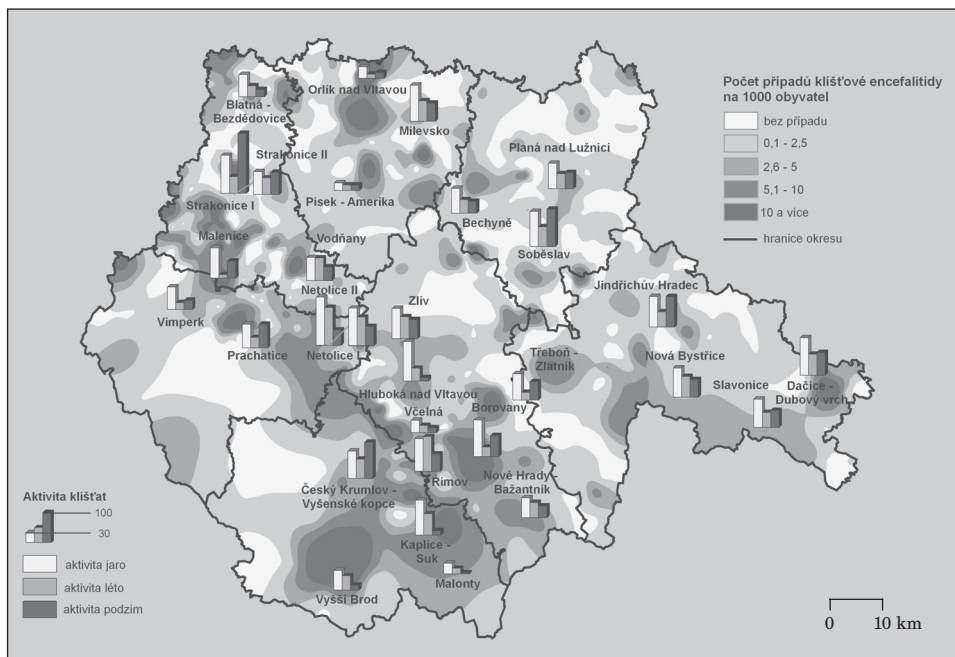
Obr. 3 – Výskyt klíšťové encefalitidy v letech 2001–2007 a vybrané testovací plochy v Jihočeském kraji. Počet klinických případů celkem: 1 160, minimální hodnota: 0, maximální hodnota: 72 (České Budějovice). Mapový podklad ArcČR 500, vlastní GPS měření. Zdroj dat: databáze EPIDAT. Souřadnicový systém SJTSK. Použitá metoda: interpolace „Spline With Barriers“.

Výsledky

Výsledkem prováděné analýzy je stanovení testovacích ploch na 30 lokalitách rozmístěných na území celého Jihočeského kraje. Testovací plochy byly zaznačeny jak v terénu, tak digitálně přístrojem GPS a přeneseny v bodové vrstvě do projektu GIS. Snahou bylo optimální (rovnoměrné) rozmístění sběrných ploch na celé území Jihočeského kraje s ohledem na rozšíření klíšťové encefalitidy a další faktory.

Úspěšnost výběru lokalit pomocí provedené analýzy v GIS byla 80 %. Celkem 24 lokalit se podařilo úspěšně vybrat, 6 vytipovaných lokalit předpoklad vhodnosti pro sběry nesplnilo (na dvou lokalitách byly vytýčeny dvě testovací plochy a v případě plánované lokality Větřní se vzhledem k devastaci životního prostředí nepodařilo najít vhodnou testovací plochu ani pomocí terénního průzkumu). Nutno podotknout, že často znemožnily výběr lokality fyzikogeografické podmínky, a to především vysoký sklon svahu (technicky znemožňuje sběr), svou roli zde také sehrála logistická podpora a dostupnost lokalit vozidlem. Výsledný počet testovacích ploch podle okresů je následující: České Budějovice 7, Český Krumlov 4, Prachatice 4, Strakonice 5, Písek 3, Tábor 3, Jindřichův Hradec 4 (viz obr. 3).

Na vybraných testovacích plochách proběhly v roce 2008 sběry klíšťat, a to ve třech etapách odražejících typickou sezónní dynamiku klíštěcích populací:



Obr. 4 – Počet případů klíšťové encefalitidy na 1 000 obyvatel v letech 2001–2008. Pozn.: aktivita klíšťat = počet sesbíraných klíšťat za hodinu sběru na jednoho pracovníka. Minimální hodnota: 0, maximální hodnota: 34. Mapový podklad ArcČR 500, vlastní GPS měření. Zdroj dat: databáze EPIDAT. Souřadnicový systém SJTSK. Použitá metoda: interpolace „Spline With Barriers“.

jarní etapa – konec května, letní – konec června, podzimní – přelom září a října. Klíšťata (*Ixodes ricinus*) byla nalezena na všech třiceti vytipovaných lokalitách. Celkem bylo nasbíráno 20 057 jedinců (18 829 nymf, 578 samic a 650 samců). Průměrná aktivita klíšťat, vyjádřena jako počet sesbíraných klíšťat za hodinu sběru na jednoho pracovníka, dosáhla hodnoty 101 klíšťat/hodinu (rozsah 28–177) v květnové etapě sběru, 58 klíšťat/hod. (13–139) v červnové etapě a 64 klíšťat/hod. (5–221) v září.

Aktivita klíšťat na sledovaných lokalitách v jednotlivých sběrech je zobrazena na obrázku 4. Jako podklad byla obdobně jako u obrázku 3 zvolena mapa interpolace počtu případů klíšťové encefalitidy pomocí interpolačního algoritmu „Spline with Barriers“. Jelikož absolutní počet případů na obec je silně závislý na počtu obyvatel obce ($R^2=0,637$; $p<0,0001$), byly v tomto případě epidemiologické údaje přepočteny na 1 000 obyvatel. Počet případů vztahený na obyvatele by měl mít bližší vztah k vlastnímu „biologickému“ riziku v daném místě (tzn. k aktivitě klíšťat nesoucích virus klíšťové encefalitidy) a být méně ovlivněný mírou aktivity lidské.

Patnáct lokalit vykazovalo unimodální charakter aktivity klíšťat s maximem v jarní etapě sběru, 15 lokalit pak bimodální charakter s jarním a podzimním maximem (podzimní maximum aktivity přesáhlo jarní hodnotu u tří lokalit). Sezónní aktivita klíšťat na jednotlivých lokalitách je součástí mapy na obrázku 4.

Poněkud překvapivě nebylo možné nalézt průkazný vztah mezi aktivitou klíšťat (roční průměr, jednotlivé sběry) a počtem klinických případů na 1 000

obyvatel (celkový počet případů v letech 2001–07, počet případů v roce 2007, roční průměry, vážené roční průměry se vzrůstající vahou směrem k roku sběru). Důvodem by mohly být především meziroční fluktuace v počtu případů a v aktivitě klíšťat a tedy nekompatibilita dlouhodobě sbíraných epidemiologických dat s krátkodobě sledovanou aktivitou klíšťat. Epidemiologická data v roce 2008 bohužel nebyla v době přípravy tohoto příspěvku k dispozici. Další příčinou by pak mohl být vysoce lokalizovaný výskyt ohnisek klíšťové encefalitidy, který se nemusí projevit na úrovni širšího území (území obce), ze které jsou sumarizována data počtu případů. V tomto případě bychom měly dostat odpověď z laboratorního vyšetření klíšťat na přítomnost viru klíšťové encefalitidy. Zjištění vztahů mezi aktivitou klíšťat, prevalencí patogenů (podíl klíšťat pozitivně testovaných na přítomnost patogenu z testovaných celkem), počtem klinických případů na obyvatele a různými abiotickými a biotickými faktory je naprosto zásadní pro přípravu predikčního modelu.

Závěr

Pomocí analýzy GIS bylo úspěšně vybráno 30 lokalit pro sledování aktivity klíšťat. Z těchto lokalit byl získán dostatek biologického materiálu pro laboratorní testování na přítomnost klíšťaty přenášených patogenů. Výsledky laboratorních analýz stejně jako výsledky z terénních prací budou spolu s dalšími nashromážděnými daty (předpokládáme doplnění databáze o klimatická data, data o výskytu vysoké zvěře apod.) analyzovány v rámci přípravy obecného modelu predikce rizika klíšťaty přenášených nálezů.

V dalších fázích výzkumu plánujeme postupně zapojování terénních a laboratorních výsledků do GIS. Kromě přehledného zobrazení a nástroje pro výběr lokalit, spatřujeme hlavní přínos GIS v tom, že vizualizace výsledků v prostorovém kontextu umožňuje lépe si uvědomovat prostorové vazby, které by v tabelárních datech zůstaly nepovšimnuty. V rámci přípravy modelu predikce rizika se předpokládá využití GIS jak při přípravě dat pro jeho tvorbu tak v konečné fázi pro realizaci výstupů modelu.

V rámci společného projektu s Institutem srovnávací tropické medicíny a parazitologie Univerzity v Mnichově budou stejné analýzy v obdobném rozsahu realizovány na území spolkového státu Bavorsko. Práce budou provedeny v rámci společné metodiky a výsledky z obou stran hranice porovnány.

Autoři tohoto příspěvku děkují za laskavé zapůjčení dat následujícím organizacím: Krajský úřad Jihočeského kraje, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů – pobočka České Budějovice, Ekonomicko správní fakulta Brno, Státní zdravotní ústav Praha.

Literatura:

- BUČEK, A., LACINA, J. (1999): Geobiocenologie II. Geobiocenologická typologie krajiny České republiky. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Brno. 251 s.
- CZECHTOURISM (2005): Návštěvnost turistických regionů ČR za rok 2005, <http://www.czechtourism.cz/files/statistiky/navstevnost2004.pdf>.
- DANIEL, M., KOLÁŘ, J., ZEMAN, P., PAVELKA, K., SÁDLO, J. (1998): Predictive map of Ixodes ricinus high-risk habitats and a tick-borne encephalitis risk assessment using satellite data. *Exp. Appl. Acarol.*, 22, s. 417–433.

- DANIEL, M., KOLÁŘ, J., ZEMAN, P. (2008). Analysing and predicting the occurrence of ticks and tick-borne diseases using GIS. In.: Bowman, A. S., Nuttall, P. A. (eds.): Ticks: Biology, Disease and Control. Cambridge Univ. Press., s. 377–407.
- DANIEL, M., KRÍŽ, B. (2002): Klíšťová encefalitida v České republice. SZÚ, Praha, 64 s.
- DANIEL, M., KRÍŽ, B., DANIELOVÁ, V., BENEŠ, Č. (2008): Sudden increase in tick-borne encephalitis cases in the Czech Republic, 2006. Int. J. Med. Microbiol., 298, Suppl. 1, s. 81–87.
- DANIEL, M., ZÍTEK, K., DANIELOVÁ, V., KRÍŽ, B., VALTER, J., KOTT, I. (2006): Risk assessment and prediction of *Ixodes ricinus* tick questing activity and human tick-borne encephalitis infection in space and time in the Czech Republic. Int. J. Med. Microbiol., 296 Suppl. 40, s. 41–47.
- EISEN, R. J., EISEN, L., LANE, R. S. (2006): Predicting density of *Ixodes pacificus* nymphs in dense woodlands in Mendocino county, California, based on geographic information systems and remote sensing versus field-derived data. Am. J. Trop. Hyg., 74, s. 632–640.
- EPIDAT (2009): Tabulka Vybrané infekční nemoci v ČR v letech 1999–2008 – absolutně, <http://www.szu.cz/data/vybrane-infekcni-nemoci-v-cr-v-letech-1998-2007-absolutne>.
- ESTRADA-PENA, A., VENZAL, J. M., SÁNCHEZ ACEDO, C. (2006): The tick *Ixodes ricinus*: distribution and climate preferences in western Palaearctic. Med. Vet. Entomol., 20, s. 189–197.
- KALLURI, S., GILRUTH, P., ROGERS, D., SZCZUR, M. (2007): Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques: a review. PLoS Pathog., 3, s. 1361–1371.
- KITRON, U., KAZMIERCZAK, J. (1997): Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. Am. J. Epidemiol., 145, s. 558–566.
- KRÍŽ, B., BENEŠ, Č. (2007): Extrémní vzestup incidence klíšťové encefalidity v České republice v roce 2006. Zprávy CEM, 16, SZÚ, Praha, s. 269–274.
- KUBÁT, K., ed. (2002): Klíč ke květeně ČR. Academia, Praha. 927 s.
- LÖW, L., a kol. (1995): Rukověť projektanta místního územního systému ekologické stability: metodika pro zpracování dokumentace. Doplněk. Brno, 122 s.
- MATERNA, J., DANIEL, M., METELKA, L., HARČARIK, J. (2008): The vertical distribution, density and the development of the tick *Ixodes ricinus* in mountain areas influenced by climate changes (The Krkonoše Mts., Czech Republic). Int. J. Med. Microbiol., 289, S1, s. 25–37.
- MORAVEC, J. a kol. (1994): Fytocenologie. Academia, Praha. 402 s.
- NOSEK J., KRIPPEL, E. (1974): Mapping of ixodid ticks. Report Inst. Geogr., 111, Českoslov. Acad. Sci., Brno, s. 9–19.
- OSTFELD, R. S., GLASS, G. E., KEESING, F. (2005): Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. Trends Ecol. Evol., 20, s. 328–336.
- ROSICKÝ, B., DANIEL, M. a kol. (1989): Lékařská entomologie a životní prostředí. Academia, Praha. 443 s.
- ŠVEC, P., LACINA, J. (2007): Využití metod GIS a fytocenologického snímkování pro posouzení následků likvidace invazních neofytů v povodí Morávky. Olomouc, s. 296–306.
- UHUL (2007): Tabulka Přehledu souboru lesních typů, <http://www.uhul.cz/lestypol/>.
- ÚŘEDNÍČEK, L., MADĚRA, P. a kol. (2001): Dřeviny České republiky. Matice Lesnická, Písek, 333 s.
- VYSTOUPIL, J. a kol. (2006): Atlas cestovního ruchu České republiky. Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha, 156 s.

S u m m a r y

USE OF GIS FOR MAPPING OF TICKS AND TICK-BORNE PATHOGENS IN SOUTH BOHEMIA

Ticks and tick-borne diseases (TBD) represent a serious health risk in numerous European countries. Lyme borreliosis (LB), caused by the bacterium *Borrelia burgdorferi* sensu lato, and tick-borne encephalitis (TBE), of viral origin, are the two most serious and most widespread ones. Czechia, with an annual average of 645 cases of TBE and 3,662 cases of LB (EPIDAT, National Institute of Public Health, Prague), is among the countries with the highest TBD incidence.

Spatial epidemiology deals with distribution of infectious diseases, their causes and consequences. The distribution of diseases and particularly of vector-borne ones is markedly influenced by various environmental factors (Ostfeld et al. 2005). Geographical information systems (GIS) and remote sensing data (RS) are increasingly employed in estimation of the distribution of these factors in space and thus in prediction of the disease risk (e.g. Daniel et al. 1998, 2006; Eisen et al. 2006).

The South Bohemian Region is, in a long-term perspective, one of the TBD high-risk areas. Therefore, a project of mapping ticks and tick-borne diseases has been set up in the area. The aims of the currently ongoing project are: 1) to map the occurrence of ticks and causative agents of tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis, 2) to identify the key factors influencing distribution of this disease risk on the basis of the data acquired by mapping, 3) to develop a model for TBD risk prediction.

The first task of the study was to select appropriate localities for field terrain work – collection of ticks, estimation of the activity of tick populations. Based on GIS analysis and with regard to various criteria influencing the distribution of ticks and clinical cases of TBD (altitude, vegetation cover, occurrence of TBE cases, tourism attractiveness, etc.) thirty localities were selected.

The GIS analysis was conducted in ArcGIS 9.2 software under ARCINFO licence. The following map sources were used: administrative division of Czechia from digital vector geographic database ArcCR 500, raster layer of digital elevation model (DEM) (ArcDATA, Prague), data from the WMS server of the CENIA geoportal – selected elements from digital landscape model 1:25,000 (DMÚ 25) and coloured orthophotomap of Czechia with 1 m resolution. The data describing vegetation cover were obtained from maps of forest types provided by the Forest Management Institute (FMI) České Budějovice and completed by information from the publication Tick-borne encephalitis in Czechia (Daniel, Kříž 2002). Epidemiological data (number of clinical cases of TBE per municipality summarized for the time period 2001–07) were acquired from the National Institute of Public Health (EPIDAT system). Information about tourism attractiveness was taken from the Tourism Atlas of the Czech Republic (Vystoupil et al. 2006) and from the data provided by the regional council.

The data were adapted, classified, when required, and integrated in a complex GIS. Because of the high number of criteria and other reasons (like utilization of personal experience) the selection was done manually. For the first level of selection, a map containing a layer of interpolated numbers of TBE cases (Spline with Barriers) was the most useful. Areas with an increased number of TBE were further analysed as to their altitude, suitability of vegetation cover and secondary criteria like tourism attractiveness. A larger area of several hectares was selected and digitally marked in the map. The main output of the analysis was a set of maps with marked areas of interest which were later used for field selection of individual localities.

The final localities were selected by direct field exploration. The positions of the selected locations were marked in the field and digitally recorded by GPS device using ArcPAD application (Švec, Lacina 2007). At the same time, the basic physical-geographical (slope, exposition, altitude...) and vegetation characteristics (Moravec 1994) were recorded.

The field work was conducted in 2008 in three time periods with regard to the seasonality of tick populations (May, June, September). Ticks (*Ixodes ricinus*) were found in all the 30 localities. The localities differed in the total activity of ticks as well as in the seasonal pattern of activity. In total 20,057 individuals (18,829 nymphs, 578 females, 650 males) were collected. The mean activity of ticks (number of ticks collected per hour) reached 101 ticks/hour (range 28–177) in May, 58 ticks/hour (13–139) in June and 64 ticks/hour (5–221) in September.

GIS analysis has proven to be a suitable method for identification of a large number of areas for efficient tick sampling. In the follow-up of the project the collected ticks will be tested for the presence of tick-borne encephalitis virus and *Borrelia burgdorferi* sensu lato spirochetes. The TBD risk will be evaluated for the individual localities. By the means of statistical analysis the factors influencing the TBD risk distribution will be identified and on their basis a model for TBD risk prediction in the South Bohemian Region will be developed. The newly acquired information will be added to the current GIS. GIS will be used during preparation as well during implementation of the risk prediction model.

- Fig. 1 – Input data for selection of testing areas in the South Bohemian Region (2008). Right above: altitude up to 750 m, above 751 m, forest area, tourism – punctual up to 500 m from forest, bathing area – punctual. Left bottom: limits of district, limits of municipality, limits of recreation area and tourism area, water surface, water stream. Tourist-recreational functions of municipalities: significant, very significant, dominant. Tourist-recreational load of the territory: significant, very significant, dominant.
- Fig. 2 – Possible collection area (hatched).
- Fig. 3 – Tick-borne encephalitis occurrence in the years 2001–2007 and selected testing areas in the South Bohemian Region. Right above: number of clinical cases, limits of districts, testing area. Left bottom: number of clinical cases in total: 1,160, minimal value: 0, maximal value: 72 (České Budějovice).
- Fig. 4 – Number of cases of tick-borne encephalitis per 1,000 inhabitants in the years 2001–2008. Number of cases of tick-borne encephalitis per 1,000 inhabitants: none, 10 and more, limits of the district. Left bottom: tick activity: spring activity, summer activity, autumn activity. Note: tick activity = number of ticks collected by one person in one hour. Minimal value: 0, maximal value: 34.

Pracoviště autorů: P. Švec: Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, e-mail: svec@pf.jcu.cz; V. Hönig: Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice a Biologické centrum AV ČR, Parazitologický ústav, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, e-mail: v.honig@volny.cz; M. Daniel: Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, Ruská 85, 100 05 Praha 10; V. Danielová: Státní zdravotní ústav, Šrobárova 48, 100 42 Praha 10; L. Grubhoffer: Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice a Biologické centrum AV ČR, Parazitologický ústav, Branišovská 31, 370 05 České Budějovice.

Do redakce došlo 20. 4. 2009