

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Riziko usídlení komára tygrovaného (*Aedes albopictus*)
v České republice**

Bakalářská práce

Autor práce: Bára Hanzlová

Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

Vedoucí práce: Ing. Martin Kulma, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Riziko usídlení komára tygrovaného (*Aedes albopictus*) v České republice " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4. 2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Kulmovi, Ph.D. za ochotný přístup a trpělivost. Dále konzultantce Seymě Celině, MSc. za její cenné rady a zkušenosti při zpracování praktické části této bakalářské práce.

Riziko usídlení komára tygrovaného (*Aedes albopictus*) v České republice

Souhrn

V této bakalářské práci jsem se zaměřila na invazní druh komára *Aedes albopictus*, jeho význam a potencionální riziko jeho usídlení na území České republiky. V práci jsem obecně poukázala na problematiku nepůvodních a invazních druhů hmyzu. Největší část práce byla věnována komáru tygrovanému (*Ae. albopictus*), který patří mezi nejinvazivnější druhy hmyzu, a který si vzhledem ke svému epidemiologickému významu, zaslouží zvýšenou pozornost. V České republice bylo prokázáno opakované zavlečení silniční dopravou. Jeho dlouhodobé usídlení prokázáno nebylo. Cílem práce bylo sepsat ucelený soubor nejdůležitějších informací o tomto druhu a za pomoci mapového modelingu predikovat, které části České republiky jsou pro usídlení nejvhodnější.

V teoretické části jsem popsala druh samotný, historii jeho šíření i specifika, které ho činí tak odolným, že se stal reálnou hrozbou pro celou Evropu. Zmíněny zde byly ohniska epidemií v Evropě, kde *Ae. albopictus* figuroval jako vektor. Do práce jsem zahrнула také monitoring a dohled, které hrají v této problematice důležitou roli. Zmíněn byl také legislativní rámec, do kterého byly zahrnuty nařízení a zákony, mající spojitost jak s nepůvodními druhy, tak s ochranou veřejného zdraví.

V praktické části byl za pomoci softwaru Maxent spočítán model niky *Ae. albopictus*. K tomuto modelování byl za potřebí soubor biotických proměnných, v tomto případě klimatických proměnných stažených z databáze Worldclim a geografických lokalit výskytu, které byly získány z jednotlivých záznamů z databází „Web of Science“ a „Scopus“. Model vyjadřoval pravděpodobné rozdělení environmentální vhodnosti jednotlivých lokalit pro *Ae. albopictus*. Výsledná mapa vytvořená v ArcGIS 10.7.1. ukázala místa Evropy rozdělené dle vhodnosti pro tento druh do tří kategorií: nízká, střední a vysoká. Co se týče České republiky, dle výsledného modelu zde nejsou žádné lokality s vysokou vhodností pro *Ae. albopictus*. Z výsledků lze dále predikovat, že na území České republiky se jeví jako potencionálně nejvhodnější lokality v Ústeckém, Plzeňském a Jihočeském kraji. Středně vhodné oblasti byly dle modelu mapy viditelné také v Jihomoravském kraji podél hranic s Rakouskem a Slovenskem. Vzhledem k tomu, že s výjimkou Ústeckého kraje všemi výše uvedenými regiony prochází dopravní tepny z území s endemickým výskytem *Ae. albopictus*, lze považovat riziko usídlení komára tygrovaného za reálné. Získaná data mohou posloužit k preciznějšímu zaměření monitoringu a včasné detekci ohnisek výskytu tohoto komára v České republice.

Klíčová slova: biologické invaze, legislativa, hmyz, GIS

The risk assessment of Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) establishment in the Czech Republic

Summary

In this bachelor thesis, I focused on the invasive species of mosquito *Aedes albopictus*, its significance and potential risk of its colonisation of the Czech Republic. In my work, I generally described the issue of non-native and invasive insect species. Mainly, the work was objected onto the tiger mosquito (*Ae. albopictus*), which is one of the most invasive insect species and which, due to its epidemiological significance, deserves increased attention. In the Czech Republic, repeated introduction by road transport has been proven. His long-term settlement has not been proven. The aim of the work was to write a comprehensive review of the most important information about this species, and to predict which parts of the Czech Republic are most suitable for it's establishment using map modelling.

In the theoretical part, I described the species bionomy, the history of its spread and the specifics that make it so resilient that it has become a real threat to the whole of Europe. The epidemiology outbreaks in Europe, where *Ae. albopictus* was as a vector, were also mentioned here. I also included monitoring and surveillance into the thesis due to their crucial role in this issue. The legislation including regulations and laws related to both non-native species and the protection of public health was also mentioned.

In the practical part, the niche model of *Ae. albopictus* was calculated using Maxent software. For this modelling, a set of biotic variables was needed, in this case climate variables were downloaded from the Worldclim database and geographical locations, which were obtained from the published records from the scientific databases of "Web of Science" and "Scopus". The model expressed the probable distribution of the environmental suitability of individual sites for *Ae. albopictus*. The final map created by ArcGIS 10.7.1. showed the places of Europe according to their suitability for this species, divided into three categories: low, medium and high suitability. Regarding the Czech Republic, there are no localities with high suitability for *Ae. albopictus* according to the calculated model. Further, the results predict that in the Czech Republic that the most suitable habitats for *Ae. albopictus* establishment are located in Ústí, Pilsen and South Bohemian regions. According to the model, moderately suitable areas were also visible in the South Moravian Region along the borders with Austria and Slovakia. Due to the fact that all the above-mentioned regions with the exception of the Ústí Region are directly connected with endemic areas of *Ae. albopictus*, the risk of a tiger mosquito establishment can be considered as probable. The obtained data can be used for a more precise monitoring and early detection of established populations of this mosquito in the Czech Republic.

Keywords: biological invasions, legislation, insects, GIS

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Nepůvodní druhy	10
3.1.1	Vlny zavlékání nepůvodních druhů.....	10
3.1.2	Způsoby šíření nepůvodních druhů	11
3.2	Invazní hmyz.....	11
3.2.1	Rozdělení nepůvodního hmyzu dle schopností přebývání.....	12
3.2.2	Člověkem zprostředkované šíření hmyzu.....	13
3.2.3	Změna klimatu a její dopad na nepůvodní druhy.....	14
3.3	Význam hematofágických členovců pro veřejné zdraví	14
3.3.1	Arboviry	15
3.4	<i>Aedes albopictus</i>.....	15
3.4.1	Morfologické znaky a možná záměna s jinými druhy.....	16
3.4.2	Životní cyklus	17
3.4.3	Larvální stanoviště	18
3.4.4	Hematofágie	18
3.4.5	Adaptace na chladnější podmínky.....	18
3.4.5.1	Diapauza	19
3.4.6	Metody šíření.....	19
3.4.7	Rozšíření v Evropě.....	20
3.4.8	Medicinský význam.....	22
3.4.8.1	Dengue.....	23
3.4.8.2	Chikungunya	23
3.4.8.3	Propuknutí autochtonních tropických nemocí v Evropě	23
3.4.9	Monitoring a surveillance	25
3.5	Surveillance vektorů a doporučení pro dezinfekci	25
3.5.1	Hubení juvenilních stádií	26
3.5.1.1	Biologické larvicidy	27
3.5.1.2	Regulátory růstu	27
3.5.1.3	Oleje a filmy	28
3.5.2	Hubení dospělých komárů	28
3.5.2.1	Organofosfáty	28
3.5.2.2	Přírodní pyrethriny a syntetické pyrethroidy	29
3.5.3	Metody odchytu invazních druhů komárů	29

3.6	Monitoring <i>Ae. albopictus</i> v České republice	31
3.6.1	Legislativa v oblasti nepůvodních druhů	32
3.6.2	Obecná regulace nepůvodních druhů	32
3.6.3	Úprava využívání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře	33
3.6.4	Omezení týkající se invazních nepůvodních druhů na unijním seznamu .	33
3.7	Legislativa v oblasti veřejného zdraví	34
3.7.1	Ochranná dezinfekce, dezinfekce a deratizace	34
3.7.2	Povinnosti osob po styku se závažným onemocněním	35
3.7.3	Mimořádná opatření k zamezení šíření onemocnění.....	35
4	Metodika	36
4.1	Záznamy o výskytu	36
4.2	Kovarianční proměnné.....	36
4.3	Ekologické modelování niky (ENM)	37
5	Výsledky	39
6	Diskuze	43
7	Závěr	45
8	Literatura	46

1 Úvod

Faktem je, že s nepůvodními druhy se setkáváme odjakživa, mnoho z takových dokonce často považujeme za součást naší flory nebo fauny. Tyto druhy, se na našich lokalitách přizpůsobily tak dobře, že došlo k jejich neutralizaci (zdomácnění). Některé z nepůvodních druhů sebou však mohou přinášet rizika, ta bývají různá, druhy mohou představovat hrozbu pro biologickou rozmanitost, lidské zdraví či ekonomické aktivity. Tato skutečnost je o to závažnější, když si uvědomíme, že 20. století započalo nevídaný rozmach šíření nepůvodních druhů (Görner 2018).

Na vině je v první řadě globalizace, propojenost kontinentů nikdy nebyla větší, možnosti člověka cestovat jsou v podstatě neomezeny a mezinárodní obchod nepřetržitě roste. Takto prosperující obchod s komoditami, často zapříčiní biologické invaze, u kterých se obecně očekává, že budou v budoucnu představovat ještě větší problém nežli doposud (Hulme 2009). Změna klimatu, je dalším aspektem přispívající k udržení druhů na nepůvodních lokalitách. Rostoucí teplota umožňuje některým druhům usadit se na místech, na kterých by před několika desítkami let neměly šanci přežít (Robinet et al. 2010).

V ohledu invazí se jako úspěšný prokázal hmyz, ten je nenápadný a velice přizpůsobivý a lze jej najít téměř ve všech typech prostředí. Zavlečení nepůvodního druhu hmyzu může mít za následek jeho usazení a invaze, zavlečené populace je navíc téměř nemožné kontrolovat či vymýtit (McLaughlin & Dearden 2019). Hmyz může působit na nepůvodních lokalitách mnoha nežádoucími způsoby, jedním z nich je negativní vliv na veřejné zdraví. V tomto ohledu představují hrozbu komáři, tiplíci či písečné mouchy, které jsou schopny přenášet takzvané arboviry (Shope & Meegan 1997). V tomto směru je jedním z nejobávanějších druhů v Evropě komár *Aedes albopictus*.

Aedes albopictus je druh tropického komára pocházejícího z jihovýchodní Asie, který je díky své rychlé expanzi a široké vektorové kapacitě uveden jako jeden ze 100 nejinvazivnějších druhů podle Invasive Species Specialist Group (GISD 2022). V Evropě byl tento druh poprvé zaznamenán v roce 1979 v Albánii, od té doby se rozšířil do všech států ve středomoří a postupně se šíří dále na sever (Bonizzoni et al. 2013). *Aedes albopictus* je schopen přenosu až 26 virů, u většiny z nich nehraje přenosovém cyklu významnou roli, avšak u virů dengue a chikungunya je jeho role, jakožto významného přenašeče, prokázána (Paupy et al. 2009).

Ae. albopictus v rámci Evropy stále rozšiřuje svá území, už několikrát dokázal že je v těchto nepůvodních lokalitách schopen přenosu virů, které pro Evropany nikdy dříve hrozbu nepředstavovaly. I když se dá pouze odhadovat, kam se tento druh v budoucnosti rozšíří a jaké problémy způsobí, je nutné využít veškeré dostupné informace, a pokusit se jeho invazi předvídat, monitorovat a mírnit případné škody.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo definovat oblasti České republiky, kde hrozí nejvyšší riziko usídlení komára tygrovaného (*Aedes albopictus*). Dalším cílem práce bylo poskytnout ucelený soubor informací ohledně: legislativy, významu, šíření, monitoringu a hubení.

3 Literární rešerše

3.1 Nepůvodní druhy

Existence a šíření nepůvodních druhů není jevem nové doby, kořeny související s šířením geograficky nepůvodních druhů jsou spjaty s historií lidských kultur, jejich vývojem a chováním. Na území České republiky dnes můžeme najít mnoho druhů rostlin i živočichů, které jsou s naší krajinou spjaty i přes jejich cizí původ. Avšak zcela novým fenoménem posledních desetiletí je hierarchicky nesouměrná frekvence a rychlost šíření nepůvodních a invazních druhů do celé Evropy. Tato skutečnost významně ohrožuje přirozenou biodiverzitu, ekologickou stabilitu krajiny a často má negativní ekonomické dopady. Rychlost a otevřenost obchodu a cestování mezi jednotlivými regiony a kontinenty patří k příčinám tohoto problému, často v synergickém působení s probíhající klimatickou změnou (Görner 2018).

Jako invazní, může být označen každý druh přirozeně se nevyskytující v určité oblasti, do které byl zavlečen přímou či nepřímou činností člověka a je schopný v ní tvořit alespoň krátkodobé nekontrolovatelné populace. Toto pojmenování nemůže být použito pro druhy, které se ze svých původních areálů výskytu rozšířily spontánně, nebo byly zavlečeny přirozenými mechanismy, například ptáky. Dále se toto pojmenování nevztahuje na sezónní invaze, jako například některých druhů hmyzu a ptáků či migrující živočichy. Tento pojem nezahrnuje ani ty druhy, jejichž samovolné šíření bylo umožněno dalekosáhlými úpravami krajiny, s výjimkou jednoznačných případů způsobených člověkem (Šefrová 2005). „Invazní druh“ je druh, který je nepůvodní nebo cizí v posuzovaném ekosystému a jehož zavlečení způsobuje nebo může způsobit ekonomickou nebo environmentální újmu či poškození lidského zdraví (Executive Order 13112).

3.1.1 Vlny zavlékání nepůvodních druhů

Česká republika představuje z hlediska vyšší hustoty zalidnění, sídel a komunikací, ale i pro svoji polohu ve středu kontinentu, geologickou a klimatickou členitost, území v ohledu zavlékání nových druhů i jejich dopadů poměrně citlivé a již výrazně zatížené. Česká republika se nachází na rozhraní Alp, Karpat, Panonské pánve a územím ovlivněným oceánickým klimatem. V historii došlo na tomto území k několika významným vlnám zavlékání nepůvodních druhů. První z nich představovala zemědělská kolonizace v mladší době kamenné neboli neolitu, k níž došlo asi před 10 000 lety. Bylo během ní rozšířeno mnoho kulturních plodin, zejména zahradní a polní druhy spolu s jejich plevely, stejně tak s postupně domestikovanými zvířaty byly na naše území zavlečeny také jejich choroby a paraziti. K další vlně došlo v době bronzové, přibližně před 3-4 tisíci lety v důsledku rozšiřování zemědělství, prosperujícímu obchodu a přesunu obyvatel. Následovalo výrazné zavlékání po objevení Amerického kontinentu Evropany. Od 20. století, nastal nebývalý nárůst šíření nepůvodních druhů dopravou. Mezinárodní obchod prosperuje, objem přepravovaného zboží se zvyšuje,

naopak doba přepravy se díky modernizaci infrastruktury krátí, možnosti člověka cestovat jsou snadnější než kdy jindy. Tyto podmínky jsou pro přesun invazních druhů ideální, globalizace se tedy stala významným aspektem k zavádění těchto druhů (Görner 2018).

3.1.2 Způsoby šíření nepůvodních druhů

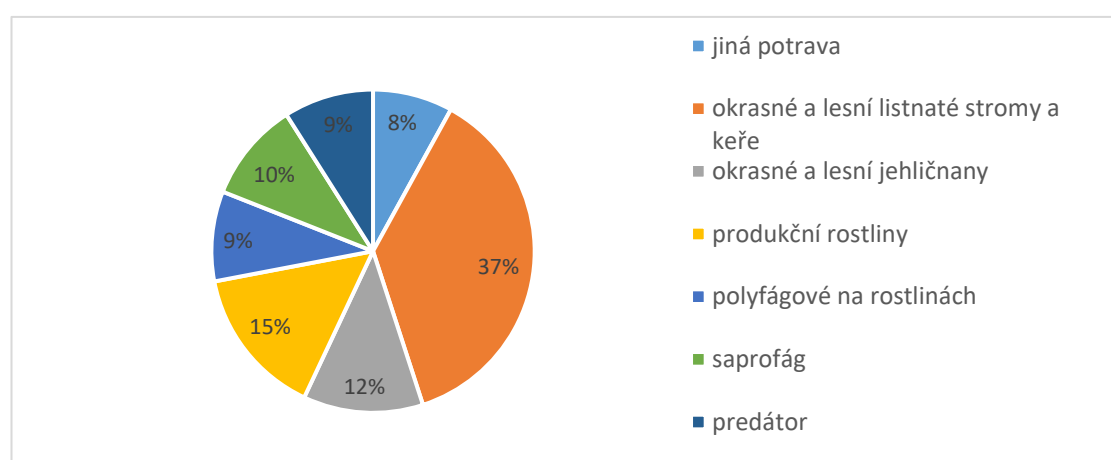
Existují rozdíly ve způsobu a motivaci introdukce nepůvodních druhů. Co se týče nepůvodních druhů, tvoří na území ČR náhodně zavlečené druhy všech živočichů až 80 %, pouze 11 % druhů k nám bylo vysazeno záměrně. Jde především o okrasné druhy ryb, zvěřinu, či druhy využívané k biologické ochraně, zbývajících 9 % druhů spontánně následovalo svůj hostitelský druh. Dokud druhy doprovázejí své hostitele a nezačnou parazitovat na jiném druhu, než je jeho původní, neoznačujeme je jako invazní nýbrž jako neutralizovaný neinvazní. U obratlovců tvoří množství náhodně zavlečených druhů asi 31 % a 65 % druhů k nám bylo zavlečeno záměrně, asi 4 % se rozptýlilo spontánně. Bezobratlí živočichové se na naše území dostávají většinou náhodně, a to téměř z 85 %, pouhých 5 % je zavlečeno záměrně, a asi 10 % se samovolně rozšířilo na naše území (Šefrová & Laštůvka 2005).

3.2 Invazní hmyz

Změna klimatu a invazní druhy jsou uváděny jako dva největší environmentální problémy dnešní doby (Skendžić et al. 2021). Jedni z neúspěšnějších „vetřelců“ je se hmyz. Z hlediska biodiverzity zaujímá něco málo přes dvě třetiny všech známých druhů živočišné říše, přičemž jej lze nalézt téměř ve všech typech prostředí. Zavlečení nepůvodního druhu hmyzu často vyústí v nekontrolovatelné invaze, které vedou ke kolonizaci území daným druhem. Takto usazené populace je velice obtížné jakkoli řídit, a téměř nemožné plně vymýtit (McLaughlin & Dearden 2019). Počet zaznamenaných invazních druhů hmyzu na území České republiky za uplynulých 20 let je shodný s jejich součtem za celé 20. století, je ovšem spekulativní, jaký podíl má na této skutečnosti subjektivně mnohem intenzivnější studium a monitoring těchto druhů a jaký objektivně rostoucí míra zavlékání (Šefrová & Laštůvka 2020). Invazní hmyz vykazuje některé společné vlastnosti, jako je vysoká reprodukční schopnost, vysoká environmentální tolerance a ekologická adaptace, vysoká tolerance insekticidů, široký rozsah hostitelů a konkurenční dominance (Skendžić et al. 2021).

V České republice dnes známe téměř 28 000 druhů hmyzu, z nichž je 490 evidováno jako druhy nepůvodní, z nichž naprostá většina je na naše území introdukována neúmyslně. 20 druhů, nejčastěji z řádu blanokřídlých, bylo vysazeno nebo je opakovaně vysazováno záměrně, za účelem biologické ochrany rostlin. Z uvedeného množství nepůvodních druhů je větší polovina, přibližně 249 druhů výskytem omezeno pouze na vytápěné objekty. Jde o druhy, které nesnesou nízké teploty a do vnějšího prostředí pronikají jen výjimečně. Za neutralizované, neinvazní, považujeme přibližně 102 druhů, ty se z místa introdukce buďto nešíří, nebo jejich šíření proběhlo v minulosti a my je dnes vnímáme jako součást fauny, pokud tyto druhy měly nějaký vliv na tuzemskou přírodu, stalo se tak v minulosti a dnes již dopady nedokážeme posoudit. 112 druhů považujeme za invazní. Sedm z nich má možný vliv na

početnost původních druhů hmyzu, 41 jsou škůdci rostlin pěstovaných v zemědělství, zahradnictví a lesnictví z nichž 28 působí značné škody a ekonomické ztráty, tyto druhy jsou sledovány a pravidelně regulovány (Pergl et al. 2013). Většina invazního hmyzu na našem území, představuje nebezpečí pro rostliny. Z invazních druhů, představují fytofágové (nejen škůdci) asi 72 %, méně je saprofágů 20 % a nejmenší podíl představují predátoři 8 %. Potravní vazba invazních druhů hmyzu zaznamenaných na našem území v posledních dvou desetiletích je názorná z Grafu 1 (Šefrová & Laštůvka 2020). Více než třetina invazních druhů hmyzu byla na území ČR zavlečena ze severní Ameriky, následuje východní Asie a významný podíl představují také druhy ze Středomoří, u těch je však často spekulativní, zda se sem nerozšířily samovolně a nejde pak spíše o expanzi než invazi (Pergl et al. 2013).



Graf 1: Potravní preference invazních druhů v České republice, upraveno podle (Šefrová & Laštůvka 2020)

3.2.1 Rozdělení nepůvodního hmyzu dle schopností přebývání

Nepůvodní druhy jsou rozdělovány podle délky výskytu a charakteru. Eusynatropní druhy po zavlečení do nepůvodních podmínek přežívají pouze krátkou dobu a rozmnožování jsou schopny výhradně uvnitř budov, skleníku nebo jiných vytápěných prostor. Jsou schopny přemísťování pomocí člověka nebo během teplých období roku, jen ojediněle jsou tyto druhy schopny tvořit krátkodobé populace ve volné přírodě. Příležitostné cizí druhy jsou po vypuštění nebo proniknutí na nepůvodní území schopny vytvořit pouze krátkodobé populace a následně mizí. Neutralizované neinvazní druhy, produkují dlouhodobé populace ve vnějším prostředí a osidlují vhodná stanoviště v místě introdukce, k většímu šíření však dochází minimálně a pouze v nejbližším okolí místa výskytu. Neutralizované post invazní druhy naše území osidlovaly již v minulosti a jsou tak od počátku studia brány jako zcela neutralizované a co se rozšíření týče neměnné. Invazní druhy představují tu část neutralizovaných druhů, která nesetrvává v místě introdukce, nýbrž se rychle šíří a kolonizuje různě velká území (Šefrová 2005).

3.2.2 Člověkem zprostředkované šíření hmyzu

Množství, rozmanitost i rozšíření invazích druhů, se sině odvíjí od trendů lidské dopravy a obchodu. Tendence invazí, nevykazují od roku 1800 žádné známky poklesu, naopak v Evropě docházelo k nejvyšším mírám zavlékání v posledních 25 letech, což se na biologických invazích skokově odrazilo. Očekává se, že biologické invaze budou v budoucnu představovat stále větší problém (Hulme 2009). Invaze nepůvodních druhů začínají pohybem jedinců nebo propagulí druhu přes biogeografické bariéry za pomoci člověka (Blackburn et al. 2011). Zvyšující se rychlost celosvětového pohybu zboží a osob pohání biologické invaze nepůvodních druhů hmyzu a v důsledku toho, dochází ze strany vědců a politiků k zvýšené pozornosti k cestám, díky kterým může ke vstupu a šíření invazních druhů docházet (Essl et al. 2015). Proces biologické invaze hmyzu zahrnuje řetězec událostí včetně transportu, introdukce, usazení a šíření (Skendžić et al. 2021). Hmyz je díky menší velikosti schopný k přesunu snadno využit mnoho různých cest, což z něj dělá celosvětově prominentního „vetřelce“ (Meurisse et al. 2019).

Důkladné znalosti o člověkem zprostředkovaném transportu jsou nepostradatelné k pochopení přesných mechanismů zahrnutých v procesu šíření a předpovídání budoucího rizika invaze. Šíření zprostředkované člověkem lze rozdělit do tří fází, odjezd, transport a příjezd. Počátek procesu šíření představuje odjezd, například když je hostitelský substrát obsahující určité stádium hmyzu naložen na transportní prostředek, když se hmyz k potenciálnímu transportnímu prostředku přichytí nebo když je hmyz pro přepravu záměrně sebrán. Následuje transport tedy fáze pohybu, ta může být prováděna jakýmkoli typem prostředku, například auty, vlaky, loděmi nebo letadly. Příjezd je konečnou fází procesu šíření, kdy se hmyz oddělí od transportního vektoru, je vypuštěn nebo unikne ze zajetí. Každá fáze je ovlivňována lidskou činností, která se nesmírně liší ve své frekvenci, prostorovém měřítku a směru (Gippet et al. 2019).

Fáze procesu šíření závisí také na způsobu, kterým je hmyz transportován. Lidské aktivity šíření hmyzu lze rozdělit do tří typů: kontaminace, stopování a sběr. Cesta kontaminace odpovídá přepravě komodity kontaminované hmyzem (vajička, larvy nebo dospělci), ať už proto, že je tato komodita přirozeným hostitelem hmyzu (např. rostliny) nebo jeho životním prostředím (např. půda, voda). Při stopování se hmyz aktivně váže na předmět přepravy či dopravní prostředek, který přímo nesouvisí s jeho přirozeným prostředím (např. přepravní kontejner, auto). Sběrem je pak míněn úmyslný odchyt hmyzu lidmi, často pro komerční účely (např. obchod se zvířaty, biologická kontrola) (Gippet et al. 2019).

Náklady způsobované invazním hmyzem jsou celosvětově odhadovány minimálně na 70,0 miliard USD ročně, přičemž regionálně nejvyšší roční náklady vykázala Severní Amerika (>27,3 miliardy USD), následovaná Evropou (3,6 miliardy USD ročně) je ovšem pravděpodobné, že jsou hodnoty ovlivněny také intenzitou výzkumného úsilí (Bradshaw et al. 2016). Tyto náklady jsou nejčastěji nezamýšleným vedlejším efektem mezinárodního obchodu. Jako adekvátní řešení se nabízí, přimět ty, kteří tímto způsobem škodí společnosti,

tedy obchodníky (vývozce a dovozce), uhradit náklady spojené s invazemi, to je ovšem za současných obchodních pravidel obtížné uplatnit (Perrings et al. 2005).

3.2.3 Změna klimatu a její dopad na nepůvodní druhy

Mezinárodní obchod a lidská mobilita jsou hlavními faktory způsobující zavlékání invazích druhů, klima pak hraje klíčovou roli v jejich usazení a následné distribuci na nepůvodních lokalitách (Skendžić et al. 2021). Zavléčení hmyzu na nepůvodní lokalitu, v mnoha případech nemusí znamenat jeho osídlení. Většina druhů se na cizí lokalitě setká s nepříznivými klimatickými podmínkami, ve kterých není schopná dlouhodobě přebývat. Oteplování planety však nepopíratelně přispívá ke zvýšení pravděpodobnosti uchycení na nové lokalitě (Robinet et al. 2010). Změnu klimatu lze charakterizovat jako jev, který zahrnuje změnu environmentálních faktorů, jako je teplota, vlhkost a srážky během dlouhého časového období. Globální teplota od roku 1900 neustále roste, od této doby, došlo k jejímu navýšení asi o 1 °C (Shrestha & Fand 2019). Na základě globálních klimatických modelů a vývojových scénářů lze očekávat, že země v příštích sto letech zaznamená globální oteplení o 1,4 až 5,8 °C (Skendžić et al. 2021). Za hlavní příčinu globálního oteplování je považována zvyšující se koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, jde tedy o takzvaný skleníkový efekt. Skleníkový efekt, spočívá v nárůstu průměrné globální teploty se zvyšujícím se množstvím emisí oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do atmosféry, ty se od roku 1800 zvýšili asi z 275 ppm na dnešních 370 ppm. Obecně se má za to, že většina tohoto nárůstu je způsobena zvýšeným spalováním fosilních paliv (Nordell 2003). Ze zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) z roku 2013 vyplývá, že klima v jižní Evropě bude v budoucnu teplejší a sušší, zatímco v severní Evropě bude teplejší a vlhčí. Očekává se, že spolu se změnou klimatu vzrostou teploty zejména ve vyšších zeměpisných šířkách Evropy více, než je průměrné celosvětové oteplování (Skendžić et al. 2021).

3.3 Význam hematofágních členovců pro veřejné zdraví

V průběhu 120 let od doby kdy bylo prokázáno, že členovci jsou schopni přenášet lidská onemocnění, bylo zjištěno že stovky virů, bakterií, prvoků a helmintů potřebují k přenosu mezi hostiteli tedy obratlovci, hematofágního členovce. Historicky významné nemoci jako je malárie, horečka dengue, žlutá zimnice, mor, filarióza, tyfus, trypanozomiáza, leishmanióza a další nemoci přenášené vektory, byly od 17. do počátku 20. století zodpovědné za více lidských úmrtí než všechny ostatní příčiny dohromady (Gubler 1998).

V posledních desetiletích se celosvětová epidemiologická aktivita arbovirů (virů přenášených členovci) dramaticky zvýšila a postihla většinu světových regionů. Na vině byly viry, které již byly považovány za kontrolované, nebo viry které byly známé, ale nikdy nebyly považovány za problém pro veřejné zdraví. Geografické rozšíření některých epidemiologicky významných přenašečů jako například komárů a virů se celosvětově rozrostlo a bylo doprovázeno častějšími a většími epidemiemi. V jiných případech byly viry zavléčeny do nových geografických oblastí a využily citlivosti hostitelů, obratlovců a členovců, aby se usadily

a způsobily velké epidemie či epizootie (Gubler 2002). V minulosti představovaly choroby způsobené arboviry problém především tropických a subtropických zemí a riziko jejich výskytu v Evropě, zejména v zemích západní Evropy bylo považováno za velice nepravděpodobné. Avšak v rámci globalizace, klimatické změny, nárůstu cestování a mezinárodnímu obchodu mohou arboviry snadněji expandovat mimo svůj původní areál rozšíření (Martinet et al. 2019).

3.3.1 Arboviry

Jde o skupinu virů, které mají společnou replikaci jak v členovcích, tak v hostitelských obratlovcích, přenos je mezi obratlovci zprostředkován kousnutím komárů, klíšťat či písečných mušek (Shope & Meegan 1997). V Mezinárodním katalogu arbovirů je uvedeno 537 arbovirů (CDC 2022). Většina arbovirů cirkuluje v přírodě mezi rezervoárem (obratlovcem) a vektorem (členovcem), aniž by způsobila škody některému z nich. Je známo, že více než 100 arbovirů infikuje člověka a více než 40 domácích zvířata (Miller 2008). Arboviry jsou taxonomicky relativně rozmanité, patří do osmi virových čeledí a 14 rodů, většina arbovirů významných pro veřejné zdraví patří do tří čeledí *Flaviviridae*, *Togaviridae* a *Bunyaviridae* (Gubler 2002).

Přenos arbovirů je iniciován množением viru v členovci, tento proces trvá několik dní (například 12 dní u žluté zimnice). Období od sání infikované krve do replikace viru, dosažení slinných žláz a možného přenosu, je označován jako „extrinsic incubation period“. Po napadení infikovaným členovcem, je hostitel obratlovce infikován a stává se viremickým. Tato část cyklu trvá od 2 dnů po více než týden jde o „intrinsic incubation period“. Biologický přenos je třeba odlišit od mechanického přenosu, při kterém virus kontaminuje ústní ústrojí členovce a může být okamžitě přenesen na nového hostitele obratlovce (Shope & Meegan 1997).

Arboviry jsou až na výjimky původci zoonóz, jejichž existence v přírodě závisí na jiných živočišných druzích než na člověku. Z hlediska veřejného zdraví jsou nejvýznamnější ty arboviry, které způsobují velké epidemie přenášené komáry, protože u lidí vyvolávají virémii. Nejdůležitějšími rezervoáry arbovirů významných pro veřejné zdraví jsou ptáci nebo hlodavci a nejdůležitějšími vektory jsou komáři a klíšťata. Nejméně jeden arbovirus (dengue) se však zcela adaptoval na člověka a je udržován ve velkých městských centrech tropů v cyklu přenosu komár-člověk-komár, který již nezávisí na jiných živočišných rezervoárech, ačkoli tyto viry jsou také stále udržovány v zoonotických cyklech v deštných pralesích Asie a Afriky v cyklu komár-primát-komár (Gubler 2002).

3.4 *Aedes albopictus*

Od konce 90. let 20. století byl v Evropě zaznamenán značný nárůst invazních druhů komárů, které mají významnou schopnost kolonizovat nová území. Lidská činnost, zejména přeprava obchodního zboží v globálním měřítku, vedla k pasivnímu šíření druhů, které byly dříve omezeny pouze na určité oblasti. Je odhadováno, že přibližně 45 % celkové lidské populace nyní čelí riziku invazních druhů komárů a patogenům, které jsou tyto komáři schopni přenášet (Medlock et al. 2012).

Z invazních druhů komárů, které se v Evropě recentně usídlily, představuje pravděpodobně největší hrozbu pro veřejné zdraví komár tygrovaný *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae), zobrazený na Obrázku 1. Tento druh je díky své rychlé expanzi a vysoké vektorové kapacitě uveden jako jeden ze 100 top invazních druhů podle Invasive Species Specialist (GISD 2022) a je považován za nejinvaznější druh komára na světě (Cunze et al. 2016). Tento druh, byl poprvé popsán v roce 1894 jako „banded mosquito of Bengal“ v Indii (Craig & Estrada-franco 1995).

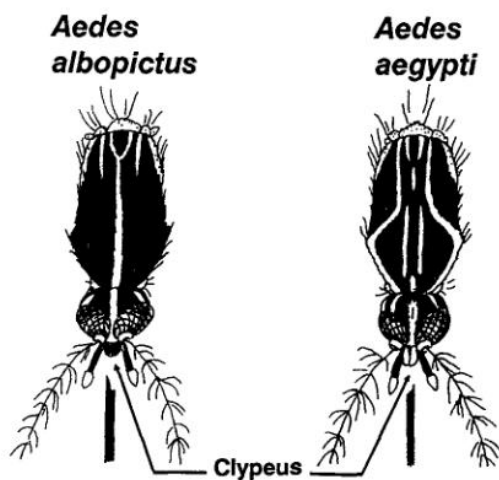


Obrázek 1: Samice komára tygrovaného (*Ae. albopictus*) na hostiteli (ECDC 2016).

3.4.1 Morfologické znaky a možná záměna s jinými druhy

Dospělci jsou díky typickému zbarvení, bílým pruhům na tmavém těle, známi jako „Tiger mosquitoes“. Stejně jako všichni komáři, jsou *Ae. albopictus* menší druh hmyzu se štíhlým tělem, jedním párem úzkých křídel a třem páry dlouhých štíhlých nohou (GISD 2022). Velikost tohoto druhu je silně ovlivněna podmínkami prostředí a stravou. Čím nižší je teplota, tím delší vývoj larvy a tím větší je velikost těla, ta se u samice pohybuje od 2,0 do 10,0 mm. Nejpomalejší vývoj dává vzniknout největším samicím. Samci tohoto druhu bývají vždy o 17–20 % menší než samice (Briegel & Timmermann 2001).

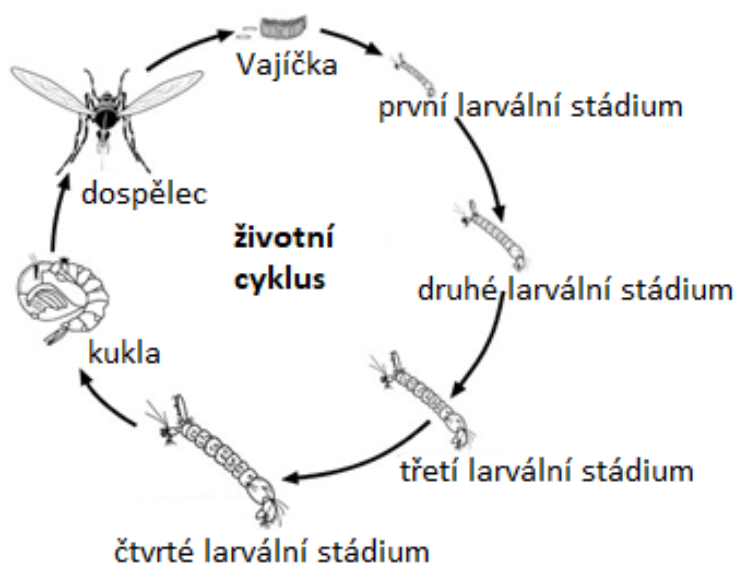
Tento pruhovaný komár s charakteristicky zašpičatělým zadečkem, může být zaměněn s tropickým komárem *Ae. aegypti*, který se liší lyrovitým stříbrným vzorem na *thoraxu*, kde má *Ae. albopictus* umístěnou stříbrnou či bílou podélnou linii (viz Obrázek 2 vlevo). Tento znak jej také spolehlivě odliší od ostatních rodů *Aedes*. Dalším typickým rozlišovacím znakem je zbarvení *clypea*, spodní části hlavy, který mají samice *Ae. aegypti* pokryté bílými šupinami a samice *Ae. albopictus* černými šupinami (Craig & Estrada-franco 1995).



Obrázek 2: Rozdíl v kresbě na vrchní straně *thoraxu* mezi komárem *Ae. albopictus* a *Ae. aegyptii* (Craig & Estrada-franco 1995).

3.4.2 Životní cyklus

Komáři mají čtyři odlišné životní fáze, vajíčko, larva, kukla a dospělec (životní cyklus je znázorněn na Obrázku 3). První tři fáze probíhají ve vodě. Dospělci jsou volně létajícím hmyzem, který získává energii z rostlinných sacharidů, přičemž samice zpravidla konzumují krev, aby byly schopné produkovat vajíčka. Vajíčka kladou samice do substrátu nad vodní hladinu a spoléhají na dešťové srážky tak, aby hladinu vody zvedly a vajíčka byla zaplavena. Na jednu snůšku je nakladeno 150 až 200 vajíček a na jednu samici připadají 1 až 4 snůšky (GISD 2022). Z vajíčka se po zaplavení vodou líhne larva, která musí projít celkem čtyřmi larválními instary, než dojde k zakuklení. Z kukly se pak do pár dnů stane dospělý jedinec, který opouští vodní stanoviště (Marini et al. 2020).



Obrázek 3: Životní cyklus komárů upraveno podle Hill Catherine et al. (2013).

3.4.3 Larvální stanoviště

Pro naklazení vajíček využívá *Ae. albopictus* velmi malé vodní plochy, v přírodě jsou to bambusové pařezy, bromélie a dutiny ve stromech. Čím dál častěji však vyhledává produkty lidské činnosti, hlavně plastové nádoby jako jsou láhve, kyblíky, igelitové tašky, plechovky, nebo pneumatiky. V lesoparcích a zahradách jsou to vázy, okrasné nádoby či louže (Paupy et al. 2009; Müller et al. 2012).

3.4.4 Hematofágie

Komár *Ae. albopictus* se vyznačuje nejvyšší aktivitou krmení brzy ráno nebo podvečer, i když bylo zaznamenáno mnoho výjimek v závislosti na ročním období, regionu, dostupnosti hostitelů a prostředí. Samice sají krev přednostně u savců, může se však živit na většině skupin obratlovců od studenokrevných po teplotokrevné, včetně plazů, ptáků a obojživelníků. Potravní preference ve smyslu zvíře versus člověk, je velice variabilní podle geografického původu komára. Sklon *Ae. albopictus* přijímat potravu z různých živočišných druhů zvyšuje nejen schopnost množit se a přežít, ale také riziko šíření zoonóz. Široké spektrum hostitelů, umocňuje jeho invazivnost a osídlení různých druhů prostředí, od lesů po urbanizované oblasti (Paupy et al. 2009).

3.4.5 Adaptace na chladnější podmínky

Ae. albopictus je hmyz, s vysokou ekologickou plasticitou. Po 20 letech od invaze, se komáři úspěšně adaptovali na chladnější podmínky mírného pásma, z mnoha experimentálních studií jsou dnes značně patrné rozdíly mezi populacemi mírného pásma a subtropickými populacemi (Marini et al. 2020).

Níže uvedené hodnoty, jsou získány z nejnovějších publikovaných laboratorních experimentů, kde autoři zkoumali přežití, vývoj nedospělých stadií, dlouhověkost v dospělosti a plodnost *Ae. albopictus* při různých teplotách. První studie byla provedena pomocí vzorků z laboratorní kolonie založené z komárů sesbíraných v terénu na ostrově La Réunion ve Francii (55°29' jižní šířky a 47 °51' W), což je oblast charakteristická subtropickým klimatem (Delatte et al. 2009). S cílem porovnat s těmito hodnotami hodnoty *Ae. albopictus* z mírného pásma, pak byla provedena další studie, jejíž hodnoty pocházejí z provincie Terento v severní Itálii (46°3'59.122"N, 11°7'32.736"E) kde se *Ae. albopictus* etabloval před více než deseti lety. Cílem studie bylo zjistit, zda se druh po adaptačnímu procesu, vyznačuje odlišnými životními rysy v porovnání se subtropickými komáři (Marini et al. 2020). Jako limitující se pro obě populace ukázala teplota 10 °C, larvy obou populací nepřežily dostatečně dlouho nato, aby se při takové teplotě vyvinuly v dospělce. Zajímavé ovšem je, že 38 % larev z populace z mírného pásma se dokázalo vyvinout do druhého instaru, zatímco subtropické larvy v prvním instaru při této teplotě nepřežily. V líhnutí vajíček byly populace mírného pásma vždy rychlejší, při 15 °C jsou to 2

dny oproti 7 dnům u subtropické populace. Celkově při 15 °C dospělo 73 % larev z mírného pásma, zatímco u subtropických pouze 50 %.

Subtropičtí komáři vykazovali vyšší míru přežití při 30 °C než při 25 °C, zatímco u *Ae. albopictus* z mírného pásu, byl zjištěn opak. Průměrná míra dožití byla 64,5 dne při 25 °C a 53,5 dne při 30 °C pro populace z mírného pásu, přičemž délka přežití je delší u samic než u samců. Dalším markantním rozdílem je podstatně vyšší plodnost *Ae. albopictus* z mírného pásu při 25 °C, která je způsobena zejména větším průměrným počtem gonotrofických cyklů dokončených při této teplotě. V přírodních podmínkách se tato skutečnost může projevit vyšší mírou kousání, to představuje důsledky pro veřejné zdraví (Delatte et al. 2009; Marini et al. 2020).

3.4.5.1 Diapauza

Diapauza je geneticky naprogramovaná preemptivní vývojová reakce na měnící se roční období a podmínky prostředí. Je to environmentálně adaptivní dormance, která se může u různých druhů objevit během jakékoli fáze vývoje (vajíčko, larva, kukla nebo dospělec), ale fáze diapauzy, je v rámci druhu konzistentní a specifická. Diapauza je odlišná od klidu, ke kterému může dojít v jakékoli fázi životního cyklu a představuje okamžitou reakci na stres (Bale & Hayward 2010).

Populace *Ae. albopictus* v mírném pásmu jsou charakteristické fakultativní embryonální diapauzou, která je modulovaná fotoperiodou, kterou zažívaly samice v předchozí generaci. Za dlouhých denních fotoperiod (např. 16 h světlo: 8 h tma) samice produkují vajíčka, která dokončí embryonální vývoj a poté okamžitě reagují na podněty líhnutí. Naproti tomu, při krátkých fotoperiodách (např. 8 h světlo: 16 h tma) samice produkují vajíčka, která dokončují embryonální vývoj a vstoupí do diapauzy již jako larvy v chorionu vajíčka, poté procházejí geneticky řízeným obdobím, ve kterém nereagují na podněty líhnutí (Batz & Armbruster 2018). Vajíčka diapauzujících komárů vykazují ve srovnání s vajíčky komáru bez diapauzy zvýšené přežití zimního období, to je pravděpodobně způsobeno zvýšenou tolerancí vůči chladu, zvýšenou odolností vůči vysychání a zvýšeným obsahem lipidů (Armbruster 2016). Díky schopnosti přezimovat v diapauze, kterou většina ostatních tropických komáru postrádá, je *Ae. albopictus* schopný rozšiřovat své území mnohem dále na sever (Enserink 2008).

3.4.6 Metody šíření

Šíření *Ae. albopictus* na dlouhé vzdálenosti je umožněno díky odolnosti jeho vajíček proti chladu, vysychání a také preferovanému místu rozmnožování v pneumatikách které mu zajišťují transport. Tento způsob dovozu larev komárů v ojetých pneumatikách byl poprvé zaznamenán v polovině 40. let 20. století, kdy se do Spojených států vracelo z bojových zón velké množství válečného materiálu. Zásilky použitých pneumatik přijíždějící z asijských přístavů, byly po 5 až 7 týdnech plavby silně zamořeny až 7 druhy komárů, včetně *Ae.*

albopictus. Obchod s ojetými pneumatikami je pro tento druh, vzhledem k jeho špatným schopnostem letu, důležitým mechanismem šíření (Reiteri & Sprenger 1987).

Dále je tento druh schopný ke svému dálkovému šíření využít dovoz okrasných rostlin z endemických oblastí, příklady využití této cesty bylo zavlečení do Kalifornie v roce 2001 a do Nizozemska v roce 2005. V obou případech byl druh dovezen z jihovýchodní Asie v námořních kontejnerových zásilkách dračince pruhovaného *Dracaena sanderiana*, balených ve stojaté vodě nebo gelu. *Ae. albopictus* byl také v několika případech (Bosna a Hercegovina, Chorvatsko, Korsika, Řecko) dovezen ze zamořené oblasti námořními trajekty spolu s osobními a nákladními automobily. Zde není jisté, zda byli komáři přivezeni přímo ze zamořené oblasti, nebo zda se na palubu dostali v zamořeném přístavu (například Benátky v Itálii). Dochází také k lokálnímu šíření, ta je založená na pasivní přepravě dospělců osobními a nákladními automobily nebo na místním přemísťování objektů zamořených vajíčky, může jít o pneumatiky nebo květináče přivezené ze zahradních center do zahrad (Takken & Knols 2007). Nejčastější metody transportu *Ae. albopictus* na dlouhé vzdálenosti, jsou na Obrázku 4, A – pneumatiky, B – okrasné rostliny.

Z původního areálu jihovýchodní Asie se *Ae. albopictus* díky globalizaci postupně dokázal rozšířit na všechny obydlené kontinenty. Proces invaze stále probíhá v mnoha nově kolonizovaných oblastech a předpokládá se, že změna klimatu tyto podmínky dále zhorší, zejména v mírných zeměpisných šířkách, kde by se oblasti, které jsou v současnosti příliš chladné pro udržení druhu, mohly brzy stát vhodnými (Oliveira et al. 2021).



Obrázek 4: Příklady šíření komára *Aedes albopictus*. A – přeprava pneumatik, B – přeprava rostlin (Rudolf & Šebesta 2017).

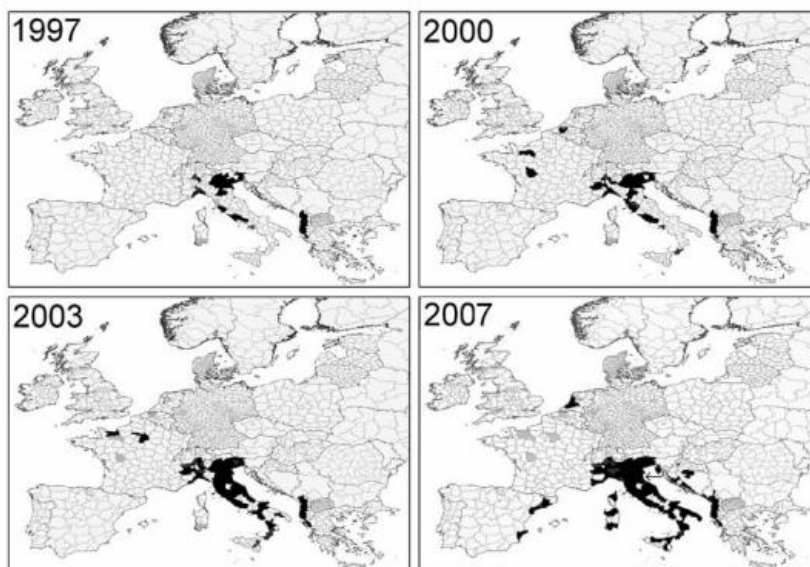
3.4.7 Rozšíření v Evropě

Z dřívějšího původního stanoviště, lesů jihovýchodní Asie, se *Ae. albopictus* vlivem antropogenních změn, které sebou přinesly alternativní zdroje pro sání krve i larvální stanoviště, začal rozšiřovat do blízkosti lidí. Dnes se tento druh v Asii objevuje především ve venkovských a příměstských oblastech. Za jeho rozšíření do nových oblastí byla zodpovědná nejspíše migrace lidí směrem na Indomalajský poloostrov a ostrovy v Indickém oceánu včetně

Madagaskaru (Paupy et al. 2009). Další šíření bylo zajištěno mezikontinentální přepravou ojetých pneumatik, která byla zodpovědná za jeho zavlečení do USA v roce 1985 (Reiteri & Sprenger 1987).

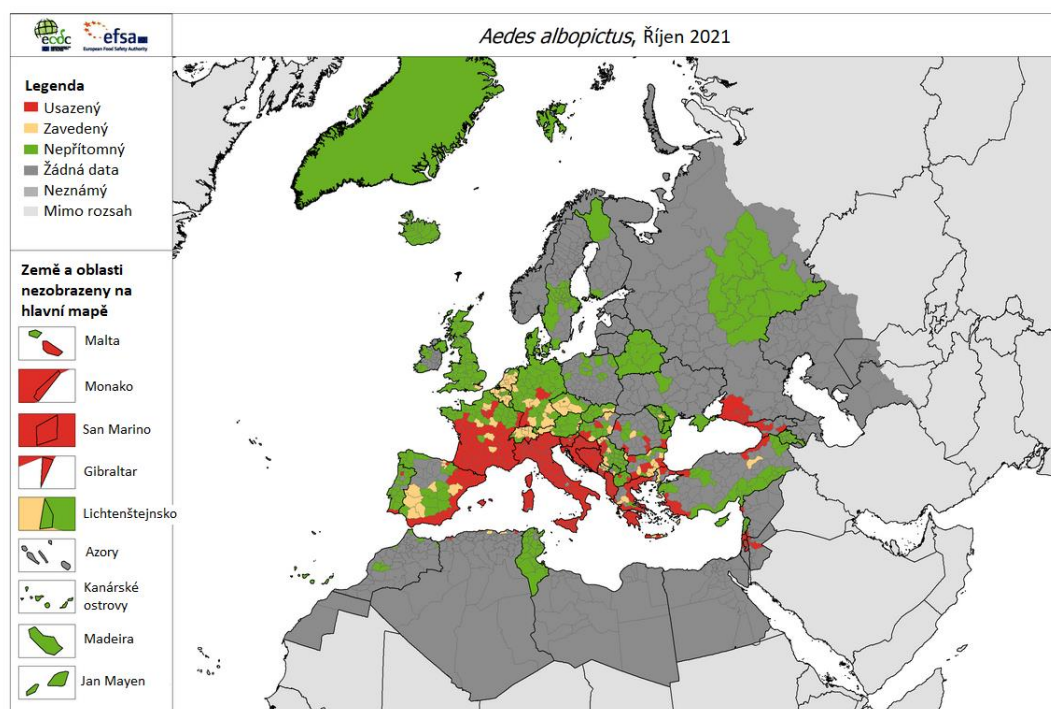
V Evropě byl *Ae. albopictus* poprvé zaznamenán v Albánii, v srpnu roku 1979, kdy ustav hygieny a epidemiologie obdržel stížnosti, upozorňující na agresivní černobílé komáry. Po tomto prvním hlášení byla přítomnost *Ae. albopictus* prokázána v dalších šesti městech severovýchodní Albánie. Vzhledem k tomu, že do Albánie nebyly nikdy dovezeny žádné použité pneumatiky, předpokládá se, že druh dorazil prostřednictvím jiného nákladu. Průzkumy ukázaly na jediný zamořený přístav Durrës, který je hlavním vstupním místem pro zboží z Číny. V říjnu 1979 doporučil Institut hygieny a epidemiologie řadu opatření, jako nejúčinnější se ukázalo skladování pneumatik tak, aby v nich nedocházelo k hromadění vody, díky tomu došlo k výraznému snížení populací komárů (Takken & Knols 2007).

Následující zemí v Evropě, která hlásila první nález v září roku 1990, byla Itálie. Zde se na dovozu s vysokou pravděpodobností podílel obchod s ojetými pneumatikami. Do roku 1993 se byl *Ae. albopictus* schopný rozšířit do mnoha oblastí většinou severních regionů, včetně provincií Treviso, Benátky, Vicenza a Brescia. V roce 2000 byla přítomnost prokázána v 30 provinciích, více než 90 % zamořených oblastí bylo stále soustředěno na severovýchodě země, kde se tento komár stal významným trapičem lidí a jeho obtěžujícím kousáním byla ovlivněna také turistika. V roce 2003 byl *Ae. albopictus* hlášen z několika středohorských provincií, jako je Perugia a Terni, z mnoha východních oblastí, a několika jižních oblastí. Populační hustota tohoto druhu v jižních oblastech Itálie je však s výjimkou Říma, mnohem nižší než v severovýchodních oblastech, kde je více srážek. Kromě pevninské Itálie se tento druh vyskytuje také na ostrovech Sicílie, Sardinie a Elba. Rapidní *rozšíření Ae. albopictus* v Itálii je zobrazené na Obrázku 5, tmavé oblasti mapy značí pravděpodobné či potvrzené usídlení *Ae. albopictus* v daných oblastech.



Obrázek 5: Šíření *Aedes albopictus* na přelomu tisíciletí, upraveno podle Takken & Knols (2007).

Další prvonálezy *Ae. albopictus* byly postupně hlášeny z dalších Evropských zemí, chronologicky šlo o Francii, Belgii, Černou Horu, Švýcarsko, Řecko, Španělsko, Chorvatsko, Nizozemsko, Slovinsko a Bosnu a Hercegovinu následované dalšími zeměmi (Takken & Knols 2007). Mapy znázorňující zaznamenané rozšíření invazních komárů v Evropě, aktualizuje přibližně každého půl roku evropské centrum pro prevenci a kontrolu nemocí (ECDC). Poslední aktualizované rozšíření *Ae. albopictus* v Evropě znázorňuje Obrázek 6, přiložená mapa z října roku 2021 (ECDC 2021).



Obrázek 6: Rozšíření *Ae. albopictus* v Evropě upraveno podle (ECDC 2021).

3.4.8 Medicinský význam

Vliv *Ae. albopictus* na veřejné zdraví byl po dlouhou dobu podceňován, jelikož jeho schopnost přenášet patogeny na člověka byla považována za nízkou. Komár *Ae. albopictus* je považován za potravního oportunistu, na rozdíl například od *Ae. aegypti* který je vysoce antropofilní. Avšak i přes oportunistické chování, může *Ae. albopictus* sát na člověku velice snadno, navíc slouží jako vektor pro přenos virů mezi zvířaty a lidmi. Je prokázáno, že je *Ae. albopictus* schopen přenosu 26 virů, které patří do rodin *Flaviviridae* (rod *Flavivirus*), *Togaviridae* (rod *Alphavirus*), *Bunyaviridae* (rod *Bunyavirus* a *Phlebovirus*), *Reoviridae* (rod *Orbivirus*) a *Nodaviridae* (rod *Picornavirus*), šesti flavivirů (dengue-1, -2, -3, -4, West Nile virus, virus japonské encefalitidy), dvou alfavirů (chikungunya a virus východní koňské encefalitidy) a šest bunyvirů (virus Potosi, virus Tensaw, virus Keystone, virus La Crosse a virus Jamestown Canyon). Je však důležité poznamenat, že detekce těchto virů mimo endemické území, neposkytuje přímý důkaz o tom, že *Ae. albopictus* hraje významnou roli v šíření všech těchto virů, aktuálně je jeho role prokázána pouze v přenosu dengue a chikungunya (Paupy et al. 2009).

3.4.8.1 Dengue

Viry dengue (DENV) obsahují čtyři příbuzné sérotypy, které sdílejí společné přenosové cykly. Na rozdíl od všech ostatních flavivirů však DENV, které způsobují většinu lidských onemocnění, nejsou zoonózy, ale využívají jako rezervoár a hostitele výhradně člověka. Spoléhají na přenos komáry, kteří žijí v úzkém spojení s lidmi (Weaver & Reisen 2010). Jako hlavní přenašeč je označován *Ae. aegypti*, zejména v oblastech, kde spolu oba druhy koexistují je *Ae. albopictus* obecně a systémově považován za přenašeče sekundárního. Zprávy o velkých epidemiích v oblastech, kde se *Ae. albopictus* vyskytuje samostatně nebo je dominantním, však demonstrují jeho roli v přenosu a propuknutí DENV (Paupy et al. 2009). DENV způsobuje široké spektrum onemocnění. Projevy nemoci mohou být až závažné, s příznaky podobnými chřipce. Méně častá je horečka dengue, která se vyvine u infikovaných lidí a je doprovázena komplikacemi jako je krvácení, poškození orgánů, nebo unik plazmy. Pokud není těžká horečka dengue náležitě léčená, má vysoké riziko úmrtí. Závažná horečka DENV byla poprvé rozpoznána v 50. letech 20. století během epidemií horečky dengue na Filipínách a v Thajsku. Dnes těžká horečka dengue postihuje obyvatele v asijských a latinskoamerických zemích a stala se hlavních příčinou hospitalizace a úmrtí dětí a dospělých v těchto regionech (WHO 2022).

3.4.8.2 Chikungunya

Alfavirus chikungunya (CHIKV), byl poprvé izolován v Tanzanii v roce 1953 během vypuknutí lidského horečnatého onemocnění doprovázeného těžkou artralgií a vyrážkou. Historicky byl tento virus považován za vysoce oslabující, ale nikoli život ohrožující patogen. Pacienti typicky trpí horečkou, bolestí hlavy, nevolností, zvracením, myalgií, vyrážkou a těžkou artralgií. Protože tyto symptomy často napodobují symptomy DENV, a protože CHIKV cirkuluje v endemických oblastech DENV, byla dlouhou dobu poddiagnostikována a nedoceněna jako důležité arbovirové onemocnění. Dnes je mu již díky častým epidemiím překládána patřičná vážnost a pozornost (Weaver & Reisen 2010). Podobně jako u DENV je *Ae. albopictus* i u viru CHIKV považován jako vektor sekundární, avšak nedávné epidemie, které propukly na lokalitách kde byl *Ae. albopictus* prokázán jako jediný nebo hlavní vektor, poukazují na jeho významnost při přenosu tohoto viru (Paupy et al. 2009).

3.4.8.3 Propuknutí autochtonních tropických nemocí v Evropě

V kontinentální Evropě, opakovaně dochází k autochtonnímu přenosu CHIKV. Virus koloval hlavně ve Francii v letech 2010, 2014, 2017 a v Itálii 2007, 2017. Hlášeno bylo nejméně 605 lidských případů CHIKV, většina z nich pocházela z italských epidemií díky založení *Ae. albopictus* v regionu. V současnosti zamořil *Ae. albopictus* více než 25 evropských zemí,

přičemž je nejvyšší abundance hlášená právě z Itálie. Druh je opakovaně zavlékán do lokalit střední Evropy, a i když byly oblasti severně od Alp dříve považovány za nevhodné pro usazení, bylo v Německu nedávno hlášeno jeho přezimování (Heitmann et al. 2018).

První autochtonní ohnisko horečky chikungunya v kontinentální Evropě s *Ae. albopictus* jako podezřelým vektorem, bylo hlášeno v roce 2007 ze severovýchodní Itálie. V průběhu měsíce srpna, zaznamenaly zdravotnické instituce ve vesnicích Castiglione di Cervia a Castiglione di Ravenna rozdělených řekou, neobvykle vysoký počet horečnatých onemocnění. Sérologické vyšetření a PCR zde potvrdily diagnózu horečky chikungunya. Kromě toho byl virus CHIKV detekován pomocí PCR v *Aedes albopictus*, který se tak stal primárním vektorem tohoto ohniska. Celkem bylo laboratorně potvrzeno 204 případů. Pacient nula byl s největší pravděpodobností cestovatel, vracející se ze státu Kerala v Indii a prvním místním případem byl jeho příbuzný, kterého navštívil (Angelini et al. 2007). K druhému autochtonnímu přenosu CHIKV v Evropě došlo v roce 2010 v jižní Francii ve městě Fréjus departement Var. Nákaza zde byla potvrzená u dívky, která se vrátila z Rádžasthán v Indii. Onemocnění se postupně prokázalo u dalších dvou pacientek (Grandadam et al. 2011). Od září do října roku 2014, došlo ve francouzském městě Montpellier k identifikaci dalších 11 potvrzených autochtonních případů. Všechny případy se vyznačovaly horečkou a artralgií zejména v rukou a nohou. Vyrážka byla přítomna u deseti případů a objevovala se zejména po nástupu horečky (Delisle et al. 2015). Další ohnisko této nemoci bylo objeveno 10. listopadu roku 2017, kdy bylo z Itálie hlášeno 428 případů onemocnění. Většina případů se objevila v regionu Lazio, 61 případů pak bylo hlášeno z přístavu Guardavalle v regionu Kalábrie (ECDC 2017). V Evropě nebylo v souvislosti s virem CHIKV podle dohledatelných zdrojů zaznamenáno žádné úmrtí, avšak při epidemii na francouzském tichomořském ostrově La Reunion v letech 2005–2006, při které bylo hlášeno 255 000 onemocnění, podleho podle hrubého odhadu nemoci až 260 lidí (Josseran et al. 2006).

První dva případy autochtonní horečky dengue, byly hlášeny v roce 2010, ve francouzském městě Nice. Jednalo se o první lokální přenos DENV v Evropě od velké epidemie v letech 1927–1928 v Řecku, kde byl jako vektor implikován *Ae. aegypti*. U prvního pacienta se příznaky projevíly na konci srpna roku 2010, virus byl detekován prostřednictvím rutinního systému zvýšeného sledování koordinovaného francouzskými úřady v oblastech, kde se *Ae. albopictus* usadil. Symptomy druhého pacienta, žijícího v blízkosti prvního, se rozvinuly do poloviny září roku 2010 (la Ruche et al. 2010). S autochtonním přenosem DENV následovala jako druhá země Evropy Chorvatsko. První případ byly hlášen německými zdravotnickými institucemi, které oznámily laboratorně potvrzenou nákazu německého občana, po návratu z jižního Chorvatska v srpnu roku 2010. U nakaženého se onemocnění projevilo teplotou, zimnicí, artralgiemi a bolestmi hlavy. Po krátkodobém zlepšení se stav pacienta opět zhoršil a vrátily se bolesti i s dušností (Schmidt-Chanasit et al. 2010). V druhé polovině října, byl hlášen další pozitivní případ, tentokrát šlo o místní ženu ze stejné vesnice, kde přebýval infikovaný německý turista (Gjenero-Margan et al. 2011). Celkem bylo takto od roku 2010 nahlášeno z kontinentální Evropy sedm autochtonních ohnisek horečky dengue (Gossner et al. 2018).

Všechna ohniska a případy onemocnění, souvisela se zavlečením viremickými cestovateli vracejícími se z oblastí, kde je známo, že viry cirkulují. Všechny se vyskytly v oblastech, kde je *Ae. albopictus* usídlen a v době, kdy byly podmínky prostředí v Evropě příznivé pro aktivitu vektorů a replikaci viru, tedy mezi červencem a říjnem pro CHIKV a mezi srpnem a říjnem pro DENV (Gossner et al. 2018).

3.4.9 Monitoring a surveillance

Monitoring je provádění analýz a rutinních měření zaměřených na zjišťování změn ve sledovaném podmětu. Jde o periodický sběr a analýzu ukazatelů, který obvykle obnáší opakované terénní činnosti. Monitoring je součástí surveillance. Surveillance je epidemiologický nástroj omezen na několik nemocí celostátního významu (CDC 2014). Součástí surveillance je vytváření map distribuce hlavních přenašečů onemocnění, související dozorové činnosti a definice prioritních strategií týkajících se veřejného zdraví, pokud se jedná o choroby přenášené vektory, je součástí také jejich dozor (Berg et al. 2013).

Preventivní omezování šíření tropických nemocí způsobených CHIKV či DENV, zcela závisí na hubení přenašečů a omezení jejich styku s člověkem. Surveillance komárů, je nezbytnou součástí jakéhokoliv místního integrovaného programu pro management hubení škůdců. Cílem surveillance, je kvantifikovat riziko pro lidi, na základě přítomnosti a četnosti vektoru. Mezi hlavní funkce surveillance komárů patří: potvrzení přítomnosti komára v oblasti, zjištění preferovaného objektu pro kladení vajíček, vypracování map pro sledování larev, identifikace oblasti s vysokým výskytem komára a s tím souvisejícím zvýšeným rizikem nákazy, monitoring efektivity řízení vektorů, určení primárních a sekundárních vektorů a stanovení prahových hodnot pro nákazu člověka (CDC 2017).

3.5 Surveillance vektorů a doporučení pro dezinfekci

Před začátkem sezony komárů je doporučováno pořádat veřejné osvětové kampaně, zaměřené na motivaci lidí k redukci nebo eliminaci předmětů které je *Ae. albopictus* schopen využít jako larvální stanoviště, tedy všech nádob zadržujících vodu. Je užitečné provádět průzkumy s cílem určení typů, hojnosti a rozšíření potencionálních larválních stanovišť, jejichž velký počet se může promítnout do vysokého výskytu komárů a následně do zvýšeného rizika nákazy. Velké nádoby zadržující vodu je možné dle možností zakrýt, vysypat či ošetřit dlouhotrvajícím larvicidem. Je vhodné redukovat hustou vegetaci, sekat vysokou trávu, jelikož tato místa mohou být dospělými komáry využity k odpočinku a ukrytu. Se začátkem sezony komárů je dobré pokračovat v kampaních zaměřených na invazní komáry a šířit vzdělávací materiály zaměřené na význam druhů jako je *Ae. albopictus*. Je důležité informovat společnost o metodách osobní ochrany. Dále je užitečné iniciovat celospolečenské průzkumy zaměřené na *Ae. albopictus* s cílem určit jeho nepřítomnost či přítomnost, relativní hojnost a distribuci. Pokud je druh přítomen je nutné vypracovat mapy rozšíření a vyhodnotit efektivní způsoby redukce. Je dobré iniciovat odběr vzorku dospělých komárů, aby bylo možná jejich identifikace

a potvrzení oblastí s vysokým zamořením. Na takovýchto lokalitách je nutné co nejdříve zahájit preventivní kontrolu dospělců s cílem snížit jejich počty. V momentě, kdy dojde k prvním případům nákazy ať už importovaných či autochtonních, je důležité zahájit kampaně zaměřené na prevenci a minimalizaci kontaktu mezi přenašeči a podezřelými či potvrzenými případy u lidí, a to zejména během prvního týdne nákazy, kdy je infikovaná osoba viremická a může infikovat komáry, čímž by přispěla k vytvoření ohniska nemoci. V místě výskytu nemoci je důležité stále apelovat na veřejnost, aby aktivně likvidovala nádoby zadržující vodu a eliminovala tak stanoviště larev. V případě dostatečných finančních prostředků, je možné uspořádat komunitní program aktivně se podílející na likvidaci larválních stanovišť. Je důležité, aby byly zlikvidovány veškeré larvální stanoviště v okruhu 100 - 200 metrů od domova pozitivních případů, stejně tak je dobré tuto vzdálenost ošetřit přípravky proti dospělcům. Veřejnost je důležité informovat o probíhající situaci a potvrzených případech. Je vhodné neustále apelovat na používání repelentů a zabezpečení domu sítěmi proti hmyzu. V této situaci je důležité zahájit či udržovat dříve zahájené vzorkování dospělců, které je důležité pro odhadnutí jejich početnosti a odhadnutí účinnosti opatření. Ve chvíli, kdy začínají případy nákazy narůstat, je nezbytné oddělit oblast ohniska, aby bylo účinné uplatňovat opatření, které je nutné opakovat, aby došlo ke snížení hustoty komárů. Kontroly jsou prováděny celoplošně od dveří ke dveřím, dochází k likvidaci zbylých líných produkujících komáry (CDC 2017).

3.5.1 Hubení juvenilních stádií

Ae. albopictus je schopný využívat jako larvální stanoviště různé typy nádob, od charakteru larválního stanoviště se pak odvíjí jeho kontrolní opatření. Obecně můžeme specifikovat pět typů míst, kde se voda zadržuje:

- fytotelmata – stromové jamky, paždí listů
- nepotřebné nebo jednorázové nádoby – obaly od pití, jídla, pneumatiky, rozbité spotřebiče
- užitečné nádoby – sudy na zachytávání vody, misky s vodou pro zvířata, hračky, kbelíky, septické nádrže
- dutiny v konstrukcích – plotové sloupy, cihly, nerovnosti na střeších či podlaze, okapy
- venkovní podzemní stavby – dešťové vpusti, vodoměry, studny, septiky (CDC 2017)

V rámci hubení je důležitá sanitace stanoviště, tedy odstranění všech nádob potencionálně produkujících dospělé *Ae. albopictus*. Součástí je recyklace komunálního odpadu, recyklace ojetých pneumatik, výměna septiků a kanalizací, pravidelné dodávky pitné vody a další opatření. Některé potencionální larvální stanoviště však není možné zlikvidovat, proto se nabízí další možnost a tou jsou selektivní larvicidy (CDC 2017).

Larvicid je druh insekticidu využívaný k likvidaci komárů ve venkovních i vnitřních prostorách. Fungují na bázi usmrcování larev komárů dříve, než se z nich vyvinou dospělci. Jejich výhodou při dodržení veškerých pokynů je, že nepoškozují necílové organismy, jsou tak bezpečné pro lidi, zvířata i životní prostředí. V případě vypuknutí epidemie, jsou larvicidy

aplikovány na postižené lokality pomocí postřikovačů na zádech, nákladních automobilů nebo letadel v závislosti na velikosti zasažené oblasti. Pro hubení komárů jsou využívány tři typy larvicidů: bakteriální larvicidy, regulátory růstu hmyzu a oleje a filmy (CDC 2020).

3.5.1.1 Biologické larvicidy

Bakteriální larvicidy jsou vytvořeny z přírodních prekurzorů. Pro kontrolu komárů se nejčastěji využívají bakterie *Bacillus thuringiensis* poddruh *israelensis* (*Bti*) *Bacillus thuringiensis*. *Bacillus thuringiensis* je mikrob, přirozeně se vyskytující v půdě, existuje mnoho druhů a každý cílí na jiné skupiny hmyzu. Vytváří bílkoviny, které jsou pro nedospělé larvy hmyzu toxické, toxiny se aktivují ve střevech a rozkládají je, načež hmyz hyne. Smrt může nastat během několika hodin nebo týdnů. Různé typy *Bt* vytvářejí toxiny, které mohou být aktivovány pouze larvami cílového hmyzu. Naproti tomu, po pozření lidmi či jinými necílovými organismy se toxiny neaktivují a nedochází tak k žádné újmě. Například poddruh *kurstaki* se zaměřuje na housenky, kdežto poddruh *israelensis* cílí na juvenilní mušky a komáry (Perez et al. 2015).

Dalším komerčním biologickým larvicidem je Spinosad, ten je odvozený od bakterie *Saccharopolyspora spinosa*. Jde o přírodní látku, která se používá na širokou škálu škůdců, jako jsou třásněnky, svilušky, komáři, mravenci, octomilky a další. Spinosad ovlivňuje nervový systém hmyzu, který ho požírá nebo je s ním jinak v kontaktu. Paralýza a následná smrt nastává obvykle během 1 - 2 dnů. Spinosad se vůči lidem a savcům vyznačuje minimální toxicitou, při požití se snadno vstřebává. Jakmile se dostane do těla, přesune se do mnoha oblastí a rozloží se, většina látky pak opustí tělo ve stolici nebo v moči během 1 - 2 dnů. Ovšem při kontaktu s pokožkou se špatně vstřebává a může způsobit podráždění či zarudnutí pokožky nebo očí (Bunch et al. 2014).

3.5.1.2 Regulátory růstu

Jako regulátory růstu jsou označovány látky, bránící larvám komárů dokončit jejich vývoj, takže se nedostanou do stádia dospělosti. Známými regulátory růstu hmyzu jsou například methoprene nebo pyriproxyfen (CDC 2020).

Pyriproxyfen napodobuje přirozené hmyzí hormony, které brání mladému hmyzu růstu, působí na jedince, kteří ho pozřou či jsou s ním jinak v kontaktu. Pro dospělého hmyz je toxický jen zřídka, kromě nedospělých forem však ovlivňuje také snůšku a líhnutí vajíček. Pyriproxyfen ovlivňuje mnoho druhů hmyzu včetně blech, švábů, klíšťat, mravenců a komárů. Pro lidi a savce je považován za nízko toxický, po kontaktu s očima však může být mírně dráždivý. Při dermatologickém testování na laboratorních zvířatech nebyl prokázán jako dráždivý ani při vysokých dávkách (Cross et al. 2015).

3.5.1.3 Oleje a filmy

K hubení larev a kulek komárů se dají taktéž využít minerální oleje a filmy, ty se po nanesení na vodní hladinu rozprostřou, a vytvoří tenkou vrstvu. Larvy a kukly komárů, které dýchají u vodní hladiny, se udusí. Použití minerálních olejů a filmů je jedinou účinnou metodou pro hubení kulek (CDC 2020).

3.5.2 Hubení dospělých komárů

Při hubení komárů včetně *Ae. albopictus* je kladen větší důraz na aplikaci larvicidu oproti adulticidum. Adulticidy, používané k hubení dospělých komárů, mají kratší účinek a jejich dopady na životní prostředí jsou výraznější. Adulticidy jsou tedy používány pouze tehdy, když komár ještě není usazen, nebo když je bariérovým postřikem nutné chránit citlivá místa jako jsou školky, školy či domovy seniorů. Adulticidy nejsou oproti larvicidům selektivní, jejich aplikace musí tedy probíhat obezřetně, neaplikují se například v blízkosti řek nebo jezer (Flacio et al. 2015).

Tekuté adulticidy lze aplikovat jako spreje s ultra nízkým objemem, postřikovače přeměňují kapalinu na velmi malé kapičky, které se vznášejí ve vzduchu a při kontaktu zabíjejí létající komáry. K usmrcení dospělých létajících komárů je potřeba pouze malá množství adulticidů. Tekuté adulticidy lze také aplikovat jako zbytkové spreje, kapalina se nastříká na vegetaci a budovy a nechá se zaschnout. Takto se ošetřují místa, které komáři pravděpodobně využijí k odpočinku, a jsou tak vystaveni insekticidu (CDC 2020).

Používání insekticidů k hubení komárů by mělo vždy zahrnovat monitoring rezistence vůči insekticidům. Rezistence byla prokázána téměř u každé řady insekticidů. Rezistence na insekticidy, což je dědičný rys, obvykle vede k významnému snížení citlivosti hmyzích populací, což činí ošetření insekticidy neučené. Rezistence na insekticidy může být monitorována pomocí biologických testů u larev a dospělých komárů (CDC 2017).

3.5.2.1 Organofosfáty

Organofosfáty jsou chemické sloučeniny používané k hubení komárů a rostlinných škůdců, zabíjejí tím, že brání správnému fungování jejich nervového systému. Jde například o malathion, ten se aplikuje jako ultra nízký objemový sprej, rozprašovač tvoří jemné aerosolové kapičky, které zůstávají ve vzduchu a při kontaktu zabíjejí komáry. Ve vztahu k velikosti ošetřované plochy se aplikuje malé množství účinné látky, která v životním prostředí rychle degraduje, zejména ve vlhké půdě, vykazuje pro savce a ptáky minimální toxicitu. Avšak pro hmyz je malathion vysoce toxický, to zahrnuje také užitečný hmyz, jakým jsou například včely. Na území Evropské unie jsou tyto organofosfáty zakázány (EPA 2000).

3.5.2.2 Přírodní pyrethriny a syntetické pyrethroidy

Pyrethriny jsou směsí šesti chemických látek, které jsou toxické pro hmyz. Přirozeně se vyskytují v některých květech chryzantém. Běžně se používají v domácnosti a na zahradě k hubení komárů, blech, much, můr, mravenců a dalších škůdců. Pyrethriny jsou registrovány od 50. let 20. století, a od té doby byly upraveny tak, aby produkovaly déle trvající chemikálie zvané pyrethroidy, které jsou vyrobeny člověkem. V současné době se nacházejí ve více než 2 000 registrovaných pesticidních produktech. Narušují nervový systém hmyzu, který jej buď pozře nebo je sním jinak v kontaktu, to rychle vede k paralýze a smrti. Pyrethriny jsou prakticky netoxické pro ptáky, ale vysoce toxické pro včely a vysoce až velmi vysoce toxické pro ryby, humry, krevety, ústřice a vodní hmyz (Bond et al. 2014).

3.5.3 Metody odchyту invazních druhů komárů

U řady druhů komáru se dá k odchytu využít jednoduchá metoda sběru přímo z vodních ploch pomocí hustého cedníku nebo tzv. „dipperu“, speciálního sběrače. V případě invazních druhů komáru je však tato metoda vzhledem ke způsobu jejich rozmnožování nevhodná. Jejich larvy, kukly a vajíčka se mohou vyskytovat v nejrůznějších nádobách se zachycenou dešťovou vodou od pneumatik po vázy s řezanými květinami. K odchytu a prokázání přítomnosti invazních druhů komárů byla vyvinuta řada pastí, většinou jde o pasti zaměřené na odchyt vajíček nebo aktivních samiček. Samičky jsou k pasti lákány pomocí světla a kombinací barev, nejpodstatnějším lákadlem je však atraktant, který napodobuje produkty metabolismu potencionálních hostitelů, včetně člověka (Rudolf & Šebesta 2017).

Jedna z pastí používaná pro odchyt aktivních samiček je tzv. EVS (Encephalitis Vector Survey, Obrázek 7). Ta je tvořena ventilátorem, který nasává komáry poletující v bezprostřední blízkosti, a vhání je do sítky, kde se jedinci hromadí. K pasti jsou samičky lákány světélkem a oxidem uhličitým, který je uvolňován odpařováním suchého ledu z nádoby nad ventilátorem. Tato past je vhodná pro všechny komáry s noční i denní aktivitou (Rudolf & Šebesta 2017).



Obrázek 7: Past EVS instalovaná na stanovišti komárů (Rudolf & Šebesta 2017).

Další pastí vhodnou pro odchyt antropofilních komárů je typ BG–Sentinel (Obrázek 8). Tato past je opatřena speciální návnadou, která svým složením (kyselina mléčná, mastné kyseliny a amoniak) napodobuje zápach lidské kůže, mohou však být použity jiné atraktanty jako oktenol nebo oxid uhličitý. Tyto návnady lze i kombinovat. Komáři jsou nasáváni spolu se vzduchem pomocí ventilátoru umístěného ve středu pasti, a poté zachycováni v síťce. Vzduch se dostává ven podél vnějšího neprodyšného pláště a nese s sebou zápach návnady, která je umístěna uvnitř pasti. Tato zařízení jsou již finančně nákladná, stejně tak jako samotné návnady. Pro odchyt gravidních samiček jsou používány pasti typu „mosquitograid“ (Obrázek 9). Gravidní samičky jsou vábeny ke kladení do menší tmavé nádoby naplněné speciálně připraveným senným nálevem, či obyčejnou vodou. Neletující samičky jsou pak nasávány ventilátorem do sběrné komory (Rudolf & Šebesta 2017).



Obrázky 8 a 9: Past „BG sentinel“ (vlevo) a „gravitrap“ (vpravo) (Rudolf & Šebesta 2017)

Velmi jednoduché pasti, které jsou využívány pro monitoring *Ae. albopictus* jsou pasti typu ovitrap (Obrázek 10). Jde o malé nádoby, černé či jinak tmavé barvy o objemu okolo 500 ml, naplněné nálevem anebo odstátou vodou. Gravidní samičky do těchto nádob kladou a pasti jsou pak pravidelně kontrolovány pro přítomnost snůšky, případně larev. Tato past se jeví jako velmi účinná pro monitoring a včasný záchyt právě invazivních druhů komárů, především *Ae. albopictus* a *Ae. japonicus* na novém území (Rudolf & Šebesta 2017). U ovitrapů je vyžadována pravidelná kontrola a výměna vody, neměly by v terénu zůstat umístěny bez inspekce déle než týden, protože se mohou stát larválním stanovištěm produkujícím dospělce (CDC 2017).



Obrázek 10: Ovitrap na lokalitě s rizikem zavlečení *Ae. albopictus* (Rudolf & Šebesta 2017)

3.6 Monitoring *Ae. albopictus* v České republice

Na území České republiky není *Ae. albopictus* prozatím usídlen natrvalo, v minulosti však opakovaně docházelo k jeho záchytům. Poprvé u nás byl zaznamenán koncem srpna a počátkem září v roce 2012, šlo o 17 larev tohoto druhu zachycených pomocí metody ovitrap. Larvy byly zachyceny na jižní Moravě v oblasti Mikulova (Šebesta 2016). K druhému zachycení tohoto duhu na našem území, došlo v srpnu roku 2017, v rámci cíleného monitorování invazních komárů, které probíhalo v letech 2016 a 2017. Monitoring byl zaměřen na rozšíření komárů pomocí povrchové dopravy a byl prováděn na celkem 16 stanovištích podél silnic a dálnic D1, D3, D5 a E49, stanoviště měly nejčastěji podobu parkovišť a odpočívadel pro řidiče. V ovitrapech, používaných při tomto monitoringu, došlo k zachycení 8 exemplářů na 64. km dálnice D3 v blízkosti obcí Mezno/Mitrovce ve středočeském kraji a dalších 2 exemplářů u dálnice D5 nedaleko Rozvadova v Plzeňském kraji (Rettich & Kulma 2018). Další nálezy byly hlášeny v rámci dvouletého entomologického dozoru pro invazní druhy komáru na jižní Moravě. Šlo o celkem 150 vajíček a 6 dospělých jedinců zachycených během let 2016 a 2017 podél hlavních silničních vjezdů (E461 a E65) spojujících Rakousko a Slovenskou republiku s Českou republikou (Rudolf et al. 2018).

Díky pasivnímu transportu dopravou, hrozí riziko zavlečení *Ae. albopictus* v podstatě kdekoliv na našem území a díky globálním změnám klimatu je jen otázkou času kdy dojde k jeho trvalému usazení. Aby bylo možné zahájit cílený monitoring ve snaze předejít hrozbám které sebou *Ae. albopictus* přináší, je nutné vytipovat lokality s nejvyšší pravděpodobností jeho usídlení. K tomuto účelu slouží mapový modeling a cílem této práce je mimo jiné zjistit prostřednictvím modelingu nejzranitelnější lokality v ohledu usídlení *Ae. albopictus* na území České republiky.

3.6.1 Legislativa v oblasti nepůvodních druhů

Po dlouhou dobu platila v rámci EU jen velmi obecná právní úmluva v oblasti nepůvodních druhů (čl. 11 Směrnice 2009/147/ES „o ptácích“ a čl. 22 písm. b) Směrnice 92/43/EHS „o stanovištích“), která zrcadlila závazky vyplývající z výše uvedených úmluv. Takováto právní úprava, prostřednictvím směrnic, při které je konkrétní postup fragmentován do národní legislativy jednotlivých členských států, vede k značné nejednotě v přístupu, navíc nemůže pokrýt rizika spojená s šířením některých invazních druhů v rámci společenství EU. EU tak v ohledu koordinovaného legislativního řešení zaostávala v porovnání se státy jako je například USA, Austrálie, či Jihoafrická republika. Tyto země byly donuceny zabývat se problematikou invazních druhů dříve, vzhledem k jejich vysoké intenzitě dopadů na biodiverzitu i hospodářství. Větší pozornost začala být problematice biologických invazí věnována v rámci EU až koncem 90. let, především po roce 2000 (Šíma 2017).

Dnes představuje jednotnou právní úpravou, v oblasti nepůvodních a invazních druhů, nařízení *Evropského parlamentu EU č. 1143/2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů*, tomu předcházelo *nařízení Rady č. 708/2007 o používání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře*. Tato nařízení jsou přímo použitelná na území všech členských států a k jejich adaptaci do českého právního řádu, tedy zejména přijetí příslušných procesních a kompetenčních pravidel, došlo, s účinností od 1. 1. 2022, prostřednictvím *zákonu č. 364/2021 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s implementací předpisů Evropské unie v oblasti invazních nepůvodních druhů*. Tento adaptační zákon novelizoval především ZOPK a další související složkové právní předpisy, konkrétně *zákon č. 246/1992 Sb., na ochranu zvířat proti týrání*, *zákon č. 449/2001 Sb., o myslivosti*, *zákon č. 99/2004 Sb., o rybářství*, *zákon č. 289/1995 Sb., o lesích*, *zákon č. 326/2004 Sb. o rostlinolékařské péči* a *zákon č. 254/2001 Sb., o vodách* (Görner et al. 2021).

Problematika nepůvodních druhů je aktuálně upravena evropskou a českou legislativou, na třech úrovních právní regulace:

1. obecná regulace nepůvodních druhů,
2. úprava využívání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře,
3. omezení týkající se invazních nepůvodních druhů na unijním seznamu.

(Görner et al. 2021)

3.6.2 Obecná regulace nepůvodních druhů

Na obecnou regulaci nepůvodních druhů se ZOPK zaměřuje v druhé části. Podle 5 odstavce, je možné „geograficky nepůvodní druh“ rozšířit do krajiny pouze tehdy, když to povolí orgán ochrany přírody. Jako geograficky nepůvodní, je označován takový druh rostliny nebo živočicha který není součástí přirozeného společenstva daného regionu. (Zákon 114/1992 Sb.).

Podle ZOPK dále platí že na území národních parků, chráněných krajinných oblastí, národních přírodních rezervací a přírodních rezervací, platí základní ochranné podmínky zahrnující zákaz cíleného rozšiřování nepůvodních druhů. V těchto zvláště chráněných

územích může z výše uvedených zákazů povolit výjimku pouze příslušný orgán ochrany přírody. Pokud dojde k rozšíření nepůvodního druhu či křížence bez povolení orgánu ochrany přírody nebo v rozporu s ním, jde o přestupek, za který lze právníkem a podnikajícím fyzickým osobám uložit pokutu do výše 1 000 000 Kč, a fyzické osobě v případě úmyslného jednání do výše 20 000 Kč (Görner et al. 2021).

Za „nepůvodní druh“ může být podle nařízení č. 1143/2014 označen kterýkoliv živý jedinec druhu, poddruhu, nebo nižšího taxonu živočicha, rostliny, huby nebo mikroorganismu, který byl zavlečen nebo vysazen mimo svůj přirozený areál výskytu. Součástí jsou také: gamety, semena, vejce nebo propagule takovýchto druhů, včetně kříženců, odrůd či plemen, které jsou schopny přežít a následného rozmnožování (Nařízení č.1143/2014).

3.6.3 Úprava využívání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře

Nařízení rady (ES) č. 708/2007 o používání cizích a nemístě se nevyskytujících druhů v akvakultuře, je speciální právní úpravou k obecné právní úpravě nepůvodních druhů. Nařízení je přímo použitelné, stanovuje základní definice pojmů, výjimky, postupy a podmínky procesu povolování. Již z názvu nařízení vyplývá, že se vztahuje na používání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře v podmínkách ČR. Může jít o rybníkářství a další typy hospodářského chovu ryb. Od povolení pro použití cizích a místně nevyskytujících se druhů, jsou podle nařízení oprostěná některá uzavřená zařízení akvakultury, splňující dané podmínky. Seznam těchto zařízení je přístupný na webových stránkách MŽP. Nařízení jako celek se rovněž netýká chovu okrasných vodních živočichů nebo rostlin v prodejnách se zvířaty, v zájmovém chovu, zahradních centrech, izolovaných zahradních jezírcích nebo akváriích splňující unijní předpisy (Görner et al. 2021).

3.6.4 Omezení týkající se invazních nepůvodních druhů na unijním seznamu

Vlivem rychlého šíření nepůvodních druhů napříč kontinenty a jejich nepříznivým dopadům, byla nutná strategie boje přesahující hranice států. Ze strany Evropské unie lze pozorovat zvýšený zájem o problematiku invazních nepůvodních druhů a jejich řešení přibližně od roku 2000, počátek snahy o vytvoření vhodné společné strategie pro nakládání s nepůvodními druhy lze datovat do roku 2008, kdy Evropská komise vydala Plán strategie EU pro invazní druhy. Na podzim roku 2014 bylo přijato *nařízení Evropského parlamentu EU č. 1143/2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů*. Význam tohoto nařízení spočívá v stanovení pravidel pro prevenci, minimalizaci a zmírnění nepříznivých dopadů vyplývajících ze záměrného i nezáměrného zavlékání invazních nepůvodních druhů (Görner et al. 2021).

V souvislosti s *Nařízením EU č. 1143/2014* byl vytvořen seznam druhů, na které se nařízení vztahuje, oficiálně nazvaný *seznam invazních nepůvodních druhů s významným dopadem na Unii*, zkráceně označovaný jako "unijní seznam". Kritéria platná pro zařazení druhu na seznam, by měl představovat hlavní nástroj pro uplatňování tohoto nařízení. Kritéria

by měla zajistit, aby byly na seznamu ze všech známých druhů právě ty, které představují nejzávažnější nepříznivé dopady. Komise by měla na základě uvedených kritérií, do jednoho roku po vstupu tohoto nařízení v platnost, předložit výboru zřízenému tímto nařízením návrh unijního seznamu. Komise by při navrhování seznamu měla informovat výbor o tom, jak uvedená kritéria zohlednila. Kritéria by měla obsahovat posouzení rizik dle příslušných ustanovení dohod Světové obchodní organizace v oblasti omezování obchodu s druhy (Nařízení č. 1143/2014).

Komise je povinna provést kompletní přezkoumání unijního seznamu alespoň každých 6 let v meziobdobí se dbá na doplnění nových invazních druhů a vyčlenění takových druhů které již nesplňují kritéria. Tato kritéria zahrnují například to, zda je druh opravdu nepůvodní ve většině zemí Unie, zda je schopný tvořit dlouhodobé a života schopné populace a dále se šířit, zda má nebo bude mít závažný nepříznivý dopad na biologickou rozmanitost, lidské zdraví nebo hospodářství nebo zda je reálné, aby zařazení na seznam vedlo k zmírnění dopadů způsobených tímto druhem. Pro invazní druhy zařazené na unijním seznamu platí že nesmějí být záměrně přiváženy, drženy, chovány, přepravovány, uváděny na trh, množeny či uvolňovány do životního prostředí (Nařízení č. 1143/2014 sb.).

3.7 Legislativa v oblasti veřejného zdraví

Nedávná ohniska onemocnění DENV (Gossner et al. 2018) a CHKV (Heitmann et al. 2018) v kontinentální Evropě, nám připomínají zdravotní rizika plynoucí z šíření *Ae. albopictus*. V tomto směru, hraje v rámci legislativy důležitou roli zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, jehož předmětem je úprava práva a povinnosti fyzických a právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví a soustavu orgánů ochrany veřejného zdraví, jejich působnost a pravomoc. Části výše uvedeného zákona, které mají spojitost s vektory a jim přenášenými nemocemi jsou mimo jiné následující (Zákon 258/2000 Sb.)

3.7.1 Ochranná dezinfekce, dezinfekce a deratizace

V této části zákon definuje Ochrannou dezinfekcí, dezinfekcí a deratizací jako činnost vedoucí k ochraně zdraví, životních a pracovních podmínek před původci a přenašeči infekčního onemocnění. Může jít například o epidemiologicky významné členovce nebo hlodavce. Zákon zde dále rozděluje dezinfekci, dezinfekci a deratizaci běžnou, která má vést k předcházení vzniku infekčních onemocnění a speciální ochrannou, která by měla být provedena odborně a je zaměřená na likvidaci původců onemocnění a přenašečů. Osoba, která ochrannou dezinfekci, dezinfekci nebo deratizaci provádí musí použít výhradně přípravky dodané na trh v souladu s přímo použitelným předpisem EU o biocidních přípravcích. Tyto přípravky mohou být použity pouze v takové míře, která je nutná k dosažení účinku. Osoba aplikující tyto přípravky, je také povinna kontrolovat jejich účinnost. V zákoně jsou specifikovány osoby, které smí tuto činnost provádět a jaká kritéria musí pro funkci splňovat (Zákon 258/2000 Sb.).

3.7.2 Povinnosti osob po styku se závažným onemocněním

V této části ukládá zákon osobě poskytující péči, po zjištění či podezření na infekční onemocnění neprodlenou povinnost oznámit skutečnost orgánům ochrany veřejného zdraví. Současně je tato osoba povinna zajistit první zásahy určené k zabránění dalšího šíření onemocnění. Následující opatření pak vykonává dle pokynu orgánu ochrany veřejného zdraví. V závislosti na povaze infekčního onemocnění, je nakažena osoba povinná podrobit se izolaci, podání léčiv, laboratornímu a lékařskému vyšetření a také karanténním opatřením. V rámci karantény musí osoba dodržovat nejružnější omezení, aby zamezila šíření infekčního onemocnění (Zákon 258/2000 Sb.).

3.7.3 Mimořádná opatření k zamezení šíření onemocnění

V případě výskytu závažných onemocnění, je nutné co nejdříve kontaktovat příslušný orgán ochrany veřejného zdraví. V případě výskytu onemocnění přenosného ze zvířete na člověka, spolu orgány veterinární správy a ochrany veřejného zdraví spolupracují, vzájemně si hlásí výskyty infekcí včetně případů úmrtí zvířat, společně pracují také na potřebných opatřeních. V rámci ochrany veřejného zdraví, může být také provedeno opatření před zavlečením infekčních onemocnění ze zahraničí. Takováto opatření se provádějí na místech dle domluvy ministerstev zdravotnictví, vnitra, dopravy a spojů a financí. O jejich nařízení a ukončení rozhoduje příslušný orgán ochrany veřejného zdraví, ten také stanovuje zdravotnická zařízení vyhrazená k provádění karantén a izolací osob. Tato opatření jsou povinny dodržovat osoby, jevící známky nákazy vstupující na území státu ze zahraničí. Při výskytu závažných infekčních onemocnění jsou tyto osoby podezřelé z nákazy povinny podstoupit ochranná opatření. V momentě epidemie či nebezpečí jejího vzniku, lze podle zákona stanovit opatření například v podobě zákazu cestování, shlukování, uzavření škol a předškolních zařízení, zákazu sportovních akcí, uzavření ubytovacích a stravovacích provozoven. Dále mohou být vydávány příkazy týkající se vyčlenění lůžek, provedení ohniskové dezinfekce, dezinfekce a deratizace na celém postiženém území, varovné vyznačení zasažených objektů, ve kterých proběhlo infekčním onemocnění, mimořádného očkování či preventivnímu podávání léčiv. O protiepidemických opatřeních rozhoduje primárně Orgán ochrany veřejného zdraví příslušný podle místa výskytu infekčního onemocnění (Zákon 258/2000 Sb.).

4 Metodika

4.1 Záznamy o výskytu

Údaje o přítomnosti *Ae. albopictus* v Evropě byly shromážděny z literatury dostupné z odborných databází WOS a Scopus. Údaje zahrnovaly také záznamy výskytu od (Kraemer et al. 2015) a (Cunze et al. 2016). Do původního souboru dat bylo zahrnuto celkem 886 záznamů výskytu o usídlení, po odstranění nadbytečných zdrojů a duplikovaných záznamů, obsahovala konečná datová sada 434 záznamů výskytu. Duplikáty záznamů byly odstraněny v excelu a záznamy výskytu ve vzdálenosti $\leq 2,5'$ (≈ 5 km) byly pomocí sady nástrojů SDM v ArcMap vyloučeny, aby se předešlo prostorovému zkreslení. Soubor dat byl rozdělen do dvou částí: 75 % pro kalibraci modelu a 25 % pro vyhodnocení předpovědí modelu pomocí Hawth's Tools (Beyer 2004) dostupného v ArcGIS 10.7.1.

4.2 Kovariantní proměnné

Pro popis aktuálního klimatu byl použita data z archivu WorldClim verze 2.1 (www.worldclim.org). Tato data zahrnují 19 bioklimatických proměnných, původně odvozených z měsíčních hodnot teplot a srážek, shromážděných z meteorologických stanic v letech 1970-2000. Pro data bylo zvoleno prostorové rozšíření 2,5 min (≈ 5 km). Bioklimatické proměnné 8 - 9 a 18 - 19 byly z analýzy vyloučeny, aby se předešlo zkreslení dat způsobené použitou metodou. Všechna bioklimatická rastrová data byla převzorkována na prostorové rozlišení 5 km v kontextu klimatických proměnných a extrahována do zkoumané oblasti pomocí SDMtoolbox 2.4 (Brown et al. 2017). Všechny analýzy rastrů byly provedeny v rámci geografického souřadnicového systému WGS 1984 v ArcGIS 10.7.1 (Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, CA). Všechny bioklimatické proměnné byly podrobeny analýze hlavních složek (PCA) v ArcGIS 10.7.1, aby se snížila rozměrnost a multikolinearita mezi těmito proměnnými. První tři hlavní složky (PC) byly použity k odhadu ENM, protože shrnuly asi 99 % celkového rozptylu v údajích o životním prostředí. Všechna bioklimatická rastrová data, byla převedena do formátu mřížky ASCII se všemi rastry sdílejícími stejnou přesnou velikost buněk a stejný přesný geografický rozsah, jak požaduje MaxEnt. Finální sady proměnných jsou následující: Sada 1 (15 bioklimatických proměnných z WorldClim) a Sada 2 (první 3 PC bioklimatických proměnných). (Proměnné jsou podrobněji popsány v Tabulce 1.)

Tabulka 1: Seznam environmentálních proměnných použitých pro tvorbu modelů. Proměnné byly připraveny na základě instrukcí balíčku kuenm R.

Bioklimatické proměnné z WorldClim	Popis proměnných	Sada 1	Sada 2
Bio1	Průměrná roční teplota	X	X
Bio2	Průměrný denní rozsah teplot	X	X
Bio3	Izotermika	X	X
Bio4	teplotní sezónnost	X	
Bio5	Maximální teplota nejteplejšího měsíce	X	
Bio6	Minimální teplota nejchladnějšího měsíce	X	
Bio7	Roční rozsah teplot	X	
Bio10	Střední teplota nejteplejšího čtvrtletí	X	
Bio11	Střední teplota nejchladnějšího čtvrtletí	X	
Bio12	Roční srážky	X	
Bio13	Srážky nejvlhčího měsíce	X	
Bio14	Srážky nejsuššího měsíce	X	
Bio15	Sezónnost srážek	X	
Bio16	Srážky nejvlhčího čtvrtletí	X	
Bio17	Srážky nejsuššího čtvrtletí	X	

4.3 Ekologické modelování niky (ENM)

Ke zmapování vhodnosti prostředí pro *Ae. albopictus*, za účelem predikce jeho možného usídlení a rozšíření v České republice a dalších zemích Evropy, byl využit Grinnellianův ekologický model niky. Tato modelovací metoda byla odhadnuta pro *Ae. albopictus* na základě algoritmu maximální entropie implementovaného v MaxEnt v 3.4.1 (Phillips et al. 2006) prostřednictvím balíčku kuenm R (Cobos et al. 2019). MaxEnt vyžaduje bodovou datovou sadu, která obsahuje data o výskytu druhů a environmentální rastrové datové sady. Existují různé výpočetní funkce, které se používají k omezení výstupu MaxEnt na základě hodnot proměnných prostředí (např. pant, lineární, prvek, produkt atd.). Proto bylo před spuštěním modelu v MaxEnt klíčové model vyhodnotit, a rozhodnout o parametrech, které by měly být v MaxEntu použity k predikci nejlepšího modelu.

Ke kalibraci, hodnocení a výběru nejlepších modelů byl v R Studio v1.4.1717 použit balíček kuenm R. Kuenm je balíček R navržený tak, aby byl proces kalibrace modelu a vytvoření konečného modelu jednodušší a robustnější (Cobos et al. 2019). Balíček vyžaduje MaxEnt, ale spouští všechny funkce mimo MaxEnt.

Před spuštěním balíčku kuenm R k vyhodnocení a výběru modelů, byla všechna data připravena podle požadavků kuenm (Cobos et al. 2019). Byly připraveny tři různé CSV soubory, které zahrnovaly všechny záznamy o výskytu *Ae. albopictus*, záznamy o výskytech po

kalibračním procesu a záznamy o výskytech po vyhodnocení, které byly získány pomocí Hawth's Tools.

Přístupná oblast „M“ je důležitým prvkem v biotickém, abiotickém a pohybovém (BAM) diagramu a definuje klíčové parametry při konstrukci modelu ekologické niky pro daný druh (Barve et al. 2011). Přístupná oblast „M“ označuje oblasti, které druh prozkoumal a do kterých měl přístup v příslušných obdobích historie druhu (Barve et al. 2011). Proto byl kolem bodů výskytu vytvořen mnohoúhelník, který rozšířil hranice celé kalibrační oblasti. Po vytvoření přístupné oblasti „M“ byly všechny proměnné prostředí extrahovány do této oblasti a použity v balíčku kuenm R pro vytváření kandidátských modelů a hodnocení a výběr nejlepších modelů.

Kandidátské modely byly vytvořeny kombinací dvou odlišných sad proměnných prostředí, 17 hodnot regularizačních multiplikátorů (0,1-1 s intervaly 0,1, 2-6 s intervaly 1 a 8 a 10) a všech 31 možných kombinací 5 tříd vlastností. (lineární = l, kvadratický = q, produkt = p, prahová hodnota = t a pant = h) (Cobos et al. 2019).

Kandidátské modely a nejlepší modely byly vybrány podle následujících kritérií navržených (Cobos et al. 2019): 1) významnost, 2) výkonost a 3) informační kritéria Akaike (AIC): AICCc, Delta AICCc a Hmotnost AICCc. Finální modely byly vytvořeny pomocí bootstrap replikačního typu s 10 replikáty a logistickými výstupy. Finální modely byly následně přeneseny z přístupné plochy „M“ do projekční plochy „G“. Projekční oblast „G“ je další důležitou součástí balíčku kuenm R, která promítá a přenáší ENM do jiných oblastí. Nejlépe predikovaný finální model vhodných oblastí *Ae. albopictus* byl vytvořen na základě vyhodnocení modelu v kuenm pomocí bootstrap replikačního typu s 10 replikáty a výběrem lineárních, pantových a produktových výstupů v MaxEnt. Finální výstup modelu byl v ArcGIS 10.7.1 klasifikován do tří tříd představujících nižší, střední a vyšší predikce.

5 Výsledky

Celkem bylo vytvořeno 868 kandidátských modelů se dvěma sadami proměnných.

Tyto modely byly hodnoceny s parametry odrážejícími všechny kombinace 17 nastavení multiplikátoru regularizace, 31 kombinací tříd funkcí a dvou odlišných souborů proměnných prostředí.

Výkonnost modelu byla hodnocena na základě statistické významnosti (částečná ROC), míry vynechání (OR) a informačního kritéria Akaike (AICc).

Částečné míry ROC a vynechání byly vyhodnoceny na základě modelů vytvořených s trénovacími výskyty, zatímco hodnoty AICc byly vypočteny pro modely vytvořené s úplnou sadou výskytů. Výkonnost modelu byla hodnocena za optimálních parametrů pomocí sady environmentálních prediktorů (Sada 1), statisticky významných modelů (N = 868), nejlepších kandidátských modelů (N = 3), regularizačního multiplikátoru (N = 2,0), tříd vlastností (lineární, pant a produkt), střední poměr AUC (N = 1,11), částečná ROC (N = 0,00), míra vynechání 5 % (N = 0,108), opravené informační kritérium Akaike (N = opravené informace o Craike (7709,62), Delta Akteria N = 0,2), korigovaná hmotnost podle Akaike Information Criterion (N = 0,28) a číselné parametry (N = 124) pro *Ae. albopictus*.

Všechny kandidátské modely byly statisticky významné, přičemž pouze jeden model splnil tři výběrová kritéria a byl identifikován jako nejlepší kandidátský model na základě své výkonnosti. Sada 1 (všechny bioklimatické proměnné) byly proměnné vybrané pro konstrukci ENM. Podle odhadované permutační důležitosti výsledky ukázaly, že průměrná teplota nejchladnějšího čtvrtletí (Bio11) a průměrná roční teplota (Bio1) byly proměnné, které nejvíce přispěly k výkonnosti modelu (39,1 % a 19,4 %), zatímco průměr teplota nejteplejšího čtvrtletí (Bio10) a střední denní rozmezí (Bio2) přispěly 11,2 %, a 6,1 %. (viz. Tabulka 2)

Tabulka 2: Seznam proměnných prostředí sady 1, použitých pro vytvoření modelu, a jejich procentuální podíl na výsledném modelu.

Bioklimatické proměnné	Popis proměnných	Procentuální příspěvek	Permutační důležitost
Bio11	Střední teplota nejchladnějšího čtvrtletí	39,1	56,8
Bio1	Průměrná roční teplota	19,4	7,7
Bio10	Střední teplota nejteplejšího čtvrtletí	11,2	4,9
Bio2	Průměrný denní rozsah teplot	6,1	2,5
Bio4	teplotní sezónnost	5,9	6,9
Bio13	Srážky nejvlhčího měsíce	4,7	2,1
Bio14	Srážky nejsuššího měsíce	3,3	2,9
Bio17	Srážky nejsuššího čtvrtletí	2,4	2,7
Bio16	Srážky nejvlhčího čtvrtletí	1,7	1,3
Bio12	Roční srážky	1,6	1,8
Bio15	Sezónnost srážek	1,5	2,7
Bio5	Maximální teplota nejteplejšího měsíce	1,3	1,2
Bio3	Izotermika	1	5,3
Bio6	Minimální teplota nejchladnějšího měsíce	0,5	0,5
Bio7	Roční rozsah teplot	0,3	0,6

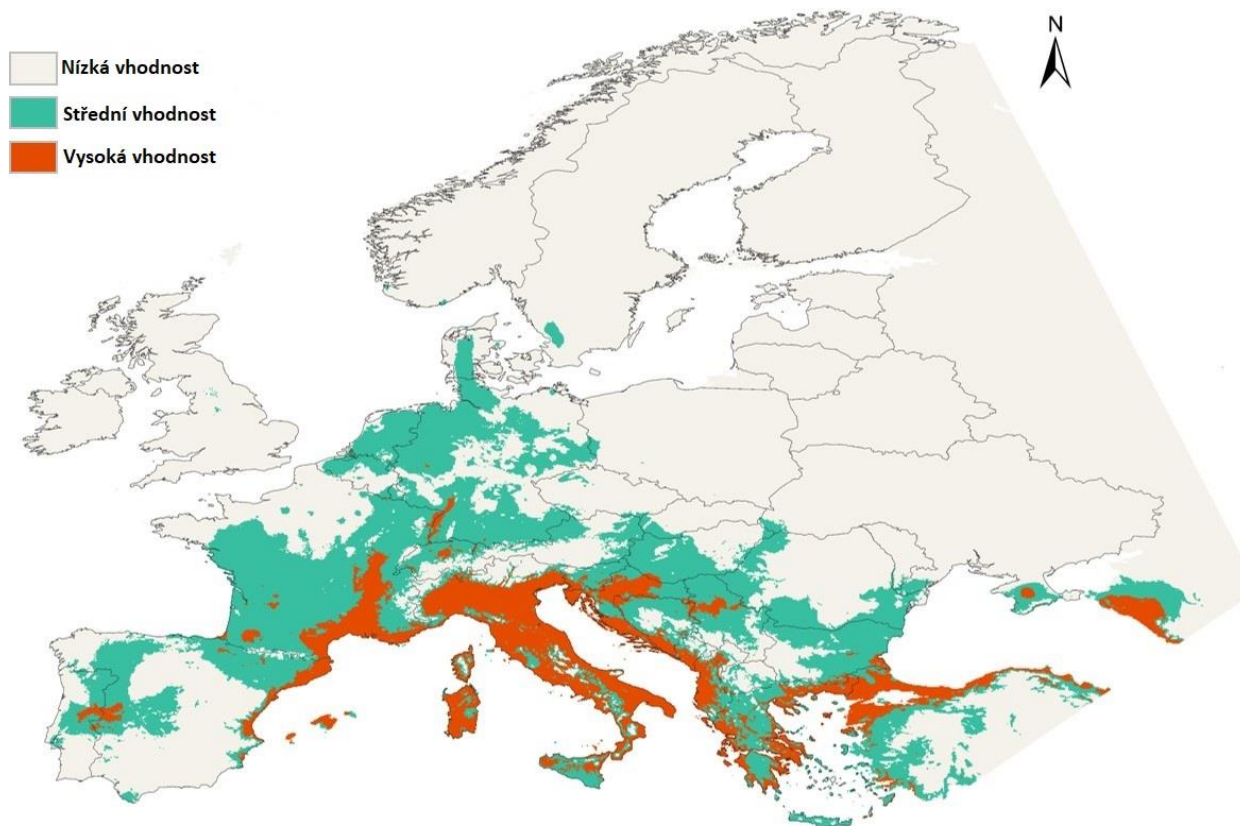
Statistické vyhodnocení z modelové predikce ukázalo, že předpověď byla významně lepší než náhodná očekávání, s poměry AUC rovnoměrně nad nulovými očekáváními ($p < 0,05$). (viz. tabulka 3)

Tabulka 3: Výsledky poměrů částečné plochy pod křivkou (AUC). Shrnuje hodnocení ekologického modelu niky *Ae. albopictus*.

Popisná statistika pro poměr AUC	
Průměr	1,87
Medián	1,87
Minimum	1,83
Maximum	1,91
Rozsah	0,08
Směrodatná odchylka	0,01

Žádný replikát neměl poměr AUC pod 1, což ukazuje, že předpokládaný model fungoval lépe než náhodný ($p < 0,05$).

Vhodnost stanoviště pro *Ae. albopictus* v Evropě

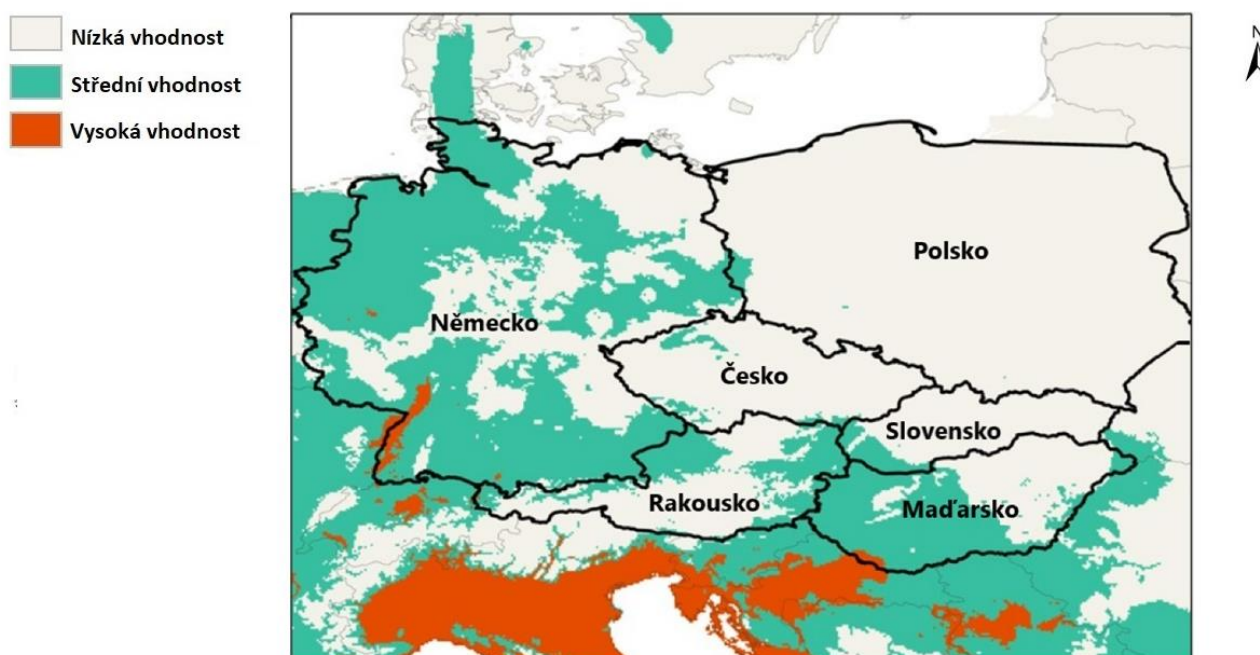


Obrázek 11: Vhodnost stanovišť pro *Ae. albopictus* v Evropě. Mapa byla vytvořena v ArcGIS 10.7.1.

Výsledky modelování, ukázaly vysokou pravděpodobnost vhodných podmínek pro *Ae. albopictus* zejména ve Středomořských oblastech Francie, Itálie, Slovinska, Chorvatska, Bosny a Hercegoviny, Černé hory, Albánie a Řecka. Tento model vykazuje vysokou vhodnost také na středu hranic Portugalska a Španělska, některých částech Švýcarska, Německa, Chorvatska a Srbska. Bezpochyby nejzatíženější zemí z pohledu vhodnosti pro *Ae. albopictus* je Itálie, včetně ostrova Sardinie. Středně vhodné lokality se na druhou stranu překvapivě objevily ve Švédské provincii Halland či v Dánsku nebo severním Německu (viz Obrázek 11).

Dle modelování je také pravděpodobné rozšíření *Ae. albopictus* do střední Evropy, středně vhodné lokality se vyskytují především v Německu, Rakousku a Maďarsku. Enviromentální vhodnost můžeme pozorovat z menší části také a na západní hranici Polska v Česku a na Slovensku. Na území České republiky převládají pro *Ae. albopictus* oblasti s nízkou enviromentální vhodností, některé regiony však nabízejí tomuto druhu středě vhodná stanoviště, jde o části Ústeckého, Plzeňského a Jihočeského kraje. Středně vhodné oblasti jsou dle modelu mapy viditelné také v Jihomoravském kraji podél hranic s Rakouskem a Slovenskem (viz Obrázek 12)

Vhodnost stanoviště pro *Ae. albopictus* ve střední Evropě



Obrázek 12: Vhodnost stanoviště pro *Ae. albopictus* ve střední Evropě. Mapa byla vytvořena v ArcGIS 10.7.1.

6 Diskuze

Protože je *Ae. albopictus* nejen trapičem, ale může přenášet i různé patogeny nebezpečné pro člověka i zvířata, jedná se proto o významného komára v oblasti jak humánní, tak veterinární medicíny (Paupy et al. 2009). *Aedes albopictus* ovšem není jediným invazním druhem komára, který představuje hrozbu pro Evropu. Dosud byl v Evropě zaznamenán výskyt dalších pěti druhů, u kterých bylo prokázáno, že mohou být vektorem onemocnění člověka. Jedná se o druhy *Aedes aegypti*, který je svým výskytem omezen pouze na Madeiru a Gruzii, *Ae. japonicus*, *Ae. koreicus*, *Ae. atropalpus* a *Ae. triseriatus* (Rudolf & Šebesta 2017). Zatímco epidemiologický význam druhů *Ae. japonicus*, *Ae. koreicus*, *Ae. atropalpus* a *Ae. triseriatus* je doposud nejasný, komáři *Ae. aegypti*, jsou považováni za primárního vektora CHIKV DENV a ZIKV, byl dokonce zodpovědný za první Epidemii DENV v Evropě v letech 1927–1928 v Řecku (la Ruche et al. 2010). Avšak ani *Ae. aegypti* ani žádný jiný z invazních komárů rodu *Aedes* nekolonizuje Evropu tak úspěšně jako *Ae. albopictus* (Medlock et al. 2012). Mapy znázorňující rozšíření jednotlivých obávaných druhů, jsou pravidelně aktualizovány na stránkách ECDC, i z těch je očividné, že je mezi těmito druhy *Ae. albopictus* dominantní. To, co činí *Ae. albopictus* v rozšiřování areálu výskytu oproti ostatním druhům tak úspěšným, je pravděpodobně jeho schopnost syntetizovat velké množství lipidů a produkovat vyšší množství žloutkového lipidu při nižších teplotách. Lipogeneze je u larev *Ae. albopictus* mnohem učenější než u *Ae. aegypti* (Briegel & Timmermann 2001). Právě to by mohlo částečně vysvětlovat, proč se *Ae. albopictus* může šířit dále na sever (Paupy et al. 2009).

Vzhledem k tomu, že je *Ae. albopictus* v rozšiřování svých stanovišť takto úspěšný, vznikají (stejně jako v mé práci) modely znázorňující predikce osídlení nových lokalit. Jedním z takových, je model znázorňující vhodnost stanovišť pro *Ae. albopictus* z roku 2016 (Cunze et al. 2016). Když srovnáme tyto dva modely je z nich jasně patrné, jak se z oblastí střední vhodností na modelu z roku 2016 stávají oblasti vysoké vhodnosti na našem modelu, tedy z roku 2022. Je to dáno klimatickými daty, které byly v obou případech staženy z databáze Worldclim ovšem model z roku 2016 využil verzi 1.4 ta shrnuje globální klima pro roky 1960-1990, kdežto do našeho modelu byly zahrnuty data 2.1 pro roky 1970-2000. Dá se tedy předpokládat, že pokud se bude klima stále měnit a teplota neustále zvyšovat, což je více než pravděpodobné (Skendžić et al. 2021) budou oblasti označeny v našem modelu za středně vhodné, v rámci několika let představovat oblasti vysoké vhodnosti. To by zahrnovalo také oblasti v České republice, označené střední vhodnosti (tyto oblasti jsou specifikovány ve výsledcích).

Modely mohou představovat také budoucí klimatickou vhodnost. Jeden takový byl pro *Ae. albopictus* vytvořen v roce 2011 (Fischer et al. 2011) klimatická vhodnost zde byla předpovězena pro dva klimatické scénáře. Modely predikují měnící se vhodnost stanovišť pro *Ae. albopictus* od roku 2011 až do roku 2100. Oba scénáře predikují mírný pokles klimatické vhodnosti v jižní Evropě na roky 2011–2040. Pokles je více výrazný v jihozápadních částech

Evropy, i přesto by ale stále měla Itálie a další jihovýchodní části Evropy komárům poskytnou vhodné útočiště. Dále se podle modelu zdá, že se v polovině století středomořské pobřeží Španělska stane pro *Ae. albopictus* nepříznivým. Naopak klimatická vhodnost západní Evropy by se měla zvyšovat. Můžeme očekávat, že Francie se stane klimatickou vhodnou oblastí. Konec století by měl podle výsledku směřovat k nevhodnosti některých západních částí Středomoří, jako je Španělsko. Dnešní mírné oblasti Evropy by se měly vyznačovat kontinentálním gradientem klimatické vhodnosti, zejména střední Evropa by měla být vhodným stanovištěm. Také Spojené království by mělo být v budoucnu vystaveno usazování a šíření *Ae. albopictus*. Náš model nebyl vytvořen pro predikci stanovišť na takovýto časový rozsah, proto zde není prostor na srovnávání. Ovšem i z našeho modelu je zjevné, že se středně mírné oblasti vyskytují dále severněji, než tomu bylo v roce 2011 podle Fischer et al. (2011).

Ze všech výše uvedených modelů včetně našeho vyplývá, že Česká republika je prozatím v reálném bezpečí před zdravotními hrozbami *Ae. albopictus*. Na druhou stranu je ale patrné, že se situace mění a v následujících letech se tak i klimatické podmínky České republiky mohou stát pro *Ae. albopictus* vhodnými. Dle našeho modelu lze mezi rizikové oblasti zařadit hlavně části Ústeckého, Plzeňského, Jihočeského a Jihomoravského kraje. Vzhledem k nejpravděpodobnějšímu zavlečení *Ae. albopictus* s povrchovou dopravou lze doporučit monitoring výskytu právě do okolí dopravních tepen těchto regionů. Je důležité být na tuto situaci připraven, přičemž klíčovou roli může hrát osvěta obyvatel, znalost místních a zaměstnanců firem zabývajících se hubením hmyzu.

7 Závěr

V této práci jsem upozornila na rizika, která nepůvodní druhy představují pro nové lokality. Upozornila jsem na narůstající rychlost jejich zavlékání i aspekty které jsou příčinou tohoto jevu. Pokusila jsem se vystihnout rizika, která sebou přináší hematofágní hmyz a zaměřila se na konkrétní druh komára *Ae. albopictus*, který je v tomto ohledu považován za nejobávanějšího v rámci Evropy.

Na základě dat získaných v této práci lze konstatovat, že v rámci celé Evropy je nejzatíženější zemí v ohledu vhodnosti pro *Ae. albopictus* Itálie, ale středně vhodné podmínky jsou i ve střední, západní i severní Evropě. Dále výsledná mapa ukázala, že většina území České republiky se vyznačuje nízkou environmentální vhodností pro *Ae. albopictus*, na druhou stranu bylo zjištěno, že středně vhodná stanoviště se nachází v části Ústeckého, Plzeňského a Jihočeského kraje. Středně vhodné oblasti byly spočteny také v Jihomoravském kraji podél hranic s Rakouskem a Slovenskem. Vzhledem k predikci této studie a předchozím nálezům introdukovaných komárů v Jihomoravském a Plzeňském kraji lze tyto regiony označit z hlediska výskytu komárů *Ae. albopictus* v rámci České republiky za nejrizikovější. Pro tyto regiony tak lze doporučit pravidelný monitoring zaměřený na *Ae. albopictus*, který je klíčem pro včasnou reakci pro eliminaci či alespoň minimalizaci tohoto druhu.

8 Literatura

- Angelini R et al. 2007. An outbreak of chikungunya fever in the province of Ravenna, Italy. *Euro surveillance : bulletin européen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin* **12**: 3260.
- Arbovirus Catalog - CDC Division of Vector-Borne Diseases (DVBD). (n.d.). Available from <https://wwwn.cdc.gov/arbovat/VirusBrowser.aspx> (accessed April 15, 2022).
- Armbruster PA. 2016. Photoperiodic Diapause and the Establishment of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in North America. *Journal of Medical Entomology* **53**:1013–1023.
- Bale JS, Hayward SAL. 2010. Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology* **213**: 980–994.
- Barve N, Barve V, Jiménez-Valverde A, Lira-Noriega A, Maher SP, Peterson AT, Soberón J, Villalobos F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling* **222**: 1810–1819.
- Batz ZA, Armbruster PA. 2018. Diapause-associated changes in the lipid and metabolite profiles of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus*. *Journal of Experimental Biology* **221**: jeb189480.
- Berg H, Velayudhan R, Ejov M. 2013. Regional framework for surveillance and control of invasive mosquito vectors and re-emerging vector-borne diseases 2014–2020. Health Organization, Office for Europe. Available from www.euro.who.int (accessed March 19, 2022).
- Beyer, H. L. 2004. Hawth's Analysis Tools for ArcGIS. Available from <http://www.spatial ecology.com/htools/tool desc.php>. accessed March 16, 2022).
- Blackburn TM, Pyšek P, Bacher S, Carlton JT, Duncan RP, Jarošík V, Wilson JRU, Richardson DM. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* **26**: 333–339.
- Bond C, Buhl K, Stone D. 2014. Pyrethrins General Fact Sheet. Available from <http://npic.orst.edu/factsheets/pyrethrins.html> (accessed March 18, 2022).
- Bonizzoni M, Gasperi G, Chen X, James AA. 2013. The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. *Trends in parasitology* **29**: 460.
- Bradshaw CJA, Leroy B, Bellard C, Roiz D, Albert C, Fournier A, Barbet-Massin M, Salles JM, Simard F, Courchamp F. 2016. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature Communications* 2016 7: **17**: 1–8.
- Briegel H, Timmermann SE. 2001. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): Physiological Aspects of Development and Reproduction. *Journal of Medical Entomology* **38**: 566–571.

- Bunch TR, Bond C, Buhl K, Stone D. 2014. Spinosad General Fact Sheet. Available from <http://npic.orst.edu/factsheets/spinosadgen.html> (accessed March 17, 2022).
- Brown JL, Bennett JR, French CM. 2017. SDMtoolbox 2.0: the next generation python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ* 5: e4095.
- CDC. 2020. Larvicides. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Available from <https://www.cdc.gov/mosquitoes/mosquito-control/community/larvicides.html> (accessed March 16, 2022).
- CDC. 2020. Adulticides. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Available from <https://www.cdc.gov/mosquitoes/mosquito-control/athome/outside-your-home/adulticides.html> (accessed April 5, 2022).
- CDC. 2017. Surveillance and Control of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* in the USA. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Available from <https://www.cdc.gov/mosquitoes/pdfs/mosquito-control-508.pdf> (accessed April 17, 2022).
- CDC. 2014. Introduction to Public Health Surveillance. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Available from <https://www.cdc.gov/training/publichealth101/surveillance.html> (accessed April 20, 2022).
- Cobos ME, Townsend Peterson A, Barve N, Osorio-Olvera L. 2019. Kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ* **2019**: e6281.
- Craig, Estrada-franco. 1995. Biology, relationship, and control of *Aedes albopictus*
- Cross A, Bond C, Buhl K, Stone D. 2015. Pyriproxyfen General Fact Sheet. Available from <http://npic.orst.edu/factsheets/pyriprogen.html> (accessed March 17, 2022).
- Cunze S, Kochmann J, Koch LK, Klimpel S. 2016. *Aedes albopictus* and Its Environmental Limits in Europe. *PLOS ONE* **11**: e0162116.
- Česká národní rada. 1992. Zákon České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Sbírka zákonů, Česká republika.
- Delatte H, Gimonneau G, Triboire A, Fontenille D. 2009. Influence of Temperature on Immature Development, Survival, Longevity, Fecundity, and Gonotrophic Cycles of *Aedes albopictus*, Vector of Chikungunya and Dengue in the Indian Ocean. *Journal of Medical Entomology* **46**: 33–41.
- Delisle E et al. 2015. Chikungunya outbreak in Montpellier, France, september to october 2014. *Eurosurveillance* **20**: 21108.

- ECDC. 2016. *Aedes albopictus* – Factsheet for experts. European Centre for Disease Prevention and Control. Available from <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/mosquito-factsheets/aedes-albopictus> (accessed February 28, 2022).
- ECDC. 2017. Communicable disease threats report Week 46, 12-18 November 2017. European Centre for Disease Prevention and Control. Available from www.ecdc.europa.eu (accessed March 9, 2022).
- ECDC. 2021. Mosquito maps. European Centre for Disease Prevention and Control. Available from <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps> (accessed March 24, 2022).
- Enserink M. 2008. Entomology: A mosquito goes global. *Science* **320**: 864–866.
- EPA. 2000. Malathion for Mosquito Control. Available from www.epa.gov/region5 (accessed March 18, 2022).
- Essl F et al. 2015. Crossing Frontiers in Tackling Pathways of Biological Invasions. *BioScience* **65**: 769–782.
- Evropský parlament; Rada Evropské unie. 2014. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1143/2014 ze dne 22. října 2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů. Pages 35-55 in *Úřední věst. L, Štrasburk*
- Federal registr gov. 1999. Executive Order 13112 - Invasive Species. Volume 64, Number 25 in *Federal registr, Washington D. C.*
- Fischer D, Thomas SM, Niemitz F, Reineking B, Beierkuhnlein C. 2011. Projection of climatic suitability for *Aedes albopictus* Skuse (Culicidae) in Europe under climate change conditions. *Global and Planetary Change* **78**: 54–64.
- Flacio E, Engeler L, Tonolla M, Lüthy P, Patocchi N. 2015. Strategies of a thirteen year surveillance programme on *Aedes albopictus* (*Stegomyia albopicta*) in southern Switzerland. *Parasites and Vectors* **8**: 1–18.
- Gippet JM, Liebhold AM, Fenn-Moltu G, Bertelsmeier C. 2019. Human-mediated dispersal in insects. *Current Opinion in Insect Science* **35**: 96–102.
- Global Invasive Species Database. 2022. Species profile: *Aedes albopictus*. Available from <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=109> (accessed February 28, 2022).
- Gjenero-Margan I et al. 2011. Autochthonous dengue fever in Croatia, August- September 2010. *Eurosurveillance* **16**: 1–4.
- Görner T, Šíma J, Pergl J. 2021. Invazní nepůvodní druhy s významným dopadem na Evropskou unii jejich charakteristiky, výskyt a možnosti regulace.

- Görner T. 2018. Invazní nepůvodní druhy s významným dopadem na Evropskou unii: jejich charakteristiky, výskyt a možnosti regulace: metodika AOPK ČR.
- Gossner CM, Ducheyne E, Schaffner F. 2018. Increased risk for autochthonous vector-borne infections transmitted by *Aedes albopictus* in continental Europe. *Eurosurveillance* **23**: 1800268.
- Grandadam M et al. 2011. Chikungunya Virus, Southeastern France. *Emerging Infectious Diseases* **17**: 910.
- Gubler D. 1998. Resurgent Vector-Borne Diseases as a Global Health Problem. Centers for Disease Control and Prevention, Fort Collins, Colorado, USA.
- Gubler DJ. 2002. The Global Emergence/Resurgence of Arboviral Diseases As Public Health Problems. *Archives of Medical Research* **33**: 330–342.
- Heitmann A, Jansen S, Lühken R, Helms M, Pluskota B, Becker N, Kuhn C, Schmidt-Chanasit J, Tannich E. 2018. Experimental risk assessment for chikungunya virus transmission based on vector competence, distribution and temperature suitability in Europe, 2018. *Eurosurveillance* **23**: 1800033.
- Hill C, Shaunnessey C, MacDonald J. 2013. The biology and medical importance of mosquitoes in Indiana. Department of entomology cooperative extension service: Northwest Mosquito Abatement District, Wheeling IL 60090.
- Hulme PE. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* **46**: 10–18.
- Josseran L, Paquet C, Zehgnoun A, Caillere N, le Tertre A, Solet JL, Ledrans M. 2006. Chikungunya Disease Outbreak, Reunion Island. *Emerging Infectious Diseases* **12**: 1994.
- Kraemer MUG et al. 2015. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. Albopictus*. *eLife* **4**.
- la Ruche G et al. 2010. First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, september 2010. *Eurosurveillance* **15**: 1–5.
- Marini G, Manica M, Arnoldi D, Inama E, Rosà R, Rizzoli A. 2020. Influence of Temperature on the Life-Cycle Dynamics of *Aedes albopictus* Population Established at Temperate Latitudes: A Laboratory Experiment. *Insects* 2020, Vol. 11, Page 808 **11**: 808.
- Martinet JP, Ferté H, Failloux AB, Schaffner F, Depaquit J. 2019. Mosquitoes of North-Western Europe as Potential Vectors of Arboviruses: A Review. *Viruses* 2019, Vol. 11, Page 1059 **11**: 1059.
- McLaughlin GM, Dearden PK. 2019. Invasive Insects: Management Methods Explored. *Journal of Insect Science* **19**: 1–9.

- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, Bortel W van. 2012. A review of the invasive mosquitoes in Europe: Ecology, public health risks, and control options. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* **12**: 435–447.
- Meurisse N, Rassati D, Hurley BP, Brockerhoff EG, Haack RA. 2019. Common pathways by which non-native forest insects move internationally and domestically. *Journal of Pest Science* **92**: 13–27.
- Miller BR. 2008. Arboviruses. *Encyclopedia of Virology*: 170–176. Academic Press. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123744104006191> (accessed December 7, 2021).
- Müller GC, Kravchenko VD, Junnila A, Schlein Y. 2012. Tree-hole breeding mosquitoes in Israel. *Journal of Vector Ecology* **37**: 102–109.
- Nordell B. 2003. Thermal pollution causes global warming. *Global and Planetary Change* **38**: 305–312.
- Oliveira S, Rocha J, Sousa CA, Capinha C. 2021. Wide and increasing suitability for *Aedes albopictus* in Europe is congruent across distribution models. *Scientific reports* **11**: 9916.
- Parlament. 2000. Zákon 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů Česká republika.
- Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V, Fontenille D. 2009. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: From the darkness to the light. *Microbes and Infection* **11**: 1177–1185.
- Perez J, Bond C, Buhl K, Stone D. 2015. *Bacillus thuringiensis* (Bt) General Fact Sheet. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services.
- Pergl J, Sádlo J, Petrušek A, Pyšek Petr P. 2013. Nepůvodní druhy živočichů a rostlin v ČR: návrh seznamů druhů vyžadujících zvláštní přístup (černý a šedý seznam). Ministerstva životního prostředí ČR.
- Perrings C, Dehnen-Schmutz K, Touza J, Williamson M. 2005. How to manage biological invasions under globalization. *Trends in Ecology & Evolution* **20**: 212–215.
- Phillips SB, Aneja VP, Kang D, Arya SP. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231–259.
- Reiteri IP, Sprenger D. 1987. Theu sed tire trade: a mechanism for the worldwide dispersal of container breeding mosquitoes. *Journal of the American Mosquito control association* **3**: 494.
- Rettich Frantisek, Kulma Martin. 2018. The invasive mosquito *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) firstly recorded in Bohemia, Czech Republic. **67**: 32–35.

- Robinet C, Roques A, Direct AR. 2010. Direct impacts of recent climate warming on insect populations **5**: 132–142.
- Rudolf I, Šebesta O. 2017. Invazivní druhy komárů jako potencionální riziko pro biodiverzitu a přenos nebezpečných nákaz. Nakladatelství Academia, Praha.
- Rudolf I, Blažejová H, Straková P, Šebesta O, Peško J, Mendel J, Šikutová S, Hubálek Z, Kampen H, Schaffner F. 2018. The invasive Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the Czech Republic: Repetitive introduction events highlight the need for extended entomological surveillance. *Acta Tropica* **185**: 239–241.
- Schmidt-Chanasit J, Haditsch M, Schöneberg I, Günther S, Stark K, Frank C. 2010. Dengue virus infection in a traveller returning from Croatia to Germany. *Eurosurveillance* **15**: 2–3.
- Šebesta Oldřich. 2016. Aktuální výskyt invazních druhů komárů v Evropě a riziko jejich šíření do České republiky. Středisko společných činností AV ČR, Praha.
- Šefrová H. 2005. Introduced and Invasive Insect Species in the Czech Republic and Their Impact (Insecta). *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun* **5**: 151–158.
- Šefrová H, Laštůvka Z. 2005. Catalogue of alien animal species in the Czech republic. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun* **4**: 151-170.
- Šefrová H, Laštůvka Z. 2020. Invazní druhy hmyzu po roce 2000 každý rok nejméně dva nové. *Živa* **4**: 189-191.
- Shope RE, Meegan JM. 1997. Arboviruses. *Viral Infections of Humans*. Chapter **6**: 151-152.
- Shrestha S, Fand B. 2019. Effects of Climate Change in Agricultural Insect Pest. *Acta Scientific Agriculture* **3**: 74-80.
- Šíma J. 2017. Legislativa v oblasti nepůvodních a invazních druhů a její změny. *fórum ochrany přírody* **3**: 14-18.
- Skendžić S, Zovko M, Živković IP, Lešić V, Lemić D. 2021. Effect of Climate Change on Introduced and Native Agricultural Invasive Insect Pests in Europe. *Insects* **12**: 985.
- Takken W, Knols BGJ, editors. 2007. *Emerging pests and vector-borne diseases in Europe*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Weaver SC, Reisen WK. 2010. Present and future arboviral threats. *Antiviral Research* **85**: 328–345.
- WHO. 2022. Dengue and severe dengue. World Health Organisation. Available from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue> (accessed April 5, 2022).

