

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství (FAPPZ)**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Invazní druhy rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě:  
bionomie, význam, šíření  
Bakalářská práce**

**Viktória Balázsová  
Chov zájmových zvířat (PETIBE)**

**Ing. Martin Kulma, Ph.D.**

© 2023 ČZU v Praze

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Invazní druhy rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě: bionomie, význam, šíření" jsem vypracoval(a) 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 28.dubna 2024

---

## **Poděkování**

Ráda bych vyjádřila svou vděčnost všem, kteří mi poskytli podporu a inspiraci při psaní této bakalářské práce. Zejména bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce, Ing. Martinu Kulmovi Ph.D., za jeho cenné rady, trpělivost a odborné vedení během celého procesu. Také bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za jejich morální oporu a pochopení v průběhu mého studia. Nakonec bych chtěla vyjádřit vděk všem učitelům a přednášejícím, kteří mi pomohli rozvíjet mé akademické dovednosti a pochopení zkoumané problematiky.

# Invazní druhy rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě: bionomie, význam, šíření

## Souhrn

V posledních letech dochází ve střední Evropě k rozšíření introdukovaných synantropních druhů z řádu Zygentoma, především *Ctenolepisma longicaudatum* a *Ctenolepisma calvum*. Nedávno byl potvrzen výskyt těchto dvou nepůvodních druhů rybenek i v České republice. Tato práce se zaměřuje na podrobný popis historie šíření, význam a metody hubení těchto invazních druhů rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě a v České republice.

*Ctenolepisma longicaudatum* je invazní druh rybenky, který projevuje vysokou toleranci vůči nízké vlhkosti a teplotám. Byl pasivně zavlečen do většiny evropských oblastí, a jeho přítomnost může vyvolávat stres a nepohodlí u osob žijících nebo pracujících v postižených oblastech. Může způsobovat poškození organických materiálů, kontaminaci potravin a přenos mikrobů. Šíření tohoto druhu v evropských zemích rychle pokračuje, přičemž jeho hlavním biotopem jsou domácí prostředí. Druh je často nalezen v ubytovacích zařízeních, skladech, továrnách, veřejných institucích, nákupních centrech, archivech, muzeích a uměleckých galeriích, což naznačuje jeho schopnost adaptace na různá vnitřní prostředí. Studie zdůrazňuje naléhavou potřebu vypracování účinné strategie ochrany před škůdci a prevence.

Informace o biologii *Ctenolepisma calvum* jsou kusé. Práce popisuje jeho preferované stanoviště v budovách, klimatické požadavky a potenciál působit jako nový škůdce v muzeích ve střední Evropě. Zdá se, že tento druh dobře prosperuje při pokojové teplotě, a diskutuje o jeho možném invazivním dopadu v budoucnosti, v důsledku změn klimatu.

V práci jsou popsány doposud známé a ověřené metody hubení těchto invazních škůdců, jejich efektivnost při používání a rizika s tím spjaté. Ověřených a spolehlivých metod hubení těchto invazních škůdců zatím není mnoho, existuje však několik způsobů, jak invazi aspoň z části předejít, a to například použitím vhodných chemických prostředků, pravidelnou biologickou kontrolou nebo mechanicky.

**Klíčová slova:** *Ctenolepisma calvum*, *Ctenolepisma longicaudata*, invazní druhy, škůdci

# Invasive *Ctenolepisma* silverfish in Europe: bionomy, importance, spread

## Summary

In recent years, introduced synanthropic species of the order Zygentoma, especially *Ctenolepisma longicaudatum* and *Ctenolepisma calvum*, have been spreading in Central Europe. Recently, the occurrence of these two non-native species has been confirmed in the Czech Republic. This paper focuses on a detailed description of the history of the spread, importance and control methods of these invasive species of *Ctenolepisma* in Europe and the Czech Republic.

*Ctenolepisma longicaudatum* is an invasive species of term that shows high tolerance to low humidity and temperatures. It has been passively introduced into most European areas, and its presence can cause stress and discomfort to people living or working in affected areas. It can cause damage to organic materials, contamination of foodstuffs and transmission of microbes. The spread of this species in European countries is continuing rapidly, with domestic environments being its main habitat. The species is often found in accommodation, warehouses, factories, public institutions, shopping centres, archives, museums and art galleries, indicating its ability to adapt to different indoor environments. The study highlights the urgent need to develop an effective pest management and prevention strategy.

Information on the biology of *Ctenolepisma calvum* is scarce. The paper describes its preferred habitat in buildings, climatic requirements and its potential to act as a new pest in museums in Central Europe. The species seems to thrive well at room temperature, and discusses its possible invasive impact in the future, due to climate change.

The paper describes the methods known and proven to date for controlling these invasive pests, their effectiveness when used and the risks involved. There are not yet many proven and reliable methods of controlling these invasive pests, but there are several ways to prevent at least part of the invasion, for example by using appropriate chemical means, regular biological control or mechanically.

**Keywords:** *Ctenolepisma calvum*, *Ctenolepisma longicaudata*, invasive species, pests

# Obsah

1 Úvod.....	7
2 Cíl práce .....	8
3 Literární rešerše .....	9
<b>3.1 Invazní druhy rodu <i>Ctenolepisma</i>.....</b>	<b>9</b>
3.1.1 Morfologie a anatomie.....	9
3.1.2 Biologický cyklus .....	11
3.1.3 Ekologie.....	16
3.1.4 Stanoviště a prostředí.....	16
<b>3.2 Historie šíření invazních druhů rodu <i>Ctenolepisma</i> .....</b>	<b>17</b>
3.2.1 Mechanismy šíření .....	17
3.2.2 Invaze <i>Ctenolepisma longicaudatum</i> v Evropě .....	18
3.2.3 Invaze <i>Ctenolepisma calvum</i> v Evropě.....	21
3.2.4 Invaze v České republice .....	24
<b>3.3 Význam invazních rybenek rodu <i>Ctenolepisma</i> .....</b>	<b>25</b>
3.3.1 Ekonomické a sociální dopady přítomnosti invazních druhů.....	25
3.3.2 Zdravotní rizika spojená s výskytem v lidských obydlích.....	26
<b>3.4 Metody hubení invazních rybenek rodu <i>Ctenolepisma</i>.....</b>	<b>26</b>
3.4.1 Přehled dostupných metod kontroly a hubení. ....	27
3.4.2 Efektivita a rizika spojená s různými přístupy .....	28
3.4.3 Aktuální trendy v boji proti invazním rybenkám .....	28
4 Závěr.....	30
5 Literatura.....	31

# 1 Úvod

V čeledi Lepismatidae, starobylé skupině primitivního bezkřídlého hmyzu, nalezneme více než 500 druhů, z nichž většina obývá venkovní prostředí (Hage et al. 2020). Vzácněji se některé druhy této čeledi, známé také jako rybenky, úspěšně přizpůsobily městskému prostředí a staly se problematickými škůdci (Molero-Baltanás et al. 2017). Mezi ně patří i druhy *Ctenolepisma longicaudatu* a *Ctenolepisma calvum*, kterým věnujeme pozornost v této práci (Kulma et al. 2021).

Synantropní druhy rybenek se obecně živí materiály s vysokým obsahem škrobu a bílkovin, a mohou tak způsobit škody na dokumentech, knihách, fotografiích, tapetách a textiliích (Mallis et al. 1958). Zatímco škody způsobené *Ctenolepisma longicaudatum* byly zaznamenány jak v domácím prostředí, tak v galeriích, muzeích, knihovnách a dalších podobných zařízeních, dosud neexistují žádné zdokumentované záznamy o poškození způsobeném druhem *Ctenolepisma calvum* v domácím prostředí (Aak et al., 2019).

Kromě toho je známo, že druh *Ctenolepisma calvum* je alergenní a přenáší oportunní bakterie (Kulma et al. 2021; Barletta et al. 2007) a proto je jeho potenciální význam z hlediska veřejného zdraví důležitým faktorem, který by měl být brán v úvahu (Kulma et al. 2021; Barletta et al. 2007).

Dostupné údaje o *Ctenolepisma longicaudatum* a současném rozšíření tohoto druh v Evropě ukazují, že se vyskytuje na celém kontinentu včetně Skandinávie. Tento posun *Ctenolepisma longicaudatum* na sever lze vysvětlit použitím izolace a ústředního vytápění k zajištění optimálního klimatu pro usazení druhu (Kulma et al. 2021).

V České republice bylo od prvního nálezu druhu *Ctenolepisma longicaudatum* v roce 2017 až do roku 2021 zaznamenáno 20 nálezů ze 14 obcí v osmi krajích.

Obiologii *Ctenolepisma calvum* je zatím známo jen málo. V posledních letech se rychle rozšířil po celé Evropě i mimo ni. Od jeho prvního nálezu v Evropě v roce 2003 až do roku 2022 byl tento druh zaznamenán v 18 zemích Evropy, a předpokládá se, že tomuto druhu se daří při pokojové teplotě (Querner et al. 2022).

Druh *Ctenolepisma longicaudatum* je považován za obtížněji vyhubitelného, protože je schopen přizpůsobit se širší škále podmínek (Aak et al. 2020).

Pro dosažení účinného hubení těchto škůdců je nezbytné zkoumat a implementovat strategie hubení, které budou účinné a šetrné k životnímu prostředí. Mezi ověřené metody hubení invazních druhů rodu *Ctenolepisma* patří například použití nástrah, které využívají úspěšné strategie aplikované proti švábům, a důkladná hygienická opatření k odstranění potravních zdrojů a úkrytů (Aak et al. 2020).

## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo na základě přehledu dostupné odborné a vědecké literatury popsat bionomii, historii šíření, význam a metody hubení invazních rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě a České republice.



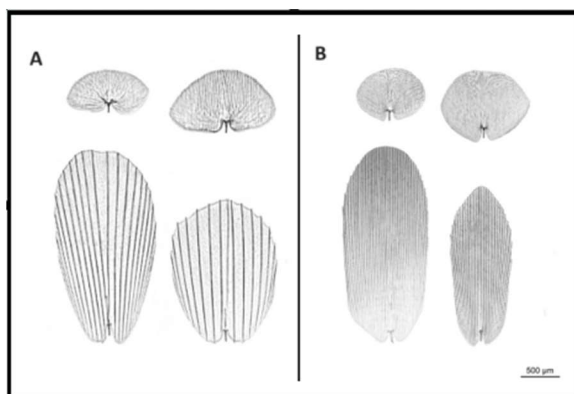
## 3 Literární rešerše

### 3.1 Invazní druhy rodu *Ctenolepisma*

*Ctenolepisma longicaudatum* Escherich 1905, druh známý také pod obecným jménem rybenka papírová, je synantropní invazní škůdce patřící do řádu *Zygentoma*, čeledi Lepismatidae a stejně tak i druh *Ctenolepisma calvum* Ritter 1910. Původní areál výskytu *Ctenolepisma longicaudatum* je nejistý, i když někteří autoři spekulují, že by mohl pocházet z centrálních částí Ameriky. Druh byl popsán německým entomologem a profesorem zoologie Karlem Leopoldem Escherichem v roce 1905 na základě typového materiálu shromážděného v Oranžském svobodném státě v Jihoafrické republice (Kulma et al. 2021). *Ctenolepisma calvum*, poprvé popsán v roce 1910 Ritterem na Srí Lance na ostrově Cejlon. Srí Lanka tak zůstává s velkou pravděpodobností původní lokalitou *Ctenolepisma calvum*. Je důležité poznamenat, že dodnes byl tento druh identifikován pouze v budovách, a jeho přirozené prostředí ještě není známo (Kulma et al. 2022).

#### 3.1.1 Morfologie a anatomie

Rybenka je primitivní bezkřídlý hmyz. Samice běžně dosahují délky 10–12 mm, zatímco samci jsou o něco kratší. Nicméně byly zaznamenány i ojedinělé exempláře o délce až 25 mm (Molero-Baltanás et al. 2010; Labuda 2023). Při pozorování odchycených exemplářů *Ctenolepisma calvum* na Slovensku, bylo zjištěno, že tento druh je výrazně menší než *Ctenolepisma longicaudatum*. Maximální délka *Ctenolepisma calvum* odchycených na Slovensku byla 8 mm (Bednár et al. 2024). Nicméně podle Shimada et al. (2022) byly zaznamenáni i jedinci, kteří dosahovali délky 12 mm. Jejich tělo má výrazný tvar slzy nebo mrkve, je rozšířené v oblasti hlavy a zužuje se směrem k zadní části, přičemž je bilaterálně symetrické, což znamená, že živočicha lze v jedné rovině rozdělit na dvě zrcadlově obrácené poloviny (Labuda 2023). Jejich tělo je pokryto drobnými lesklými šupinami, což je pro tento rod naprosto charakteristickým poznávacím znakem (Phillips & Gillett-Kaufman 2018). Šupiny se tvarově u obou invazních druhů liší (Obrázek 1) (Bednár et al. 2024). Tělo je rozděleno na jedenáct článků a je vybaveno šesti končetinami (Labuda 2023). Na posledních zadečkových člancích se nachází štěty, přičemž pár dlouhých tenkých štětů směřuje do stran pod téměř devadesáti stupňovým úhlem a jeden centrální štět je protažen kaudálně v rovině těla (Phillips & Gillett-Kaufman 2018).



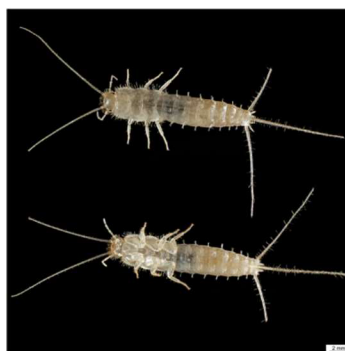
Obrázek 1: Porovnání šupin: A) *Ctenolepisma calvum*, B) *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Bednár et al. 2024).

Rybenky jsou noční živočichové a jen zřídka je lze spatřit ve dne (Richards & Davies 2013). Mají čelisti, které slouží k přijímání potravy a dvě malé složené oči, kterými jsou schopné rozlišovat světlo a tmu. Rybenky jsou heterotermní, což znamená, že jejich tělesná teplota se mění s okolní teplotou, nemají žádný nebo špatně vyvinutý mechanismus pro regulaci vnitřní tělesné teploty (Labuda, 2023).

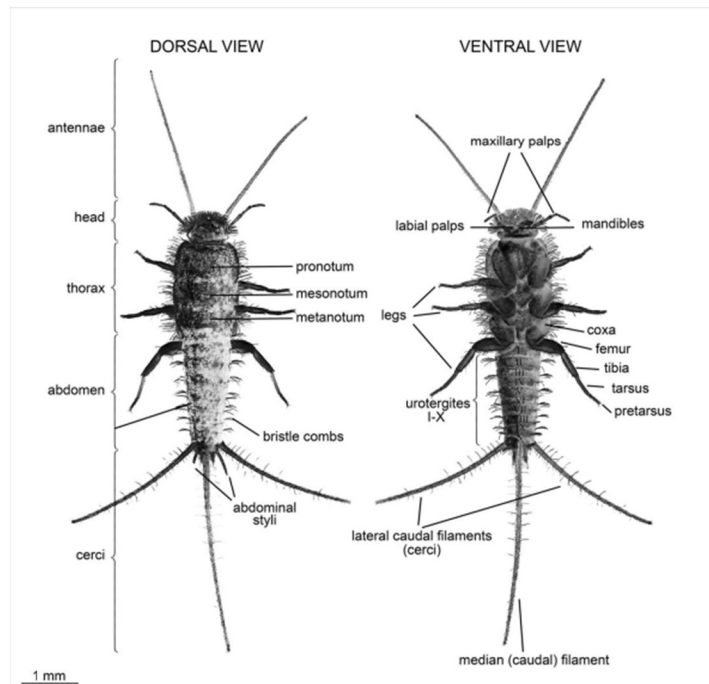
I přesto, že jsou rybenky často stříbrné, některé druhy mohou být také hnědé nebo tmavohnědé (Obrázek 2 a 3). To se konkrétně týká i druhu *Ctenolepisma longicaudatum* (Labuda 2023). Druh *Ctenolepisma calvum* má horní část těla bělavou a lesklou s jednotlivě vyrůstajícími šupinami. Všechny šupiny na těle směřují k zadní části těla. Cerky na konci těla, jsou přibližně stejně dlouhé jako tělo a snadno se odlamují (Obrázek 4). Samotné tělo, bez tykadél a cerků může dosáhnout délky až 8 mm. Navzdory těmto znakům je stále mnoho neznámých informací ohledně délky jejich života a rozmnožovacího cyklu (Kulma et al. 2022).



Obrázek 2: *Ctenolepisma longicaudatum* z dorzálního a ventrálního pohledu (zdroj: Bednár et al. 2024).



Obrázek 3: *Ctenolepisma calvum* z dorzálního a ventrálního pohledu (zdroj: Bednár et al. 2024).



Obrázek 4: Morfologické znaky čeledi Lepismatidae na příkladu *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Bednár et al. 2024).

### 3.1.2 Biologický cyklus

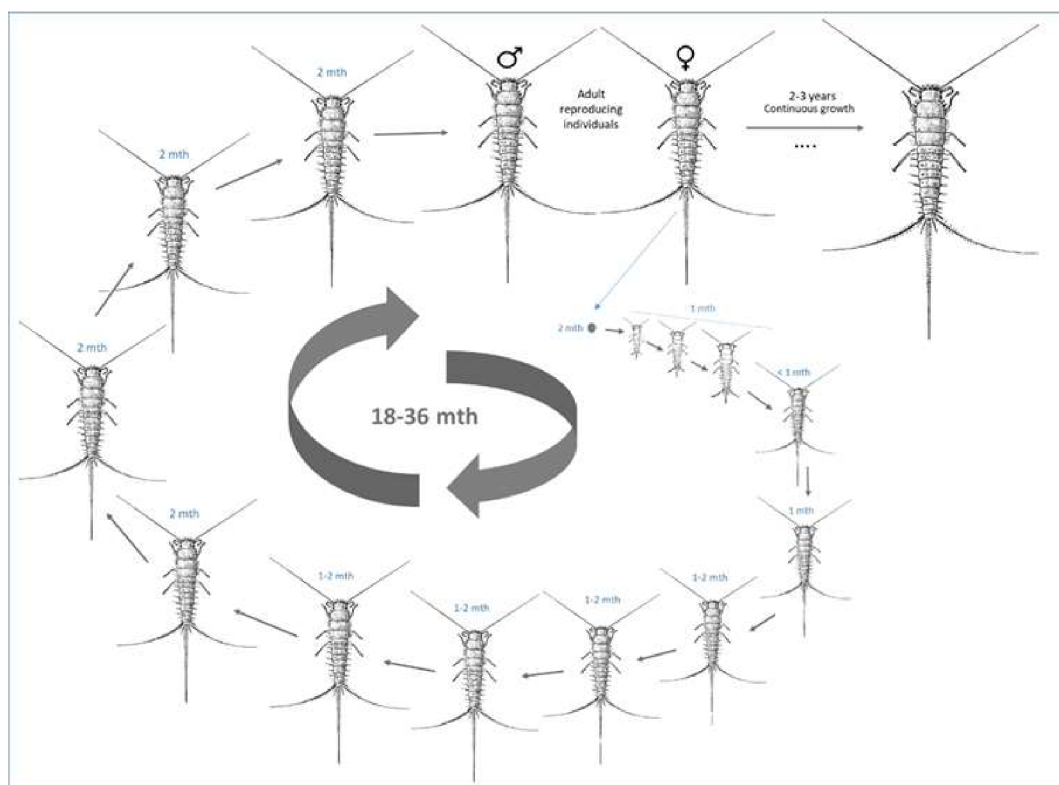
Rybenky jsou druhem hmyzu s proměnou nedokonalou. Životní cykly takového hmyzu se vyznačují tím, že dospělý jedinec klade vajíčka, a nově vylíhnutí nedospělí jedinci jsou sice malí ale dosti podobní dospělým a postupně rostou prostřednictvím svlékání. Než nedospělý hmyz dosáhne dospělého stádia a vyvine se v pohlavně dospělého jedince, musí se během svého života několikrát svléknout (Obrázek 5). Počet svléků během života závisí na druhu (Querner et al. 2022). Nedospělé rybenky se svlékají šestkrát až sedmkrát, dokud nedosáhnou dospělého, nebo alespoň pohlavně dospělého stádia. Jakmile je rybenka ve stádiu dospělého jedince, nemá pevně stanovený počet instarů, ale bylo zaznamenáno, že se celkově svléká 25 až 66 krát během života (Richards & Davies 2013).

Páření rybenek začíná tím, že samec a samice na sebe klepou tykadly. Samec pak předává své spermatofoxy, které obsahují samčí gamety, do blízkosti samice. Samice rybenky spermatoru ukládá do svého vejcovodu (Walker et al. 2013). Vajíčka jsou kladena ve snůškách po sedmi až dvanácti kusech, přičemž samice obvykle nemohou naklást více než 30 vajíček najednou (Richards & Davies 2013). Doba životního cyklu od vajíčka po reprodukčně zralého jedince je obvykle jeden rok (DeVries & Appel 2013).

Druh *Ctenolepisma calvum* by se podle nedávné studie v Japonsku mohl rozmnožovat partenogeneticky, což naznačuje, že populace těchto hmyzích škůdců by mohla rychle narůstat bez potřeby samců. Tato schopnost by mohla mít významné důsledky pro šíření tohoto druhu v různých prostředích, včetně muzeí a knihoven (Watanabe et al. 2023).

Hmyz, který prochází obdobím svlékání, se stává pasivním až do té doby, než neshodí své staré části. Předtím, než se hmyz zbaví svého starého exoskeletu, dochází k řadě vnitřními fyziologickým procesům. Podélně rozštěpí kutikulu a vynoří se jako noví a o něco větší jedinci

(Gullan & Cranston 2014). Rychlost růstu mezi jednotlivými stádii je u *Ctenolepisma longicaudatum* 10-25 %, závisí však na přístupu k potravě a podmínkách prostředí. Trvale špatné podmínky mohou mít následně za následek menší fitness jedince (Aak et al. 2019).



Obrázek 5: Ilustrace vývoje *Ctenolepisma longicaudatum* od vajíčka po dospělé (zdroj: Aak et al., 2019).

*Ctenolepisma longicaudatum* se stává dospělcem s plně vyvinutými pohlavními orgány, ve 14. stádiu. Samci a samice jsou si do značné míry podobní, ale samice mají dorzální straně těla úzký otvor ve tvaru písmene V a jasně viditelné kladélko pro kladení vajíček, zatímco samci mají otvor spíše ve tvaru písmene U a penis (Obrázek 6). Celkový reprodukční potenciál tohoto druhu hmyzu souvisí s abiotickými podmínkami, výživou a věkem (Price et al. 2011).



Obrázek 6: Pohlavní orgány samce a samice *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Aak et al., 2019).

Svlékání a růst pokračují i po dosažení pohlavní dospělosti, ale přírůstek velikosti se snižuje, protože zdroje se přesouvají z růstu na přežití, rozmnožování a nápravu škod (Lindsay 1939). Při každém svleku, je rybenka schopna opravit poškozené části těla a regenerovat (Buck & Edwards 1990). Doba, kterou tento hmyz stráví v jednotlivých stádiích, závisí na teplotě a přístupu k potravě, ale předpokládá se, že při optimálních podmínkách se mohou vyvinout do dospělosti během 18 měsíců. I když je naše vnitřní prostředí stabilní, výkyvy teplot a změny vlhkosti během dne a celého roku omezují příznivé podmínky, a tím prodlužují životní cyklus. V takovém proměnlivém prostředí se dá předpokládat, že životní cyklus rybenky bude trvat přibližně 3 roky (Obrázek 5) (Aak et al. 2019).

Samice kladou vajíčka samostatně nebo ve shlucích. Obvykle je ale najednou nakladeno až 10 vajíček. Jsou oválná s hladkým povrchem, krémové až žlutohnědé barvy (Obrázek 7) (Lindsay 1939). Velikost vajíček se u každého z druhů liší. Pro *Ctenolepisma calvum* platí, že jsou 0,02 - 0,90 mm dlouhé a 0,02 - 0,65 mm široké (Shimada et al. 2022). Zatímco druh *Ctenolepisma longicaudatum* má velikost vajíček o něco větší a to přibližně 1,15 mm dlouhá a 0,83 mm široká (Lindsay 1939). Vajíčka jsou samičí kladena do trhlin a štěrbin, aby byly ukryté na chráněných místech s příznivými podmínkami pro přežití a vývoj nových jedinců. V laboratorních kulturách je *Ctenolepisma longicaudatum* a dalším druhům z čeledi *Lepismatidae* poskytován bavlněný materiál pro kladení vajíček (Whittington et al. 1996; Woodbury & Gries 2013). Při pokojové teplotě 20-22 °C se vajíčka líhnou přibližně za 2 měsíce (Aak et al. 2019).

Z vajíčka se vylíhnou nymfy prvního instaru, které jsou u *Ctenolepisma longicaudatum* velké asi 2,9 mm a u *Ctenolepisma calvum* přibližně 1,7–2,0 mm, ty se pak od pozdějších instarů liší tím, že jsou světle zbarvené, částečně průhledné a mají krátká tykadla a zadečkové štěty (Obrázek 8). K otevření vajíčka mají líhnoucí se rybenky orgán ve tvaru drobného zoubku na hlavě. Při pokojové teplotě trvá toto stadium pouze několik dní. Předpokládá se, že první

stadium je pasivní, protože si nese dostatek potravy z vajíčka, a proto je pozorováno jen zřídka (Lindsay 1939; Watanabe et al. 2023).



Obrázek 7: Vajíčka *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Aak et al., 2019)



Obrázek 8: První instar *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Aak et al., 2019)

Druhý a třetí instar představují klíčové fáze v růstu a vývoji tohoto hmyzu. Tyto stádia, s délkou těla kolem 3,4 až 4,4 mm, se svým tvarem podobají větším jedincům, avšak se výrazně liší v určitých charakteristikách. V ideálních podmínkách stráví v každém z těchto stadií pouze 1-2 týdny. Jedním z hlavních rozdílů je množství chlupů, které jsou v těchto instarech méně výrazné než u dospělců, a zcela chybí šupiny. Navíc tato stádia nejsou tak rovnoměrně zúžená směrem k zadečkovým štětům jako dospělí jedinci. Druhý instar, má tendenci být bílý nebo mírně nažloutle zbarvený (Obrázek 9). Naopak třetí instar, který stráví ve stejných podmínkách stejnou dobu, má více krémovou až žlutohnědou barvu s fialovým nádechem v zadní části těla a na okrajích těla (Lindsay 1939).



Obrázek 9: druhý instar *Ctenolepisma longicaudatum* (zdroj: Aak et al., 2019).

Ve čtvrtém až osmém instaru, s délkou těla kolem 4,8-5,5 mm, se nymfy druhu začínají více podobat dospělcům (Obrázek 10). Avšak stále postrádají jakékoli struktury spojené s rozmnožováním, což je jedním z klíčových rozdílů. Tato stadia lze nejlépe popsat jako zmenšeniny dospělců, protože jsou pokryta šupinami, mají charakteristický tvar, dlouhá tykadla a ocasní vlákna (Lindsay 1939).

Za optimálních podmínek trvají druhý až třetí instar 1-2 týdny, zatímco čtvrtý až osmý instar, představující stadia podobná dospělcům, trvají 2 až 7 týdnů. Doba strávená v jednotlivých stádiích se postupně prodlužuje, což odráží složitý proces vývoje tohoto druhu (Aak et al. 2019).



Obrázek 10: Morfologie *Ctenolepisma longicaudatum* ve 4. až 8. instaru (zdroj: Aak et al., 2019).



Obrázek 11: Morfologie *Ctenolepisma longicaudatum* v instaru 9. až 13. Viditelné styli ukazují na začátek vývoje pohlavních orgánů (zdroj: Aak et al. 2019).

K dozrávání jedince dochází postupně od osmého do třináctého stadia, tyto nymfy jsou asi 5,7-9,7 mm velké, a ještě více se podobají dospělcům (Obrázek 11). Vybíjejí se vnitřní struktury a na dorzální straně zadečku můžeme pozorovat rozmnožovací orgány. Tyto znaky se nacházejí na abdominální straně hmyzu a bez dobrého zvětšení mohou být obtížně pozorovatelné. Doba strávená v jednotlivých stádiích se během vývoje prodlužuje a dosahuje 5 až 9 týdnů na jedno stádium. V osmém stadiu je možné rozlišit pohlaví (Lindsay 1939).

*Ctenolepisma longicaudatum* může za dobrých podmínek žít dlouho a naklást mnoho vajíček. To jim umožňuje vytvářet rozsáhlé infestace. Ve velkých laboratorních kulturách bylo zaznamenáno průměrně 50 vajíček na samici za rok. Zatímco někteří členovci vykazují sezónnost v reprodukčním úsilí, avšak *Ctenolepisma longicaudatum* projevuje stálou produkci po celý rok. Lze proto očekávat relativně stabilní růst populace v celoročně vytápěných budovách (Lindsay, 1939).

### 3.1.3 Ekologie

Primárním zdrojem potravy rybenek jsou materiály s vysokým obsahem škrobu a bílkovin, jako je například papír a dřevo (DeVries & Appel 2014). Je ale prokázáno, že se živí obecně cukry, celulórou, lnem, hedvábím, bavlnou, zeleninou, obilovinami a sušeným masem (DeVries & Appel 2013; Bai et al. 2020). Je důležité zmínit, že rybenky se živí i mrtvým hmyzem včetně jiných mrtvých rybenek, díky čemuž můžeme využít efektu sekundární otravy při jejich hubení (Wing et al. 2000; Buczkowski et al. 2008). Bylo zjištěno, že rybenky upřednostňují glazovaný papír, což je papír, který byl potažen vrstvou bohatou na škrob, aby papíru dodal hladké a lesklé vlastnosti (Phillips & Gillett-Kaufman 2018). Při nedostatku potravy vydrží dlouho hladovět. Byly zaznamenány exempláře, které vydržely 307 dní bez potravy (Smith 2017).

Tento malý hmyz může být vystaven predaci ze strany stonožek, pavouků a svilušek. Díky svým šupinám, které mají podobnou strukturu jako šupiny ryb a snadno se oddělují, jsou schopny snadno uniknout predátorovi či ze sítě, do které se zachytí. Tato schopnost je důležitá pro jejich přežití a zabezpečuje jim možnost úniku před nebezpečím. Rybenky vyvinuly noční aktivitu, což jim umožňuje minimalizovat riziko predace či poškození během denní doby. Navíc rybenky navazují symbiotické interakce s jinými druhy hmyzu, často je můžeme vidět v hnízdech mravenců a termitů. Tato forma vztahu, známá jako "hnízdni komensalismus", přináší oběma stranám určité výhody. Rybenky využívají prostředí hnízda k ochraně a zajištění zdrojů potravy, zatímco hostitelský hmyz není přímo ovlivněn jejich přítomností (Labuda 2023).

V přirozeném prostředí jsou rybenky důležitými články v ekosystému, kde plní roli rozkladačů organické hmoty, jako je odumřelé listí a dřevo. Tímto způsobem přispívají k cyklu živin a recyklaci organického materiálu, což má zásadní vliv na udržení biologické rovnováhy v daném prostředí (Labuda 2023).

### 3.1.4 Stanoviště a prostředí

Mikrostanoviště, kde byl hmyz pozorován nebo chycen, naznačují, že preferují teploty mezi 22–27 °C a relativně suché klima, avšak jsou schopny přežít širokou škálu teplot. (DeVries & Appel 2013, 2014). Pascal Guerner (2022) na svém pozorování zjistil, že se nacházejí v domácnostech s podlahovým vytápěním, a ještě v častějších případech v muzeích s teplými a suchými interiéry. Nacházejí se také v místnostech s kamennými nebo parketovými podlahami a mohou se dokonce schovat v elektrických zásuvkách. Oba druhy, *Ctenolepisma longicaudatum* i *Ctenolepisma calvum* mají schopnost lézt po stěnách, a tak je během dne můžeme často pozorovat schované za obrazy (Querner et al. 2022).



Rybenky jsou spíše plachý a noční hmyz, proto se jejich výskyt v muzeích zvýšil během COVID-19, kdy byla návštěvnost na dlouhou dobu omezena, nebo byly muzea často úplně uzavřena a neprobíhala pravidelná kontrola a dezinfekce (Brimblecombe et al. 2021). To naznačuje, jak mohou změny v aktivitě a vnitřním klimatu ovlivnit i takto malé škůdce. Změny klimatu, které do mírného pásu přinášejí rostoucí teploty, pravděpodobně ovlivní populace tohoto druhu, což je zvláště důležité právě pro muzea (Querner et al. 2022).

V souladu s jiným hmyzem, byl obecně v muzeích pozorován nárůst úlovků rybenek, konkrétně rybenky *L. saccharinum*, nebo výše zmiňovaná invazní *Ctenolepisma longicaudatum*, která se stále hojněji vyskytuje v celé Evropě. Vysoké počty jedinců se často vyskytují v místnostech s vysokou vlhkostí nebo na lepových pastích, a to i tam, kde je vlhkost nižší, než rybenky upřednostňují. Nymfy vyžadují vysokou vlhkost, avšak dospělí jedinci a větší hmyz jsou schopni překonávat větší vzdálenosti, aby dosáhli nových oblastí s příznivým mikroklimatem (Brimblecombe et al. 2021; Querner et al. 2022).

### 3.2 Historie šíření invazních druhů rodu *Ctenolepisma*

V posledních letech jsme byli svědky nárůstu synantropních druhů *Zygentoma* ve střední Evropě, přičemž byly v souvislosti s lidskou činností introdukovány nové druhy, které se šíří po celém kontinentu (Querner et al. 2022). V současné době je ve střední Evropě pravidelně evidováno šest fakultativně synantropních druhů: *L. saccharinum*, *Thermobia domestica*, *Atelura formicaria* (druh žijící v mravenčích hnízdech) a tři nedávno zavlečené druhy: invazní *Ctenolepisma longicaudatum*, *C. lineatum* a *C. calvum*. (Querner et al., 2022). *A. formicaria* se omezuje hlavně na stanoviště mimo budovy, zatímco všechny ostatní druhy většinou souvisí s lidskou činností a byly nalezeny v interiérech (Christian 1994).

Druh *C. calvum*, byl poprvé objeven a popsán na Srí Lance. Vzhledem k původu na Cejlonu lze očekávat preference vyšších teplot a vlhkosti pro přežití a reprodukci. *C. calvum* prospívá pokojová teplota a mírná vlhkost, i když přesné klimatické požadavky tohoto druhu stále nejsou známy. Takové preference rovněž odpovídají následným nálezům *C. calvum* ve Střední Americe, kde byl zmíněn jako nejběžnější druh v lidských obydlích, zejména v Havaně na Kubě v 70. letech. Zda je dnes na Kubě druh stále rozšířen, zůstává neznámé, stejně jako u jeho výskytu a rozšíření v domácnostech na Srí Lance (Querner et al., 2022).

*C. longicaudatum*, ačkoliv byl tento rovněž nepůvodní druh, poprvé popsán v Jižní Africe (Escherich 1905), jeho původní areál a původ jsou nejasné. Podle Zettela (2010) tento druh může pocházet ze středních částí Ameriky, zatímco Wygodzinsky (1972) jej v této oblasti označil za nepůvodní. Odtud byl nepřímo zavlečen lidskou činností, zejména jako kontaminant přepravovaných komodit, na všechny kontinenty s výjimkou Antarktidy (Kulma et al., 2018).

#### 3.2.1 Mechanismy šíření

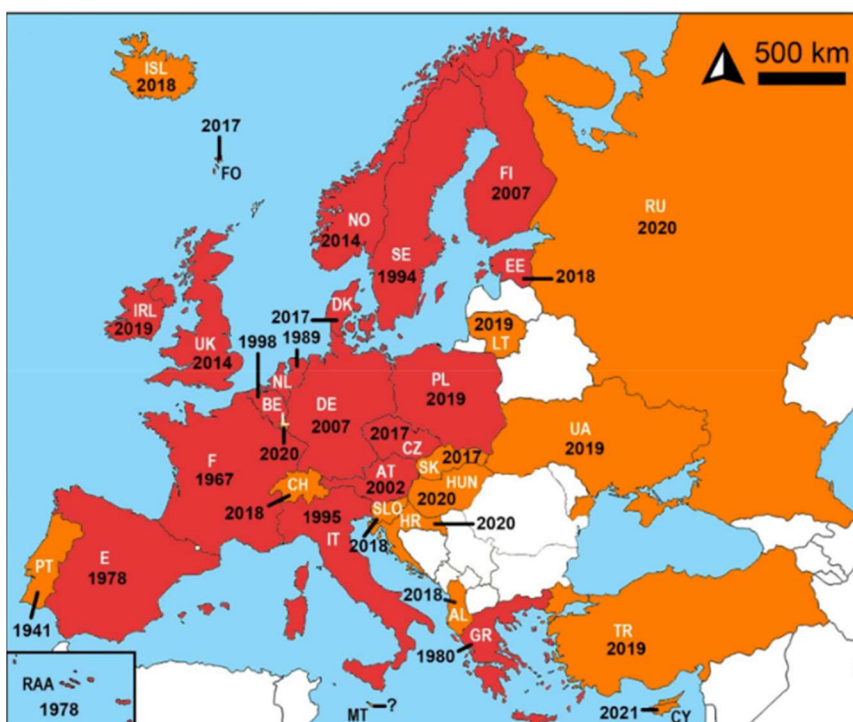
Obecně existuje několik metod šíření invazních druhů, které se pravděpodobně týkají i *Ctenolepisma calvum* a *Ctenolepisma longicaudatum*. Mezi tyto metody patří například přenos invazních druhů pomocí lidských aktivit, jako je přeprava materiálů, zboží nebo nákladů z jednoho místa na druhé. To může zahrnovat přenos invazních druhů na stavbách, v nákladních lodích, v dopravních prostředcích nebo při obchodování s rostlinami či zvířaty. Dalším identifikovaným způsobem zavlečení invazních druhů je přenos prostřednictvím obalů,

kontejnerů a palet, které mohou být přenášeny mezi různými regiony a zeměmi, což potvrzují i pravidelné nálezy *Ctenolepisma calvum* a dalších druhů *Zygentoma* v muzeích na lapačích hmyzu (Querner et al. 2022). Výzkum ukazuje, že ani jeden druh rybenek (*Ctenolepisma calvum* a *Ctenolepisma longicaudatum*) není schopen přežít zimu mimo budovy v mrazivých podmínkách, což naznačuje, že výše zmíněné metody by opravdu odpovídaly tomu, jak se tyto dva invazní druhy pravděpodobně dostaly do Evropy (Kulma et al. 2018).

Tyto metody šíření jsou klíčové pro pochopení dynamiky a rozšíření invazních druhů v různých prostředích a vyžadují pozornost při plánování opatření pro hubení a prevenci jejich šíření (Kulma et al. 2018).

### 3.2.2 Invaze *Ctenolepisma longicaudatum* v Evropě

V Evropě byl první jedinec odchycen ve Francii v roce 1914. Noční a skrytý způsob života tohoto druhu však pravděpodobně způsobil, že *Ctenolepisma longicaudatum* zůstal nedostatečně zaznamenán a rozšíření tohoto druhu rybenky v několika evropských zemích bylo potvrzeno až v posledních desetiletích (Kulma et al. 2018). Na základě rešerší ve vybraných databázích, a kromě již dříve publikovaných a potvrzených výskytů se dá velká většina evropského území považovat za napadenou *Ctenolepisma longicaudatum* (Obrázek 12). Nejstarší ověřený záznam o výskytu druhu je z roku 1978 ve Španělsku a nejstarší nepublikovaný záznam je z roku 1941 v Portugalsku (Kulma et al. 2021).



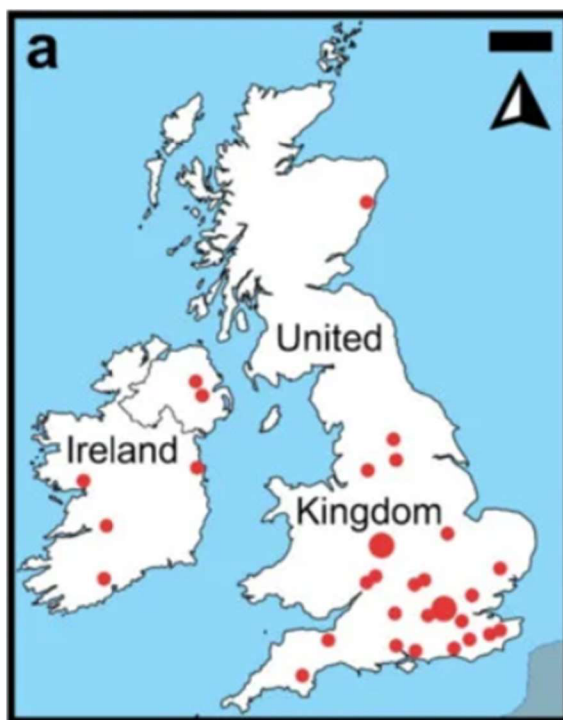
Obrázek 12: Rozšíření *Ctenolepisma longicaudatum* v Evropě; červená: potvrzené záznamy; a oranžová: neověřené záznamy. Údaje o distribuci z bílých zemí nejsou k dispozici/nebyly nalezeny mezi zdroji (Kulma et al. 2021).

Například v Nizozemsku, kde je *Ctenolepisma longicaudatum* v současnosti dominantním druhem v moderním domácím prostředí, byl tento invazní druh poprvé nalezen v

roce 1989. Následně byl zaznamenán v roce 2002 v Rakousku, Belgii, Německu, Itálii, Švédsku a Velké Británii (Kulma et al. 2021).

Do roku 1999 se tento druh oficiálně vyskytoval v sedmi zemích, především ze západní a jižní Evropy. V letech 2000–2021 jsou důkazy o *Ctenolepisma longicaudatum* dostupné v celé Evropě, s výjimkou několika východoevropských zemí, a to Bělorusko, Bosna a Hercegovina, Bulharsko, Kosovo, Lotyšsko, Moldavsko, Černá Hora, Severní Makedonie, Rumunsko a Srbsko ale také státy jako Andorra, Lichtenštejnsko, Monako, San Marino a Vatikán (Kulma et al. 2021).

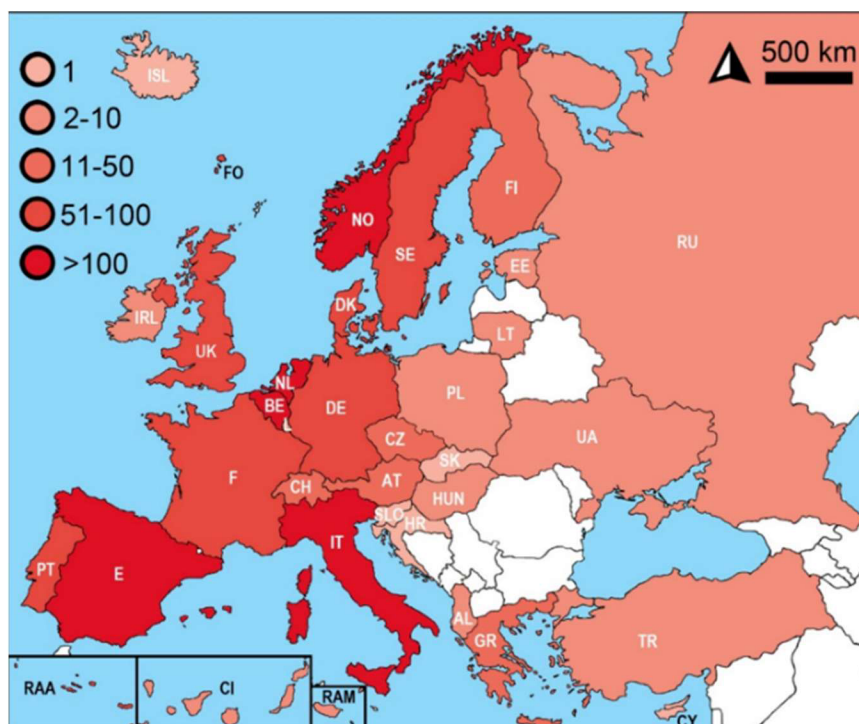
Od října 2017 do ledna 2021 firma Killgerm evidovala případy tohoto druhu v Anglii, Skotsku a Irské republice (Obrázek 13). Kromě toho, výzkum v rámci občanské vědy odhalil přítomnost tohoto druhu v domácnostech v Birminghamu (Anglie) od října 2018 do listopadu 2019. V šesti z 20 zkoumaných domácností v průběhu roku, kdy byl proveden sběr, bylo nalezeno celkem 96 jedinců *Ctenolepisma longicaudatum*. Záznamy z National Biodiversity Network (NBN) v letech 2016 až 2018 potvrzují případy i v Severním Irsku. Ve Velké Británii byl *C. longicaudatum* zjištěn zejména v domácím prostředí, ale zjištění z databází "What's Eating your Collection" a "iNaturalist" odhalila, že tento druh je často přítomen v ubytovacích zařízeních, archivech, muzeích a skladech. První důkazy o výskytu *C. longicaudatum* ve Skotsku pocházely z Aberdeenu a podle diskuzí s provozovatelem deratizace existovalo podezření, že byla zavlečena z Norska prostřednictvím mezinárodních cest rezidenta. Pokud jde o zprávu z muzea, je známo pozadí pouze jedné události z jihovýchodního Londýna a provozovatel dezinfekční firmy nahlásil výskyt *Ctenolepisma longicaudatum* mezi historickými dokumenty, knihami, papírenským zbožím a oblečením, přičemž ale nebylo pozorováno žádné poškození. V Irsku bylo v roce 2021 oficiálně potvrzeno pět hlášení o výskytu druhu *Ctenolepisma longicaudatum*. Dva nálezy v domácím prostředí, jedna zpráva o výskytu v lékařském středisku a dvě neznámé lokality (Kulma et al. 2021).



Obrázek 13: Rozšíření *Ctenolepisma longicaudatum* ve Velké Británii a Irsku (Kulma et al., 2021).

V Estonsku byla *Ctenolepisma longicaudatum* poprvé nalezena v roce 2018 v Tartu. Od té doby je zde opakovaně sbírán a zkoumán na pěti lokalitách po dobu dvou let. V Tallinnu byl poprvé nalezen v roce 2020. V současné době má několik usazených populací ve veřejných budovách v Tartu i Tallinnu, ale nebyla nalezena v soukromých domácnostech ani na jiných místech v Estonsku. V roce 2019 byl druh zaznamenán v okolí litevského Vilniusu. Od roku 2018 byl daný druh opakovaně pozorován také v Helsinkách na jihu Finska a první záznamy ze středního Finska jsou datovány do roku 2020 (Sammet et al. 2021).

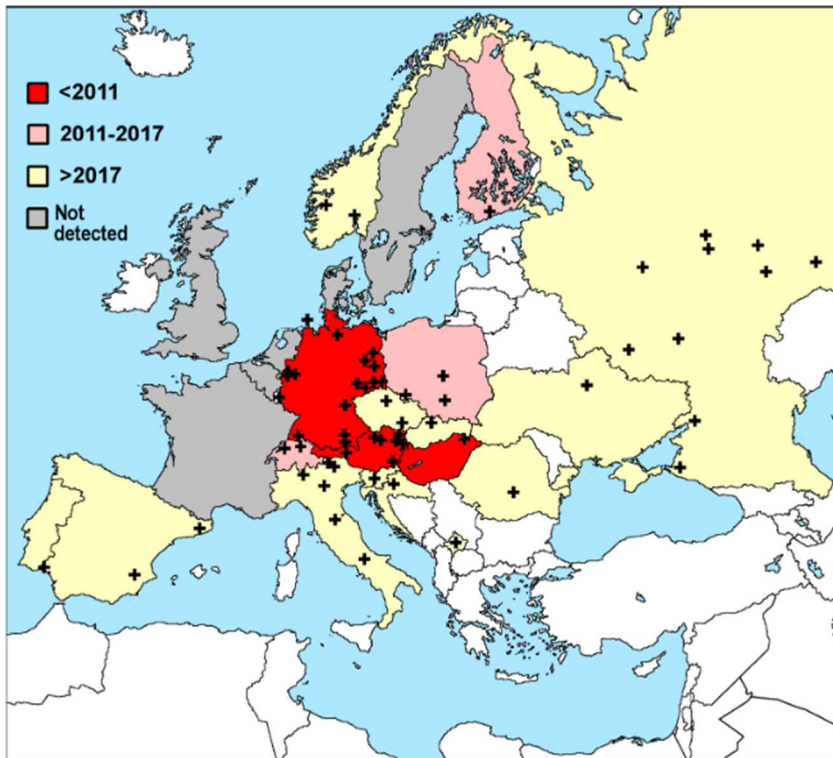
Doposud, nejvyšší počet záznamů byl zjištěn v Norsku (Obrázek 14), kde služby pro hubení škůdců nahlásily více než 5000 zásahů proti *Ctenolepisma longicaudatum*. Více než 100 případů *Ctenolepisma longicaudatum* bylo také zdokumentováno právě ve výše zmíněných zemích: Nizozemsku, Španělsku, Itálii, a dokonce i v Belgii. Více než 50 pozorování bylo hlášeno z Azor, Dánska, Francie, Německa, pevninského Portugalska, pevninského Španělska a Švédska. Na druhé straně je znám pouze jediný výskyt druhu z Islandu, Chorvatska (ostrov Brač), Slovenska a Slovinska. Jediný záznam druhu je znám z Kypru. Vzhledem k poměrně intenzivnímu obchodu mezi uvedenými zeměmi a Českou republikou bylo zavedení těchto obyvatel kartonových obalů spíše otázkou času. V létě 2017 dokonce několik lokálních českých internetových masmédií (idnes.cz nebo euro.cz) informovalo o možných rizicích spojených s invazí tohoto druhu (Kulma et al. 2021).



Obrázek 14: Četnost *Ctenolepisma longicaudatum* v Evropě na základě hlášení v rámci občanské vědy (Kulma et al. 2021).

### 3.2.3 Invaze *Ctenolepisma calvum* v Evropě

V současné době byl výskyt *Ctenolepisma calvum* nahlášen v 18 zemích v Evropě (Obrázek 15), a to včetně Tenerife – Španělsko, Ruska a Ukrajiny. A asi v osmi dalších po celém světě. Tenerife nebyl počítán jako samostatná země, protože patří Španělsku. Od svého popisu na Srí Lance v roce 1910 nebyl druh pravidelně zaznamenáván nikde na světě, to však může souviset s nedostatkem zájmu o tento malý druh nebo jeho nesprávnou identifikaci (Querner et al. 2022).



Obrázek 15: Mapa výskytu *Ctenolepisma calvum* v Evropě. Rok prvního pozorování v zemích je označen stínováním. Místa v zemích, kde byl hmyz původně nalezen, jsou označena jako +. Šedé stínování označuje země, kde pasti a pozorování neodhalily *C. calvum* (zdroj: Querner et al. 2022).

Mapa Evropy (Obrázek 15) nenaznačuje jasný distribuční vzorec sever–jih nebo východ–západ. Dodnes není známo, jak a kdy přesně se tento druh hmyzu dostal do Evropy. Nicméně genetická uniformita vzorků z Polska a Německa, jak ukazuje čárové kódování DNA, naznačuje, že mohly pocházet z jedné zdrojové populace. Podobně jako *Ctenolepisma longicaudatum* je *Ctenolepisma calvum* pravděpodobně přepravován s obalovým materiálem. Dnes se stále vyskytuje především ve střední Evropě, ale neustále se šíří z jedné země do druhé. Předpokládá se, že klima by mohlo být hlavním faktorem omezeného výskytu tohoto druhu (Querner et al. 2022).

První nálezy *Ctenolepisma calvum* v Evropě pochází z Maďarska, konkrétně z města Sátoraljauhely (Obrázek 16) (Gábor 2021).

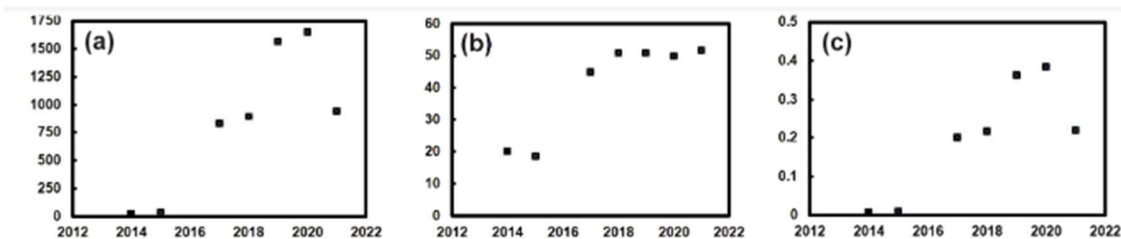


Obrázek 16: Exempláře *Ctenolepisma calvum* dokumentované v Sátoraljaújhely v letech 2003 a 2006 (Gábor 2021).

O 4 roky později byly hlášeny nálezy v Německu. *Ctenolepisma calvum* byl objeveno v roce 2007 v muzeu přírodní historie ve městě Chemnitz v Sasku. Postupně byl druh *Ctenolepisma calvum* hlášen také v dalších městech v Německu, jako například Potsdam, Darmstadt, Mnichov a na Východofríských ostrovech (Spiekeroog). Dále bylo zjištěno, že od roku 2016 se tento druh objevil v "Museumsetage im Tietz" a byl zaznamenán i v Berlíně v Archeologickém centru (Querner et al. 2022). Druh byl zaznamenán nejen v muzeích, ale také v domácnostech v Německu, a to i ve vzdálenějších městech, než odkud pocházely původní nálezy, což naznačuje jeho schopnost šířit se i mimo muzea a do obytných prostor (Erlacher 2017).

Podle databáze Svena Erlachera byl druh v Rakousku poprvé zaznamenán v roce 2010 ve Vídni, a v roce 2012 ve Štýrsku. Od té doby se jeho početnost a rozšíření v zemi neustále zvyšuje. Po prvním výskytu druhu v rakouských muzeích se zvýšil počet nalezených jedinců a také počet lokalit, kde byl nalezen. Musíme ale brát v potaz fakt, že v průběhu let se zvýšil i počet míst, kde byl prováděn monitoring. V některých lokalitách se vyskytuje velké množství jedinců *Ctenolepisma calvum* na malém prostor. Výskyt tohoto hmyzu byl pravidelně zaznamenán jak v prostorách vstupních hal, kuchyní a recepcí, tak v archivech, historických místnostech muzeí a depozitářích. Na žádné ze zmíněných lokalit se však nezdá, že by *Ctenolepisma calvum* poškodil nějaké objekty, problematičtější je v tomhle ohledu právě druh *Ctenolepisma longicaudatum* (Querner et al. 2022).

Během let 2014 a 2015 byl *Ctenolepisma calvum* potvrzen ve čtyřech z 21 muzeí po celém Rakousku. Počet lokalit s jeho výskytem se postupem času zvyšoval. V roce 2019 byl zaznamenán na 29 lokalitách z 52 a v roce 2021 se tento počet zvýšil na 30 lokalit z celkového počtu 53 muzeí v Rakousku. Pro rok 2022 jsou dostupné pouze údaje z jara a začátku léta. Lepové pasti na hmyz z rakouských muzeí poskytují jasný obraz o rostoucím výskytu *Ctenolepisma calvum* (Obrázek 17a), stejně jako prudký nárůst počtu muzeí, kde se hmyz vyskytuje (Obrázek 17b). Tyto nárůsty jsou pozorovány převážně ve vídeňských muzeích, kde míra úlovků strmě vzrostla (Obrázek 17c). V některých lokalitách jsou každoročně odchyceny vysoké počty a to až 250 jedinců (Querner et al. 2022).



Obrázek 17: Počet odchycených jedinců *Ctenolepisma calvum* v rakouských muzeích: a) celkový roční odchyt, b) procento rakouských muzeí kde se nacházejí *C. calvum*, c) míra odlovu ve vídeňských muzeích, (upraveno podle: Querner et al. 2022).

Zvýšení výskytu *Ctenolepisma calvum* v Rakousku v posledních letech může být spojeno s obdobím vynuceného uzavření během pandemie COVID-19 v roce 2020, kdy v důsledku toho, nebyla prováděna pravidelná kontrola a dezinfekce, a tím docházelo k rostoucím rozsahům hmyzu v muzejních budovách (Brimblecombe et al. 2021). Populární muzea s velkým počtem návštěvníků zaznamenávají hojnější výskyt, což naznačuje, že by mohla být potenciálně více ohrožena importem invazního druhu *Ctenolepisma calvum*. Neplatilo to však pro všechna místa ve Vídni (některá malá muzea odchytila mnoho jednotlivců) a druh například nebyl nalezen v některých velkých muzeích v Berlíně s mnoha návštěvníky. Zda se *Ctenolepisma calvum*, šíří z jednoho muzea do druhého prostřednictvím zápůjček předmětů nebo především jiných materiálů, není dosud známo (Querner et al., 2022).

V roce 2020 *Ctenolepisma calvum* byl výskyt hlášen v Ruské federaci (poblíž Kazaně, Jekatěrínburgu, Voroněže a Taldomu, asi 100 km severně od Moskvy) a v severní Itálii, konkrétně v Jižním Tyrolsku, Vicenze a v Miláně. V roce 2021 byly první nálezy *Ctenolepisma calvum* hlášeny 21. června ve Svošově na Slovensku (Bednár et al. 2024). Dále v ten samý rok byl potvrzen výskyt i v České republice, Kosovu a na západě Evropy, poblíž portugalsko-španělských hranic, nedaleko od břehů řeky Guadiana (Kulma et al. 2022). V Polsku byl první záznam *Ctenolepisma calvum* zaznamenán v roce 2014, avšak tento záznam dosud nebyl publikován (Querner et al. 2022).

### 3.2.4 Invaze v České republice

V rámci studie šíření invazních druhů rodu *Ctenolepisma* v České republice byl 18. října 2017 zaznamenán výskyt neobvyklého druhu rybenky v prostorách soukromé společnosti v okrajové části Prahy. Tento druh byl pravděpodobně zavlečen spolu s kartonovými obaly a působil zde škody, neboť se živil mimo jiné na uskladněných dokumentech (Kulma et al. 2018).

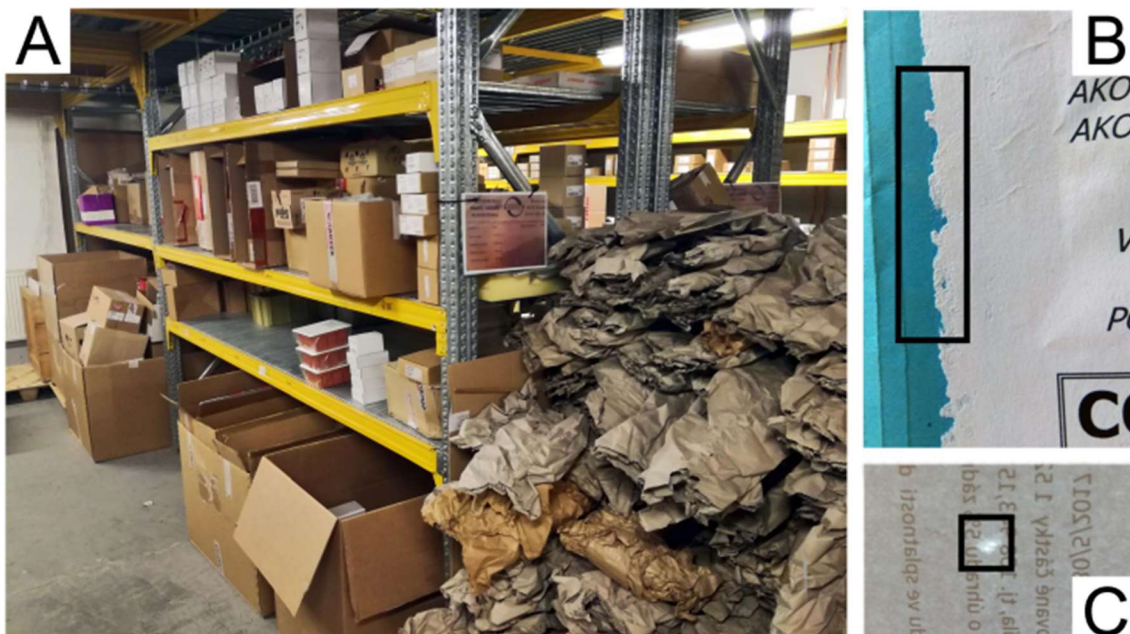
Během kontroly na místě ve skladu, který byl prováděn dne 18. října 2017, bylo odchyceno celkem 14 exemplářů. Tento počet zahrnoval šest dospělých a osm juvenilních jedinců. Nasbíraní jedinci byli podrobně zkoumáni pomocí stereomikroskopu a provedena byla také měření s využitím okulárové mřížky. Na základě morfologických znaků a využití entomologických klíčů byl odchycený hmyz s jistotou identifikován jako druh *Ctenolepisma longicaudatum* (Kulma et al. 2018).

Exempláře, které byly nasbírány během této kontroly, jsou dodnes uloženy ve Státním zdravotním ústavu v Praze, kde slouží jako důležitý záznam o výskytu tohoto invazního druhu. Dále jsou také součástí sbírky České zemědělské univerzity v Praze, což umožňuje jejich další



výzkum a možné využití pro budoucí studie zabývající se rozšířením a ekologií tohoto druhu v České republice. Tyto informace poskytují důležitý základ pro další monitorování a kontrolu šíření invazního druhu *Ctenolepisma longicaudatum* v České republice. (Kulma et al. 2018).

Nejvyšší hustota *Ctenolepisma longicaudatum* ovšem byla zjištěna ve skladu na regálech s prázdnými papírovými krabicemi (Obrázek 18A). Kromě toho bylo druhově specifické poškození (Obrázek 18B, C) pozorováno v celém areálu společnosti, včetně administrativních kanceláří. Během sběru vzorků byla ve skladu vlhkost 35 % a teplota vzduchu 23 °C (Kulma et al. 2018).



Obrázek 18: (A) Skladiště jako stanoviště *Ctenolepisma longicaudatum*; (B, C), škody způsobené *C. longicaudatum* v sousední kancelářské budově (zdroj: Kulma et al. 2018).

V následujících dvou letech byl výskyt *Ctenolepisma longicaudatum* potvrzen ve dvou krajích, Plzeňském a Jihomoravském. Tato skutečnost naznačuje možnost, že tento druh má potenciál stát se dominantním synantropním organismem v České republice, analogicky k situaci v západní Evropě (Kulma et al. 2019).

Ustálené populace druhu *Ctenolepisma calvum* byly zjištěny na dvou lokalitách v Praze. Na obou lokalitách se tento druh vyskytoval uvnitř budov se stálou pokojovou teplotou v rozmezí 23,3-28,3 °C a mírnou vlhkostí 32,6-55,8 %. Tyto zjištěné klimatické podmínky naznačují, že předchozí mechanická opatření navržená pro regulaci populace původních českých druhů *Lepisma saccharinum* a *Thermobia domestica* nemusí být účinná v případě *Ctenolepisma calvum*. Správný postup při hubení tohoto druhu představuje pro budoucnost výzvu, která vyžaduje další zkoumání a opatření. (Kulma et al. 2019).

### 3.3 Význam invazních rybenek rodu *Ctenolepisma*

#### 3.3.1 Ekonomické a sociální dopady přítomnosti invazních druhů

Nepůvodní invazní druhy jsou velkou a všudypřítomnou hrozbou pro celosvětovou biodiverzitu, stejně jako pro ekonomický blahobyt člověka. I když je zjevné, že biologické

invaze mají značný dopad, často nemáme úplný přehled o tom, jaké jsou jejich náklady pro jednotlivé národní ekonomiky. V důsledku toho je často omezena i adekvátní alokace zdrojů pro management biologických invazí, jelikož není možné provést důkladnou analýzu nákladů a přínosů takových akcí (Thomsen et al. 2019; Haubrock et al. 2021).

Celkové ekonomické náklady způsobené invazními druhy v sousedním Německu v období let 1960 až 2020, byly odhadnuty na 9,8 miliardy amerických dolarů. Tyto náklady byly způsobené různými druhy organismů a převážně souvisely s opatřeními na kontrolu jejich šíření a následnými škodami. V průběhu času bylo oproti dřívějším odhadům zaznamenáno značné zvýšení těchto ekonomických škod. V Německu bylo doposud zaznamenáno 2249 nepůvodních organismů, z nichž je 181 považováno za invazní, avšak pouze u 28 existují ekonomicky vyčíslené škody. Reálná výše těchto škod je tedy očekávatelně podstatně vyšší (Thomsen et al. 2019; Haubrock et al. 2021).

V České republice bylo v roce 2020 téměř 29 500 druhů hmyzu. Z toho přibližně 495 druhů, nebylo původních. Z těchto nepůvodních druhů bylo 130 druhů klasifikováno jako invazní, čímž představují výzvu jak pro místní ekosystémy a biodiverzitu, tak pro místní ekonomiku. Vzhledem k tomu, že počty invazních druhů v ČR každoročně vzrostou, se dnes dají čísla předpokládat mnohonásobně vyšší (Šefrová & Laštůvka 2020).

Ohledně invazních druhů rybenek, významné škody se budou týkat především ekonomické a kulturní ztráty v muzejním materiálu. Přítomnost *Ctenolepisma longicaudatum* totiž může vést hlavně k poškození cenných sbírek a historických artefaktů, což má negativní dopady na kulturní dědictví a ekonomiku spojenou s muzei a galeriemi. Jelikož platí, že počet invazních druhů v zemích Evropy roste, lze do budoucna očekávat i růst jimi způsobených škod. Je tedy potřeba zlepšit hodnocení a vykazování ekonomických nákladů souvisejících s invazními druhy, aby bylo možné vytvořit podmínky pro jejich eliminaci a management na národní i mezinárodní úrovni (Thomsen et al. 2019; Haubrock et al. 2021).

### **3.3.2 Zdravotní rizika spojená s výskytem v lidských obydlích**

Je známo, že rybenky mohou vyvolávat alergické reakce a druh *Ctenolepisma longicaudatum* je dokonce schopen přenášet různé oportunní bakterie, proto je třeba vzít v úvahu její potenciální význam z hlediska veřejného zdraví (Kulma et al. 2022).

Jejich výskyt v nadměrném množství může signalizovat problémy spojené s vysokou vlhkostí a vývojem plísní. V takových případech je vhodné zahájit preventivní opatření proti nim nebo v extrémních situacích zvážit použití chemických prostředků k jejich hubení. (Alexandra 2022).

## **3.4 Metody hubení invazních rybenek rodu *Ctenolepisma***

Poprvé, byly metody využití různých nástrah k regulaci šíření invazivních druhů rybenky zkoumány teprve v nedávné době, konkrétně v letech 2016 a 2017. Byly provedeny experimenty na hodnocení účinnosti různých nástrah a jejich potenciálu pro integrovaný management invazních škůdců v Norsku (Aak et al. 2020).

Experimenty probíhaly v Oslu a byly zaměřeny na testování účinnosti komerčně dostupných nástrah proti *Ctenolepisma longicaudatum*. V jednom z experimentů byly použity čtyři arény, a každá obsahovala dva dospělé samce a dvě dospělé samice v kombinaci se čtyřmi

mladými jedinci. V každém testu nástrahy bylo tedy sledováno 32 jedinců, která byla prezentována společně s ovesnými vločkami pro vytvoření podobnosti s přirozenými podmínkami v soukromých domech. Byly testovány nástrahy Maxforce white IC, Maxforce Platin, Goliath gel, Advion cockroach, Maxforce quantum a Advion ant, které byly původně určeny pro hubení švábů nebo mravenců. Tyto látky byly vybrány podle dostupnosti pro norský průmysl pro hubení škůdců a zajištění rozmanitosti v různých účinných látkách (Aak et al. 2020).

I přes to, že nástrahy použité při těchto experimentech v Norsku byly původně optimalizovány pro jiné druhy škůdců, ty nejučinnější dokázaly eliminovat většinu jedinců v experimentálních populacích v konkurenci s jiným dostupným zdrojem potravy. Nástrahy pro hubení švábů, totiž vyvolávají primární otravu pozřením, sekundární otravu vylučováním a nekrofágií, a terciární otravu stejnými mechanismy, ale jsou dodávány sekundárními dárči. Těch pár přeživších tedy s největší pravděpodobností mohli být jedinci shánějící potravu, kteří se mohli náhodou setkat pouze s ovesnými vločkami, nebo pasivní jedinci, kteří vstoupili do poslední třetiny svého současného instaru, kdy nevyhledávají potravu, ale jen čekají na proces svlékání (Aak et al. 2020).

Během posledních dnů testování bylo zaznamenáno, že v porovnání se skupinou hmyzu, která nebyla vystavena testovaným látkám nebo nástrahám, většina přeživších jedinců experimentálního hmyzu vykazovala neobvyklé reakce na dotyk štětečku. To ukazuje na negativní dopad insekticidu, i když úmrtnost nenastala do 18 dnů. Subletální účinky toxinů jsou dobře známy a zdokumentovány u mnoha skupin hmyzu, a projevy jakéhokoliv neobvyklého chování mohou být známkou averze k potravě nebo rychle působících toxinů způsobujících neurologické poruchy, které narušují normální příjem potravy ještě před požitím smrtelné dávky. Produkce oslabených nebo dysfunkčních jedinců pravděpodobně zvýší negativní dlouhodobý účinek na populaci škůdců (Haynes 1988; Desneux et al. 2007; Guedes et al. 2016).

V současné době je známo jen málo vědeckých poznatků o nástrahách a jejich aktivních složkách k hubení invazních druhů rybenek, ale neoficiální zprávy a nezaznamenané terénní zkušenosti naznačují, že strategie s nástrahami mají omezenou účinnost (Aak et al. 2020) Pokud jsou však dostupné moderní nástrahy dostatečně atraktivní nebo nutričně stimulující, aby podpořily krmení, můžou se stát dostupnými potenciálními nástroji proti tomuto relativně novému evropskému obtěžujícímu škůdci. Strategie nástrahy je zvláště příznivá z důvodu nízkého zdravotního rizika, které představuje ve srovnání s konvenční aplikací sprejových insekticidů (Dhang 2016; Wang et al. 2019).

### **3.4.1 Přehled dostupných metod kontroly a hubení.**

Výzkum naznačuje, že použití nástrah obsahujících aktivní látky jako indoxacarb, clothianidin a fipronil může být účinným přístupem k potlačení *Ctenolepisma longicaudatum*. Tato opatření se ukázala schopná eliminovat rybenky až po dobu čtyř až šest měsíců od aplikace. Vedle chemických prostředků může být také využita biologická kontrola, která zahrnuje využití přirozených nepřátel, jako jsou predátoři nebo paraziti, k potlačení populace rybenky (Aak et al. 2020).

Důležitým preventivním opatřením je udržování čistoty prostředí, odstraňování potravních zdrojů a těsnění prasklin a trhlin, což může přispět k prevenci infestace invazních druhů rodu *Ctenolepisma*. Kombinace různých metod, včetně chemických, biologických, mechanických a preventivních opatření, může poskytnout nejefektivnější přístup k úspěšné kontrole rybenky. Vzhledem k složitosti biologie *Ctenolepisma longicaudatum* a jeho potravních preferencí je důležité konzultovat s odborníky na škůdce nebo s profesionálními společnostmi pro dezinfekci s hledáním individuálního a účinného řešení problému s tímto škůdcem (Dhang 2016; Wang et al. 2019).

### 3.4.2 Efektivita a rizika spojená s různými přístupy

Z vědeckého pohledu bylo prokázáno, že použití nástrah zmíněných v předešlé kapitole má vysokou účinnost při kontrole *Ctenolepisma longicaudatum*. Studie ukázaly, že tyto látky dokážou eliminovat více než 90 % experimentálních jedinců primární otravou. Indoxacarb se ukázal jako preferovaná aktivní látka díky schopnosti vyvolat vysokou úroveň sekundární otravy, kdy nekrofágie způsobila více než 75 % úmrtnosti (Aak et al. 2020).

V porovnání s konvenčními insekticidy mají nástrahy nižší riziko pro zdraví člověka, což zvyšuje jejich atraktivitu jako bezpečného prostředku pro kontrolu a hubení *Ctenolepisma longicaudatum*. Díky schopnosti primárního a sekundárního otrávení a dlouhodobé účinnosti nástrah se jeví tato metoda jako perspektivní v oblasti pro hubení invazních druhů rybenek. Navíc, díky možnosti cílené aplikace nástrah do skrytých míst, kde se rybenka často zdržuje, je možné dosáhnout úspěšného zásahu i v obtížně přístupných oblastech (Wing et al. 2000; Buczkowski et al. 2008).

Celkově lze konstatovat, že použití nástrah s vhodnými aktivními látkami, jako je indoxacarb, představuje efektivní a bezpečný způsob kontroly druhu *Ctenolepisma longicaudatum*. Tato metoda kombinuje vysokou účinnost s nízkým rizikem pro zdraví a dlouhodobou účinností, což naznačuje vysoký potenciál nástrah jako bezpečného prostředku k hubení *Ctenolepisma longicaudatum* (Aak et al. 2020).

### 3.4.3 Aktuální trendy v boji proti invazním rybenkám

Aktuální ověřené trendy v boji proti invazním rybenkám zahrnují kombinaci různých metod a přístupů, které jsou zaměřeny na efektivní kontrolu a potlačení populací těchto škůdců. Dnes můžeme zahrnout integrovaný systém hubení škůdců mezi hlavní způsoby, jak předcházet a bojovat s invazními druhy. Tím se rozumí kombinace různých metod hubení, jako jsou chemické prostředky, biologická kontrola, mechanické metody hubení a nejrůznější preventivní opatření. Tento komplexní přístup umožňuje efektivní a udržitelnou kontrolu populací rybenek.

Dalším způsobem, jak předcházet a bojovat proti invazi, je bezpochyby vývoj nových insekticidů. V současné době se výzkum snaží klást důraz na vývoj nových insekticidů s vyšší účinností a nižším rizikem pro životní prostředí a zdraví člověka. Nové látky by měly být cílenější a účinnější při potlačení populací rybenek (Aak et al. 2020).

Průběžné monitorování a sledování populací je klíčovým krokem v boji proti těmto invazním druhům. Tato opatření umožňují identifikovat rozsah infestace, sledovat účinnost použitých metod kontroly a přizpůsobovat strategie boje proti rybenkám podle aktuální situace.

Zvýšená edukace veřejnosti, správců budov a profesionálních kontrolních společností o identifikaci, prevenci a kontrolních opatřeních proti rybenkám je také jedním z důležitých faktorů ovlivňující vývoj invaze. Informovaní jednotlivci a organizace mohou přispět k prevenci šíření rybenek a efektivní kontrole již existujících populací (Aak et al. 2020).

A v poslední řadě nesmíme zapomenout zmínit využití inovativních technologií, jako jsou chytrá zařízení pro monitorování škůdců, aplikace nástrah nebo biologického hubení. Tohle vše může také přinést nové možnosti v boji proti invazním rybenkám. Tyto technologie mohou zlepšit sledování, identifikaci a kontrolu rybenek s větší efektivitou a přesností.

Celkově lze konstatovat, že aktuální trendy v boji proti invazním rybenkám směřují k komplexnímu, udržitelnému a efektivnímu přístupu, který kombinuje různé metody a strategie s cílem potlačit populace těchto škůdců a minimalizovat jejich negativní dopady (Aak et al. 2020).

## 4 Závěr

- Invazní druh *Ctenolepisma longicaudatum*, projevuje vysokou toleranci vůči nízké vlhkosti a teplotám, a byl pasivně zavlečen do většiny evropských zemí. Jeho přítomnost může způsobovat stres a nepohodlí lidem, kteří obývají nebo pracují v postižených oblastech. Kromě toho může způsobovat poškození organických materiálů, kontaminovat potraviny a přenášet některé oportunistické bakterie. V práci jsou shrnuta dostupná data o šíření tohoto druhu v Evropě.
- Hojný výskyt *Ctenolepisma longicaudatum* v severní Evropě lze vysvětlit používáním izolace a centrálního vytápění k vytvoření optimálního klimatu pro usazení tohoto druhu.
- Mimo byty je *Ctenolepisma longicaudatum* nalézána v ubytovacích zařízeních, skladech, továrnách, veřejných institucích, nákupních centrech, archivech, muzeích a galeriích.
- *Ctenolepisma calvum* se neustále postupně šíří v Evropě, prvními záznamy o výskytu pocházejí z Maďarska, následně z Německa, Polska, Rakouska a dalších zemí. Genetická analýza naznačuje, že populace *Ctenolepisma calvum* v Polsku a Německu mohla pocházet z jednoho zdroje. Tento druh je často nalézán v muzeích, ale také v domácnostech, což naznačuje jeho schopnost adaptace na různá prostředí. Výskyt *Ctenolepisma calvum* se v posledních letech enormně zvýšil v Rakousku, kde byl zaznamenán v několika muzeích.
- Invaze *Ctenolepisma calvum* v České republice naznačuje, že tento druh může následovat druh *Ctenolepisma longicaudatum* a kolonizovat vnitřní prostředí v celé zemi a dalších středoevropských zemích. Vzhledem k tomu, že je o tomto druhu známo jen málo informací, je důležité provést další výzkum a monitorování jeho šíření a dopadů.
- *Ctenolepisma calvum* může stejně tak jako *Ctenolepisma longicaudatum* způsobovat škody na různých materiálech, jako jsou papír, knihy, textilie a další organické látky.
- Pro zvládnutí invaze rybenek rodu *Ctenolepisma* v Evropě včetně České republiky je nezbytné provést další monitorování, zhodnotit rizika spojená s tímto druhem a vyvinout strategie pro minimalizaci jeho negativních dopadů na životní prostředí a lidské obyvatelstvo.
- Použití nástrah obsahujících aktivní látky jako indoxacarb, clothianidin a fipronil je účinnou metodou hubení pro *Ctenolepisma longicaudatum*. Přičemž indoxacarb byl identifikován jako nejvhodnější účinná látka, zejména díky schopnosti vyvolat vysokou úroveň sekundárních otrav, kdy konzumace mrtvých jedinců způsobila více než 75 % úmrtnosti.

## 5 Literatura

- Aak A, Hage M, Rukke BA. 2020. Long-Tailed Silverfish (*Ctenolepisma longicaudata*) Control; Bait Choice Based on Primary and Secondary Poisoning. *Insects* **11**:170. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/insects11030170>.
- Aak A, Rukke BA, Ottesen PS, Hage M. 2019. Long-tailed silverfish (*Ctenolepisma longicaudata*) – biology and control. Norwegian Institute of Public Health, Oslo.
- Alexandra L. 2022. Jak na rybenku domácí – prevence a likvidace všudypřítomného hmyzu. Dostupné z <https://www.krejsashop.cz/cs/m-142-rybenka> (viděno duben 20, 2024).
- Bai Y, Chen J, Li G, Wang H, Luo J, Li C. 2020. Complete mitochondrial genome of the common silverfish *Lepisma saccharina* (Insecta: Zygentoma: Lepismatidae). *Mitochondrial DNA Part B* **5**:1552–1553. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1742598>.
- Barletta B, Felice GD, Pini C. 2007. Biochemical and Molecular Biological Aspects of Silverfish Allergens. *Protein & Peptide Letters* **14**:970–974.
- Bednár F, Hemala V, Čejka T. 2024. First records of two new silverfish species (*Ctenolepisma longicaudatum* and *Ctenolepisma calvum*) in Slovakia, with checklist and identification key of Slovak Zygentoma. *Biologia* **79**:425–435. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01526-z>.
- Brimblecombe P, Pachler M-C, Querner P. 2021. Effect of Indoor Climate and Habitat Change on Museum Insects during COVID-19 Closures. *Heritage* **4**:3497–3506. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/heritage4040193>.
- Buck C, Edwards JS. 1990. The effect of appendage and scale loss on instar duration in adult firebrats, *Thermobia domestica* (Thysanura). *The Journal of Experimental Biology* **151**:341–347. <https://doi.org/10.1242/jeb.151.1.341>.
- Buczkowski G, Scherer CW, Bennett GW. 2008. Horizontal Transfer of Bait in the German Cockroach: Indoxacarb Causes Secondary and Tertiary Mortality. *Journal of Economic Entomology* **101**:894–901. <https://doi.org/10.1093/jee/101.3.894>.
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech J-M. 2007. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Annual Review of Entomology* **52**:81–106. Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
- DeVries ZC, Appel AG. 2013. Standard metabolic rates of *Lepisma saccharina* and *Thermobia domestica*: effects of temperature and mass. *Journal of Insect Physiology* **59**:638–645. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2013.04.002>.
- DeVries ZC, Appel AG. 2014. Effects of temperature on nutrient self-selection in the silverfish *Lepisma saccharina*: Physiological Entomology. *Physiological Entomology* **39**:217–221. <https://doi.org/10.1111/phen.12064>.
- Dhang P. 2016. Innovations in insect baiting and its role in reducing insecticide load in urban pest control **58**:210–212.
- Erlacher S. 2017. Aliens unter uns – eine Begegnung mit der sechsten Art. Dostupné z <http://www.chemnitz.de/chemnitz/de/aktuell/presse/pressemitteilungen/2017/203.html> (viděno duben 18, 2024).

- Gábor H. 2021. KaMu | Ezüstérmes rovar – ezüstös ósrovar. Dostupné z <https://kazinczyferencmuzeum.hu/2021/01/04/ezustermes-rovar-ezustos-osrovar/> (viděno duben 19, 2024).
- Guedes RNC, Smagghe G, Stark JD, Desneux N. 2016. Pesticide-Induced Stress in Arthropod Pests for Optimized Integrated Pest Management Programs. *Annual Review of Entomology* **61**:43–62. Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>.
- Gullan PJ, Cranston PS. 2014. *The insects: an outline of entomology*. Wiley Blackwell, Chichester.
- Hage M, Rukke BA, Ottesen PS, Widerøe HP, Aak A. 2020. First record of the four-lined silverfish, *Ctenolepisma lineata* (Fabricius, 1775) (Zygentoma, Lepismatidae), in Norway, with notes on other synanthropic lepismatids. *Norwegian Journal of Entomology* **67**:8–14.
- Haubrock PJ, Cuthbert RN, Sundermann A, Diagne C, Golivets M, Courchamp F. 2021. Economic costs of invasive species in Germany. *NeoBiota* **67**:225–246. Pensoft Publishers. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.59502>.
- Haynes K. 1988. Sublethal Effects Of Neurotoxic Insecticides On Insect Behavior. *Annual review of entomology* **33**:149–168. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.33.010188.001053>.
- Christian E. 1994. *Atelura formicaria* (Zygentoma) follows the pheromone trail of *Lasius niger* (Formicidae) **232**:213–216.
- Kulma M, Bubová T, Davies MP, Boiocchi F, Patoka J. 2021. *Ctenolepisma longicaudatum* Escherich (1905) Became a Common Pest in Europe: Case Studies from Czechia and the United Kingdom. *Insects* **12**:810. <https://doi.org/10.3390/insects12090810>.
- Kulma M, Molero-Baltanás R, Petrůl M, Patoka J. 2022. Invasion of synanthropic silverfish continues: first established populations of *Ctenolepisma calvum* (Ritter, 1910) revealed in the Czech Republic. *BioInvasions Records* **11**:110–123. <https://doi.org/10.3391/bir.2022.11.1.12>.
- Kulma M, Vrabec V, Holer T, Patoka J. 2019. Invazní rybenka *Ctenolepisma longicaudata* odhalena v České republice.
- Kulma M, Vrabec V, Patoka J, Rettich F. 2018. The first established population of the invasive silverfish *Ctenolepisma longicaudata* (Escherich) in the Czech Republic. *BioInvasions Records* **7**:329–333. <https://doi.org/10.3391/bir.2018.7.3.16>.
- Labuda C. 2023. *Lepisma saccharina* (silverfish). Animal diversity web. Dostupné z [https://animaldiversity.org/accounts/Lepisma\\_saccharina/](https://animaldiversity.org/accounts/Lepisma_saccharina/) (viděno duben 16, 2024).
- Lindsay E. 1939. The biology of silverfish, *Ctenolepisma longicaudata* Esch., with particular reference to its feeding habits. *Proceedings of The Royal Society of Victoria* **52**:35–83.
- Mallis A, Miller AC, Hill RC. 1958. Feeding of Four Species of Fabric Pests on Natural and Synthetic Textiles1. *Journal of Economic Entomology* **51**:248–249. <https://doi.org/10.1093/jee/51.2.248>.
- Molero-Baltanás R, Bach C, Tinaut A, Diz-Perez J, Gaju-Ricart M. 2017. Symbiotic relationships between silverfish (Zygentoma: Lepismatidae, Nicoletiidae) and ants



- (Hymenoptera: Formicidae) in the Western Palaearctic. A quantitative analysis of data from Spain. *Myrmecological News* **24**:107–122.
- Molero-Baltanás R, Gaju-Ricart M, Bach C, Mendes L. 2010. On *Ctenolepisma ciliata* and a new related species, *Ctenolepisma armeniaca* sp. n. (*Zygentoma*, Lepismatidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift* **57**:243–252.  
<https://doi.org/10.1002/mmnd.201000021>.
- Phillips EF, Gillett-Kaufman JL. 2018. Silverfish *Lepisma saccharina* Linnaeus (Insecta: *Zygentoma*: Lepismatidae): EENY705/IN1211, 5/2018. *EDIS* **2018**.  
<https://doi.org/10.32473/edis-in1211-2018>.
- Price PW, Denno RF, Eubanks MD, Finke DL, Kaplan I. 2011. *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press.
- Querner P, Sterflinger K, Derksen K, Leissner J, Landsberger B, Hammer A, Brimblecombe P. 2022. Climate Change and Its Effects on Indoor Pests (Insect and Fungi) in Museums. *Climate* **10**:103. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.  
<https://doi.org/10.3390/cli10070103>.
- Querner P, Szucsich N, Landsberger B, Erlacher S, Trebicki L, Grabowski M, Brimblecombe P. 2022. Identification and Spread of the Ghost Silverfish (*Ctenolepisma calvum*) among Museums and Homes in Europe. *Insects* **13**:855. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/insects13090855>.
- Richards OW, Davies RG. 2013. *Imms' General Textbook of Entomology: Classification and Biology, Volume 2*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Sammet K, Martin M, Kesküla T, Kurina O. 2021. An update to the distribution of invasive *Ctenolepisma longicaudatum* Escherich in northern Europe, with an overview of other records of Estonian synanthropic bristletails (Insecta: *Zygentoma*). *Biodiversity Data Journal* **9**:(e61848). <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e61848>.
- Shimada M, Watanabe H, Komine Y, Kigawa R, Sato Y. 2022. New records of *Ctenolepisma calvum* (Ritter, 1910) (*Zygentoma*, Lepismatidae) from Japan. *Biodiversity Data Journal* **10**:(e90799). <https://doi.org/10.3897/BDJ.10.e90799>.
- Smith GB. 2017, srpen. The Australian silverfish fauna (Order: *Zygentoma*) abundant diverse, ancient and largely ignored **45**:9–58.
- Šefrová H, Laštůvka Z. 2020. Invazní druhy hmyzu po roce 2000: každý rok nejméně dva nové **68**:189–191.
- Thomsen E, í Kongsstovu S, Dahl H, Mikalsen S-O. 2019. *Ctenolepisma longicaudata* (Escherich, 1905): a common, but previously unregistered, species of silverfish in the Faroe Islands. *BioInvasions Records* **8**:540–550.  
<https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.3.09>.
- Walker AA, Church JS, Woodhead AL, Sutherland TD. 2013. Silverfish silk is formed by entanglement of randomly coiled protein chains. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* **43**:572–579. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2013.03.014>.
- Wang C, Eiden A, Cooper R, Zha C, Wang D, Reilly E. 2019. Changes in Indoor Insecticide Residue Levels after Adopting an Integrated Pest Management Program to Control German Cockroach Infestations in an Apartment Building. *Insects* **10**:304.  
<https://doi.org/10.3390/insects10090304>.

- Watanabe H, Shimada M, Sato Y, Kigawa R. 2023. Development and Reproduction of a Japanese Strain of *Ctenolepisma calvum* (Ritter, 1910) at Room Temperature. *Insects* **14**:563. <https://doi.org/10.3390/insects14060563>.
- Whittington PM, Harris K-L, Leach D. 1996. Early axonogenesis in the embryo of a primitive insect, the silverfish *Ctenolepisma longicaudata*. *Roux's archives of developmental biology* **205**:272–281. <https://doi.org/10.1007/BF00365805>.
- Wing KD, Sacher M, Kagaya Y, Tsurubuchi Y, Mulderig L, Connair M, Schnee M. 2000. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects. *Crop Protection* **19**:537–545. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00070-3).
- Woodbury N, Gries G. 2013. Firebrats, *Thermobia domestica*, aggregate in response to the microbes *Enterobacter cloacae* and *Mycotypha microspora*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **147**:154–159. <https://doi.org/10.1111/eea.12054>.
- Wygodzinsky P. 1972. A review of the silverfish (Lepismatidae, Thysanura) of the United States and the Caribbean area. American Museum of Natural History, New York, N.Y.
- Zettel J. 2010. Springtails and Silverfishes (Apterygota). Chapter 13.5. *BioRisk* **4**:851–854. Pensoft Publishers. <https://doi.org/10.3897/biorisk.4.47>.