

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



Ekologie, etologie a chemická komunikace
Formica rufa

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Hana Šípková, Ph.D.

Bakalant: Iveta Janoušková

Praha 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Iveta Janoušková

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Ekologie, etologie a chemická komunikace *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae)

Název anglicky

Ecology, ethology and chemical communication of *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae)

Cíle práce

Cílem této práce je sepsat rešerši o ekologii, etologii a chemické komunikaci mravence lesního (*Formica rufa*) z dostupné zahraniční a české literatury.

Metodika

Rešeršní BP se bude zabývat souhrnem dostupných informací a bude sumarizovat nejdůležitější poznatky o ekologii mravence lesního. Díky managementu lesních biotopů lze již několik let pozorovat všeobecně úbytek veškerého hmyzu, mravence nevyjímaje. Jeho role v lesních biotopech je nezastupitelná jako všežravce i predátora jiných bezobratlých včetně lesních škůdců, lze tedy hovořit o takové "lesní policii".

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

Formica rufa, lesní biotop,

Doporučené zdroje informací

Bezděčka P. 2000: Naši mravenci rodu Formica. Formica 3: 19-24

Bogusch P., Straka J. et Kment P. (eds.) 2007: Annotated checklist of the Aculeata (Hymenoptera) of the Czech Republic and Slovakia. Komentovaný seznam žahadlových blanokřídlých (Hymenoptera: Aculeata) České republiky a Slovenska. Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae, Supplementum 11: 300pp

Frouz J. 2005: Termoregulace lesních mravenců rodu Formica. Formica 8: 15-19

Miles P. 2001: Věnujme zvýšenou pozornost polygynní formě mravence Formica rufa. Formica 4: 17-18

Randuška P. 1995: Hniezdna a potravná ekológia mravcov skupiny Formica rufa. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, Zvolen. 50pp

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Hana Šípková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 22. 11. 2019

doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Ekologie, etologie a chemická komunikace Formica rufa* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 28.3.2020

Podpis autora.....

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkoval paní Ing. Haně Šípkové Ph.D., která mi poskytla odborné vedení, užitečné zdroje a neposlední řadě také za její velkou trpělivost. Poděkování patří též celé mé rodině za podporu a trpělivost při psaní práce.

Abstrakt

Předmětem této bakalářské je přinést informací o jednom z nejrozšířenějších druhů hmyzu u nás, a to o mravencích (*Formica*). Detailněji je práce zaměřena na určitý druh, na mravence lesního (*Formica rufa*).

Tento druh patří k nejnámějším druhu mravenců u nás. Bohužel v důsledku změny klimatu a také změny přirozeného prostředí lesů a přilehlých luk, dochází k rapidnímu úbytku tohoto dříve tak početného druhu.

Mravenci jsou jako živočišný druh velice často opomíjeni, a některými lidmi až nenáviděni. Jejich význam pro ekologii je však nesmírný. Jsou přirozenými ochránci lesa proti škůdcům a přírodním ukazatelem zdravoti lesního biotopu. Dříve tak hojný lesní druh, ztrácí na své početnosti a v současné době je již druhem ohroženým.

Úvod práce je věnovaný zařazení mravenců v rámci zoologického systému. Další část je zaměřena na morfologii těla mravenců, na jejich životní cyklus včetně rozmnožování a rozdělení rolí v rámci společenstva. Samostatnou kapitolu pak tvoří způsob jejich komunikace napříč společenstvím, která má svá pravidla.

Neméně důležitou kapitolu tvoří vyspecifikování podmínek vhodných pro výskyt mravenců a to nejen u nás ale i v zahraničí.

Podklady pro tuto práci jsem čerpala z české i zahraniční literatury.

Klíčová slova: mravenci, *Formica rufa*, Hymenoptera, lesní biotop, komunikace, mraveniště,

Abstract

The aim of this bachelor thesis, is to bring complete information about one of the most widespread insects in our nature “the ants”. The work focuses on the species of wood ants (*Formica rufa*) in more detail. This insect belongs to one of the best known species of ants in our country. Unfortunately, the recent changes in climate and in the natural habitats of forests and adjacent meadows, lead to a rapid decline of this previously so abundant species.

Ants are very often neglected or even hated by some people. But yet their importance for the ecology is immense.

They are natural forest protectors against pests, as well as natural indicators of forest biotope health. This forest species, is presently decreasing in numbers and is getting endangered.

The introduction to this thesis is devoted to ants within the zoological system. The following part is focused on the morphology of ant's body, it's life cycle, including reproduction and division of ants roles within their community.

A separate chapter is dedicated to the ants' way of communication across communities with their own rules.

The next topic deals with the specification of conditions that are suitable for the presence of ants locally, and also abroad.

This work is based on available Czech and foreign literature.

Keywords: ants, *Formica rufa*, Hymenoptera, forest biotope, communication, anthill,

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl práce	11
3. Mravenci	12
3.1 <i>Formica rufa</i> Linnaeus, 1758 (mravenec lesní).....	14
3.2 Životní cyklus mravenců <i>Formica rufa</i> (FR).....	17
3.3 Ekologie mravence lesního – <i>Formica rufa</i>	19
3.4 Mraveniště.....	21
3.5 Výskyt mravenců ve světě	24
3.6 <i>Formica rufa</i> v České republice.....	27
4. Chemická komunikace mravence lesního.....	32
5. Dikuze.....	36
6. Závěr	38
7. Seznam použité literatury	39
8. Seznam obrázků	44

1. Úvod

Když se řekne mravenec, řadě lidí se vybaví velmi oblíbená kniha Ondřeje Sekory o Ferdovi Mravencovi a jeho kamarádech.

Někteří lidé mravence příliš v oblibě nemají, zvláště když se vyskytnou ve větším množství doma nebo na zahradě. Některé mravenci ochraňují pro nás nežádoucí hmyz (např. mšice) a pohled na ovocný strom, po němž se prohánějí stovky drobných mravenců, je neradostný. Také mravenec faraon doma není vítán, neboť může přenášet choroby a znehodnotit potraviny. Ne všichni mravenci páchají škody.

Mravenec lesní, chráněný a ohrožený druh je ochráncem přírody, jeho poslání hlavně spočívá v udržování biologické rovnováhy především v lesních ekosystémech. V posledních letech tento druh z rodu *Formica* patří mezi velmi ohrožené. Mravenec lesní, odborně řečeno *Formica rufa* Linnaeus, 1758, je nejznámější druh evropského mravence. Ve skutečnosti existuje 10 000 druhů mravenců, a v České republice jich najdeme až kolem 100 druhů.

Mravenec lesní vytváří známé kupy z jehličí a ty se stávají jeho domovem. Všichni mravenci, jež si staví mraveniště ve tvaru kup, jsou zákonem chráněni, protože byl v současné době zaznamenán velký úbytek tohoto užitečného hmyzu.

2. Cíl práce

Cílem této práce je sepsat rešerši z dostupné literatury zahraniční i domácí o ekologii, etologii a chemické komunikaci mravence lesního *Formica rufa* (Hymenoptera: Apocrita).

3. Mravenci

Mravenci patří mezi žahadlový štíhlopasí blanokřídlý hmyz (Hymenoptera: Apocrita: Aculeata), do nadčeledi Vespoidea, kde tvoří celou jednu čeleď Formicidae (Bogusch et al, 2007). Blanokřídlý hmyz představuje rozsáhlý a velmi různorodý řád, ať již jde o vzhled, velikost, zbarvení nebo o způsob života. Jeden znak má však tento druh společný, a to jsou dva páry blanitých křídel (Zahradník, 1987).

V zoologickém systému jsou mravenci řazeni podle Buchara et al. (1995):

- řádu blanokřídlí (Hymenoptera),
- podřádu štíhlopasí (Apocrita),
- čeledi Formicidae (mravencovití)
- podčeledi Formicinae nebo Formicini (mravenci)
- rodu *Formica* (mravenec).

Z celkového počtu přesahujícího 9 500 druhů žije na území České republiky více než 100 druhů mravenců (BOLTON 1995, WERNER 1989).

Rod *Formica* (LINNEAEUS, 1758) se dělí dle Czechowského et al. (2002) na čtyři podrody *Serviformica*, *Raptiformica*, *Coptoformica* a *Formica*.

Mravence dále lze rozlišit podle podrodu dle Wenera et. Bezděčky (2001), Farkač et al. (2005) a Macka et al. (2010):

Podrod *Serviformica* – skupina fusca – fusca group:

- *Formica cinerea* Mayr, 1853 – mravenec stříbřitý,
- *Formica cunicularia* Latreille, 1798 – mravenec stepní,
- *Formica fusca* Linnaeus, 1758 – mravenec otročící,
- *Formica fuscocinerea* Forel, 1874 – mravenec,
- *Formica gagates* Latreille, 1798 – mravenec lesostepní,
- *Formica lemni* Bondroit, 1917 – mravenec lémanův,
- *Formica picea* Nylander, 1856 – mravenec rašelinný,
- *Formica rufibarbis* Fabricius, 1793 – mravenec trávníkový.

Podrod Coptoformica – skupina exsecta – exsecta group:

- *Formica exsecta* Nylander, 1846 – mravenec pastvinný,
- *Formica foreli* Bondroit, 1918 – mravenec forelův,
- *Formica pressilabris* Nylander, 1846 – mravenec pasekový,

Podrod Raptiformica – skupina sanguinea – sanguinea group:

- *Formica sanguinea* Latreille, 1798 – mravenec loupeživý.

Podrod Formica s.str. – skupina rufa – rufa group:

- *Formica aquilonia* Yarrow, 1955 – mravenec boreální,
- *Formica lugubris* Zetterstedt, 1840 – mravenec podhorní,
- *Formica polyctena* Förster, 1850 – mravenec lesní menší,
- *Formica pratensis* Retzius, 1783 – mravenec luční,
- *Formica rufa* Linnaeus, 1758 – mravenec lesní větší,
- *Formica truncorum* Fabricius, 1804 – mravenec pařezový

Lesní mravenec je řazen do podrodu *Formica*, často však bývá označován jako skupina *Formica rufa*. V České republice se ze skupiny lesních mravenců vyskytují tyto druhy:

- *F. aquilonia*, *F. lugubris*, *F. polyctena*, *F. pratensis* *F. rufa* a *F. truncorum*.

Velmi zajímavý a odůvodněný přístup k ochraně mravenců v České republice lze nalézt v Červeném seznamu ohrožených druhů České republiky (Bezděčka, 2005), kde tento známý český myrmekolog rozdělil mravence do tří následujících skupin podle jejich vazby a závislosti na prostředí, které vyhledávají:

1. kriticky ohrožené druhy (zkratka CR - critically endangered).
2. ohrožené druhy (zkratka EN – endangered).
3. zranitelné druhy (zkratka VU – vulnerable) (Vysoký, cit. 2019).

Podle odhadu prof. Bernarda (v rozsáhlém kompendiu *Traité de Zoologie*, 1951) činí počet blanokřídlých asi 280 000 a celkový počet existujících druhů je kolem jednoho miliónu. Počet druhů blanokřídlých žijících ve střední Evropě je kolem 15 000 druhů. Na území celé Evropy pak žije kolem 45 000 druhů blanokřídlých (Zahradník, 1987).

Tabulka 1 - Druhy rodu *Formica* zařazených do Červeného seznamu ohrožených druhů

Druh mravence rodu <i>Formica</i>	CR	EN	VU
<i>Formica aquilonia</i> Yarrow, 1955		X	
<i>Formica exsecta</i> Nylander, 1846			X
<i>Formica foreli</i> Emery, 1909		X	
<i>Formica gagates</i> Latreille, 1798			X
<i>Formica pressilabris</i> Nylander, 1846			X
<i>Formica transcaucasica</i> Nasonov, 1889	X		

Zdroj: VYSOKÝ (cit. 2019)

3.1 *Formica rufa* Linnaeus, 1758 (mravenec lesní)

Mravenec lesní patří mezi druhý nejpočetnější druh lesního mravence v České republice, který obývá vlhčí prostředí. Vyskytuje se převážně na okrajích, ale i uvnitř lesních porostů. Typické pro tento druh jsou lesy nížin a pahorkatin.

Mravenec lesní (*Formica rufa* L.) je teplomilný blanokřídlý sociální hmyz patřící do skupiny lesních mravenců. Velice se podobá svým příbuzným, mravenci lesnímu menšímu (*Formica polychteta*), mravenci lučnímu (*Formica pratensis*) a dalším mravencům podrodu *Formica*. Stejně jako oni si staví velká, kupovitá mraveniště na okrajích lesů (Drbohlavová, 2013).

Mravenec lesní má na hlavě umístěná kusadla. Tato kusadla jsou pro mravence tím, co pro člověka ruce. Využívá je pro obranu před predátory, k zabíjení, ukusování a rozmělnování potravy, k přenášení vajíček na vhodná místa v mraveništi, k očištění těla a také k hloubení chodeb v zemi (Zďárek 2014). Na zadečku mají mravenci zakrnělé žihadlo s jedovou žlázou. Při napadení kouše a do rány vystřikuje jed, který obsahuje kyselinu mravenčí. Kyselina mravenčí byla poprvé extrahována v roce 1671 anglickým přírodovědcem Johnem Rayem destilací velkého množství drcených mravenců tohoto druhu (Drbohlavová, 2013). Zajímavá je z lékařského hlediska, uvádí

Svanberg a Berggren (2019), kyselina mravenčí, která může být použita k léčbě různých nemocí, zejména dny a revmatismu

Mraveniště obývají královny, dělnice a samci. Liší se nejen velikostně, ale také zbarvením. Královna a samec má délku těla 9-11 mm, zatímco dělnice je menší a měří pouze 4-9 mm. Na hrudi dělnice se vyskytuje tmavá skvrna a stejného zbarvení je také zadní část hlavy a zadeček. Zbytek těla je rezavo-červený (Drbohlavová, 2013).

Mravenec lesní může utvářet dvojí společenství – monogynní a polygynní. Monogynní společenství tvoří jen jedna plodná samička, nebo také královna. Kolonie čítá kolem 500tis. dělnic. Tato mraveniště bývají vyšší, což je zapříčiněno umístěním stavby. Vyskytuje se často na stinných místech. Tvořena jsou hlavně hrubým materiálem. Obyvatelé tohoto mraveniště jsou vůči ostatním mravencům stejného druhu velmi nesnášenliví. Po smrti královny takové společenství většinou hyne. V některých případech se podaří přijmout novou královnu (Drbohlavová, 2013).

Polygonní společenství je naopak tvořeno několika královnami v jednom mraveništi. Mraveniště čítá až milion obyvatel. Tato mraveniště jsou plošší a budovaná z jemnějšího materiálu. Mravenci jsou snášenlivější a drobnější. Často tato mraveniště přežívají celá desetiletí. Základem obou typů mravenišť bývá vykotlaný pařez, v kterém oplodněná královna založila kolonii (Drbohlavová, 2013).

Zbarvení lesního mravence *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae) dočervena je polymorfní, modulární a závislé na velikosti. Znamená to tedy, že tento druh dokáže produkovat pigmentové a strukturní barvy hlavně pro maskování, signalizaci, fyzickou ochranu nebo regulaci teploty a barevné vzory mohou poskytnout informace o fyzické zdatnosti. Ačkoli evoluční funkce a povaha variability ve zbarvení jsou dobře známy pro mnoho taxonů bezobratlých, u tohoto druhu mravence existuje velmi málo informací. Autoři studovali individuální variace melaninových barevných rysů dělníků červeného lesního mravence, *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae), ve 20 koloniích v jižním Finsku a odhalili typ zbarvení tohoto druhu. Výsledky ukázaly podstatnou modularitu v uvedených vlastnostech barvení. U dělníků *FR* se vyskytli jedinci s tmavou hlavou a světlým hrudníkem a naopak. Velikost barevných vzorů tmavých pigmentů vykazovala menší modularitu než stupeň melanizace. Vzájemný vztah mezi barevnými rysy a velikostí těla odhalil jejich velikost-závislý původ. Malí

jedinci měli na hlavě a hrudníku relativně větší plochy barev než velcí jedinci (Skaldina, Solvari, 2017).

Dělnice nemá pohlavní orgány, ale oproti královně má mnohem více vyspělou nervovou soustavu. Královna je zbarvena podobně, hrud' a zadeček jsou však lesklé. Jedná se o pohlavního jedince. Sameček je tmavého zbarvení, má mohutně vyvinutou hrud', křídelní svalovinu a mohutná křídla (Drbohlavová, 2013).

Mravenec lesní se vyskytuje téměř po celé Evropě. Směrem k východu jej postupně nahrazují jiné druhy a ve východní Asii se již nevyskytuje.

V České republice na něj lze narazit od března do října, hlavně ve smrkových lesích ve středních a vyšších polohách. Vyskytuje se až do 1000 m n. m.

V některých studiích se uvádí, že taxonomie skupiny *Formica rufa* (FR) je nyní definitivně popsána, ale není to vždy pravda. Například v některých částech Evropy nelze oddělit druhy *Formica poyclena* Forst. od *Formica mfa* L. Běžné finské druhy mravenců, které byly pozorovány v terénu a v laboratořích, byly před několika lety identifikovány jako *Formica poyctena* Forst. švédským taxonomistou Karl Hermanem Forsslundem (Rosengren, 1977).

Obrázek 1 – Dělnice mravence lesního



Zdroj: www.antkeepers.com/ant-species/formica-rufa-red-wood-ant/

3.2 Životní cyklus mravenců *Formica rufa* (FR)

Druhy mravence *Formica rufa*, stejně jako u ostatních mravenčích druhů s úplnou metamorfózou, procházejí během svého životního cyklu čtyřmi fázemi: vejce, larva, kukla a dospělý jedinec.

Vajíčka druhu *Formica* jsou drobná, elipsoidní, bělavé barvy s tenkou průhlednou skořepinou, s lepkavým povrchem. Lepivost slouží jako lepidlo, které slepí několik vajec dohromady, což usnadňuje dělnicím odnést jich více najednou. To je velmi praktické a klíčové v době invaze hnízda, kdy je třeba co nejrychleji přenášet plody do bezpečí (Hölldobler, 1990).

U vývojově pokročilejších druhů získává královna potřebné živiny přeměnou tkání křídelních svalů na tukové zásoby, odkud čerpá látky k produkci tzv. trofických (vyživovacích) vajíček jako potravu pro larvy. Potravně úplně soběstačná samička nemusí přitom opouštět ani plodovou komůrku. Po vylíhnutí prvních dělnic se úloha královny vymezuje jen na kladení vajíček. V některých případech je známo, že dělnice kladou trofická vajíčka a krmí jimi královnu (Hölldobler, 1990).

Když je vajíčko připravené, pomalu se mění na larvu. Z vajíček se vylíhnou larvy, beznohé. Jsou, stejně jako vajíčka, bílé, ale liší se od něj délkou. Larvy jsou transparentní, dlouhé a elipsovité. Jsou vybaveny malými chloupky, které způsobují lepidlo. Díky tomu se mohou larvy přilepit na sebe, na stěnu nebo podlahu. Jejich pohyblivost je omezena, ale mohou pohybovat hlavou, a natočit tak ústa, aby mohla přijímat potravu (Douwes, 2014).

Po snůšce zimních vajec na povrchu hnízda zalézají samičky do spodních podzemních částí mraveniště, kde setrvávají až do jara příštího roku. Tam kladou již jen tzv. letní vajíčka, ze kterých se vyvíjejí pouze dělnice. Mravenčí královna snáší od časného jara až do září průměrně asi 30 vajíček denně a již se samy o ně nestarají.

Po čtrnácti dnech se líhnou z vajíček mladé larvy, kterým je věnována potřebná péče. Péči o ně přejímají některé skupiny dělnic, které je podle potřeby přenášejí i z místa na místo. Jsou beznohé, slepé, bez tykadla a musí být krmeny. Rozlišujícím tvarem larvy je tvar s rovnou zadní částí, předek je štíhlejší a zakřivený. Vepředu má malou hlavičku s ústním ústrojím, se dvěma nízkými hrbolky, jakoby anténkami. Tělo

larvy je složeno ze 13 segmentů více či méně jasně oddělených zúžením (Hölldobler, 1990).

Larvy se většinou drží v blízkosti vajec, protože se můžou živit některými neoplozenými vajíčky. Larvy potřebují ke svému růstu hodně bílkovin. Některé druhy mravenců krmí své larvy pevnou potravou, kterou nasekaly svými kusadly na malé části, aby se lépe konzumovaly. Je také známo, že larvy vypouštějí kapaliny, jakýsi druh výkalů, které dělnice buď zkonsumují, nebo odstraní (Hölldobler, 1990).

Třetí a poslední etapou vývoje mravence jsou kukly. Během konce larválního stádia (pre-pupae) se larvy stanou neaktivními a zbaví se přebytečných tekutin, které v této fázi získaly. Některé druhy mravenců mají larvy, které se přeměňují v kukly, zatímco jiné ne. Příkladem může být severoevropský lesní mravenec *Formica rufa*. Kukly jsou jako bílé larvy, které časem ztmavnou. Z kukel se líhnou dospělé dělnice asi po čtrnácti dnech a po krátké době, kdy se jim zpevní vnější chitinová kostra, se již zapojují do práce v mraveništi (Hölldobler, 1990).

U jiných druhů se během kukel nevytvoří zámotky. Nejsou tak zakukleny a jejich vývoj lze snadno pozorovat. Všechny kukly jsou umístěny ve fetální poloze se sníženými hlavami a těly tvarovanými jako banán. Mravenčí kukly vypadají stejně, i když jsou zakryté skořápkou kukly.

Některé z exotičtějších druhů ve skutečnosti najdou jiné využití pro larvy kokonů. Tkanina kukly je z jemného hedvábného vlákna, které mohou larvy produkovat podle své vůle. Namísto toho, aby larvy používaly hedvábí pro výrobu kokonů, používají je pracovníci kolonie k lepení částí hnízd. Například tkalci mravenci, kteří se nacházejí na vrcholu stromů, spojují velké skupiny listů a vytvářejí hnízdo vysoko nad zemí. Mravenci nesou larvy pomocí svých čelistí a používají je jako lepicí zařízení (Douwes, 2014).

Když kukla plně vyrostla a začne tmavnout, vylíhne se mravenec. V prvních dnech svého života je lehce zbarvený a transparentní ve srovnání s ostatními členy mravenčí kolonie. Po několika dnech ztmavne a získá stejnou barvu jako jeho soukmenovci. Většina mravenců nechává nové mravence (také nazývané nanitika) v bezpečí, seznamovat se s vajíčky, královnou a dalším vnitřními povinnostmi kolonie, poté se zaměřují na nebezpečnější úkoly, jako je pátrání nebo obrana hnízda (Hölldobler, 1990).

Obrázek 2 – Vývojové stádium mravenců



Zdroj: <https://www.antkeepers.com/facts/ants/egg-to-ant/>

Obrázek vývoje druhu *Pseudomyrmex gracilis*. Jejich kukly se neproměňují v kukly, neboli zámotky, ale spíše se vyvíjejí bez jakékoli ochrany. Obrázek pochází z Archibaldské biologické stanice, Florida (USA), (<https://www.antkeepers.com/facts/ants/egg-to-ant/> - Alex Wild).

3.3 Ekologie mravence lesního – *Formica rufa*

Lesní mravenci jsou chráněni zákonem (zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny). Ačkoliv se zdá, že mravenců a mravenišť je v lesích dostatek, ve skutečnosti mravenců lesních rychle ubývá. Lesní mravenci se stali ohroženými druhy. Chráněny jsou všechny druhy, které si budují kupovitá mravenišť (Vysoký, cit. 2019).

Lesní mravenci mají zásadní ekologickou roli v mírných lesních pásmech, což je klíčovým momentem ve funkci a procesu lesního ekosystému. To umožnilo zkoumat lesní mravence jako sociální hmyz, zkoumat jejich flexibilní společenskou strukturu, genetiku, ekologie a chování, od rozpoznávání hnízda až po přidělování

úkolů. Interakce lesních mravenců a jejich životního prostředí s jinými organismy jsou pro jejich úspěšné zachování velmi zásadní (Kovaříková, 2014).

Lesní mravenci hrají významnou úlohu v lesních ekosystémech a zejména v případech, kdy se kolonie stávají rozsáhlými, mohou působit jako klíčové druhy, které poskytují podmínky, na nichž závisí mnoho jiných organismů. K tomuto druhu patří tyto tři druhy - *Formica aquilonia* a *Formica lugubris* jsou „praví mravenci“, patřící do rodu *Formica sensu stricta*, *Formica exsecta* patří k podskupině *Coptoformica*. Tyto druhy staví v lesích hnízda podobná kopci a jsou ohrožena ztrátou přirozeného prostředí a stanovišť (Stockan et al. 2017).

Zdravý les by měl mít asi 500 mravenců na každý metr čtvereční. Průměrná délka života mravence dělníka je pouze 60 dnů, samečci žijí jen několik týdnů, ale královny mohou žít až 15 let nebo i déle. Mravenčí královna spí až 9 hodin denně, zatímco dělnice usilovně pracují. Dělnice přenášejí kukly po mraveništi, aby jim poskytly optimální teploty pro růst, a někdy je i přenesou na povrch hnízda, aby čerpali teplo ze sluníčka. Na podzim může hnízdo generovat dostatek tepla. Pryskyřice borovic pinií má antibakteriální vlastnosti, takže jí mravenci nosí do hnízda, aby ho chránili před bakteriemi a plísněmi, které by ho jinak mohly poškodit. Lesní mravenci používají k navigaci především zrak a čich (vůně). Mají pozoruhodné vzpomínky a po hibernaci po dobu 6 měsíců si mohou pamatovat cestu za potravou (Bolton, Collingwood, 1975).

Začátkem osmdesátých let minulého století prozkoumalo potenciál lesních mravenců jako činitelů biologické kontroly stromových škůdců italské ministerstvo lesního hospodářství. Snahy italských vědců prokázat spojitost výskytu mravenců s nižším výskytem lesních škůdců díky přesunutí mravenců do jiných lesů, kde byl výskyt mravenců minimální, se však nezdařil (Bolton, Collingwood, 1975).

Červení mravenci ze skupiny *Formica rufa* (*FR*) (nebo *Formica s.* Str. Stockan & Robinson, 2016) jsou dominantními druhy v borových jehličnatých lesích. Genetická divergence v rámci skupiny *FR* je velmi nízká (<2% v mitochondriích) a druhy se podle odhadu lišily pouze v posledních 500 letech, možná při pobytu v různých ledovcových refugiích. Druhy *Formica aquilonia* a *F. lugubris* se dají nalézt v borovicových pásmech Alp, zatímco *F. polycтена*, *F. pratensis* a *F. rufa* jsou přítomni v jižních nebo nižších nadmořských výškách (Beresford, Elias, 2017).

Formica exsecta je zařazen na britský červený seznam ohrožených druhů, kde je klasifikován jako kategorie 1, ohrožený. Předpokládá se, že *Formica aquilonia* a *Formica lugubris* jsou v současné době stabilní, ale i nadále jsou náchylné k nevhodnému obhospodařování lesů. Všechny tři druhy jsou zahrnuty ve Skotském seznamu biodiverzity (Bolton, Collingwood, 1975).

3.4 Mraveniště

Teplota ovlivňuje každý aspekt biologie mravenců, zejména rychlost metabolismu, růst a vývoj. Udržování vysoké teploty vnitřního hnízda zvyšuje rychlost vývoje plodu a tím zvyšuje kondici kolonie. Hmyzí společnosti mohou dosáhnout lepší termoregulace než solitární hmyz, a to díky schopnosti budování velkých a komplikovaných hnízd a společenského chování. V mraveništích (ale i termitištích) tvoří hnízdo kopcovitý útvar a často tak funguje jako solární kolektor, s účinným systémem větrání. V mraveništi tak mohou fungovat dvě termoregulační strategie. Nejprve mravenci použijí vyšší teplotu u vrcholu mraveniště a přenesou tam svoje plody. Dělnice nosí kukly podle toho, jaká teplota se zrovna u vrcholu pohybuje tak, aby zajistily ideální podmínky pro vývoj plodu. Přesné vnímání teploty a vývoje teplotních preferencí je nezbytné pro správné rozhodnutí. Druhou termoregulační strategií používanou hnízdícími mravenci je udržení vysoké teploty uvnitř velkých hnízd. Unikátní tepelné a izolační vlastnosti materiálu hnízda přispívají k udržení stabilních podmínek, což je případ rodu *Formica*. Mravenci mohou regulovat tepelné ztráty pohybem agregace hnízda a jeho střídavým větráním. Metabolické teplo produkované mravenci nebo přidruženými mikroorganismy je důležitým doplňkovým zdrojem tepla, který pomáhá udržovat tepelnou homeostázu v hnízdě (Frouz, 2000, 2005 a Kadochová, Frouz, 2013).

Míra termoregulace hnízda závisí na mnoha dalších faktorech, např. velikosti hnízda, velikosti populace a vlhkosti a tepelné vodivosti materiálu hnízda. Mravenci hnízdí v široké škále materiálů; v půdě, pod kameny, ve spadaném listí, v pařezech nebo špalcích.

Červení mravenci z rodu *Formica* si staví velká hnízda z organického materiálu, který je složen na směsi zeminy, větviček, jehličí a oblázků.

U těchto hnízd je možné udržet stabilní tepelné jádro díky dobrým izolačním vlastnostem těchto materiálů a metabolickému teplu, které produkují mravenci nebo jejich související mikroflóra (Frouz et al., 2005).

Složení organického materiálu není stejné v celém hnízdě, hnízdo a ani jeho struktura není pevná. Mravenci uvolňují a obnovují strukturu hnízda a organický materiál kontinuálně a hnízdo se tak může skládat ze 3 vnějších vrstev. Struktura hnízda a architektura hraje zásadní roli v termoregulaci hnízda. Tunely a průchody stavěné mravenci jsou důležité zejména pro ventilaci a řízení vlhkosti, které ovlivňují teplotu hnízda. Mravenci používají i borovicovou pryskyřici, která má antimikrobiální účinky. Pryskyřice inhibuje růst potenciálně patogenních bakterií a hub v hnízdě (Castella et al., 2008).

Účinná ventilace probíhá v rámci termoregulace hnízda u mnoha druhů mravenců, která je regulována otevíráním a zavíráním vchodů do hnízda. Na povrchu hnízda je mnoho otvorů, které jsou funkčně rozděleny na vstupní a výstupní tunely. Vítr jdoucí přes hnízdo z jakéhokoliv směru způsobuje, že vzduch vystupuje z centrálního tunelu a vstupuje do tunelů na obvodu hnízda. To zajišťuje výměnu dýchacích plynů a optimální tepelné podmínky pro symbiotické houby, které se při vyšších teplotách nad 30 ° C ničí (Kleineidam, Roces, 2008).

Červení lesní mravenci rodu *Formica* používají metabolické teplo k udržení tepelného jádra, oblasti v hnízdě s vysokými a stabilními teplotami. Pro sexuální vývoj plodů jsou vyžadovány vysoké teploty. Hnízda, která produkují sexuální potomky, mají vždy vyšší teploty než ta, která produkují pouze dělnice (Rosengrenet al., 1987). Poloha tepelného jádra se pohybuje podle tvaru hnízda a velikosti. Teplota v hnízdě lesních mravenců začíná na jaře velmi brzy stoupat, i když je hnízdo pokryto ledem a sněhem. V této době mohou některá hnízda obsahovat larvy, kukly a dokonce i jednokřídlé jedince, což naznačuje, že vnitřní ohřev musel začínat mnohem dříve, protože vývoj larev nemůže začít v chladném hnízdě a vyžaduje několik týdnů konstantní teploty (Martin, 1988).

Populační studie v mravenišťích stavěných mravenci skupiny *Formica rufa* ukázaly, že obydlená mravenišťe, např. v oblasti Černého lesa zabírala plochu 1 640 ha (4 100 akrů) u Freiburgu Breisgau. V sedmdesátých letech minulého století byly zaznamenány hustoty hnízda 12,7 až 19,1 na 100 ha. Průměrná roční úmrtnost hnízda

pro tři nejhojnější druhy (*F. rufa*, *F. polyctena*, *F. pratensis*) byla 21–33%. Průměrná roční porodnost hnízda se pohybovala mezi 31 a 51%. Odborníci došli k závěru, že změny v počtu mravenišť vyplývají spíše z natality hnízda než z přiměřeně stabilní úmrtnosti hnízd. Velikost hnízda byla hodnocena podle výšky a průměru. Vývoj velikosti hnízda ukázal výrazný nárůst s věkem u *FR* a *F. polyctena* dosahující maxima ve věku 2–5 let. Průměrná délka života malých hnízd byla výrazně nižší než u větších hnízd (Klimetzek, 1981).

Vzhledem k jejich širokému výskytu v evropských lesích, jsou lesní mravenci, také často společně nazýváni jako červení lesní mravenci (RWA), předmětem rozsáhlého výzkumu jejich sociální struktury, geografického rozložení a hustoty (např. Kissling 1985), populační dynamiky a chování (Klimetzek, 1981) a jejich dopad na biologickou rozmanitost (Laakso, Setälä 1997, 2000, Hawes et al. 2002). Bylo také zjištěno, že mravenci ovlivňují růst stromů tím, že se živí listovými defoliátory a chrání mšice (Laakso a Setälä 2000). Žďárek (2013) popisuje mravenčí „pohřební čtyři“ jako neunavitelné tím, že zlikvidují neuvěřitelných 90 % uhynulých. Tím jednoznačně přispívají ke koloběhu živin v biotopech.

Uvnitř hnízda mají mravenci stálou teplotu kolem 35 stupňů Celsia a větší vlhkost. Často je základem mraveniště starý pařez, protože je dobrým úkrytem pro královny, larvy a kukly. Konstrukce hnízda sahá i pod zem.

Jádro mraveniště tvoří větvičky a spleť komor. Překrývá ho plášť z jehličí a dalšího materiálu. V zimě mravenci utěsní vchody a stáhnou se pod zem. Přečkají ji v chladové strnulosti. Na jaře, když je slunečno, lze pozorovat takzvané teplo nosící mravence. To jsou souvislé vrstvy mravenčích dělnic, které se sluní na povrchu mraveniště, nasávají potřebné teplo. Při návratu do mraveniště ho pak přirozeně prohřívají (Klimetzek, 1985). Ohřát se na povrch přicházejí i královny. Velká mraveniště mívají několik milionů obyvatel, mezi nimi stovky královen (Klimetzek, 1985).

Každé mraveniště má svůj charakteristický pach nebo vůni, která je pro některé druhy mravenců atraktantem, pro jiné druhy má odpuzující účinek. Touto studií se zabývali Włodarczyk a Szczepaniak (2014), kdy porovnávali druh *F. rufa* a *F. sanguinea*.

Obrázek 3 – Mraveniště mravence lesního



Zdroj: sdruzenikrajina.cz

3.5 Výskyt mravenců ve světě

Mravenců je na světě asi 20 000 druhů a jejich celková hmotnost se rovná asi hmotnosti všech lidí na Zemi. Jsou rozšířeni hlavně v tropických oblastech. V České republice jich žije sice jen asi 100 druhů, mohou být však také velmi početní. Dožívají se z hmyzu nejdelšího věku (mravenčí královna i přes 25 let). Některá z mravenišť mohou mít průměr základny až 4 - 5 m a dosahovat výšky 160 cm. V těchto obřích stavbách může přebývat až několik milionů jedinců. Je známo, že lesní mravenci mohou účinně udržovat ekologickou stabilitu lesa tím, že napomáhají při likvidaci některých nežádoucích přemnožených škůdců (obaleči, ploskohřbetky, bekyně mniška aj.), proto jsou v lesním hospodářství velmi ceněni a chráněni Zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Lesních mravenců v přírodě velmi rychle ubývá a stali se tak ohroženými druhy. Chráněny jsou všechny druhy, které si budují kupovitá mravenišť (Miles, 2001, 2006).

Změněné abiotické podmínky způsobené ztrátou lesního porostu mohou mít škodlivé účinky na mravence a jejich hnízda. Klimetzek (1985) popisuje, jak hnízdící mohyly byly rychleji opuštěny právě mravenci skupiny *FR*, a to v přírodních nebo polopřírodních podmínkách. Nebylo však zřejmé, zda má přirozený výskyt biotopů vliv na přirozený obrat hnízd u těchto lesních mravenců (Klimetzek, 1985).

Jedním z hlavních témat ekologie je adaptace na přežití na různých stanovištích a potenciál prostředí regulovat populace. Byly studovány účinky čerstvě posekaného porostu v předlesních oblastech v opouštěných hnízdech a velikosti místních populací u lesních mravenců *Formica aquilonia*. Míra opuštění hnízda byla jednoznačně vyšší než v místech, kde se porost nesekal nebo uvnitř lesa. Zřetelně bylo opuštěno 39% hnízd v předlesních oblastech a 73% v oblastech 4–5 let po odlesnění, zatímco v lesích bylo ve stejném období opuštěno méně než 2% hnízd. Velikost místního obyvatelstva se snížila o 30%, ale méně než 2% uvnitř lesa. Výsledky dokazují, že navzdory moderním postupům těžby, při nichž dochází k snížení mechanického poškození hnízdních pahorků, jsou hnízdní pahorky opuštěny vysokou rychlostí a navzdory častému vzniku nových hnízd, začínají populace klesat. Pravděpodobným důvodem vysoké míry opuštění hnízd v přirozených podmínkách je kombinace změněných abiotických podmínek, omezení zdrojů a narušené reprodukce. Druhy, které jsou citlivé na změny velikosti stanoviště, jako je například *F. aquilonia*, jsou pravděpodobně poškozeny těžbou dřeva, a to i při využití postupů řízení zaměřených na zachování biologické rozmanitosti. Je proto nutné specifikovat ochranná opatření, která budou založena na velikosti chráněných oblastí (Sorvari, 2007).

V jižním Norsku byly zkoumány mohyly hnízd lesních mravenců na třech ledovcích. Velikost a složení 168 hnízd, z nichž většina patřila k *Formica lugubris*, se týkaly stáří terénu, vegetačních charakteristik a typů fyzických stanovišť. Hnízda do výšky 100 cm zabíraly ledovcové výběžky s hustotou 2,5–4,6 m / ha. Velikost a složení hnízd se vztahoval k počtu stromů (*Betula pubescens*) vyskytujících se do 5 m od každého hnízda, což odráželo dostupnost biologických zdrojů pro hnízda a potravu mravenců, kterou je primárně medovina z mšic, které jsou na stromech. Hnízda byla poměrně velká a ukazovala tak na vzájemnou přítomnost mšic a mravenců. Jižně stavěné mohyly ukazovaly na důležitost přímého slunečního záření na udržování vnitřních teplot hnízd (Hill et al., 2018).

Lesní mravence lze obvykle nalézt v jehličnatých, smíšených a listnatých lesích palearktické ekozóny. V Polsku byl proveden výzkum lesních mravenců na ploše 1400 ha v Białowiežském lese. Celková hustota osídlených hnízd byla 0,13 na ha. Nejčastěji se vyskytovaly druhy *Formica polycтена* a *FR* a nejvyšší hustoty jejich hnízd byly nalezeny v čerstvých smíšených listnatých a čerstvých smíšených jehličnatých lesích. Množství světla a vzdálenost k nejbližšímu stromu

významně ovlivnilo velikost hnízda. Se zvyšujícím se zastíněním porostu byla hnízda širší a vyšší. Výsledky studie ukázaly, že jehličnaté lesy s příměsí listnatých stromů jsou nejvhodnější pro zachování populace lesních mravenců (Sondej et al., 2008)

Změny klimatu přináší změny a změny v prostředí, které interagují s biologickou dynamikou ekologických systémů. Gallé (2017) ve studii dokazoval, jak mohou klimatické změny způsobit zásadní změny. Dynamiku kolonie mravenců studoval 37 let na písčítých pastvinách ve středním Maďarsku. Před samotnou studií byla na určeném stanovišti identifikována dobře definovaná prostorová struktura mravenčího společenstva, která se skládala ze tří druhových skupin (horních, přechodných a písečných – dunových skupin), zabírajících různá stanoviště. Během sledovaného období bylo pod břidlicemi zaznamenáno 11 druhů mravenců a 2813 hnízd. V průběhu 37 let se významně změnil charakter společenství, ze studovaných ploch vymizely druhy volných dun, zatímco významná tendence vzrostla u četných druhů tolerantních k suchu. V případě skupiny přechodných druhů nebyl pozorován žádný významný trend. Na úrovni druhové populace vykazovaly intenzivní úbytek dvou druhů: *Lasius niger* a *Formica cunicularia*; zatímco populace *Plagiolepis taurica* v druhé polovině projektu významně vzrostla a prostorově se připojila ke skupině přechodných druhů v dunách. Tyto změny vedly k výraznému poklesu druhového bohatství a homogenizace druhového složení napříč lokalitami. Analýzy ukázaly, že vyčerpání podzemních vod má nejsilnější vztah k těmto populačním trendům. Studie tak ukázala, že změna klimatu může být spojena se zásadní změnou struktury společenství mravenců jako hlavních aktérů ekosystému (Gallé, 2017).

Lesní mravenci si stavějí velké nadzemní organické mohyly. V kontrastu toho to vypadá, že taxonomické použití skupiny *FR* v severní Americe má mnohem širší význam než v Evropě a Asii. Dvacet čtyři druhů a poddruhů je v severoamerické skupině *FR*, ale jen několik málo si staví velká hnízda. Výzkum autorů ukázal, že existuje velmi málo informací o hojnosti a šíření mravenců červenohnědého v Severní Americe, jaké lesní podmínky se zde nacházejí a jakou úlohu mohou mít v lesních ekosystémech. Podmínky prostředí (teplota, vlhkost), oheň, člověk, predátoři a konkurence s jinými druhy mravenců jsou možné faktory, které mohou vysvětlit, proč v mnoha eurasijských mravencích převládají geny mravence červeného, ale ne v severoamerických lesích. Jurgensen et al. (2005) poukázali na nutnost studie

o ekologii červeného mravence v Severní Americe, zejména interakce a možné konkurence mravenců tesařů (*Camponotus* spp.). Studie o taxonomických vztazích severoamerické skupiny *FR* k eurasijským mravencům s. str. subgenus jsou velmi potřebné k pochopení původu a vývoji mravenců lesních, červených, v Severní Americe (Risch, 2005).

Rozsáhlý taxonomický a genetický výzkum podrodu *Formica* má za následek šest druhů, které jsou umístěny ve skupině *FR*, která si staví hnízda ve tvaru kopule. *F. truncorum* Fabricius, který je také ve *Formica* skupině, si staví hromady, které jsou menší a více nepravidelného tvaru než konkrétní druhy *FR*. Naproti tomu taxonomie severoamerického červeného lesního mravence dřeva je roztržštěná a zastaralá. Dvacet čtyři druhů a poddruhů lze nalézt ve skupině *FR*, které obývají široké spektrum lesů, ekosystémy půdy a pastvin v USA a Kanadě. Nicméně, pouze pět z těchto druhů si údajně staví velká kopcovitá mravenišť, charakteristická pro euroasijské druhy *Formica rufa*. Dalších 19 druhů a sub-druhů jsou více podobné euroasijským červeným lesním mravencům *F. truncorum*, kteří pokrývají svá hnízda různým množstvím organických nečistot. O genetice a ekologických vztazích mezi červenými lesními mravenci a dalšími *Formica spp* je toho v Severní Americe relativně málo známo. Nejvíce rozšířený druh je *Formica obscuripes* Forel. Tento druh si staví velké mohyly v prérii a suchých lesních ekosystémech západních Spojených států a Kanady. Pouze tři další druhy v rámci skupiny North American *F. rufa* (*F. dakotensis* Emery, *F. integra* Nylander a *F. obscuriventris obscuriventris* Mayr) (Jurgensen et al., 2005).

3.6 *Formica rufa* v České republice

Mravenci patří k nejhojnějším a nejrozšířenějším živočichům na Zemi. Obývají téměř všechny typy suchozemského prostředí a obsazují i taková stanoviště, na něž jiné skupiny hmyzu pronikají jen velmi obtížně. Jako predátoři, mutualisté, roznašeči semen, herbivoři nebo ekosystémoví inženýři, mohou významně působit na své okolí a organismy, které je obývají. Studium mravenců proto může přispět k chápání evoluce hmyzu, šíření organismů, konkurenčních vztahů, mutualismu, reakcí ekosystémů na změny nebo k porozumění problematice biologických invazí (Bezděčka, Bezděčková, |2017).

Lesní mravenci r. *Formica* vytvářejících větší kupy, jsou zastoupeni v ČR šesti druhy:

V České republice lze nalézt celkem 6 druhů lesních mravenců:

- *Formica aquilonia* Yarrow
- *F. lugubris* Zetterstedt
- *F. polyctena* Förster
- *F. pratensis* Retzius
- *F. rufa* Linnaeus
- *F. truncorum* Fabricius (Bezděčka, 1982).

Formica polyctena Förster, 1850 (mravenec pospolitý) - nejběžnější a nejrozšířenější lesní mravenec i v ČR. Lze je nalézt v jehličnatých lesích, vyskytují se i ve světlých listnatých lesích. Ve stinných smrkových lesích si buduje velká, kuželovitá až oblá hnízda, někdy o šířce i více jak tři metry a vysoká víc jak metr a půl. Takto velká hnízda vždy patří tomuto druhu (Bezděčka, 1982).

Formica rufa Linnaeus, 1758 (mravenec lesní) - druhý nejpočetnější lesní mravenec, obývající vlhčí prostředí než *F. polyctena*. Lze ho nalézt na okrajích lesních porostů nebo uvnitř lesa. Jeho hnízda jsou podobná *F. polyctena*, jsou ale menší, šířkou do dvou metrů a výškou do jednoho metru (Bezděčka, 1982).

Formica pratensis Retzius, 1783 (mravenec trávni) – z lesních mravenců největší a třetí nejhojnější v České republice. Lze ho nalézt především na otevřených stanovištích, jako jsou louky, pastviny, okraje lesů, příkopy silnic, ale i ve světlých listnatých lesích. Hnízda nejsou příliš vysoká a mají širokou základnu, kterou tvoří úlomky suchých stébel, hrudky půdy a menší kamínky nebo semena (Bezděčka, 1982).

Formica aquilonia Yarrow, 1955 (mravenec boreální) - alpský vysokohorský a severský druh, v České republice ho lze nalézt jako glaciální relikt na dvou místech, ve smrkových porostech v Novohradských horách a v Blanském lese, kde je dominantním druhem lesních mravenců (Bezděčka, 1982).

Formica lugubris Zetterstedt, 1840 (mravenec podhorní) - horský druh lesního mravence, v České republice se nachází v pěti pohořích, na Šumavě ve výšce nad 700

m n. m., v Brdech, v Jeseníkách, v Novohradských horách a v Žďárských vrších. Hnízda si tvoří z jehličí a větviček (Bezděčka, 1982).

Formica truncorum Fabricius, 1804 (mravenec pařezový) – světlomilný druh mravence, který žije na celém území České republiky. Nejčastěji ho lze nalézt v Krkonoších a Orlických horách, na okrajích lesů a lesních cest nebo na lesních pasekách. Jeho hnízda jsou menší a plochá, krytá, se základnou na pařezech nebo hromadách kamenů, pokrytých jehličím (Bezděčka, 1982).

Obrázek 4 – Mravenec lesní



Zdroj: <https://www.biolib.cz/cz/image/id310374/>

Kraj Vysočina leží v oblasti Českomoravské vrchoviny, v nadmořské výšce 239–836,5 m. Rozkládá se po obou stranách historické hranice Čech a Moravy a zaujímá plochu 6 796 km². V porovnání s jinými kraji České republiky patří k regionům s přirozeně nižší druhovou diverzitou, myrmekofauna tohoto území je však pestrá a neobyčejně zajímavá. Druhy mravenců, jejichž výskyt byl dosud zaznamenán na tomto území, spadají do tří hlavních zoogeografických tříd, zóny jehličnatých lesů (tajga), zóny smíšených a opadavých lesů a zóny semiaridních a aridních oblastí Eurasie. Na relativně malém území jsou bohatě zastoupeni lesní mravenci (podrod *Formica* s.), žije zde mravenec rašelinný – *Formica picea* Nylander, 1846, jeden z mála skutečných tyrfofilů mezi evropskými mravenci, a vyskytuje se tu

i řada teplomilných a suchomilných druhů s centrem areálu rozšíření v jižní Evropě či Mediteránu (Bezděčková, Bezděčka, 2017).

Na území Kraje Vysočina byla dosud zaznamenána přítomnost celkem 85 volně žijících druhů mravenců 24 rodů a pěti podčeledí (tab. 1). To je téměř 77 % ze 111 volně žijících druhů, jejichž výskyt byl doposud zjištěn na území České republiky. Druhově nejbohatší byla podčeleď Myrmicinae s 12 rody a 39 druhy. Nejpestřejšími rody byly *Formica* s 15 druhy, *Lasius* s 13 druhy a *Myrmica* s 12 druhy. Naopak podčeleď Proceratiinae byla (stejně jako v celé České republice – viz Werner et Wiezik 2007) reprezentována pouze jedním druhem. Také 12 rodů mělo pouze po jediném zástupci. Z hlediska zoogeografického převládala třída zóny smíšených a opadavých lesů, k níž patřilo 44 (52 %) druhů. Nejvyšší počet druhů je dosud znám z okresů Třebíč (79 druhů = 93 % regionální myrmekofauny) a Žďár nad Sázavou (53 druhů = 62 % regionální myrmekofauny). To odráží stanovištní pestrost těchto oblastí, ale jistě také intenzitu dosavadních průzkumů.

V okrese Třebíč se dochovala řada ploch stepního charakteru. Nejvýznamnější z nich je národní přírodní rezervace Mohelenská hadcová step, unikátní lokalita, jež vyniká vysokou diverzitou mravenčích společenstev s téměř pětinným zastoupením druhů s těžištěm rozšíření v aridních a semiaridních oblastech Eurasie). K takovým druhům patří např. *Messor cf. structor* (Latreille, 1798), *Plagiolepis vindobonensis* Lomnicki, 1925, *Tapinoma erraticum* (Latreille, 1798) nebo *Strongylognathus kratohvili* (Bezděčková, Bezděčka, 2017).

V České republice se nachází světový unikát, lokalita Voltův vrch mezi Telčí a Kostelním Vydrším (Bezděčková, Bezděčka, 2017). V této lokalitě se nachází superkolonie, 1 700 mravenišť druhu *Formica rufa* - mravence lesního. Mravenci se chovají jako členové jedné rodiny, tzn., že sdílejí teritorium, dělí se o potravu, vyměňují si jedince v hnízdech.

Šebeň je území v katastru obce Bory nedaleko Křižanova na Žďársku. Na tomto nevelkém území eviduje Český svaz ochránců přírody 1 200 mravenišť, která jsou v drtivé většině dílem druhu mravence pospolitého, což je u takového druhu na jednom území velká rarita. V této oblasti se nachází zhruba miliarda jedinců mravence lesního. Vztahy mezi jednotlivými hnízdy odpovídají modelu, který lze nazvat obří společenství. Mravenci mají rádi spíše osluněné okraje lesa,

a tak jak se okolní prostředí mění, přelévají se taky mraveniště. Některé shluky jsou už opuštěné, jiné vznikly o kus dál. Nejvyšší kupa měla až dva metry a průměr pět metrů (Miles, 2006).

Největší komplexy lesních mravenišť byly odhaleny teprve v několika posledních letech. Především na jihočeské hoře Klet' v CHKO Blanský les, počet zaregistrovaných mravenišť v nadmořské výšce 500 až 1020 m dosahoval v roce 2004 asi 3500 hnízd. Žije zde přitom velmi vzácný druh *Formica aquilonia* (mravenec boreální), který sem pronikl zřejmě až v nedávné době z Alp (Miles, 2006). Další místem početného výskytu mravenišť jsou Jeseníky. Žije tady horský druh lesního mravence *Formica lugubris* (mravenec podhorní), který vytváří v okolí boudy Alfrédka (kolem 1000 m n. m) komplex mravenišť, čítající v r. 1998 až 1265 hnízd. Mravenci jsou na tomto území chráněni díky přírodní rezervaci, rozkládající se na tomto místě. Tento druh mravence se vyskytuje také na Šumavě a v brdských lesích (Miles, 2006).

4. Chemická komunikace mravence lesního

Komunikace mezi jednotlivci je nezbytná v jakékoli organizované společnosti a pro mravence - jejichž kolonie mohou obsahovat až 306 milionů dělnických mravenců-je více než zásadní a nutná. Zatímco však lidské společnosti používají zejména ke komunikaci mezi jednotlivci zvuk, zrak a dotek, mravenci využívají hlavně chemické signály zvané feromony (Lungmayer, 2016).

Společenský hmyz má několik výhod oproti soliternímu hmyzu. Přítomnost mnoha jednotlivců může zvýšit spolehlivost celého systému, a to prostřednictvím rozdělení si práce a úkolů. Další výhodou je možnost zejména sdílení informací a komunikace mezi jedinci. Výzkumy ukázaly, že komunikace mezi mravenci nespočívá jen v nasměrování přinesení jídla, ale umožňuje celé kolonii regulovat celkové aktivity, jako např. krmení potomstva. Studium shánění potravy a komunikace u sociálního hmyzu má dlouhou historii. Někteří vědci se zabývali myšlenkou, že mravenci mohou používat jakýsi sofistikovaný kódovaný jazyk, něco jako Morseova abeceda. Tato tvrzení se ale nezakládají na pravdě a nebyly nikdy vědecky prokázány (Jackson, Ratnieks, 2006).

Složitě společenské vztahy mezi členy kolonie jsou zprostředkovány převážně feromony, které se uvolňují ze žláz na různých částech těla. Žďárek (2013) např. popisuje metapleurální žlázu na hrudi mravenců, která uvolňuje směs fenolických látek, které využívají k desinfekci vlhkého prostředí proti plísním a ničí jimi i nežádoucí mikroorganismy.

Zvláště důležitá je signální soustava chemická, v níž se signální projevy předávají pomocí chemických sloučenin - feromonů. Jsou to hormony, které synchronizují a řídí život mravenčího společenstva, zajišťují korelaci mezi všemi jedinci hnízda a udržují soulad všech funkcí. Každý mravenčí jedinec jimi dokáže vyjádřit obrovské množství vzkazů, zákazů, příkazů a informací. Průkazem totožnosti a příslušnosti k určité komunitě je tedy tzv. domovský pach. Potkají-li se dvě mravenčí dělnice, nejprve se „osahají“ tykadly, která jsou sídlem čichu a hmatu. Pokud se jedná o vetřelkyni z jiného hnízda, čichem ji rozpoznají a svoji nevráživost dají najevo různým způsobem - buď ji v kusadlech vynesou za hranice území hnízda, nebo ji napadnou a zabijí. Někdy ji také přijmou, ale nejdřív ji nechají vyhledovět a ignorují ji. Mravenci používají až 20 různých druhů chemických sdělení

a každé má svůj určitý obecný význam jako např. nábor pro určitou činnost například při objevení nového zdroje potravy, vyhlášení poplachu, rozlišení jednotlivých kast i jedinců, královna brzdí svými feromony zrání vaječníků u dělnic nebo omezuje vývoj nových samic, při setkání s vetřelcem vylučují poplašný feromon, k přivolání posil, při označení cesty využívají tzv. stopovací feromon, a další (Hradská, 2014).

Feromony jsou detekovány na špičkách tykadel, které jsou u mravenců velmi citlivé. Pomocí pohybu levého nebo pravého tykadla mohou mravenci s měnící se silou feromonu reagovat na to, kam se pohnout. Mravenci, nemají tykadla, nebo je mají poškozená, mohou být tak velmi dezorientováni (Hölldobler, Wilson, 1997). Typy a množstvím senzil u blanokřídlých na tykadlech se zabýval Walther (1979) a okrajově zmiňuje i mravence.

U mravenců se vyskytuje asi deset až dvacet různých (druhově závislých) feromonů, z nichž každý reprezentuje „chemické slovo“, kterému rozumí celá kolonie. Například, stopovací feromony navádějí dělnice z hnízda ke zdrojům potravy, feromony královny přivolávají dělnice a sexuální feromony přivádějí dohromady samce a samice k páření. Mravenčí dělnice kladou chemickou stopu od potravy k hnízdu a přivolávají další dělnice, aby následovaly stopu a přinesly potravu.

Hormon “neuropeptid aktivující biosyntézu feromonů” (Pheromone Biosynthesis Activating Neuropeptide, PBAN) byl poprvé objeven a identifikován u mūr vědci ARS v osmdesátých letech minulého století. Při jednom pokusu vědci injektovali dělnicím lesních mravenců jejich specifický PBAN, aby zjistili, jestli tento proces ovlivňuje biosyntézu stopovacího feromonu. Výsledky ukázaly, že po vstříknutí PBAN byla produkce feromonu podstatně vyšší. Kromě specifického genu PBAN lesního mravence, identifikovali také DNA sekvenci receptorového genu PBAN tohoto mravence. Pomocí této informace zjistili, že receptorový gen byl exprimován v Dufourově žláze, která produkuje stopu tvořící feromon (Salava, 2014).

Vědci rozpustili dsRNA PBAN nebo jeho receptoru ve vodě, injektovali ho do mravenců a 24, 48 a 72 hodin po vstříknutí provedli pozorování. Když byla použita RNA i k potlačení exprese buď genu PBAN nebo receptoru genu PBAN, mravenci produkovali méně stopovacího feromonu než mravenci, kteří neprošli tímto

ošetřením. Tyto výsledky potvrdily, že PBAN je zapojený v biosyntéze stopovacího feromonu u lesních mravenců, a tudíž tato funkce není omezena jen u mūr (Salava, 2014).

Feromony mohou být použity podle toho, co je od nich požadováno, např. najít několika mravenců z celého hnízda, upřesnění místa nálezu kvalitní potravy, o napadení kořisti, obranu kolonie, umístění zdroje potravy nebo přemístění celé kolonie z důvodu nebezpečí nebo nevhodných faktorů prostředí (Hölldobler, Wilson, 1997).

Když je mravenec přimáčkнутý nebo v nebezpečí, uvolní se jiný feromon, tzv. poplašný, který varuje ostatní před potenciálním nebezpečím. Feromony také pomáhají mravencům rozlišovat mezi různými členy mravenčího společenství, jinými druhy vyskytujícími se nebo akceptované v hnízdě, např. od cizinců. Mravenčí královna produkuje speciální feromony, které určí, kdo a z jaké kasty se v mraveništi vylíhne z vajíčka. Zda to bude voják bojovník nebo mravenec určený k práci (Hölldobler, Wilson, 1997).

Chemoreceptory lze rozlišit na čichové receptory, chuťové receptory a ionotropní receptory, jakož i několik dalších tříd receptorů. Tyto receptory jsou exprimovány v čichových receptorových neuronech (ORN) v tykadlech, pachy se přenášejí jako informace do mozku, což nakonec vyvolá behaviorální reakci. Dlouho se věřilo, že vnímání „obecných“ pachů (vůně potravin a květin) je odděleno od vnímání „sociálních“ pachů (např. feromonů) a že jsou detekovány různými receptory. U mravenců závisí rozpoznávání koloniálních matric na kutikulárních uhlovodících (CHC), které informují o kastovním a reprodukčním stavu. Japonský výzkumný tým se pokoušel zjistit, jak tykadla mravenců zachycují tyto chemické signály. Za tímto účelem tým, složený z vědců z Tokijské univerzity a univerzity Kobe, společně s Japonským národním institutem pro základní biologii (NIBB), provedl experimenty na mravencích japonských tesařů (*Camponotus japonicus*) pomocí superpočítačů. Cílem vědců bylo porozumět molekulárním mechanismům zapojených do sofistikovaného systému komunikace, který podporuje složité společnosti mravenců (Lungmayer, 2016).

Ve studii byla extrahována RNA z tykadel mravenců. Katalog genů exprimovaných v tykadlech byl vytvořen pomocí superpočítače v NIBB. Geny byly

poté analyzovány pomocí DNA příští generace, kdy se našlo jedenáct různých chemosenzorických proteinů (CSP). Další analýzou proteinů se ukázalo, že dva z těchto proteinů, nazvaných CjapCSP12 a CjapCSP13 byly exprimovány v tykadlech mravenců a lišily se mezi různými mravenci, mezi dělnice a královnou. Tyto proteiny transportují chemické sloučeniny k chemosenzorickým receptorům u mravence a jak bylo zjištěno, jsou koexprimovány v tykadlech s dříve objeveným proteinem (CjapCSP1), o kterém je známo, že se váže na chemické signály na tělech jiných mravenců. Vědci si myslí, že to hraje důležitou roli v komunikaci mezi dělnicemi (Lungmayer, 2016).

Vědci poté vysvětlovali, že jejich tým nedisponoval genomem mravenců, a proto bylo pro sekvenování tykadlové RNA použito vysoce výkonného výpočetního systému, což by jinak trvalo nepřiměřeně dlouhou dobu. Identifikace proteinů CjapCSP12 a CjapCSP13 může být nápomocná k dalšímu porozumění evoluce a fungování složitých mechanismů, mimo jiné k mravenčí komunikaci. Tento výzkum může v budoucnu objasnit molekulární základ a vývoje sofistikované komunikace u mravenčích společenství (Lungmayer, 2016).

5. Dikuze

Mravenci (*Formica*) tvoří nedílnou součást ekosystému. Jejich důležitost narůstá s ohledem na zachování přirozeného ekosystému lesů a luk. V ČR žije okolo 100 druhů mravenců. Jedním z nejpočetnějších druhů je mravenec lesní. V ČR se vyskytuje nejčastěji tyto druhy mravence lesního: *F. aquilonia*, *F. lugubris*, *F. polycytena*, *F. pratensis* *F. rufa* a *F. truncorum* (Bezděčka, 2005).

Mravenec lesní je druhý nejpočetnější druh v ČR. Je nedílnou součástí zdravého lesa. Tvoří organizovaná společenstva, která se řídí svým vnitřním řádem. Společenstvo mravenců tvoří královna, dělnice a samci. Mravenci mnohou vytvářejí monogynní typ (jedna královna) ale i polygynní typ společenstva (více královen).

Mravenci lesní žijí v blízkosti lesů nebo přímo v nich. Jejich domovem jsou poměrně vysoké mraveniště, které mají i přes svou spletnost dokonale plnit termoregulační funkci, důležitou pro vývoj dospělého mravence z larvy (Frouz 2005). Velikost vystavěných hnízd je odvislá na podmínkách prostředí.

Komunikace mravenců je založena převážně na feromonech, i když komunikační systém je založený i na kombinaci dalších smyslových vjemů (zraku, čichu, chuti, sluchu nebo hmatu). Mravenci si pomocí feromonů umí sdělit až 20 různých druhů chemických informací. Dokáží si tak vyměnit velké množství sdělení, které vedou a vyvolávají tak další chování v rámci celé kolonie. Feromony mravencům také slouží k rozpoznávání mravenců jiného druhu.

V poslední době množství těchto společenství rapidně ubývá. Studie se zabývají zkoumáním úbytku v závislosti na změně prostředí. Mnoho druhům vyhovuje prostředí na okraji lesa, kde je dostatek slunečního záření, ale zároveň je zde i dostatek vláhy, protože mraveniště jsou zde chráněny lesem před přímým slunečním svitem. Problémem, který vede k opuštění těchto stanovišť, pak bývá především časté sečení přilehlých luk nebo mechanické poškození mraveniště v důsledku těžby dřeva. Sečení travního porostu se ukázalo jako zcela nevyhovujícím faktorem pro výskyt mravenců. V současné době se místo jednotvárného a častého sečení začíná nejvíce využívat přirozená cesta zbavení se přerostlého travního porostu a to spásání dobyt看kem. Tento způsob je méně drastický, ale je vyhovující. Ideální podmínky pro výskyt mravenců představují lesy smíšené, jak bylo prokázáno studií v Polsku. V době, kdy dochází k plošnému poškozování jehličnatých lesů kůrovcem, by mohla být výsada smíšených

lesů dalším pozitivním řešením, jak pro lesníky, tak i pro ekologii z hlediska zachování mravenčích druhů.

Některé druhy mravenců jsou schopny se přizpůsobit změnám okolního prostředí (pokles podzemních vod, intenzita slunečního záření atd.), ale jiné naopak, což bylo potvrzeno studií provedenou v Maďarsku. Jsou druhy, které jsou velice háklivé na změny okolí a ty pak nenávratně mizí z našich lesů. Dochází tak ke ztrátám rozmanitosti druhu, které nejsou zrovna pozitivní. Zajímavé je, proč k tomu dochází. Jak to, že některé druhy mravenců jsou schopny reagovat na změny klimatu pozitivně tím, že se adaptují změněným podmínkám a v konečném důsledku se dokážou „sžít“ s jiným druhem mravenců a pro jiné druhy je to zcela nepřijatelné a mizí tak z našich lesů?

V ČR je několik chráněných oblastí, které se mohou „pyšnit“ výskytem velkého množství i druhů mravenců. Patří do nich oblast Vysočiny, kde žije až 85 druhů mravenců. Přítomnost těchto druhů je pravděpodobně způsobena tím, že si tato krajina zachovává vzhled stepních ploch. Dalšími podobnými oblastmi je pak okolí Třebíče, Žďáru nad Sázavou a Voltův vrch. Tyto oblasti patří, vzhledem k zachování množství a rozmanitosti druhů mravenců, k nejvýznamnějším. Podmínky v těchto místech jsou pro život mravenců ideální. Zkoumáním, napodobováním tohoto prostředí by se mohlo docílit, že míst s vyšším výskytem tohoto důležitého hmyzího druhu, bude v budoucnu víc.

6. Závěr

Lesní mravenci jsou považováni za indikátory stavu lesa. Pokud dlouho při procházce lesem nenarazíme na žádné mraveniště, svědčí to o špatném stavu lesa. Lesní mravenci jsou velmi užiteční, sbírají a přenášejí různé druhy semen a přispívají tak k zachování různorodosti lesa a jeho vegetačního podrostu. Loví také obrovské množství přemnožených škůdců (např. brouky, drobnější nosatce i mandelinky) a pomáhají udržet porost bez použití chemických přípravků. Jsou schopni spojit své síly a troufnou si pak i na větší kořist (bourovec, bekyně, obaleč aj.). Některé druhy rostlin (prvosenky, sasanky nebo violky) jsou na lesních mravencích dokonce existenčně závislé. Mravenčí „pohřební čety“ zlikvidují až neuvěřitelných 90 % uhynulých živočichů a tím přispívají ke koloběhu živin v biotopech.

Bohužel, v lesích mravenců ubývá. Může za to změna klimatu, kácení lesů, přemnožení lesní zvěře, především divokých prasat, která mraveniště rozrývají, ale i činností a lhostejností člověka, kdy rozorává cesty, zbytečně poseká louky nebo mraveniště ničí.

V této práci jsem se pokusila popsat lesního mravence jako velmi pilného a sociálního tvora – mravenec neumí žít sám, a zákonem chráněného. Velmi nápadní jsou mravenci po morfologické stránce svými kusadly, jedovou žlázou a kyselinou mravenčí. Zaměřila jsem se také na komunikaci mezi mravenci. V současnosti probíhá několik výzkumů zabývajících se chemickou komunikací mezi mravenci, o které víme ještě stále velmi málo.

Je tedy důležité zjišťovat, popisovat a objevovat druhy a jejich ekologii a díky tomu se dozvídat další informace o šíření mravenců, výskytu, komunikaci, případně i o boji proti nim, ale i naopak mít možnosti je chránit a tak podpořit diverzitu lokální i globální.

7. Seznam použité literatury

1. BERESFORD, Jack, Marianne Elias (2017). Widespread hybridization within mound-building wood ants in Southern Finland results in cytonuclear mismatches and potential for sex-specific hybrid breakdown. *Molecular Ecology*. 26(15): 4013-4026. DOI: 10.1111/mec.14183.
2. BEZDĚČKA, Pavel (1982). *Biologie lesních mravenců a inventarizace jejich hnízd*. Akce Formica. Metodická příručka č. 1. OV ČSOP Prachatice. 31pp
3. BEZDĚČKA, Pavel, Klára BEZDĚČKOVÁ (2008). Současný stav populací mravenců podrodu *Coptoformica* v České republice. *Acta rerum naturalium* 5: 253–258,. ISSN 1801-5972.
4. BEZDĚČKOVÁ, Klára, BEZDĚČKA Pavel (2017). Seznam mravenců (Hymenoptera: Formicidae) Kraje Vysočina. *Acta rerum naturalium*, 20: 53–64,. ISSN 2336-7113.
5. *Biology of Formica ants*. Wallis Roughley Museum.[online] [cit. 2019_06_15]. Dostupné z: www.wallisroughley.ca/Biology.html
6. BOGUSCH Petr., STRAKA Jakub, KMENT Petr. (eds.) 2007: Annotated checklist of the Aculeata (Hymenoptera) of the Czech Republic and Slovakia. Komentovaný seznam žahadlových blanokřídlých (Hymenoptera: Aculeata) České republiky a Slovenska. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae*, Supplementum 11: 300pp.
7. BOLTON, Burger., COLLINGWOOD, Clark Arthur (1975). Hymenoptera: Formicidae. Handbooks for the Identification of British Insects. *Royal Entomological Society of London*. 13:1-11.
8. CASTELLA, Gregoire, CHAPUISAT Michel, CHRISTE Philippe (2008). Prophylaxis with resin in wood ants. *Animal Behavior*, 75 (4): 1591-1596.
9. DLUSSKY M., B. PISARSKI (1971). Rewizja polskich gatunków mrówek (Hymenoptera: Formicidae) z rodzaju *Formica* L. *Fragmenta Faunistica*, 16 (12): 145-224.
10. DOUWES, Per, ABENIUS Johan, CEDERBERG Björn, WAHLSTEDT Urban (2014). *Steklar: Myror-getingar. Hymenoptera: Formicidae-Vespidae*. Nationalnyckeln, 2014, 382 s. ISBN 978-9188-506-78-8.

11. DRBOHLAVOVÁ, Lenka (2013). *Mravenec lesní - Formica rufa*. [online] [cit. 2019_06_10]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/lexikon.php?detail=2465>.
12. FROUZ, Jan 2000. The effect of nest moisture on daily temperature regime in the nest of *Formica polyctena* wood ants. *Insectes Sociaux* 47: 229–235.
13. FROUZ, Jan (2005): Termoregulace lesních mravenců rodu *Formica*. *Formica* 8: 15-19.
14. FROUZ, Jan, KALČÍK, Jiří, CUDLÍN, Pavel (2005). Akumulace fosforu v hnízdě mravenců červeného. *Ann Zool Fennici*. 2005; 42 (3): 269–275. ISSN 0003-455X.
15. GALLÉ, Laszlo (2017). Climate change impoverishes and homogenizes ants' community structure: A long term study. *Community Ecology*. 18(2):128-136. DOI: 10.1556/168.2017.18.2.
16. HILL, Jennifer, VATER, Amber E., GEARY, Andrew, MATHEWS, John A. (2018). Chronosequences of ant nest mounds from glacier forelands of Jostedalbreen, southern Norway: Insights into the distribution, succession and geo-ecology of red wood ants (*Formica lugubris* and *F. aquilonia*). *The Holocene*. 28(7):1-38. DOI: 10.1177 / 0959683618761551.
17. HÖLLDOBLER, Bert, WILSON, Edward O. (1997). *Cesta k mravencům*. Praha: Academia, 1997. ISBN 80-200-0612-5.
18. HÖLLDOBLER Bert, WILSON, Edward O. (1990). *Ants*. Springer, 1998, 415 s. ISBN-13: 978-0674-040-75-5.
19. HRADSKÁ, Ivana (2014). *Jak se domlouvají mravenci*. Západočeská univerzita v Plzni, Bav se vědou, 10 s.
20. JACKSON, Duncan E., RATNIEKS, Francis L. W. (2006). Communication in ants. *Current Biology*. 16(15): 570-574. DOI: 10.1016/j.cub.2006.07.15.
21. JURGENSEN, Martin F., STORER Andrew J., RISCH Anita C. (2005). Red wood ants in North America. *Annales Zoologici Fennici* 42 (42): 235-242. ISSN 0003-455X.
22. KADOCHOVÁ, Štěpánka, FROUZ, Jan (2014). Termoregulační strategie u mravenců ve srovnání s jinými sociálními hmyzy, se zaměřením na mravence červeného (*Formica rufa* group). *F1000 Research*. 2: 1-9. DOI: 10.12688 / f1000research.2-280.v2

23. KLEINEIDAM, C, Ernst R, ROCES F. (2001). Wind induced ventilation of the giant nests of the leaf-cutting ant *Atta vollenweideri*. *Naturwissenschaften*. 88 (7): 301–305. 10.1007 / s001140100235.
24. KLIMETZEK, Dietrich (1981). Population studies on hill building wood-ants of the *Formica rufa*-Group. *Oecologia* 48 (3): 418-421. DOI: 10,1007 / BF00346504
25. KOVAŘÍKOVÁ, Dana (2019). *Mravenci – strážci lesní čistoty*. Ekologické centrum Most pro Krušnohoří. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most. [online] [cit. 2019_06_15]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=mravenci>.
26. LUNGMEYER, David (2016). *Understanding chemical communication in ant societies*. [cit. 2019_06_15]. Dostupné z: <https://sciencenode.org/feature/understanding-chemical-communication-in-ant-societies.php>
27. MARTIN, Stephen, J. (1988). *Thermoregulation in Vespa simillima xanthoptera* (Hymenoptera, Vespidae). *Kontyu*. 1988; 56 (3): 674–677.
28. MILES Petr 2001: Věnujme zvýšenou pozornost polygynní formě mravence *Formica rufa*. *Formica*. 4: 17-18.
29. MILES, Petr (2006). Lesní mravenci a myslivost. *Myslivost*. 9: 42. ISSN: 0323-214X.
30. *Mravenci – komunikace*. [online] [cit. 2019_06_10]. Dostupné z: <https://antz.webgarden.cz/rubriky/mravenci/komunikace>
31. Randuška, Petr (1995). *Hniezdna a potravná ekológia mravcov skupiny Formica rufa*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, Zvolen. 50s.
32. RISCH, Anita, C. (2005). Red wood ants in North America. *Annales Zoologici Fennici* 42:235-242.
33. ROSENGREN, Rainier (1977). *Foraging strategy of wood ants (Formica Rufa Group)* 1. Age polyethism and Topographic traditions. *Acta Zoologica Fennica* 149: 2-30. ISBN 9~1-661-019-6.
34. ROSEGREN, Rainier, FORTELIUS, Wilhelm, LINDSTRÖM, Jak (1987). Phenology and causation of nest heating and thermoregulation in red wood ants of the *Formica rufa* group studied in coniferous forest habitats in southern Finland. *Ann Zool Fennici*. 24: 147–155.

35. SALAVA, Jaroslav (2014). *Feromony červených mravenců*. [online] [cit. 2019_12_10]. Dostupné z: <http://www.gate2biotech.cz/feromony-cervenych-mravencu/>
36. SEIFERT, Bernhard (1996). *Die Ameisen Mittel- und Nordeuropas*. – Lutra Verlags- und Vertriebsgesellschaft Görlitz, 368 s.
37. SKALDINA, Oksana, SORVARI Jouni (2017). Not simply red: Colouration of red wood ant *Formica rufa* (Hymenoptera: Formicidae) is polymorphic, modular and size-dependent. *Eur. J. Entomol.* 114: 317-324. DOI: 10.14411/eje.2017.039.
38. SONDEJ, Izabela, DORNISCH Timo, FINÉR Leena, CZECHOWSKI Wojciech (2018). Wood Ants in the Białowieża Forest and Factors Affecting their Distribution. *Annales Zoologici Fennici.* 55: 1-3. DOI: 10.5735/086.055.0110.
39. SORVARI, Jouni (2007). *Wood ants are wood ants: Deforestation causes population declines in the polydomous wood ant Formica aquilonia.* *Ecological Entomology* 32(6):707 - 711. DOI: 10.1111 / j.1365-2311.2007.00921.
40. STOCKAN, Jenni, TRAGER, C. James, ROBINSON, Elva (2016). *Wood Ant Ecology & Conservation*. Cambridge University Press,. DOI: 10.1017/CBO9781107261402
41. SVANBERG, Ingvar a BERGGREN, Asa (2019) Ant schnapps for health and pleasure: the use of *Formica rufa* L. (Hymenoptera: Formicidae) to flavour akvavit. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine.* 15: 1-6.
42. VÉLE, Adam, HOLUŠA Jaroslav (2007). Současné poznání biologie a ekologie lesních mravenců (Hymenoptera: Formicidae). *Zprávy lesnického výzkumu*, 52(2): 166-176.
43. VYSOKÝ, Václav (2020). *Mravenci rodu Formica a jejich ochrana*. [online] [cit. 2019_06_10]. Dostupné online: <http://www.ceskestredohori.cz/zvirena/mravenci-rodu-formica-a-jejich-ochrana.htm>
44. ZAHRADNÍK, Jiří (1987). *Blanokřídli*. Artia, 182 s. ISSN 37-010-87.
45. WALTHER, John R. (1979a). Vergleichende morphologische Betrachtung der antennalen Sensillenfelder einiger ausgewählter Aculeata (Insecta, Hymenoptera). *Z. zool. Syst, Evolutionsforsch.* 17: 30-56.

46. WŁODARCZYK, Tomasz a SZCZEPANIAK, Lech (2014). Incomplete homogenization of chemical recognition labels between *Formica sanguinea* and *Formica rufa* ants (Hymenoptera: Formicidae) living in a mixed colony. *Journal of Insect Sci.* 14(214): 1-7.
47. ŽDÁREK, Jan (2013): *Hmyzí rodiny a státy*. Academia, 582 s., Praha

8. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Dělnice mravence lesního.....	16
Obrázek 2 – Vývojové stádium mravenců.....	19
Obrázek 3 – Mraveniště mravence lesního	24
Obrázek 4 – Mravenec lesní.....	29