

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv globálních změn klimatu na výskyt parazitóz u  
přežvýkavců**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Barbora Hladíková**

**Chov hospodářských zvířat**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslav Vadlejch, Ph. D.**

© 2024 ČZU v Praze

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv globálních změn klimatu na výskyt parazitóz u přežvýkavců" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.4.2024

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Jaroslavu Vadlejšovi, Ph. D. za poskytnutí mnoha cenných rad, správné nasměrování práce, zapůjčení velmi potřebných materiálů a za připomínkování. Také bych tímto ráda poděkovala své rodině za stálou podporu při mých studiích, především pak, že mi poskytl čas ke studiu, když hlídali mou malou dceru.

# Vliv globálních změn klimatu na výskyt parazitóz u přežvýkavců

## Souhrn

Tato bakalářská práce je zaměřena na vypracování literární rešerše týkající se výskytu a významu parazitóz u přežvýkavců v aktuálních klimatických podmínkách. Nejvýznamnějšími parazitózami ovlivňujícími welfare a užitkovost přežvýkavců jsou gastrointestinální hlístice a motolice. Svým způsobem parazitismu znehodnocují životní pohodu zvířat a působením v trávicím traktu přináší ztráty hmotnosti, zhoršení metabolismu trávených látek a také chudokrevnost, čímž způsobují ztráty produkce. Nezřídka dochází i k úhynu. Gastrointestinální hlístice nejčastěji parazitují ve slezu a dvanáctníku, zatímco motolice v játrech.

Na gastrointestinální parazity působí mnoho vnějších vlivů, především na jejich volná stádia. Uvnitř hostitele, kde parazitují, k mnoha výkyvům nedochází. Jsou ovlivňováni především podnebím, ve kterém žijí, ale kterému se zároveň umí do jisté míry přizpůsobovat. Nejvíce jsou volná stádia ovlivňována teplotou a vlhkostí, kyslík je pro ně také důležitý. Zvyšující se globální teplota přicházející s globálním oteplováním, které je způsobené především přemírou skleníkových plynů, přináší pro většinu parazitů výhodnější podmínky. Teplo a vlhko ovlivňuje rychlost líhnutí larválních stádií. Extrémní klimatické jevy jako je například sucho sice může způsobit vysychání výkalů a v nich obsažených vajíček, ale již vylíhnuté larvy gastrointestinálních hlístic se mu dovedou přizpůsobit. Zato u motolic přináší větší riziko díky vymírajícím mezihostitelům, kteří jsou vázáni na vodní prostředí. Vzhledem k tomu, že jsou parazité vázáni na svého hostitele, dochází vlivem jejich migrace k rozvoji po celém světě. U pastevně chovaných přežvýkavců dochází k přenosu též díky kontaktu s volně žijícími přežvýkavci, kteří jsou rezervoáry pro gastrointestinální parazity a infekce je u nich často bez výraznějších následků.

Hubení gastrointestinálních parazitů je často diskutovaným tématem. Ztěžuje jej nejen přizpůsobivost parazitů, ale především jejich rezistence na nadměrně používané léčivé látky. Proto je důležitý především monitoring v jednotlivých chovech a jejich pastevní management.

Zpočátku tato práce pojednává o výskytu a významu gastrointestinálních parazitů, poté samostatně o gastrointestinálních hlísticích a motolicích. Přiblíženo je také téma klimatických změn. Kapitola pojednávající o dopadu klimatických změn na gastrointestinální parazity je nejrozsáhlejší. Práce je zakončena kapitolami o možnostech tlumení parazitů gastrointestinálního traktu a jejich budoucím významu.

**Klíčová slova:** oteplování, ovce, pastevní management, gastrointestinální hlístice, epizootologie

# The effects of global climate change on the occurrence of parasitic infections in ruminants

## Summary

This bachelor thesis is focused on the development of a literature search concerning the occurrence and importance of parasitoses in ruminants in the current climatic conditions. The most important parasitoses affecting ruminant welfare and performance are gastrointestinal nematodes and flukes. Their parasitism degrades the welfare of the animals and by acting in the digestive tract they cause weight loss, impaired metabolism of digested substances and also anaemia, thus causing production losses. Mortality is not uncommon. Gastrointestinal nematodes most commonly parasitize the spleen and duodenum, while flukes parasitize the liver.

Gastrointestinal parasites are affected by many external influences, especially their free-living stages. Inside the host where they parasitize, many fluctuations do not occur. They are mainly influenced by the climate in which they live, but to which they can also adapt to some extent. The free-living stages are most affected by temperature and humidity, and oxygen is also important to them. The increasing global temperature that comes with global warming, which is mainly caused by an excess of greenhouse gases, provides more favourable conditions for most parasites. Heat and humidity affect the rate of hatching of larval stages. While extreme climatic events such as drought can cause the faeces and the eggs they contain to dry out, the already hatched gastrointestinal nematode larvae can adapt to it. In contrast, it poses a greater risk to moths due to the extinction of intermediate hosts that are tied to aquatic environments. As the parasites are tied to their hosts, their migration leads to their development worldwide. In pasture-raised ruminants, transmission also occurs through contact with wild ruminants, which are reservoirs for gastrointestinal parasites and infection is often without significant consequences.

The control of gastrointestinal parasites is a frequently discussed topic. It is complicated not only by the adaptability of the parasites, but especially by their resistance to overused drugs. Therefore, monitoring in individual farms and their management is particularly important.

Initially, this paper deals with the occurrence and importance of gastrointestinal parasites, then separately with gastrointestinal nematodes and flukes. The topic of climate change is also introduced. The chapter on the impact of climate change on gastrointestinal parasites is the most comprehensive. The thesis concludes with chapters on control options for gastrointestinal parasites and future developments.

**Keywords:** global warming, sheeps, pastoral management, gastrointestinal nematodes, epidemiology

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Parazitózy u přežvýkavců .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Výskyt parazitóz u přežvýkavců.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Význam parazitóz u přežvýkavců .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Gastrointestinální hlístice u přežvýkavců.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Morfologie gastrointestinálních hlístic.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Vývoj a vývojová stádia gastrointestinálních hlístic .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3 <i>Haemonchus contortus</i> .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4 <i>Ashworthius sidemi</i> .....</b>	<b>19</b>
<b>5 Motolice parazitující u přežvýkavců .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1 Morfologie motolic .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 Vývoj a vývojová stádia motolic .....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 <i>Fasciola hepatica</i> .....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 <i>Fascioloides magna</i>.....</b>	<b>25</b>
<b>6 Globální změny klimatu .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1 Vývoj zemského klimatu .....</b>	<b>26</b>
<b>6.2 Princip globálních změn klimatu.....</b>	<b>27</b>
<b>7 Dopad klimatických změn na gastrointestinální parazity .....</b>	<b>28</b>
<b>7.1 Vliv klimatických změn na epizootologii gastrointestinálních hlístic u přežvýkavců.....</b>	<b>28</b>
7.1.1 Hypobióza.....	31
7.1.2 Anhydrobióza .....	34
7.1.3 Sezónní dynamika.....	36
<b>7.2 Vliv klimatických změn na epizootologii motolic u přežvýkavců.....</b>	<b>38</b>
7.2.1 Sezónní dynamika.....	40
<b>8 Možnosti tlumení gastrintestinálních parazitů .....</b>	<b>41</b>
<b>9 Význam gastrointestinálních parazitů u přežvýkavců v budoucnosti .....</b>	<b>44</b>
<b>10 Závěr .....</b>	<b>46</b>
<b>11 Seznam literatury .....</b>	<b>47</b>
<b>12 Přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1. Úvod

Parazité postihující trávicí trakt, jsou předními původci gastroenteritidy u přežvýkavců, a to domácích i volně žijících. Jsou hlavní příčinou ztráty produkce. Jejich potlačování je čím dál složitější, vzhledem k narůstající anthelmintické rezistenci a klimatickým změnám (McFarland et al. 2022).

Motolicím a gastrointestinálním hlísticím se příkládá v oblasti parazitologie u přežvýkavců největší význam. Jsou významní především mírou svého výskytu. Vzhledem k tomu, že napadají trávicí trakt, dochází k narušení metabolismu živin, narušení sliznice orgánů a u krev sajících hlístic také k chudokrevnosti. Gastrointestinální hlístice parazitují především ve slezu, tedy vlastním žaludku přežvýkavců, a prvním úseku tenkého střeva. Motolice, parazitující v trávicím traktu, ke svému přežití využívají především játra přežvýkavců. Zmíněné patologické stavy, které parazité způsobují, vedou především ke ztrátě hmotnosti napadených jedinců, silným průjmům a tím k dehydrataci, u motolic k ucpání žlučovodu, ale také k celkovému selhání organismu, pokud ten není schopen s infekcí bojovat.

Klimatické podmínky jsou pravděpodobně jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují výskyt GI parazitů u přežvýkavců, a to jak hospodářských, tak volně žijících. Nejhojněji jsou klimatickými podmínkami ovlivňována vnější vývojová stadia parazitů, protože život uvnitř hostitele přináší parazitům relativně stálé prostředí. Wharton (2002) uvádí, že pro parazity představují jejich hostitelé často jedinou naději na přežívání, růst a další rozmnožování. Smrt hostitele má za následek taktéž smrt parazitů, kteří v něm parazitují. Pokud parazité chtějí infikovat nové hostitele, musí využívat strategií, jež jim pomohou přežít mimo hostitele. Například klimatické změny ve Velké Británii se ubírají směrem zvyšujícího se počtu srážek a zvyšující se průměrné denní teploty, které parazitům svědčí. Spolu s těmito změnami již došlo za posledních 40 let k prodloužení vegetačního období o 4 týdny. Mezi klimatické změny patří také pokles dní, kdy se vyskytoval přzemní mráz (Kenyon et al. 2009).

Vliv na výskyt konkrétního druhu parazitujícího u hospodářských zvířat má kromě podnebí a klimatických podmínek také výskyt a míra kontaktu s volně žijícími přežvýkavci, kteří působí jako rezervoáry parazitů. Přenos ze spárkaté zvěře je nejčastější na ovce, s nimiž mají mnoho společných druhů gastrointestinálních hlístic, ale i motolic (Sutherland & Scott 2010).

Již bylo provedeno mnoho studií a je vyvinuto množství modelů, které pomáhají předpovídat míru vystavení přežvýkavců infekci. Přestože tyto modely pracují s proměnlivostí klimatických podmínek, nikdy nebude možné díky nim infekcím zcela předcházet. Globální změna klimatu jako taková, nepředstavuje jen kontinuálně rostoucí teplotu planety, ale především ráznější proměnlivost a extrémní výkyvy. A nejen proto jsou modely ne zcela přesné. Další komplikací je přizpůsobování parazitů aktuálním podmínkám. Tak jako se evolučně přizpůsobili parazitickému způsobu života, tak nyní přizpůsobují svůj parazitický život aktuálním klimatickým podmínkám.

## **2. Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce bylo vypracování literární rešerše zaměřené na rozšíření a význam parazitóz přežvýkavců v aktuálních klimatických podmínkách, a to na základě dostupných a aktuálních vědeckých zdrojů. Jednalo se především o parazitické gastrointestinální hlístice a motolice



### 3. Parazitózy u přežvýkavců

Mnozí parazité poškozují jak lidské zdraví, tak zdraví hospodářských zvířat. Jejich parazitický způsob života představující soužití dvou heterospecifických organismů, je považovaný za biologický fenomén (Wharton 2002). Lze jej popsat jako vztah dvou populací na různých trofických úrovních. Mezi hostitelem a parazitem je mnoho forem interakce (Timper & Davies 2004). Při tomto soužití těží jeden z organismů výhody a druhého přitom zpravidla více či méně poškozuje, často však jen do té míry, aby mohl sám přežívat a reprodukovat se (Wharton 2002, Roberts et al. 2013).

Odhaduje se, že až 50 % eukaryotních organismů jsou parazité či mají ve svém životním cyklu parazitickou fázi. Parazitismus může připomínat predaci (Lucius & Poulin 2017), avšak parazité narozdíl od predátorů svého hostitele primárně nezabijí (Timper & Davies 2004). Jsou často menší nežli jejich hostitel a parazitují ve velkém počtu, narozdíl od predátorů, kteří jsou větší a méně početní než jejich kořist (Lucius & Poulin 2017). Organismy s parazitickým způsobem života vlastně ve světě převládají nad ostatními a je nemožné při pitvě domácího či divokého zvířete nenalézt alespoň jednoho parazita. Ani laboratorní zvířata nejsou parazitů prostá. Jeden druh parazita může představovat hostitelský organismus pro jiný druh parazita (Roberts et al. 2013).

Gastrointestinální parazity přežvýkavců lze zařadit mezi endoparazitické obligátní parazity. Tedy parazity, kteří parazitují uvnitř hostitele a nemohou bez něj dokončit svůj životní cyklus. Přežvýkavci jsou pro tyto parazity definitivními hostiteli, tedy organismy, ve kterých parazité dosáhnou své pohlavní dospělosti. (Roberts et al. 2013). Parazitózy jsou obrovskou zátěží nejen pro lidstvo, ale také pro zvířecí populace. Především v tropických rozvojových zemích se špatnou hygienou je mnoho nakažených lidí i zvířat. Mnoho parazitů prošlo během svého vývoje redukcí některých orgánů či jejich soustav, jejichž funkci jim kompenzuje pobyt v hostiteli. U gastrointestinálních hlístic došlo například ke ztrátě zrakového ústrojí (Lucius et al. 2017).

Parazitární infekce vzniká složitou interakcí mezi hostitelskými a parazitárními faktory (Morgan & van Dijk 2012). Nejdůležitějším faktorem v populační biologii parazitů je vliv imunitního systému hostitele (Sutherland & Scott 2010) a jeho vnímavost vůči infekci (Lucius et al. 2017). Imunita jedince vůči gastrointestinálním hlísticím se vyvíjí kontinuálně a u každého jedince jinak. Variabilní je také tvorba imunity na jednotlivé druhy. Tak například je běžné, že dospělé ovce jsou narozdíl od jehňat rezistentní k infekci *Trichostrongylus colubriformis*. Stejně tak *Nematodirus battus* je druh nebezpečný především pro mladé neimunizované jedince, u kterých způsobuje vážné klinické příznaky, jako například průjemy a pokles denních přírůstků. Avšak pro dospělé jedince s vyvinutou imunitou nepředstavuje příliš velkou hrozbu. Nedostatečnou imunizací související s věkem lze demonstrovat při náhlém nárůstu infekce u stáda skotu napadeného druhem *Ostertagia Ostertagi*, pokud se s tímto druhem stádo dříve neseťkalo (Sutherland & Scott 2010).

Období od pozření infikované larvy do doby prvních příznaků infekce se nazývá inkubační doba. Období od počátku infekce do doby, než jsou vajíčka vylučována do prostředí, se nazývá prepatentní (Sutherland & Scott 2010; Lucius & Poulin 2017). U gastrointestinálních hlístic obvykle trvá 2 až 4 týdny (Sutherland & Scott 2010). Je

následované období patence, tedy dobou, kdy jsou diagnosticky významná stádia vylučována do prostředí. Důležitý pojem představuje prevalence, jenž označuje podíl jedinců v populaci, kteří jsou parazitem postiženi. Parazitární epizootologie předpovídající šíření infekce v populaci se opírá o matematické modely, které však ne vždy počítají správně, jelikož musí pracovat například s velikostí hostitelské populace či s velmi proměnlivými přírodními vlivy (Lucius & Poulin 2017).

### 3.1 Výskyt parazitóz u přežvýkavců

Infekce gastrointestinálními hlísticemi, jakožto i dalších parazitů přenášených trávou, je sice v současných intenzivních chovech živočišné výroby potlačována, avšak dochází k rozvoji onemocnění spojených se špatnou hygienou. Například ke kokcidiózám. Gastrointestinální parazité představují problém především u pastevně chovaných přežvýkavců (Thornton et al. 2009).

U koz, ovcí a spárkaté zvěře často parazitují stejné druhy hlístic, ale například u koz a koní nejsou parazitující druhy stejné. Pokud se ovce a skot pasou společně, nevyskytují se u nich zpravidla stejní parazité, protože parazité ovcí se nepříliš dobře prosazují u skotu. To je způsobeno především rozdílnou vnímavostí k infekci a odlišnostmi v imunitním systému (Sutherland & Scott 2010). Napadení hlísticemi ovlivňuje také sociální postavení daného jedince ve stádě. Čím nižší je hierarchické postavení, tím vyšší je riziko nákazy (Vadlejch et al. 2015).

Dle Rose (1963) mají volně žijící přežvýkavci podobný reprodukční cyklus jako hospodářští přežvýkavci, a proto lze analogicky odvodit dynamiku infekce gastrointestinálními hlísticemi v závislosti právě na reprodukčním cyklu.

Nejen infekční tlak prostředí chovu a vnímavost druhu jsou faktory, na kterých záleží výskyt motolic. Zvýšení schopnosti rozmnožování parazitů je ovlivněno dostupností velkého počtu vnímavých jedinců. Nejvíce důležitý je však pro motolice výskyt vodního prostředí, na nějž je vázán jejich mezihostitel. Bez mezihostitele by motolice napadající trávicí trakt nebyly schopné svého vývojového cyklu (Dalton 1999).

U přežvýkavců v jednom stádě dochází k velkému rozptylu infekce, protože u všech členů stáda dochází ke srovnatelnému vystavení infekci (Sutherland & Scott 2010). Epizootologie GI hlístic, respektive úspěšnost a rychlost jejich vývoje, je ovlivňována, především teplotou a vlhkostí prostředí. Předpovědní modely zabývající se zkoumáním klimatu a jeho vlivu na gastrointestinální parazity, umožňují mimo jiné přibližně určit, jak dlouho zůstávají pastviny infekční. Infekčnost pastvin je způsobena volně žijícími vývojovými stádii parazitů zažívacího traktu (Makovcová et al. 2009).

Migrace na dlouhé vzdálenosti mohou probíhat u hlístic spolu se stěhovavými hostiteli. U některých druhů hlístic parazitujících u ptáků typicky dochází k jejich distribuci při pravidelné migraci ptáků za lepším podnebím. Stejně tak k tomuto jevu dochází při migraci přežvýkavců za pastvou. Tímto způsobem se volně žijící stádia mohou vyhnout špatným podmínkám prostředí. Na krátkou vzdálenost mohou hlístice migrovat například v půdě v pravidelných denních cyklech (Wharton 2004).

Morgan et al. (2006) zkoumali možnosti přenosu parazitů mezi volně žijícími přežvýkavci a hospodářskými přežvýkavci, kvůli vhodnému zacílení tlumících strategií,

potlačujících rozvoj hlístic. Studie byla zaměřena na antilopu sajgu (*Saiga tatarica*) a hospodářské přežvýkavce ve střední Asii. U gastrointestinálních hlístic dochází k přenosu z hospodářských zvířat na volně žijící antilopy, které pak parazity distribuují po celé zemi. Zimu tráví antilopy na jihu, při migraci na sever se telí, léto tráví na severu a poté se vracejí zpět na jih. Do kontaktu s domácími zvířaty přichází při sdílení pastvin a vody v přírodních vodních zdrojích. Autoři popisují vysokou sezónnost přenosu, vzhledem k rychlosti vývoje a migraci vylíhnutých larev do spásaného porostu, k nimž je zapotřebí vhodné teploty a vlhkosti. Studie se zaměřila na přenos slintavky a kulhavky a z gastrointestinálních hlístic na přenos druhů *Haemonchus spp.*, *Nematodirus spp.* a *Marshallagia spp.* Přenos *Haemonchus spp.* na sajgy byl na severu ovlivněn významnou infekcí od ovcí. K přenosu *Marshallagia spp.* docházelo na jihu v období zimní pastvy, protože na podzim bylo u mladých sajg, které ještě zimní areál nenavštívily, pozorováno mnohem menší zatížení larvami parazitů. K přenosu *Nematodirus spp.* dochází mezi sajgami a hospodářskými zvířaty minimální, avšak vrchol infekce u sajg se předpokládá na jaře. K omezení přenosu by mohlo pomoci anthelmintické ošetření ovcí na pastvinách, před příchodem migrujících sajg, díky kterému by došlo ke snížení počtu vylučovaných vajíček a tím ke zmírnění přenosu ze severu na jih a opačně. Aby bylo možné tento model ověřit, bylo by nezbytné souběžné rozsáhlé terénní vzorkování sajg a hospodářských zvířat. Autoři dále upozorňují na důležitost dlouholetých studií, vzhledem k nereprezentativnosti údajů z malého počtu let. Jen tak lze vyvíjet účinné strategie pro potlačování gastrointestinálních hlístic (Morgan et al. 2006).

U stáda ovcí chovaných ve středním Skotsku, které se bahnili v dubnu 2007 a pásly se spolu s jehňaty na nekontaminované pastvině, byly již po čtyřech měsících pozorovány úbytky váhy u jehňat. Kromě úbytků na váze došlo i k úhynům jehňat. Na jeden gram výkalů bylo odhadnuto až 250 vyloučených vajíček a pitva prokázala na 28 tisíc dospělců *Haemonchus contortus* uvnitř jednoho kusu jehněte. Propuknutí infekce demonstruje potenciál tohoto druhu hlístice na využití jakékoliv příležitosti pro svůj rozvoj v oblasti, kde se předtím nevyskytoval. Zavlečen byl do stáda pravděpodobně spolu s berany importovanými z jižní Anglie a vhodné podmínky pro rozvoj byly poskytnuty především díky podzimu předešlého roku, který byl vhodný jak teplotou, tak mírou srážek. Počasí na jaře 2007 bylo též teplé a vlhké a podpořilo tak vývoj larválních stádií na pastvě (Kenyon et al. 2009).

Vzhledem k neustálým diskuzím jak chovatelů, tak veterinářů ohledně managementu parazitóz, byl proveden tříletý plošný monitoring u masného skotu v České republice. Nejčastější výskyt byl prokázán u strongylidních hlístic a to na 99,2 % ze zkoumaných farem, dále pak kokcidie na 97,5 % farem a bachorové motolice na 65,2 % farem. Nejvíce zastoupeným rodem hlístic byl ve vzorcích rod *Nematodirus*. V drtivé většině případů se jednalo o slabou infekci. Na dvanácti farmách byly zjištěny motolice *Fasciola hepatica*, nejvíce v Libereckém kraji, což poukazuje na stálou přítomnost ohnisek v okolí hranic ve srovnání se studii z předešlých let. Nejčastěji se k léčbě využívají makrolidní přípravky, které však narušují ekosystémy na pastvinách a vedou k rezistenci parazitů (Červená et al. 2022).

### 3.2. Význam parazitóz u přežvýkavců

Gastrointestinální hlístice jsou nejvýznamnějšími parazity u hospodářských i volně žijících přežvýkavců, jsou rozšířené celosvětově. Z jejich neblahých dopadů jsou to především nemocnost a mortalita zvířat, které mají dále dopad na regulaci hostitelské populace, produkci u hospodářských přežvýkavců a také potravinovou bezpečnost. I welfare zvířat, jejich pohoda, je skrze infekce způsobované parazity negativně ovlivňováno (Skuce et al. 2013; Rose et al. 2015). Převážně u mladých neimunizovaných zvířat jsou gastrointestinální hlístice velkým problémem, jsou hlavní celosvětově rozšířenou příčinou poklesu produkce a špatného zdravotního stavu (Sutherland & Scott 2010).

Ztráty užitkovosti způsobuje fakt, že jsou parazité závislí na živinách, jež odírají svému hostiteli a poškozují orgány, ve kterých parazitují. Navíc infekce často způsobují nechutenství a hostitel tak nepřijímá dostatek potravy (Sutherland & Scott 2010). Souhrnně se onemocnění způsobené gastrointestinálními hlísticemi označuje jako parazitická gastroenteritida. Mezi její klinické příznaky kromě úbytku na váze patří také vodnatý průjem či změna kvality srsti. Často jsou však infekce subklinické bez klinických příznaků (Charlier et al. 2020). Například v případě infekce *Ostertagia ostertagi* u skotu dochází k napadení fundických žláz slezu larvami, které jsou nahrazeny nediferencovanými buňkami a nemohou tak přirozeně vytvářet hlen. Tím je celkově poškozeno trávení ve slezu (Taylor et al. 1989). K atrofii klků, nadměrné sekreci hlenu a ztlustění sliznice v prvním segmentu tenkého střeva, tedy dvanáctníku, vede infekce *Cooperia spp.* Ta také často vede ke snížení přírůstků u telat (Stromberg et al. 2012). U krev sajících hlístic, kterou je například *Haemonchus spp.* dochází ke ztrátám krve, jež mohou být až 50 mikro litrů za den na jednoho dospělce (Loos-Frank & Grancis 2017).

Kenyon et al. (2009) popisují ve své studii změny v epizootologii nejčastějších gastrointestinálních hlístic parazitujících u ovcí, které nastávají v důsledku změny klimatu ve Velké Británii. Největší vliv mají tyto změny na užitkovost zvířat a tím i na zisk plynoucí z jejich chovu. Infekce může mít dopad také na zánětlivé reakce v těle či alergické reakce hostitele (Lucius & Poulin 2017).

V zemích západní Evropy způsobuje ekonomickou zátěž u dojných stád hlístice *Nematodirus battus* v kombinaci s managementem stáda. Telata, která se rodí na jaře jsou do léta ustájená a poté vyhnána na pastvu, která byla do podzimu spásána. Zde jsou pak k dispozici přezimovaná třetí larvální stádia, která svou infekčností způsobují u telat obrovskou zátěž organismu (Sutherland & Scott 2010).

V jihovýchodním Skotsku na horské farmě byly v květnu roku 2003 pozorovány úbytky na váze u stáda jehňat. Ta byla sice anthelminticky ošetřena mebendazolem, avšak i poté vylučovala velké množství vajíček *Teladorsagia circumcincta* a *Nematodirus battus*. Po ošetření levamisolem nebyla ve výkalech nalezena vajíčka ani jednoho ze zmiňovaných druhů gastrointestinálních hlístic, přesto po celé léto vykazovala jehňata příznaky infekce. K infekci v takto raném věku došlo pravděpodobně díky vhodným podmínkám vytvořeným pro přežití třetích larválních stádií v zimě. Podzimní a zimní počasí přinášející vlhko a teploty nad 10 stupňů Celsia přináší vhodné podmínky pro přežití larev *Teladorsagia circumcincta*, avšak mohou být vyváženy pastevním managementem, jelikož tyto klimatické změny přináší prodloužení pastevního období do začátku zimy s počátkem v prvních jarních měsících.

Potlačování jarních vzrůstů teladorsagiózy má za cíl omezení napadení neimunizovaných zvířat, tak aby nebyly způsobeny významné ztráty produkce, ale zároveň byl umožněn rozvoj jejich imunity. Anthelmintické ošetření ovcí zabraňuje přezimovaným larvám v pokračování vývoje v období porodů, kdy je imunita ovcí slabá (Kenyon et al. 2009).

Intenzita parazitární infekce ovlivnila obsah bílkovin v mléce dojených koz na ekologické farmě v České republice, ale neovlivnila dojivost či obsah tuku v mléce. Obsah bílkovin je však ovlivněn také v jednotlivých měsících pastvou. Snížený obsah bílkovin v mléce má pro farmáře vliv na výtěžnost sýra. Při hodnocení vlivu infekce na užitkovost je nutné zvážit druhové zastoupení parazitů a individuální užitkovost spolu s fází laktace dané kozy. Mnoho studií se zabývá parazitózami ovcí a skotu, avšak málo jich je zaměřených na parazity koz (Kyriánová et al. 2017).

Výrazné ekonomické dopady, především díky úbytku produkce, vyvolávají subklinické infekce motolicemi, které často nebývají doprovázeny významnějšími klinickými příznaky a leckdy zůstávají bez povšimnutí (Dalton 1999). Mladí dospělci motolice jaterní, kteří migrují játry, způsobují v jaterním parenchymu fibrózu. Akutní stavy u ovcí mohou vést k anémii a ztrátám hmotnosti, v prepatenčním období může dojít až k úhynu. Naproti tomu u skotu může být prepatenční fáze bez klinických příznaků. Chronická fáze následuje poté, co dospělci dosáhnou žlučovodů (Loos-Frank & Grancis 2017). Jedním z projevů motolicečnosti je také zvětšení jater (Nithiuthai et al. 2004).

## 4. Gastrointestinální hlístice parazitující u přežvýkavců

Hlístice, které patří do kmene Nematoda, jsou nejrozšířenějšími organismy na světě, kterým konkuruje pouze hmyz. Žijí například v mořích, jako parazité ryb, jako parazité v jiných zvířecích a rostlinných organismech či v půdě, která na svých 100 gramů pojme až 3000 jedinců hlístic. Ale mohou žít i volně. Věda zabývající se hlísticemi je jednou z nejmladších zoologických disciplín a nazývá se nematologie. Zabývá se především chováním hlístic, jež spočívá v životních projevech hlístic a v interakcích s prostředím v němž se vyskytují. Je závislé na stupni vývoje nervové soustavy (Gaugler & Bilgrami 2004). O přizpůsobivosti hlístic jakožto celého kmene svědčí množství prostředí, v němž se mohou vyskytovat. Jejich velikost je od milimetrů po metry a jejich metabolismus je ovlivněn především teplotou (Yates 2004).

Drtivá většina gastrointestinálních hlístic parazitujících u přežvýkavců patří do kmene Nematoda, řádu Strongylida a nadčeledi Trichostrongyloidea. Typické pro gastrointestinální hlístice parazitující u přežvýkavců je jejich protáhlé nesegmentované tělo.

Trichostrongyloidní hlístice jsou většinou velké do dvou centimetrů. Živí se molekulami natrávené potravy, sliznicí či krví hostitele (Sutherland & Scott 2010). Makovcová et al. (2009) zmiňuje jako nejčastěji zastoupené druhy trichostrongyloidních hlístic u ovcí *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* a rod *Trichostrongylus*. Dalšími rody, které se také často vyskytují u ovcí je *Chabertia spp.*, *Nematodirus spp* či *Oesophagostomum spp.* (Vlaasoff et al. 2001; Papadopoulos et al. 2003, Stadaline et al. 2015). Parazitující druhy u koz jsou totožné s druhy vyskytujícími se u ovcí (Kyriánová et al. 2017). U skotu v mírném podnebním pásu převládá výskyt druhů *Ostertagia ostertagi* a *Cooperia oncophora*, ale v jiných oblastech mohou převládat jiné druhy. Také u tohoto druhu přežvýkavců často způsobují multidruhově infekce a podíl jednotlivých druhů na dopad infekce tak lze jen složitě zjistit (Roeber et al. 2017; Charlier et al. 2020). Zatímco *Ostertagia ostertagi* parazituje ve slezu a prepatentní období u ní trvá 21 dní, *Cooperia oncophora* parazituje v tenkém střevě, prepatentní období je u ní kratší a způsobuje také mírnější infekce (Charlier et al. 2020). I u skotu parazituje *Haemonchus spp.*, avšak zpravidla jiné druhy než u ovcí (Sutherland & Scott 2010; Charlier et al. 2020), parazituje ve slezu a vyskytuje se především v subtropickém podnebním pásu (Charlier et al. 2020).

U antilop losích faremně chovaných v podmínkách České republiky byly při studii zjištěny tyto druhy hlístic: *Capillaria spp.*, *Nematodirus spp.*, *Teladorsagia spp.* či *Cooperia spp.* Častý je výskyt multidruhových infekcí. Z čehož je zřejmé, že u antilop parazitují stejné druhy jako u skotu, ovcí a koz, přičemž se jim parazité nemusí nikterak morfologicky přizpůsobovat. Vylučování vajíček do prostředí zvyšuje kojení a je větší u telat nežli u dospělých (Vadlejch et al. 2015).

Hlístice obývající střevo hostitele mohou na svém stanovišti přetrvávat po dlouhou dobu, aniž by svého hostitele příliš poškozovaly, pokud je zátěž hlísticemi nízká a pokud nedojde k jinému narušení imunity hostitele. Pro tyto parazity je typická vysoká prevalence a vysoká úroveň disperze ve stádě. Tento vztah je pro parazity výhodný, jelikož nepoškozují příliš svého hostitele a mohou jej tak využívat po dlouhou dobu. Navzdory nižší míře reprodukce (Lucius & Poulin 2017).

Je nutné porozumět nejprve biologii hlístic, abychom byli schopni regulovat jejich populaci a jejich účinky. Hlístice se vyskytovaly po celém světě již od pradávna, avšak na jejich distribuční vzorce má nepochybně vliv teplota, vlhkost a dostupnost hostitelů (Yeates 2004).

#### 4.1 Morfologie gastrointestinálních hlístic

Gastrointestinální hlístice mají zpravidla oblý tvar, často vřetenovitý a na průřezu jsou kruhovití (Gibbons 2002; Loos-Frank & Grancis 2017). Tvar jejich těla je také popisován jako úzký a aerodynamický, což hlísticím spolu s vlnitým pohybem umožňuje zavrtávat se do půdy či sliznice (Burr & Robinson 2004). Velikost se pohybuje od 1,5 milimetrů po 1 metr, u některých druhů výjimečně až 9 metrů (Loos-Frank & Grancis 2017). Gibbons (2002) uvádí nejmenší velikost od 0,47 mm. Jejich tělo je kryto kutikulou, která je bohatá na kolagen, což ji dělá pevnou, avšak není roztažitelná, a proto bývá v určitých částech vývoje odvržena (Gibbons 2002; Sutherland & Scott 2010). Kutikula jim slouží především k ochraně před škodlivými mechanickými vlivy (Burr & Robinson 2004). Pod kutikulou je pokožková vrstva následovaná svalovou vrstvou tvořenou břišními a zádonými trámci. Svaly se dále dělí na somatické a specializované, které představují především svaly trávicí a pohlavní soustavy. Tělní dutina je naplněna tekutinou, která tlakem působí na svalové trámce, a takto je umožněn zmiňovaný vlnivý pohyb. Druhové odlišnosti napomáhající k identifikaci druhu lze najít u kutikuly, která se různí svými hřebenovitými, háčkovitými či trnovitými výběžky (Gibbons 2002; Sutherland & Scott 2010).

Ústa, která mohou být obklopena smyslovými orgány, vytváří ústní dutinu často nazývanou bukální dutina, jsou následována hltanem (Gibbons 2002). Střevo navazuje na hltan, probíhá v celé délce hlístice a trávicí soustava je zakončena análním otvorem u larev a samic (Sutherland & Scott 2010). Zatímco u samců ústí do kloaky spolu s chámovodem (Gibbons 2002). U třetích larválních stádií slouží k identifikaci druhu také střevo (Sutherland & Scott 2010). Hlístice nemají oběhový systém, ale mají vylučovací soustavu, která ústí na povrchu těla (Gibbons 2002). Protonefridie chybí a jsou nahrazeny dvěma vylučovacími kanály (Loos-Frank & Grancis 2017). Nervovou soustavu mají složitou (Gibbons 2002), převládají u nich chemo a mechanoreceptory (Loos-Frank & Grancis 2017). Jsou gonochoristické s výrazným pohlavním dimorfismem (Gibbons 2002). Samci jsou často menší nežli samice (Sutherland & Scott 2010; Loos-Frank & Grancis 2017), mají zahnutý konec těla, kde se nachází kopulační struktury a kopulační burza, jež je rozšířeninou kutikuly. Mají jedno varle, které má podobu trubice a je zakončeno kloakou. Mezi kopulační struktury patří párové sklerotizované spikuly a gubernakulum, které jim zajišťuje pohyb správným směrem při kopulaci. Spikuly jsou při kopulaci vsunuty do vulvy samice, aby nasměrovaly tok ejakulátu a jsou významné svými druhovými odlišnostmi (Sutherland & Scott 2010). Spermie hlístic nemají bičík a chybí jim též akrozom v přední části (Loos-Frank & Grancis 2017). Samice mají jeden či dva vaječníky, zřídka více. Na vaječník může navazovat krátký, zpravidla málo diferencovaný vejcovod. Dále navazuje děloha, která končí na povrchu těla vulvou. Vulva může být lokalizovaná kdekoliv, v celé délce těla (Gibbons 2002).

Hlístice svým chováním připomínají jiné organismy, jež reagují na své okolí a podněty. Mimo jiné reagují také na své hostitele. Kineze je druhem reakcí na podněty, která

záleží především na jejich intenzitě. Tak je tomu například při fotokinezi závislé na světle. Taxe je cílenou orientační reakcí působící ve stejném směru podnětu či proti němu (Lee 2002).

## 4.2 Vývoj a vývojová stádia gastrointestinálních hlístic

Hlístice obecně jsou schopny udržovat svou populaci prostřednictvím sexuálního i asexuálního rozmnožování. U gastrointestinálních hlístic dochází především k sexuálnímu rozmnožování. Při svém rozmnožování využívají mimo jiné i chemoreceptorů (Huettel 2004; Sutherland & Scott 2010). Vývoj je dle druhové příslušnosti přímý či nepřímý. Větší část životního cyklu je u jednotlivých skupin hlístic stejná (Sutherland & Scott 2010). U gastrointestinálních hlístic probíhá velká část životního cyklu mimo tělo hostitele (Rose et al. 2015)

Hlístice s přímým životním cyklem počínají svůj život jako neembryonované vajíčko na pastvě přítomné v trusu. Pro jejich přežití je důležitá správná teplota a vlhkost (Lee 2002; Sutherland & Scott 2010). Vajíčka jsou eliptického tvaru se symetrickými protilehlými póly (Loos-Frank & Grancis 2017). Z již embryonovaných vajíček se na pastvinách líhnou larvy, které následně prodělávají dvě svlékání, až dosáhnou třetího larválního stádia, které je zpravidla infekční (Lee 2002; Sutherland & Scott 2010). V mírném podnebním pásu, kde jsou zimy chladnější, dochází u skotu k vylučování vajíček na jaře na počátku pastevní sezóny. K zamoření pastvin infekčními třetími larválními stádii pak dochází především během léta (Sutherland & Scott 2010). Svlékání od prvního po třetí larvální stádium trvá zhruba jeden až dva týdny při vhodných teplotních a vlhkostních podmínkách (Charlier et al. 2020). Po pozření hostitelem prodělává larva v jeho zažívacím traktu další svlékání, po němž se stává juvenilní hlísticí, která již pohlavně dospívá. Zpravidla se jednotlivá larvální stádia označují čísly 1 až 4 a v případě juvenilních hlístic je někdy používáno stádium L5, vzhledem k tomu, že nejde o zcela dospělé jedince (Lee 2002; Sutherland & Scott 2010; Loos-Frank & Grancis 2017).

První a druhé larvální stádium hlístic se živí mikroby ve výkalech (Lee 2002; Sutherland & Scott 2010). Třetí larvální stádium bývá zpravidla nekrmové. U trichostrongyloidních hlístic je typické, že si larva třetího stádia ponechává navíc kutikulu druhého larválního stádia, aby byla odolnější vůči podmínkám vnějšího prostředí (Lee 2002; Charlier et al. 2020). Největší odolnost infekčních třetích larválních stádií popisuje též Wharton (2004), tato skutečnost velmi napomáhá tomu, aby byla infekční stádia pozřena hostitelem v pravý okamžik a umožňuje L3 přežít na pastvě až po dobu jednoho roku (Charlier et al. 2020). U některých druhů může být infekční první larvální stádium (Loos-Frank & Grancis 2017).

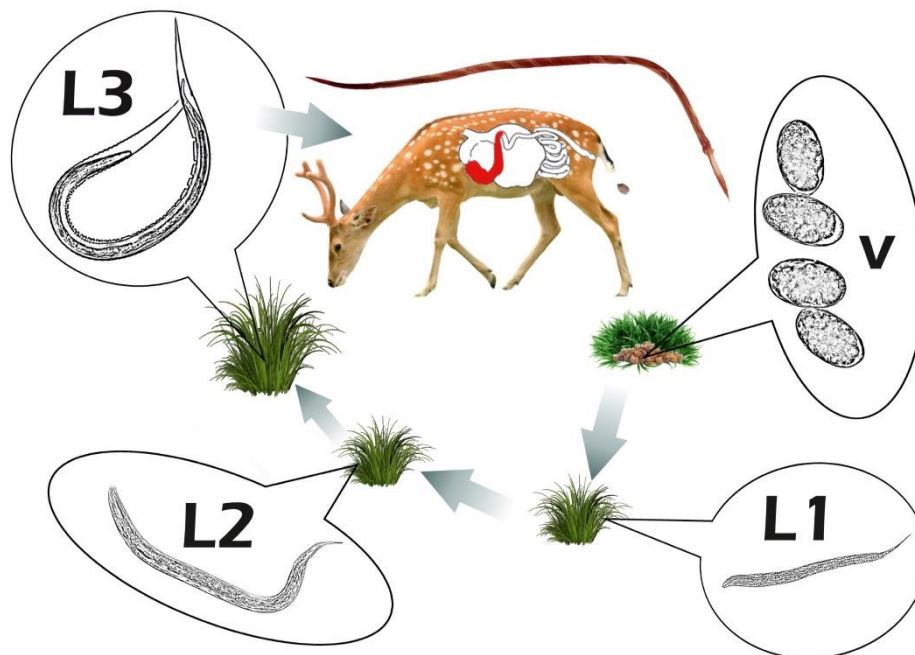
Při porovnání vlivu krávy a telete na kontaminaci pastvin bylo zjištěno, že kráva za celé období pastvy vyloučí přibližně o 33 % více vajíček než tele. Přičemž kráva vylučuje nejvíce vajíček od května do srpna, zatímco tele na konci pastevního období (Stromberg 1997).

Ke svlékání L3 stádií dochází u různých druhů na odlišných místech. Například *Haemonchus contortus* se svléká v bachoru, odkud pokračují L4 do slezu a *Trichostrongylus*



*colubriformis* ve slezu, odkud pokračují do tenkého střeva (Lee 2002; Sutherland & Scott 2010). Gastrointestinální hlístice parazitují především ve slezu či dvanáctníku hostitele. Po dosažení dospělosti a oplození, uvolňuje samička vajíčka, která jsou dále trávicím traktem vylučována z těla ven. U viviparních druhů, kde je možné, že se z vajíček líhnou až L3 stadia, je důležité, aby vajíčko obsahovalo dostatek živin pro vývoj. K tomuto jevu však u většiny druhů nedochází. A téměř vůbec k tomuto nedochází u druhů parazitujících ve střevě, kde nemají dospělé hlístice možnost vložit příliš živin do vajíček (Sutherland & Scott 2010).

Při laboratorních metodách využitých ke kultivaci vzorků vajíček odebraných z trusu, bez ohledu na výtěžek druhové odlišnosti, se pro získání L3 stádií používá teplota 25-27 stupňů Celsia po dobu 6-7 dnů. Je však nezbytné, aby laboratorní kultury nevysychaly. Pokud je poté ke skladování L3 stádií využita voda z vodovodu o teplotě 8 stupňů Celsia, můžeme zachovat jejich infekčnost až po dobu jednoho roku. Ve volné přírodě je pro L3 stadia typický horizontální pohyb po porostu či vertikální v případě, že se uchýlí do půdy, kde jsou při vhodné teplotě a vlhkosti schopné dlouhodobě přežít. Zdá se, že nejvhodnější podmínky pro migraci L3 stádií nastávají při teplých a vlhkých úsvitech a soumracích, kdy není přílišná intenzita světla. Vzhledem k tomu, že vývoj většiny druhů do L3 stádia je inhibován nízkou teplotou, je možno počítat s tím, že dospělí jedinci hospodářských přežvýkavců, kteří sice vylučují vajíčka, v zimních obdobích pastviny příliš nezamoří (Sutherland & Scott 2010).



**Obr. 1: Vývojový cyklus gastrointestinální hlístice *Ashworthius sidemi***

V – vajíčko, L1 – první larvální stádium, L2 – druhé larvální stádium, L3 – třetí infekční larvální stádium

Zdroj: originál Vadlejch J.

### 4.3 *Haemonchus contortus*

*Haemonchus contortus* je gastrointestinální hlísticí, která se vyskytuje převážně u ovcí a koz, ale může se vyskytovat i u skotu (Sutherland & Scott 2010; Loos-Frank & Grancis 2017). Častý výskyt je též u jelenů. Především v tropických a subtropických oblastech, kde mezi druhy gastrointestinálních hlístic převládá, způsobuje závažné, potenciálně i smrtelné parazitární onemocnění, které se nazývá hemonchóza. V těchto oblastech jsou příznivé klimatické podmínky, tedy teplo a vlhko, proto se zde vyskytuje hojněji nežli v mírném pásu, kde může mít problém s přežíváním v zimních obdobích, a ve kterém narůstá jeho prevalence v letních měsících (Sutherland & Scott 2010). Jako parazit byl zaznamenán i u lidí v Brazílii a Austrálii (Roberts et al. 2013). Dle Sutherlanda & Scotta (2010) jde o jednu z největších gastrointestinálních hlístic s nejhojnějším výskytem, která se například na Novém Zélandu často vyskytuje u krav v malé míře a bez klinických projevů infekce. Dle van Dijk et al. (2008) dochází například na území Velké Británie k méně časté diagnostice hemonchózy ve Walesu a Skotsku. V těchto oblastech se nachází mnoho pahorkatin a spíše chladnější podnebí. Naproti tomu ve Středozeří Velké Británie byla infekce zaznamenána nejčastěji. Onemocnění se soustředí do pozdního léta a s působením globálního oteplování se přesouvá více do podzimu.

Působí typické multidruhovému infekce v mírném pásu (van Dijk & Morgan 2006, Hogg et al. 2010). Jeho životní cyklus je jednoduchý, volně žijící stádia přežívají v trusu či na pastvě a parazitická v hostiteli. Hostitel při pastvě pozře larvy třetího vývojového stadia, které poté prochází skrze předžaludky až do slezu (Dakak et al. 1981), kde se parazit vyvine přes čtvrté stadium do pátého, které již představuje dospělou hlístici. Vývoj v dospělce trvá přibližně deset dní od pozření infekční larvy (Hunter & Mackenzie 1982). Dospělé hlístice se živí krví (Hunter & Mackenzie 1982; Sutherland & Scott 2010). Kvůli sání narušují sliznici, která pak vykazuje značné nepravidlosti a eroze. Kromě poškození sliznice se infekce rodem *Haemonchus spp.* klinicky vyznačuje anémií, tedy úbytkem červených krvinek v důsledku sání krve (Hunter & Mackenzie 1982). Závažnost anémie lze měřit podle stupnice nazývané FAMACHA, která definuje prokrvenost sliznice okolo spojivky (van Wyk & Bath 2002).

Typická pro druh *Haemonchus contortus* je od čtvrtého larválního stadia takzvaná bukální lanceta, což je jakýsi trn či zub o délce 13 mikrometrů a šířce 15 mikrometrů, jež slouží k nabodnutí sliznice hostitele, ze které je pak sána krev. Samice za den vyprodukuje až 10 000 vajíček (Sutherland & Scott 2010) a lze ji od samce rozlišit dle světlé dělohy obtočené kolem červeně zbarveného krví naplněného střeva (Sutherland & Scott 2010; Loos-Frank & Grancis 2017). Spikuly u samce mohou být dlouhé 450 až 500 mikrometrů (Roberts et al. 2013). Doba od počátku infekce do vylučování vajíček trvá 12 až 24 dní (Loos-Frank & Grancis 2017). Sutherland & Scott (2010) a také Loos-Frank & Grancis (2017) uvádějí shodně délku dospělé samice 2-3 cm. Samec je dlouhý 18 až 21 milimetrů. Vajíčko má rozměry 80 x 45 mikrometrů.

#### 4.4 *Ashworthius sidemi*

*Ashworthius sidemi* patří v České republice k invazivním druhům. Areálem jeho primárního výskytu je východní, jihovýchodní a střední Asie, kde infikuje původní druhy jelenovitých, jako například jelena sika, se kterým byl do České republiky zavlečen (Kotrlá & Kotrlý 1977). Jedná se o generalistického parazita, který je schopný napadat mnoho druhů hostitelů (Hoberg et al. 2002). Přizpůsobil se k parazitismu například u muflonů či jelenů evropských (Kotrlá & Kotrlý 1977).

Samici lze pod mikroskopem detekovat dle přítomnosti bílých ovárií a chlopně kryjící vulvu, která se nachází v zadní části těla. Samci jsou menšího vzrůstu než samice, jejich těla jsou vějířovitě zakončena kopulační burzou (Drózd et al. 2000), přičemž gubernakulum tvoří téměř 50 % spikuly (Hoberg et al. 2002). Vajíčka dosahují velikosti 97-103 x 48-49 mikrometrů a jsou oválného tvaru (Drózd et al. 2000). Hoberg et al. (2002) uvádí délku vajíčka až 143 mikrometrů. Infekční larvy třetího stádia dosahují velikosti 985 až 1056 mikrometrů. Poté co dojde k oplození samečkem, uvolňuje samička ve slezu a dvanáctníku vajíčka, která dále procházejí gastrointestinálním traktem, dokud nevyjdou s výkaly ven. Za přítomnosti kyslíku a při správné teplotě se z vajíčka ve vlhkém prostředí po 48 hodinách vylíhnou larvy prvního stádia označované jako L1, které se po zbavení kutikuly mění na L2, tedy larvy druhého stádia. Stejně jako L1 se L2 živí bakteriemi, které obsahují výkaly. Po projití mnoha morfologických a biochemických změn, jako je například tvorba nové kutikuly, se z neinfekčních stádií promění larva třetího stádia, která již infekční je. Díky dvěma vrstvám kutikuly je velmi dobře chráněna před nepříznivými podmínkami vnějšího prostředí, do kterého buď aktivně migrují či jsou do něj mechanicky vyplaveny. Po pozření infekčního stádia se ve sliznici slezu hostitele začíná vyvíjet čtvrté krev sající stadium, ze kterého se přibližně za dva týdny vyvíjí páté stádium dospělce. Dospělci červeně zbarvení nasátou krví se noří ze sliznice do lumen slezu, odkud pokračují do dvanáctníku (Drózd et al. 2000).

Na základě výzkumu provedeného Drózd et al. (2000) byla zjištěna infekce *Ashworthiem* u 100 % zkoumaných jedinců volně žijících přežvýkavců na území Bělověžského národního parku v Polsku. Infekce probíhá zejména od června do září, kdy jsou přítomny dvě generace parazitů. A to pohlavně vyzrálí jedinci z loňského roku společně se čtvrtými larválními stádii letošního roku. Zatímco nejvyšší počet larev je detekován v zimě a na jaře.

## 5. Motolice parazitující u přežvýkavců

Motolice patří do třídy Trematoda, podtřídy Digenea, tato část práce pojednává o čeledi *Fascioloidae*. Jedná se o nejrozšířenější a ekonomicky nejvýznamnější čeleď, především svým dopadem na užitkovost přežvýkavců (Dalton 1999). Podtřída Digenea je charakteristická jedno či dvoumezihostitelským vývojovým cyklem parazita, přičemž první z mezihostitelů je vždy měkkýš (Dalton 1999; Roberts et al. 2013; Loos-Frank & Grancis 2017), dospělci parazitují u obratlovců (Loos-Frank & Grancis 2017). Mezihostitel je organismus nutný pro vývoj parazita, ale nedosahuje v něm své pohlavní dospělosti (Roberts et al. 2013). Vývojový cyklus čeledi *Fascioloidae* obsahuje pouze jednoho mezihostitele, který patří mezi měkkýše. Přežvýkavci pak představují definitivního hostitele (Roberts et al. 2013).

Celosvětově rozšířená je *Fasciola hepatica* (motolice jaterní), především v tropických oblastech parazituje motolice *Fasciola gigantica* (Dalton 1999; Nithiuthai et al. 2004). Parazitují nejčastěji u pasoucích se zvířat jako jsou kozy, ovce, skot, buvoli, koně, ale i králíci (Nithiuthai et al. 2004). Fasciolóza, onemocnění způsobované motolicemi a časté především v rozvojových zemích, patří mezi zoonózy. Zoonózy jsou nemoci přenosné ze zvířat na člověka. Významná svým ekonomickým dopadem je fasciolóza především v chovu ovcí, ale také v chovu skotu. Může však parazitovat také u koz, koní, buvolů, prasat, jelenů a mnoha dalších býložravců. Jak v minulosti, tak v současnosti jsou diskutované léky na tlumení nákazy motolicemi, konkrétně jejich struktura a mechanismus působení. Je neustále řešen problém s rezistencí motolic na podávané léky (Dalton 1999).

Parazitismus motolic je velmi starý fenomén. Svě mezihostitele z kmene měkkýšů obývaly již před 570 miliony let. Narušují hormonální metabolismus svého mezihostitele a mají schopnost změnit jeho tkáň. Hepatopankreas, žláza plnící funkci jater a slinivky u nižších živočichů, je u měkkýšů za normálních okolností zbarvena hnědě. Po napadení motolicemi je však zbarvena velmi jasně, díky vývojovým stádiím motolice, které nahradí původní tkáň. Parazité mají vliv také na pohlavní žlázy svého mezihostitele, ty mohou být po infekci redukovány, zcela chybět či dochází k hormonální kastraci. Může také docházet k tomu, že jsou gonády pozřeny vývojovými stádii motolic. Reprodukce je omezena za účelem zvýšení vylučování cercarií do prostředí (Lucius & Poulin 2017).

Larvální stádia motolic jsou schopná změnit chování svého mezihostitele nebo jeho vzhled, aby zvýšila pravděpodobnost jeho pozření definitivním hostitelem. Tento jev je častý například u motolice *Dicrocoelium dendriticum*, která parazituje u přežvýkavců a je rozšířená v severní Americe a Evropě. Má dvoumezihostitelský cyklus, přičemž druhým mezihostitelem je mravenec z rodu *Formica*. Býložravci pozřou mravence nepříliš často vzhledem k tomu, že se mravenci vyhýbají období s největší frekvencí pastvy a drží se na povrchu půdy, nikoliv ve výšce pastevního porostu. Larvální stádia motolice však modifikují chování mravenců, kteří vyšplhají do výše stébel, kde se křečovitě zakousnou kusadly bez možnosti jej opustit a jsou tak pozřeni definitivními hostiteli (Lucius & Poulin 2017).

## 5.1 Morfologie motolic

Zpravidla jsou motolice hermafroditické (Malcicka 2015; Loos-Frank & Grancis 2017), ale pokud mohou, rozmnožují se i pohlavně (Dalton 1999). Vajíčka mají žlutou až hnědou brvu (Dalton 1999; Loos-Frank & Grancis 2017). Materiály, které je obklopují jsou rezistentní vůči proteolytickým enzymům. Proto nemůže trávicí trakt definitivního hostitele vajíčka natrávit (Loos-Frank & Grancis 2017). Jsou oválného tvaru. Vytvoří se až ve vnějším prostředí po vyloučení hostitelem, což je ovlivněno dostatečnou teplotou, vlhkostí a přítomností kyslíku (Dalton 1999)

Miracidia, která ve vhodných podmínkách opouštějí, mají hruškovitý tvar a tělo je kryto až pěti prstenci velkými epitelovými buňkami. V přední části je apikální žláza, jež vylučuje sekret usnadňující proniknutí do mezihostitele (Loos-Frank & Grancis 2017). Mají dvě protonefridie složené z plaménkovitých buněk sloužící k vylučování (Roberts et al. 2013). V přední části se nacházejí také smyslové orgány sloužící k orientaci podle světla, které mohou připomínat oči (Loos-Frank & Grancis 2017), avšak miracidia některých druhů se mohou orientovat i bez nich. Tyto oční skvrny mohou být později vyvinuty i u cercárií (Roberts et al. 2013). V distální části mají shluk zárodečných buněk, které dávají vznik sporocystám a rediím. Chybí ústa i střevo (Loos-Frank & Grancis 2017).

Dalšími larválními stádii jsou nepohlavně se množící sporocysty a redie. Sporocysta má podobu váčkovitého organismu, který je těsně prolnut s tkání svého mezihostitele. Dceřiné sporocysty mohou být oválné, protáhlé či váčkovité bez nápadných orgánů. Obsahují zárodečné buňky. Redie disponují trávicí soustavou, která je tvořena z ústním otvorem, hltanem a jednoduchým střevem. Proto jsou schopny pozřít hostitelskou tkáň (Loos-Frank & Grancis 2017). Celkově jsou redie oproti sporocystám diferenciovanějšími organismy (Roberts et al. 2013).

Jedním z posledních exogenních stadií jsou cercárie, které jsou pro definitivního hostitele infekční. Vykazují podobnost s dospělým jedincem jako jsou například přísavné či trávicí ústrojí. Jejich vlastnosti jim však umožňují život mimo hostitele a jeho následné napadení (Loos-Frank & Grancis 2017). Také zevní tegument je svou organizací velmi podobný tegumentu dospělců (Roberts et al. 2013). Tyto larvy mají k pohybu ve vodě určený ocas a jejich žlázy produkují sekrety, které jim umožňují proniknutí do hostitele či stavbu cysty k přeměně na metacercárii (Roberts et al. 2013; Loos-Frank & Grancis 2017). Ocas je svalnatý a obsahuje zásobu energie uloženou v glykogenu. Povrch jejich těla mohou pokrývat kromě přísavek i trny (Loos-Frank & Grancis 2017). Vylučovací soustava je dobře vyvinutá. Pro každý druh je počet a uspořádání protonefridií konstantní. Pokud dochází k vývoji metacercárie, je zevní tegument přetvořen v cystu (Roberts et al. 2013). Existuje mnoho druhů cercárií a často jsou spolehlivějším ukazatelem při určování druhu, vzhledem k jejich odlišnostem (Roberts et al. 2013).

Velikost dospělců je variabilní, pohybuje se od 0,5 mm až po 8 cm, jsou dorzoventrálně zploštělí (Loos-Frank & Grancis 2017). Dle Roberts et al. (2013) začínají velikosti motolic na 0,16 milimetrech. Některé druhy mohou být kulovité či vláknité, ale častěji listovitého tvaru. K přichycení v hostiteli jim slouží přísavky. Jedna přísavka obepíná ústa a druhá se nachází přibližně uprostřed těla. Motolice se dvěma přísavkami se označují jako distomické, pokud jim chybí přísavka uprostřed těla, jsou to motolice monostomické

(Roberts et al. 2013; Loos-Frank & Grancis 2017). Vnější povrch těla tvoří tegument (Malcicka 2015; Loos-Frank & Grancis 2017), který je podepřen podélnými a prstencovými svaly (Loos-Frank & Grancis 2017). Svaly jsou nejvýraznější v přední části (Roberts et al. 2013). Povrch těla může vykazovat výběžky jako například trny. Celkově je tegument protkaný póry, které mohou sloužit například k exkreci (Roberts et al. 2013). Pravá tělní dutina není vytvořena a prostor mezi svaly a orgány je vyplněn parenchymálními buňkami. Trávicí soustava je tvořena ústy, hltanem, jícnem a dvěma slepými střevy. Řitní otvor chybí, motolice vylučují ústy (Loos-Frank & Grancis 2017). Vylučovací soustava je tvořena protonefridiálním systémem, který slouží též k regulaci osmotického tlaku (Malcicka 2015; Loos-Frank & Grancis 2017). Ve svém hostiteli se živí převážně hlenem a tkání, ale také krví. Potrava je trávena pomocí intra a extracelulárních procesů a například strávené železo z krve může být vyloučeno prostřednictvím tegumentu do hostitele (Roberts et al. 2013).

Samičí pohlavní soustava je tvořena nepárovým vaječником, který produkuje vajíčka. Párové vitelliní žlázy tvoří materiál pro produkci vajíček, napojují se na vejcovod a ústí do dělohy, která ústí na povrchu těla. Do vejcovodu ústí také semenný váček, který je naplněný spermii. Samčí pohlavní soustava je tvořena párovými varlaty ústí do chámovodu, který se na konci rozšiřuje v semenný váček obklopený prostatou ústící na orgán zvaném cirrus (Loos-Frank & Grancis 2017). Cirrus je samčí kopulační orgán (Roberts et al. 2013).

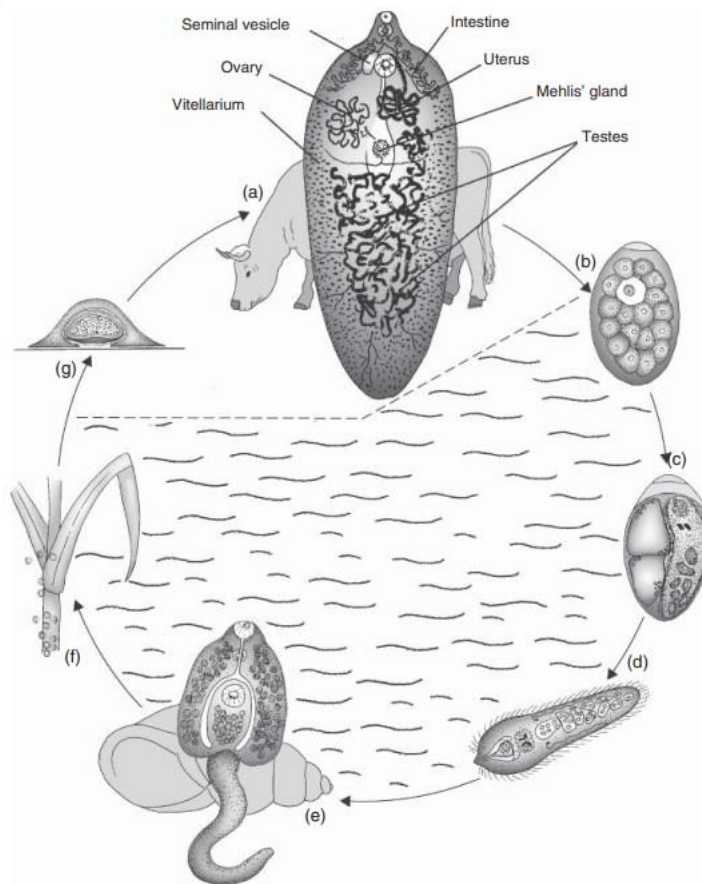
## 5.2 Vývoj a vývojová stádia motolic

Variací vývojového cyklu motolic existuje několik, ale každá zahrnuje jako primárního či sekundárního mezihostitele měkkýše. Motolice střídají pohlavní a nepohlavní rozmnožování (Roberts et al. 2013; Loos-Frank & Grancis 2017). Přenos motolic z mezihostitele na definitivního hostitele je vždy závislý na přítomnosti vhodného vnějšího prostředí, kterým jsou mokřady či podmáčené pastviny (Dalton 1999; Pybus 2001). Uvnitř měkkýše dochází k larválnímu množení. Obratlovci pak patří mezi definitivní hostitele motolic (Dalton 1999; Loos-Frank & Grancis 2017). V životním cyklu motolic jsou přítomné dva typy plovoucích larev vázané na vodní prostředí. Jsou to miracidia a cercarie (Loos-Frank & Grancis 2017).

Vývoj motolic má zpravidla pět fází. V první fázi vychází vajíčka z definitivního hostitele do vnějšího prostředí zpravidla spolu s trusem (Dalton 1999; Nyindo & Lukambagire 2015; Loos-Frank & Grancis 2017). Ve druhé fázi se z vajíček ve vnějším prostředí líhnou miracidia, která po vyhledání pronikají do mezihostitele měkkýše (Dalton 1999; Roberts et al. 2013). K tomu, aby se z vajíčka mohlo miracidium vylíhnout je zapotřebí sladká voda (Nyindo & Lukambagire 2015), vajíčka motolic jsou velmi náchylná k vyschnutí. Důležitá je též koncentrace kyslíku, která urychluje líhnutí (Roberts et al. 2013). Avšak může dojít k tomu, že je vajíčko vyloučeno jako embryonované s miracidiem uvnitř a pak musí být mezihostitelem požřeno samotné vajíčko (Roberts et al. 2013; Loos-Frank & Grancis 2017). Ve třetí fázi se miracidium usadí ve formě mateřské sporocysty v některém z orgánů mezihostitele (Loos-Frank & Grancis 2017). Sporocysta má váčkovitý tvar (Roberts et al. 2013) a tvoří dceřiné sporocysty nebo redie (Dalton 1999; Loos-Frank & Grancis 2017). Následuje vznik cercarie v měkkýši ve fázi čtvrté. V tomto stadiu opouští parazit

mezihostitele, pluje vodou či se encystuje například na vodních rostlinách a vytváří tak metacerkarie (Dalton 1999). V průběhu několika týdnů se z jednoho miracidia mohou vyvinout tisíce cercarií (Pybus 2001; Loos-Frank & Grancis 2017). V páté fázi jsou cercarie nebo metacerkarie pozřeny definitivním hostitelem, uvnitř kterého probíhá vývoj v dospělé. Dospělci parazitují především v játrech, vylučují vajíčka, která jsou vedena žlučovodem do dvanáctníku a odtud střevy vylučována do vnějšího prostředí. Ve vývoji může docházet k odchylkám (Dalton 1999). Pokud motolice parazitují ve žlučovodech, trvá jim přibližně 12 týdnů než do nich domigrují (Nyindo & Lukambagire 2015).

Jednotlivá stádia motolice jsou biologicky velmi dobře uzpůsobena parazitizmu. Například miracidia produkují proteoenzym, který narušuje operkulum (Pybus 2001), což je víčko na jednom z pólů vajíček, a usnadňuje tak vylíhnutí (Pybus 2001; Roberts et al. 2013).



**Obr. 2: Vývojový cyklus motolice *Fasciola hepatica***

a – dospělec motolice ve žlučovodu přežvýkavců, b – neembryované vajíčko, c – embryované vajíčko, d – miracidium, e – vývoj cercarie v mezihostiteli *Galba truncatula*, f – metacerkarie na vodní rostlině, g – průřez metacerkarie

Zdroj: Lucius R, Loos-Frank B, Lane RP, Poulin R, Roberts CW, Grancis RK editors. The Biology of Parasitology. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.

### 5.3 *Fasciola hepatica*

Motolice jaterní je hospodářsky velmi významným parazitem přežvýkavců i těch volně žijících. Bohužel je také častým cizopasníkem člověka (Siles-Lucas et al 2021). Je celosvětově rozšířená především ve vlhkých nížinných oblastech. Ovce jsou k infekci tímto druhem motolice vnímavější nežli skot. Skot má také dostatečně vyvinutou imunitní reakci, která napomáhá zbavovat se již parazitujících dospělých motolic. Dospělci mají listovitý tvar s délkou až 300 x 139 mm (Loos-Frank & Grancis 2017).

Vajíčka motolice jaterní jsou oválného tvaru s délkou 130-145 mikrometrů a šířkou 70-90 mikrometrů. Využívají se až ve vnějším prostředí po vyloučení hostitelem, což je ovlivněno dostatečnou teplotou, vlhkostí a přítomností kyslíku (Dalton 1999; Loos-Frank & Grancis 2017). Teplota velmi ovlivňuje rychlost vývoje vajíček ve vnějším prostředí. Při teplotě okolo 10 stupňů Celsia se vajíčka vyvíjejí 23 týdnů, zatímco při 30 stupních Celsia se vyvinou jen za osm dní. Mráz přináší pro vajíčka zkázu a teploty nad 37 stupňů Celsia (Roberts et al. 2013). Při pohledu na dospělé s obsahem vysokého počtu vajíček uvnitř, lze vajíčka pozorovat jako tmavě hnědý shluk buněk. Ve vodě trvá vývoj miracidia z vajíčka 2 až 3 týdny (Loos-Frank & Grancis 2017).

Obvykle je jejím mezihostitelem bahnatka malá (*Galba truncatula*) (Siles-Lucas et al 2021). Dalton (1999) uvádí jako mezihostitele *Lymnaea truncatula*, avšak jde pouze o původní název bahnatky malé, jež se řadí do nadčeledi *Lymnaeoidea* a dříve byla označována jako plovatka malá. Larvy motolic obývající svého mezihostitele z řad *Galba Truncatula* mají za následek jeho úplnou kastraci. Dále také způsobují nadměrný růst plže, jev označovaný jako „parazitický gigantismus“. Tělní tkáň svého mezihostitele konzumují a nahrazují ji vlastní biomasou (Lucius & Poulin 2017). Mezihostitelé se mohou na různých kontinentech lišit (Loos-Frank & Grancis 2017)

Cerkarie opouští mezihostitele přibližně po sedmi týdnech od infekce. Zpravidla se přemění na metacerkarie zacystěním se na rostlinách, se kterými je pozřou přežvýkavci. Při optimální vlhkosti mohou metacerkarie zůstat infekční po mnoho měsíců a jsou odolné i vůči teplotám pod bodem mrazu, avšak jsou velmi náchylné k vysychání (Loos-Frank & Grancis 2017). Siles-Lucas et al. (2021) uvádí, že metacerkarie motolice jaterní excystují ve dvanáctníku, kde uvolňují nedospělé motolice. Juvenilní motolice pak během dvou až tří hodin překonají střevní stěnu a migrují směrem k játrům. Dospívají ve žlučovodech. Vykazují velký okruh definitivních hostitelů, nejčastěji však napadají velké přežvýkavce. Dle Mas-Coma et al. (2019) trvá období od pozření metacerkarie do doby, než definitivní hostitel začne vylučovat vajíčka různě dlouhou dobu, avšak v rádech měsíců až let. Loos-Frank & Grancis (2017) uvádějí prepatentní dobu dlouhou 55 až 105 dní. Samotný vývoj motolice jaterní trvá 3,5 až 6 měsíců. Akutní příznaky infekce trvají 8-16 týdnů a mohou přecházet v chronické (Mas-Coma et al. 2019).

Dospělá samice může za den naklást 5000 až 20 000 vajíček (Loos-Frank & Grancis 2017). Pokud dospělec motolice produkuje příliš mnoho vajíček dochází až k obstrukci žlučvodů či tvorbě pseudocysty, která může narušit střevní parenchym. U domácích přežvýkavců se často zapouzdří v játrech a vajíčka vlastně neprodukuje (Pybus 2001).

Z hlediska lidské nákazy se celosvětově jedná převážně o ohniskový výskyt v rozvojových zemích, kde nejsou příliš dodržovány hygienické návyky. Lidé tak pozřou



metacerkárie spolu s například neomytou zeleninou, jež byla omývána vodou, která metacerkárie obsahovala (Siles-Lucas et al. 2021). Dle Mas-Coma et al. (2019) je nakaženo až sedmnáct milionů lidí v 51 zemích po celém světě. V případě ohniskového výskytu u lidí, nepotřebuje motolice jaterní parazitovat u přežvýkavců. Takto vysoké číslo infikovaných lidí je pravděpodobně způsobeno především velkou mírou přizpůsobivosti motolice jaterní jak k hostitelům, tak k prostředí (Mas-Coma et al. 2019). Siles-Lucas et al. (2021) uvádí do souvislosti se šířením nákazy především změny klimatu a změny stanovišť plynoucí z lidské příčiny. Jsou jimi například častější záplavy a zaplavená stanoviště vlivem odlesňování či vlivem umělých zavlažovacích systémů.

## 5.4 *Fascioloides magna*

*Fascioloides magna* je označována jako obří motolice, která může dorůstat délky až 10 centimetrů. Jejím přirozeným hostitelem je jelen běloocasý (*Odocoileus virginianus*) a původní výskyt v Severní Americe (Malcicka 2015). Kašný et al. (2012) uvádějí její velikost 3-10 centimetrů, zatímco Roberts et al. (2013) uvádějí 7,5 cm na délku a 2,5 cm na šířku. Dle Pybus (2001) je pro ni kromě jelena běloocasého v její domovině přirozeným definitivním hostitelem též wapiti (*Cervus canadensis*), karibu (*Rangifer tarandus*) a jelenec černoocasý (*Odocoileus hemionus columbianus*). V zemi původu využívá tato motolice až čtyř druhů měkkýšů jako mezihostitelů. Ze Severní Ameriky byly zavlečeny do Evropy jak její přirození mezihostitelé, tak definitivní hostitelé a společně s nimi také ona (Malcicka 2015). Pybus (2001) uvádí jako její evropské definitivní hostitele jelena červeného (*Cervus elaphus*), daňka (*Dama dama*) a jelena obecného (*Capreolus capreolus*). Do Čech byla zavlečena spolu s jelenem běloocasým (Kotrlá & Kotrlý 1977). Od *Fasciola spp.* se odlišuje svou velikostí a přítomností hlavového kužele. Často se dospělci parazitující u přežvýkavců obalí vápenatou schránkou a vytvoří tak pseudocystu (Roberts et al. 2013).

Kašný et al. (2012) uvádějí, že její ohnisková prevalence je až 90%. Nedospělým stádiím trvá jejich vývoj uvnitř hostitele tři až dvanáct měsíců. Při migraci během svého vývoje způsobují četná poranění jaterního parenchymu. U jelenovitých se vajíčka do prostředí vylučují skrze žlučovody snadněji nežli u skotu, z důvodu lepší morfologie pseudocyst, které dospělé motolice v játrech tvoří. Také dle Červené et al. (2022) tato motolice u skotu vylučuje vajíčka do prostředí velmi málo, protože v jaterním parenchymu vytváří výdutě, jež špatně komunikují se žlučovody.

Kašný et al. (2012) provedli v letech 2009-2010 výzkum na několika místech České republiky s cílem zhodnotit výskyt motolice obrovské na našem území na základě rozeslaných dotazníků. Ze 1622 dotazovaných odpovědělo 345, 316 s negativní odpovědí a 29 s pozitivním nálezem motolice obrovské ať už v mezihostiteli, trusu či játrech slovených zvířat v honitbách či poražených v chovech. Nejhojnější výskyt byl v oblasti jihozápadních Čech, kde je velmi vhodné vlhké prostředí pro výskyt mezihostitelů. Nové oblasti výskytu, oproti výzkumům z předešlých let, byly nalezeny u západních hranic s Německem, severních s Polskem a ve středních Čechách v brdské oblasti.

## 6. Globální změny klimatu

Podnebí neboli klima je chápáno jako dlouhodobý charakteristický režim počasí, který je daný variabilitou klimatického systému. Klima studuje věda nazývaná klimatologie. Na většině míst je typická jeho sezónní proměnlivost. Můžeme jej rozdělit dle místa a prostoru jeho působení. Nejrozšířenější je klima zemské, jež zkoumá klima na celé planetě a dělí Zemi do klimatických pásem. Velkoprostorovými ději je charakterizováno makroklima. Jeho horizontální rozměry jsou od stovek po tisíce kilometrů. Lze hovořit například o makroklimatu oceánu či monzunových oblastí. Není antropogenně ovlivněno. Dalším stupněm je mezoklima, které představuje podnebí vytvářené například městskou aglomerací. Zde je již patrné ovlivnění antropogenním vlivem, ale také vegetací či vodními plochami. Mikroklima je definováno jako klima přízemní vrstvy vzduchu spolu s aktivním povrchem. Může jít například o podnebí lesa, pole, stáje či domu. Nejmenší prostory charakterizují kryptoklima, jde o uzavřené prostory lednic, lánů a podobně (Česká meteorologická společnost 2017).

Klimatické změny jsou dlouhodobě probíhající vývoje klimatu ubírající se jedním směrem. Přírodní střídání dob ledových a meziledových jsou chápány také jako změny klimatu. K přírodním změnám klimatu se přidávají antropogenní změny klimatu působící v souvislosti s aktivitou člověka. Mezi ně patří například i mitigace, jež označuje cílenou aktivitu člověka vedoucí k omezení zdrojů skleníkových plynů (Česká meteorologická společnost 2017).

### 6.1 Vývoj zemského klimatu

Již v dávných dobách docházelo na planetě Zemi k postupným či náhlým teplotním výkyvům. Například v severních zeměpisných šířkách bylo oteplování v porovnání se současností srovnatelné na počátku 20. století. Avšak k oteplování tehdy nedocházelo pod tlakem uvolňovaných skleníkových plynů, kterých tehdy nebylo tak mnoho, jako dnes. Dnes je nárůst  $\text{CO}_2$  v atmosféře 4 - 5x rychlejší. Od počátku instrumentálního zaznamenávání teplot bylo první oteplování planety, podobné tomu současnému, zaznamenáno v období let 1910 až 1940 (Bokuchava & Semenov 2021). Globální oteplování v první polovině 20. století bylo způsobeno narůstajícími antropogenními vlivy, ale i vlivy přírodními. Toto období oteplování zahrnovalo také události jako sucha a extrémní vlny veder v Severní Americe ve 30. letech či pozdější vlny veder v Evropě na přelomu 40. a 50. let minulého století (Hegerl et al. 2018). Mezi oteplováním v letech 1910 až 1940 a současným oteplováním došlo k mírnému poklesu globální teploty. V letech 1976 až 2005 došlo k nárůstu globální teploty o 0,56 stupně Celsia. Změny teploty jsou spojené především s mírou industrializace, která v těchto letech proběhla. Mezi dynamikou změn na severní a jižní polokouli lze najít odlišnosti, které jsou pravděpodobně ovlivněny rozlohou oceánů (Bokuchava & Semenov 2021). Měření teplot je v některých částech planety zatíženo nízkým pokrytím měřících stanic, například v Africe či polárních zeměpisných šířkách (Hegerl et al. 2018).

## 6.2 Princip globálních změn klimatu

Ke změně klimatu přispívají přírodní procesy představující sluneční záření, činnost sopek, změna ve složení atmosféry či změny ve využití půdy způsobené lidskou činností. Změna vnitřní proměnlivosti vlastního klimatického systému, s níž souvisí také jev nazývaný „El Niño“ a změna globálního klimatického systému spolu též úzce souvisí. Změna klimatu totiž tento jev představující klimatický cyklus v Tichém oceánu s globálními dopadem na počasí zintenzivňuje. Od roku 1901 do roku 2017 došlo k více než 33 extrémním jevům, které byly spjaty s El Niñem, přičemž častější výskyt byl zaznamenán od 70. let minulého století (Wang et al. 2019).

Klimatické změny probíhají kontinuálně, avšak v poslední době se počasí vyznačuje vyšší teplotou a vlhkostí s častějším výskytem extrémních jevů jako jsou například sucha a záplavy. Klimatické změny převýkavce přímo významně ovlivňují, především dostupností pastvy, avšak i nepřímo dostupností parazitů. Dopady klimatických změn také výrazně ovlivňuje intenzifikace živočišné výroby. Mezi důsledky změn klimatu patří a budou častějšími u hospodářských zvířat snížená konverze živin, zvýšená náchylnost k nemocem, ale také úhyny při přepravě vlivem nejen tepelného stresu. Avšak je složité stoprocentně analyzovat dopad změny klimatu na welfare zvířat a jakékoliv úpravy v reakci na snížení produktivity a efektivity chovu, se kterými se pojí ztráta zisku (Skuce et al. 2013). Přestože se předpokládá, že ne všude bude mít globální oteplování negativní dopad, dojde k významnému nárůstu sucha, které ruku v ruce s horkým prostředím má negativní dopad na rostlinnou a živočišnou produkci. Z rostlinné produkce především na kvalitu, dostupnost a spotřebu, přenos nemocí, produkci a biologickou rozmanitost druhů krmných plodin a píce. Nejvíce budou postiženy pastevní systémy živěné deštěm a dojde tak ke změně v dostupnosti pastvin (Nardone et al. 2010).

Bolan et al. (2024) uvádí, že změna klimatu vede k extrémním výkyvům počasí jako jsou záplavy, sucha, nepředvídatelné výkyvy srážek, lesní požáry a extrémní povětrnostní vlivy, jež napomáhají šíření kontaminantů ovzduší. Dynamiku anorganických a organických kontaminantů v půdě a vodním prostředí ovlivňují sucha a povodně. I zvyšování hladiny moří je důsledkem změn klimatu. Je proto důležité rozšířit strategie hodnocení uvolňování kontaminantů do prostředí a podpořit sanační průmysl. Lesní požáry by mohli zvýšit potenciál ke globálnímu stmívání.

Studie potvrzují, že globální oteplování a kolísání klimatu je způsobované kombinací přírodních a antropogenních vlivů, jako je uvolňování skleníkových plynů do ovzduší či pauza ve vulkanických erupcích (Hegerl et al. 2018). Jako vliv pauzy vulkanických erupcí lze chápat i oteplování v první polovině 20. století. K tomu začalo docházet po posledním výbuchu v roce 1912, kdy vybuchla Mount Katmai, po které byl následně pojmenován Aljašský národní park, který ji obklopuje (Bokuchava & Semenov 2021). Mezi přírodní vlivy ovlivňující oteplování planety patří také míra slunečního záření (Bokuchava & Semenov 2021).

Atmosféra selektivně absorbuje sluneční záření, které je krátkovlnné. Dále také pohlcuje dlouhovlnné záření vyzařované zemským povrchem, což jí umožňují skleníkové plyny. Mezi skleníkové plyny patří vodní pára, která zde zaujímá asi 60 %. 26 % tvoří oxid uhličitý, následovaný metanem, oxidem dusným a mimo jiné také často diskutovaný ozon.

Tím, že skleníkové plyny zadržují dlouhodobé záření zemského povrchu, není umožněno jeho efektivní ochlazování a dochází tak ke zvyšování globální teploty (Česká meteorologická společnost. 2017).

Produkci skleníkových plynů ze strany hospodářských zvířat dominuje se 44 % metan a následuje jej oxid dusný (29 %) a oxid uhličitý (27 %). Nejvíce skleníkových plynů vyprodukuje chov skotu. Na chov malých přežvýkavců připadá 6 % z celkových emisí skleníkových plynů z lidské činnosti. Skleníkové plyny vznikají při trávení přežvýkavců, při péči o ně, při jejich ustájení, při skladování hnoje, ale také při manipulaci s nimi a převozu jejich či výrobků z nich. Obsah metanu vznikajícího v předžaludcích lze ovlivnit krmnou dávkou (Altrová 2018).

Globální stmívání označuje jev, při kterém dochází ke snižování množství slunečního záření dopadajícího na Zemi. K tomuto snižování dochází v důsledku zakalení atmosféry vlivem prашného aerosolu vznikajícího antropogenními vlivy. Ten sice zeslabuje vyzařování zemského povrchu, nicméně působí v opačném smyslu nežli skleníkový efekt, tedy napomáhá ochlazování Země. Dnes dochází spíše ke globálnímu projasňování, avšak v 50. letech minulého století, docházelo pravděpodobně díky globálnímu stmívání ke globálnímu ochlazování (Česká meteorologická společnost 2017). Od 50. do 80. let minulého století docházelo k soustavnému zaznamenávání množství slunečního svitu dopadajícího na Zemi s klesající tendencí. Tomuto stmívání se připisuje za vinu etiopské hladovění v roce 1984, kdy nedošlo k oteplení džunglí, jež pohání období dešťů. Celkově s klesající teplotou, kterou stmívání způsobuje dochází k poklesu srážek a vyvolání období sucha. Dalšími důsledky jsou úbytek vegetace, praskání půdy či nárůst respiračních infekcí. Aerosol z lidské činnosti vzniká především při spalování uhlí, ropy, ale i dřeva v elektrárnách či dopravních prostředcích. Při spalování unikají do ovzduší malé části popela, sirných sloučenin a další (Li 2022).

Vzhledem ke globálním změnám klimatu se očekává pokles pH v oceánech. Acidifikace oceánů umožňuje kovům, aby se usazovaly v mořských organismech. Současné studie zaznamenávají nárůst například kadmia, mědi či stříbra usazených v orgánech mořských živočichů. Mušle se využívají jako bioindikátory, protože akumulují kovy ve svých orgánech, lze díky nim pozorovat míru acidifikace oceánů. Nejvíce nebezpečná pro mořský život je dostupnost hydroxidových a uhličitánových iontů ve sloučeninách s kovy jako je měď či cer. U mušlí způsobuje usazování těchto prvků v organismu oxidační stres či změnu energetických rezerv (Romero-Freire et al. 2024).

Vlivem tání ledovců s narůstající globální teplotou dochází ke vzestupu hladin moří. Vzestup mořské, a oceánské hladiny do budoucna způsobí zaplavení pobřežních oblastí přímořských měst. Lidé z těchto měst budou nuceni se přemístit, což bude mít pravděpodobně velké sociální dopady (Burger et al. 2023).

## 7. Dopad klimatických změn na gastrointestinální parazity u přežvýkavců

### 7.1 Vliv klimatických změn na epizootologii gastrointestinálních hlístic u přežvýkavců

Parazité podléhají vlivům způsobeným změnou klimatu, která zapříčinila změnu chování většiny živočišných druhů, jako například tepelný stres u přežvýkavců v tropickém pásu. Díky klimatickým změnám je nutné vyvíjet nové tlumící metody pro sledování parazitárních infekcí u přežvýkavců (Bautista-Garfias et al. 2022). Epizootologické změny GI hlístic však nejsou způsobeny jen klimatickými změnami, ale také zvyšující se rezistencí na anthelmintika (Rose Vineer et al. 2019, Vercruyssen et al. 2018). Klimatické faktory souhrnně ovlivňují odlišnosti v sezónní dynamice a epizootologii gastrointestinálních infekcí u přežvýkavců. Nejvíce klimatickým změnám podléhají volně žijící vývojová stádia gastrointestinálních parazitů, kdy neškodlivější jsou extrémní minusové i plusové teploty (Stromberg 1997; Sutherland & Scott 2010; Morgan & van Dijk 2012, Charlier et al. 2020). Naproti tomu pozvolné zvyšování teploty je podstatné pro urychlení vývoje (Stromberg 1997; Morgan & van Dijk 2012) a nejen u *Haemonchus contortus* odstraňuje překážky pro vývoj v zimních měsících (Rose et al. 2015). Klimatické faktory neovlivňují jen vajíčka, ale také infekční stádia parazitů. Vývoj od vajíčka v infekčním stádium trvá u *Ostertagia ostertagi* necelý týden, při optimálních podmínkách. Tato doba se liší v závislosti na geografických oblastech (Stromberg 1997).

Kromě teploty je významným klimatickým faktorem vlhkost ovlivněná dešťovými srážkami, důležitá pro přesun larev z trusu na pastvu (Stromberg 1997; Sutherland & Scott 2010; Morgan & van Dijk 2012). Příliš mnoho deště však způsobí vymývání larev z pastevního porostu. Larvy se zpravidla nachází v blízkosti trusu, což znevýhodňuje druhy parazitující u skotu, jež se nepase v blízkosti výkalů (Stromberg 1997).

Pro stádia, která již napadla hostitele, nejsou podmínky prostředí nijak významné, vzhledem k tomu, že útroby hostitele zpravidla tvoří velmi stálé prostředí (Sutherland & Scott 2010). Sutherland & Scott (2010) uvádí jako kritickou, pro zpomalení vývoje gastrointestinálních hlístic, teplotu již 10 stupňů Celsia a nižší. Zmrazení je pro volně žijící vývojová stádia fatální, protože tvorba krystalků vody způsobuje popraskání buněčných membrán. Přesto ve výjimečných případech mohou přežít, a to pokud u nich před zmrznutím došlo anhydrobióze. Naopak jako ideální teplotu pro přežívání uvádí tato autoři teplotu okolo 25 stupňů Celsia. Příliš vysoká teplota vyčerpává u larev zásoby živin. Druhy, jež parazitují u ovcí a jejich nároky na přežití jsou detailněji zkoumány a popisovány nežli druhy parazitující u skotu (Sutherland & Scott 2010). Hlístice jsou k přizpůsobivosti klimatu predisponované i díky velikosti vytvářené populace (Kenyon et al. 2009).

Také u volně žijících přežvýkavců budou mít globální změny klimatu významný dopad na parazitární onemocnění, především ve změně časoprostorových vzorců přenosu. Avšak u volně žijících přežvýkavců je předvídaní dopadu změny zatíženo logistickými potížemi a menším množstvím materiálu při sběru vzorků (Rose et al. 2014).

Při studiu chování gastrointestinálních hlístic pod vlivem klimatických podmínek zjistili van Dijk et al. (2008) jarní pokles nákazy v různých regionech Velké Británie,

pravděpodobně díky sníženému přežívání larev v zimě a na jaře při vyšších teplotách. Také uvedli, že pokud jsou hostitelé zpočátku roku vystaveni infekci v menší míře, může docházet k nedostatečné imunizaci. Při studii došlo k celkovému poklesu zánětu zažívacího traktu u zkoumaných přežvýkavců v měsících, kdy začalo docházet k oteplování. Menší přežitelnost larev v zimě a na jaře u druhů *Teladorsagia circumcincta* a *Trichostrongylus spp.* je způsobena pravděpodobně zvyšující se teplotou. Avšak chybí seriózní pokusy, které by stoprocentně prokázaly souvislosti mezi změnou klimatu a sezónním výskytem. Změny v sezónní dostupnosti L3 na pastvě, které jsou klimaticky podmíněné, budou mít stále větší význam pro dynamiku infekce, a to především tam, kde se parazitům pomalu přizpůsobuje chování hostitelů či management chovu (van Dijk et al. 2008).

V letech 2070-2100 se předpokládá zvýšení průměrné denní teploty vzduchu o 4,57 stupně. Nárůst bude největší v červenci, a to asi o 8,65 °C, zatímco nejmenší nárůst je očekáván v březnu, kdy má být teplota asi o 1,49 °C vyšší. Dále je také předpokládán pokles průměrných denních srážek, což společně se zvyšující se teplotou vede ke zvýšení předpokládané rychlosti vývoje gastrointestinálních parazitů v průběhu celého roku. Suchými léty se bude úmrtnost v letních měsících zvyšovat, a naopak vlivem teplých zim bude úmrtnost v zimních měsících menší (Rose et al. 2015). Dle Nardone et al. (2010) nárůst průměrné globální teploty ovlivňuje také imunitní reakci organismu přežvýkavců v odpovědi na napadení gastrointestinálními parazity.

Přítomnost vody je důležitá především také při líhnutí larev z vajíček, protože zajišťuje propustnost a změkčení vaječné skořápky (Sutherland & Scott 2010). Rose (1963) uvádí, že rychlost odpařování vlhkosti výkalů stoupá nepřímo úměrně s velikostí pelet výkalů. Čím menší je povrch výkalů, tím rychleji dochází k jejich vysušení. Například při 90% vlhkosti vzduchu a teplotě okolo 21,6 °C se výkaly průměrně vysuší za tři dny. Toto vede k vysoké úmrtnosti neembryonovaných vajíček, zatímco vajíčka embryonovaná jsou vůči vnějším podmínkám odolnější (Rose 1963). Vysychání výkalů urychlují také brouci či žížaly, které rozrušují strukturu trusu či ptáci, kteří se živí těmito organismy žijícími ve výkalech. I přežvýkavci, kteří při přesunu po pastvě trus rozšlapávají (Stromberg 1997). Larvální mortalita pak stoupá se zvyšující se teplotou, jako je tomu například v teplém podnebí letních měsíců v Evropě. Populace larev klesá přibližně osm týdnů po opuštění výkalů. Budoucí klimatické změny působící na infekčnost pastvin v důsledku vylučování vajíček ve výkalech by mohly být částečně kompenzovány selekcí mateřských linií na odolnost vůči hlísticím. Snížila by se tak i potřeba anthelmintického ošetření v období okolo porodu a infekční zátěž pro novorozená jehňata, a to bez ovlivnění užitkovosti (Rose Vineer et al. 2019).

Experimenty, které prováděli van Dijk et al. (2009) pracovaly s larvami třetích larválních stádií druhů *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* a *Nematodirus battus*, jež byly suspendovány ve vodě a vystaveny různé intenzitě UV záření. UV záření simulovalo intenzitu slunečního svitu. Larvy, které byly vystaveny intenzivnímu UV záření bez přerušení, měly několikanásobně vyšší úmrtnost než larvy, u kterých byly simulovány téměř přirozené přírodní podmínky. Tento jev pravděpodobně vysvětluje pokles populace larválních stádií na jaře, kdy jsou dávky slunečního svitu vysoké, ale teplota prostředí nízká. Larvy mohou vystavení UV záření kompenzovat vertikální migrací v pastevním porostu. V případě, že by došlo antropogenními vlivy k narušení ozonové vrstvy, měla by tato skutečnost vliv na přežitelnost larev na pastvě.

Dle van Dijk et al. (2009) se teploty ve Velké Británii zvyšují až o čtyři stupně oproti 30letým průměrům. I zde jsou predikovány změny v počasí, které se bude více vyznačovat extrémními jevy. Helminti jsou velmi ovlivňovány krátkodobým charakterem počasí. Zvyšující se teplota bude mít pozitivní vliv na vývoj gastrointestinálních hlístic a jejich volných stádií. Dynamika parazitů se však bude lišit mezi jednotlivými regiony, lety i měsíci. Ve Velké Británii se předpokládá posun podzimních vrcholů infekce a jejich pokles na jaře. Zvýšený výskyt *Haemonchus spp.* ve Skotsku, kde byl dříve jeho nález oproti jižním regionům minimální a souvisel především s nákupem nových zvířat, souvisí s globálním oteplováním (Sargisson et al. 2007). S dynamikou parazitů pak bude velmi úzce souviset především časté střídání období sucha s obdobími, která budou vydatnější na dešťové srážky. Sucho ovlivňuje především volná stadia motolic, avšak jeho přesný vliv na motolice nebyl kvantifikován (van Dijk et al 2009).

Vlivem globálních změn klimatu je důležité to, jaké strategie přežití hlístice zaujmou. Strategií na přežití a přizpůsobení se změnám klimatu je mnoho. Některé druhy využívají více strategií najednou. Nejdůležitější strategií podporující přežití je vysoká reprodukční kapacita jak u gastrointestinálních hlístic, tak u motolic. Častá je synchronizace životního cyklu s cyklem hostitele, s dostupností potravy či s dostupností vhodného prostředí pro další vývoj. Pro synchronizaci cyklu hlístice mohou využívat formu diapauzy, snížení metabolismu. I využívání mezihostitelů patří mezi strategie přežití (Wharton 2002).

### 7.1.1 Hypobióza

Hypobióza je důležitým biologickým aspektem (Eysker 1997). Jedná se o stav, který larvální stadia zaujímají v případě, že chtějí přežít pro svůj vývoj nevhodné období. Tedy například v době, kdy nastávají nepříznivé klimatické podmínky pro volně žijící stadia jako je zima či sucho. Je také důležitá pro usnadnění přenosu mezi hostiteli (Gibbs 1986). Dle Eysker (1997) zaujímají hypobiózu především třetí a čtvrtá larvální stadia a její časový vývoj je ovlivněn anthelmintickou rezistencí. Je však popsána i u raných dospělých stádií (Eysker 1997). Má velký epizootologický význam. Larvy svůj vývoj zastaví, zavrtají se do sliznice gastrointestinálního traktu, sníží svůj metabolismus a takto mohou vydržet po dlouhou dobu, po které zase svůj vývoj obnoví. Hypobiózou jsou známé především hlístice nadčeledi *Trichostrongyloidea*, u nadčeledi *Strongyloidea* se sklon k hypobióze liší mezi jednotlivými druhy (Eysker 1993). Nejčastěji popisována a zkoumána je u *Ostertagia ostertagi* a *Haemonchus contortus* (Eysker 1993; Lee 2002). Zajímavé je, že hypobiotické larvy druhu *O. ostertagi* se zavrtávají hlouběji do sliznice nežli larvy druhu *H. contortus*, avšak u *Haemonchus spp.* je hypobióza využívána častěji nežli u *Ostertagia spp.* (Eysker 1993).

Armour et al. (1967) studovali hypobiózu u *Ostertagia ostertagi* v laboratorních podmínkách, kde bylo zjištěno, že hlístice do hypobiózy nevstoupí, pokud k tomu nejsou vnějšími podmínkami nucené. V Austrálii studoval hypobiózu Gordon (1974) u různých populací *Haemonchus contortus*, a zatímco jedinci žijící v subtropické oblasti schopnost hypobiózy postrádaly, jedinci odolávající chladným zimám ji měli velmi dobře vyvinutou.

Popisována je také u čtvrtých larválních stádií druhu *Teladorsagia circumcincta*. Naopak u *Nematodirus spp.* je význam hypobiózy malý, protože se tyto parazité skvěle

adaptovali svým životním cyklem a přizpůsobili se také reprodukčnímu cyklu svých hostitelů (Gibbs 1986). Využití hypobiózy se odvíjí od klimatických podmínek. V mírném pásu obvykle hypobióza nastává před zimním obdobím a v létě pak dochází k většímu přenosu infekce, díky obnovení vývoje hypobiotických jedinců. Naopak letní hypobióza je popisována v oblastech, kde je největší rozvoj infekce od podzimu do jara (Eysker 1993). Hypobióza suchého období má kratší trvání nežli hypobióza zimní. Obvykle trvá jeden až dva měsíce a hypobiotické larvy se při ní mohou nacházet i v obsahu slezu (Meradi et al. 2016). Míra využití hypobiózy se liší a bude se lišit v závislosti na počasí a jeho změnách a také v závislosti na řízení managementu chovu a jeho změnách. Další vliv má na hypobiózu imunita hostitele a jeho odolnost, a tak může v jedné hostitelské populaci docházet k výskytu dvou hypobiotických parazitárních populací, sezónní a imunologické. Například v Nizozemsku je v období pozdního podzimu u zkoumaného stáda skotu popisována obrovská zátěž hypobiotickými stádii, ale též dospělými jedinci. Vysoký výskyt hypobiotických stádií byl pravděpodobně v důsledku rezistence hostitelských jedinců, která se však překrývala s vlivem sezónních faktorů. Pokud dojde k ukončení hypobiózy u mnoha jedinců najednou, způsobí tento stav závažné onemocnění hostitele (Eysker 1993). Imunologický základ hypobiózy popisuje také Gibbs (1986), kdy je další vývoj larev, které vstoupily do hostitele, zastavený jeho imunitním systémem. Hlístice dokáží hypobiózu během relativně krátkého časového úseku opustit, což má za následek akumulaci velkého množství dospělých jedinců, jež poškozují hostitele (Gibbs 1986).

V Nigérii byla pro účely studia hypobiózy infikována jehňata na konci období dešťů. Vystaveny byli smíšenému vzorku larev, kde převládal *Haemonchus spp.* O čtrnáct dní později bylo u jehňat zjištěno 90 % hypobiotických larev. Především u skotu napadeného *Haemonchus spp.* může být při pitvě počet hypobiotických larev ovlivněn nesprávným postupem (Eysker 1997).

U stáda 40 skotských bahnic byla zkoumána příčina špatného přibývání na váze a úmrtnosti. Bahnice byli ošetřeny anthelmintickým přípravkem a 6-8 týdnů po bahnění vypuštěny na čistou pastvu. Přesto u nich byla ve velké míře diagnostikována hemonchóza a teladorsagióza, jež byly způsobeny pravděpodobně velkým množstvím dozrávajících hypobiotických larev, na něž anthelmintické ošetření nezapůsobilo. U jehňat toto způsobilo problémy s denními přírůstkem hmotnosti. Vše pravděpodobně zapříčinilo přizpůsobení gastrointestinálních hlístic zimním podmínkám, kdy raná čtvrtá larvální stádia vstoupila s nadcházející zimou do hypobiózy. Pokud tedy nepřežije *Haemonchus spp.* v severních podmínkách Velké Británie jako volné stádium, mohlo by se jevit jako dostačující anthelminticky ošetřit ovce během podzimu či zimy anthelmintiky účinnými proti čtvrtým larválním stádiím (Sargison et al. 2007).

Skupina ročních ovcí byly po dobu šesti týdnů vystaveny infekci *Teladorsagia circumcincta*, poté jim byla podána anthelmintická léčba, po které byly vystaveny jednorázové dávce 50 tisíc larev *T. circumcincta*. Tato skupina ovcí deset dní po podání množství larev vykazovala méně dospělých hlístic, které navíc dorůstaly menších velikostí, ale výrazně vyšší podíl hypobiotických larev nežli skupina ovcí, které nebyly před podáním množství larev vystaveny šestitýdenní infekci. Průměrný počet všech vývojových stádií hlístic u kontrolních ovcí byl 25 552, z čehož asi jen 2 % byly larvy časného čtvrtého stádia. U dříve infikovaných ovcí byl průměrný počet 1392 z čehož 1358 jich bylo v ranném čtvrtém



larválním stádiu s pozastaveným vývojem. Přesto se tři týdny po infekci začaly hypobiotické larvy, u dříve infikovaných a anthelminticky ošetřených ovcí, znovu vyvíjet. Tato skutečnost poukazuje na to, že hypobióza může být krátkodobá a velmi ovlivněna imunitním systémem hostitele (Smith 2007).

Hypobióza svou podstatou zpožďuje čas uplynulý mezi nástupem infekce a vylučováním vajíček do prostředí, tedy prepatentní období. Volně žijící vývojová stadia prodlužují vývojový cyklus parazitů. Hypobiózy často využívají ty druhy parazitů, jež mají nižší schopnost se rozmnožovat. Vliv hypobiózy na stabilitu interakce mezi hostitelem a parazitem se může v závislosti na délce hypobiózy nelineárně lišit. Pokud má hypobióza u parazitů s volně žijícími vývojovými stádii krátkého trvání, má menší destabilizační vliv na interakci mezi hostitelem a parazitem, na rozdíl od parazitů bez volně žijících vývojových stádií. Hypobióza může destabilizovat interakce mezi hostitelem a parazitem, pokud do ní vstoupí více než 50 % larev. Dlouhodobá hypobióza má potenciál stabilizovat populace hostitele a parazita, zároveň prodlužuje časové období, kdy se začne parazit vylučovat do prostředí, což vede k pravidelnějšímu výdeji parazita. Pravidelnost vylučování parazita do prostředí má za následek menší amplitudy jednotlivých cyklů a působí pufrací efekt pro stabilizaci interakce mezi parazitem a hostitelem (Gaba & Bourbière 2008).

Byla provedena studie v letech 2004 až 2007 zkoumající druhové zastoupení gastrointestinálních hlístic, měsíc, ve kterém dochází k pozastavení vývoje a faktory jež nástup hypobiózy ovlivňují. Stalo se tak v oblasti západních Čech, zkoumány byly ovce plemene Oxford down a Suffolk. Průběh měl vždy letní/podzimní fázi, která zkoumala nástup hypobiózy a jarní fázi, ve které docházelo k obnovení vývoje gastrointestinálních hlístic. U druhu *Teladorsagia circumcincta* dosáhlo hypobiózy 87,7 % larev přítomných v hostiteli, u *Haemonchus contortus* 89,9 % a u *Trichostrongylus spp.* 23,9 %. Na jaře pak došlo k výraznému zvýšení počtu dospělců u *Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus spp.* a *Nematodirus filicollis*. Počet hypobiotických larev byl dle analýzy negativně ovlivněn především délkou světelného dne. Podnebí západních Čech korespondovalo s běžným podnebím pro střední Evropu (Langrová et al. 2008).

Makovcová et al. (2009) prováděli studium zkoumající využití hypobiózy v zimních měsících po dobu tří let u jednotlivých druhů hlístic. Ke studiu byla v každém roce využita dvě podobně stará jehňata, která byla anthelminticky ošetřena a udržována jako hlístic prostá, na rozdíl od zbytku stáda. Poté se tato dvě jehňata nechala čtyři týdny pást společně s hlavním stádem, dva týdny ustájena bez přístupu na pastvu a porazila se pro účely pitvy. První dva roky měly výrazně chladnější zimu, třetí rok byl mírnější, téměř bez sněhové pokrývky. U rodu *Trichostrongylus* bylo zjištěno časté přežívání volně žijících stádií adaptovaných na chlad. V mírnějších zimních podmínkách byl zjištěn zvýšený počet druhů *Nematodirus filicollis* a *Teladorsagia circumcincta*, které však v zimním období s nižšími teplotami hojně využívají i hypobiózy.

Proti hypobiotickým larvám je účinná léčba makrolidními anthelmintiky, která dokonce znemožňuje dalším larvám zaujmout své hypobiotické stádium až po dobu jednoho měsíce (Eyesker 1997).

U *Ostertagia gruehneri* došlo ke změně chování po přesunu z Kanadského arktického souostroví, kde zcela využívala hypobiózy ve svém vývojovém cyklu. Již po třech letech parazitického života na jihu Kanady u sobů náchylnost k hypobióze ztratila (Kutz et al. 2012).

Výskyt hypobiotických larev byl studován u stáda permanentně se pasoucích jehňat po dobu jednoho roku s počátkem v únoru 2008. Jehňata nebyla anthelminticky ošetřena. Studie se odehrála na severovýchodě Alžírsko, kde panuje stepní klima vyznačující se chladnými zimami a horkými suchými léty. Je tedy předpokládán výskyt jak zimní, tak letní hypobiózy. Nejvyšší procento čtvrtých larválních stádií bylo zaznamenáno v červnu, který byl nejteplejším měsícem a velmi chudý na srážky. Celkový počet čtvrtých larválních stádií tvořil 48 % z celkové zátěže hlísticemi. Nejmenší druhové zastoupení bylo u *Haemonchus spp.*, které tvořilo 11,6 % a *Trichostrongylus spp.* 17,4 %. Naopak nejvíce byly zastoupeny druhy rodu *Teladorsagia* a *Ostertagia*, které dohromady tvořily 71 % čtvrtých larválních stádií nalezených při pitvách. V malé míře se vyskytovaly také dospělci *Marshallagia spp.*, avšak u těchto zástupců nebyla zjištěna žádná hypobióza. V srpnu pak docházelo k vrcholům ve vylučování vajíček prostřednictvím výkalů. Vzhledem k počtu čtvrtých larválních stádií v červnu a následnému vrcholu v počtu vylučovaných vajíček v srpnu, je jisté, že došlo k hypobiotickému zastavení vývoje (Meradi et al. 2016).

Při studii sezónnosti výskytu parazitické hlístice *Ashworthius sidemi* na území České republiky byl zjištěn zanedbatelný význam hypobiózy ve vývojovém cyklu tohoto druhu. Pravděpodobně k tomu došlo vlivem adaptace tohoto parazita na zdejší podmínky (Magdálek et al. 2023).

### 7.1.2 Anhydrobióza

Anhydrobióza je výjimečná schopnost některých organismů návratně pozastavit svůj vývoj a metabolismus. Zjednodušeně se jedná o žití bez vody. Anhydrobióza je formou kryptobiózy, kterou lze chápat jako skrývání života nebo životních funkcí (Watanabe 2006; Wharton 2015).

Primárně se hlístice snaží předcházet vysychání, kterému budou v budoucnu čelit stále častěji, a ztrátám vody vyhledáním vlhkých stanovišť. Avšak i pro jejich pohyb je vlhkost nutná, jelikož mají tělo pokryté vodním filmem (Wharton 2002). Relativní vlhkost je jedním z důležitých faktorů pro přežití, a proto se mnoho hlístic přizpůsobilo k tomu, aby se mohli vyrovnávat s její proměnlivostí (Sutherland & Scott 2010). Organismy využívající anhydrobiózu odolávají nepříznivým podmínkám prostředí, ale zachovávají si svou schopnost reprodukce. Delší život s nižší frekvencí reprodukce však může zpomalit rychlost evoluce v porovnání s organismy, které nevyužívají anhydrobiózu, ale mají stejnou délku života. Anhydrobiózu též některé organismy využívají ke zpomalení stárnutí. Vliv anhydrobiózy na stárnutí jedince popisují dva experimentální modely. Model „Sleeping Beauty“ („Šípková Růženka“) popisuje organismy, které během anhydrobiózy nestárnou a model „Picture of Dorian Grey“ („Obraz Dorian Greya“) předpovídá stárnutí organismu alespoň na počátku anhydrobiózy (Kaczmarek et al. 2019).

Nejdůležitější pro přežití je přítomnost kapalné vody, která vysychá. A když voda vyschne, vysychají i hlístice, respektive jejich volně žijící vývojová stádia. Avšak u některých druhů hlístic se vyvinula schopnost přežít téměř úplnou ztrátu vody v těle (Sutherland & Scott 2010). Pro představu můžeme uvést, že většina organismů zemře, když ztratí 50 % vody a lidé nepřežijí ani 14% ztrátu (Watanabe 2006). Adaptace spočívá ve vyvinutí mechanismů pro

výrobu chemických látek, které chrání integritu jejich těl, ale také zmenšuje povrch těla. Některé hlístice využívají shlukování, aby předešli vysychání (Sutherland & Scott 2010). U některých hlístic dojde ke shlukování vlivem vysoušení okolního prostředí hlístic. Spolu s tím, jak se voda vypařuje, jsou k sobě hlístice přitahovány, až jsou nakonec vysušeny v podobě shluku (Croll 1970). Ke zpomalení vysychání však slouží například skořápka stádií vajíček vylučovaných do prostředí či kutikula infekčních třetích larválních stádií (Sutherland & Scott 2010). Někteří zástupci z kmene Nematoda mohou využívat anhydrobiózu ve kterékoliv vývojové fázi svého cyklu, včetně dospělců (Kaczmarek et al. 2019).

Hlístice, které anhydrobiózu využívají, zastaví svou metabolickou činnost, nicméně jsou schopné ji velmi rychle obnovit. Tato rychlost může být i do dvou hodin od získání kapalné vody (Sutherland & Scott 2010). Prodleva předcházející obnově aktivity hlístic se nazývá „lag fáze“, neboli fáze prodlevy. V této fázi dochází k vyrovnání vnitřního vodního prostředí hlístice, obnově jejího metabolismu, avšak sama o sobě dále působí nečinně (Barret 1982). Vodu velmi dobře zadržují tuhé výkaly na rozdíl, od průjmovitých. Na tuhých výkalech se vytvoří krusta, která uvnitř udržuje vlhkost, avšak znesnadňuje larvám pohyb ven a způsobuje také nižší hladiny kyslíku, což další vývoj parazita zpomaluje (Sutherland & Scott 2010). Pro správný průběh anhydrobiózy je důležité postupné ubývání vody, nesmí být náhlé, aby byly umožněny molekulární změny (Wharton 2015). Tak je tomu u hlístic obývajících prostředí jako například mech, které vysychají postupně spolu s prostředím. Avšak k vyschnutí může dojít i náhle, u druhů, které jsou k tomu přizpůsobené. Druhá možnost je méně častější (Wharton 2002).

Úroveň metabolismu klesá u hlístic pod úroveň možné detekce, může se tedy zdát, že organismus je mrtvý, ale není tomu tak. U jiných organismů využívajících anhydrobiózu je možné v danou chvíli detekovat metabolismus, pokud organismu podáme radioaktivně označenou glukózu a budeme sledovat produkci CO<sub>2</sub>.

Sacharid trehalóza umožňuje organismům vyrovnávat se s vysušováním. S postupujícím vysušováním zvyšují hlístice koncentraci trehalózy. Trehalóza, jak se předpokládá, nahrazuje vodu v membránách a proteinech (Wharton 2015) a má vynikající biochemické a fyzikální vlastnosti pro stabilizaci membrán (Wanatabe 2006). Na ochraně před vysycháním se nicméně podílejí i další mechanismy (Wharton 2015). Důležité je zachování vnitřní integrity hlístice pro to, aby mohla anhydrobiózu bezpečně překonat (Wharton 2002).

Užitečné aplikovatelné výstupy mohou poskytnout odpovědi založené na lepším pochopení životních strategií anhydrobiotických živočichů z pohledu vývoje jedince i druhu. Mohly by přispět například k vývoji suchých vakcín či konzervaci biologických materiálů pro transplantaci (Kaczmarek et al. 2019).

Kromě vysoušení pomáhá anhydrobióza organismům přežít také extrémní plusové či minusové teploty, vysoké hladiny chemikálií, nepříznivý hydrostatický tlak či vysoké dávky UV záření (Watanabe 2006).

Studie prokázala využití anhydrobiózy u *Hameonchus contotus* a *Trichostrongylus colubriformis*. Larvy těchto druhů jsou schopny přežít až sedm cyklů vysoušení s následnou rehydratací, což nepochybně prodlužuje jejich životní cyklus. Larvy, které vstoupili do anhydrobiózy, byly schopny odolat nízkým teplotám. Po následné rehydrataci neměla vlhkost vzduchu na přežívání larev žádný vliv (Letinni & Sukhdeo 2006).

Smrtelné poškození může organismům způsobit vysoký hydrostatický tlak, jehož vliv byl zkoumán na čtyři druhy bezobratlých živočichů, u kterých je běžná anhydrobióza. Hydrostatický tlak o velikosti 1,2 gigapascalů tyto živočichy usmrtil, pokud se nacházely v běžně hydratovaném stavu. Pokud však došlo k jejich vysušení a vstupu do anhydrobiotického stavu, hydrostatický tlak o této velikosti na ně neměl žádný vliv (Horikawa et al. 2009).

Genetická reakce na anhydrobiotický stav s následným zmrazením byla studována u antarktické hlístice živící se bakteriemi *Plectus murrayi*. Pro transkripce genů souvisejících se stresem a metabolismem hraje důležitou roli pomalé vysychání a zmrazování oproti rychlému vysychání a zmrazování. Pomalé vysychání představuje adaptaci na stres a zvyšuje toleranci chladu a mrazu (Adhikari et al. 2010).

### 7.1.3 Sezónní dynamika

Sezónní dostupnost a různorodost rozložení je dle Makovcové et al. (2009) u jednotlivých druhů gastrointestinálních hlístic a jejich vývojových stádií odrazem jejich různých vývojových požadavků. Jsou to biotické a abiotické faktory, které sezónní dynamiku řídí. Mezi biotické faktory patří především klimatické změny (Makovcová et al. 2009) a dále například chování, výživový stav, věk hostitelů či jejich reprodukce, do které vkládají mnoho investic, než by je raději vložili do imunitní reakce (Magdálek et al. 2023).

Jedním ze sezónních jevů ovlivňující míru infekce gastrointestinálními hlísticemi je také výška spásaného travního porostu. Ta ovlivňuje dostupnost L3 stádií, která žijí na povrchu půdy nebo v ní. Čím je tedy porost nižší, dochází k častějšímu požívání infekčních larev a tím také ke zvýšení míry infekce. Naopak při větší výšce porostu se přežvýkavci nedostanou, respektive je to málo pravděpodobné, až ke třetím larválním stádiím a míra infekce je tak nižší. Počet infekčních larev v jednom kilu pozřené pastvy můžeme označit jako míru infekční hmoty (Sutherland & Scott 2010). Yates (2004) zmiňuje schopnost některých druhů hlístic migrovat k vrcholu travního porostu, aby mohli být pozřeny svými hostiteli. Tento posun je možný pomocí vodního filmu.

Sezónní dynamika ve vývoji a úmrtnosti volně žijících stádií se liší vzhledem k druhu gastrointestinálních hlístic, množství dostupných stádií na pastvě a díky získané imunitě hostitelů. Počáteční zdroj kontaminace pastvin bývá obvykle na jaře. Například Velká Británie je oblastí, kde panují mírné zimy, které napomáhají přežívání gastrointestinálních hlístic na pastvě v tomto období, což podporuje infekci jehňat v jarním období. Ne však u *Haemonchus contortus*, jehož přežití zimního období na pastvě je nízké a primárním zdrojem infekce pro jehňata narozená na jaře jsou jejich matky. U matek totiž v období porodu dochází k dozrávání hypobiotických larev a ke zvýšení vylučování vajíček hlístic ve výkalech (Rose 1963). Počet vajíček ve výkalech označujeme jako FEC, z anglického „fecal egg counting“ (Sutherland & Scott 2010; Rose et al 2015; Rose Vineer et al. 2019)

K nárůstu vylučování vajíček do prostředí dochází především v období bahnění, což způsobuje, že jsou pastviny v době dospívání mláďat bohatě osídleny infekčními larvami. Tento nárůst se označuje zkratkou PPR (periparturient rise), případně PPER (periparturient egg rise) (Rose et al 2015). Nárůst vylučovaných vajíček v období porodu popisují mimo jiné

i Sutherland & Scott (2010), kteří upozorňují, že pokud panují v zimních obdobích vhodné podmínky, dojde k přežití relativně vysokého počtu L3. Ty pak společně s L3 vylíhnutými z vajíček vylučovaných bahnicemi infikují mladá neimunizovaná mláďata. Dospělci, kteří se v těchto mláďatech vyvinou pak produkují vajíčka, jež zapříčiní nárůst infekce v podzimním období.

Na celém území Nového Zélandu je sezónnost výskytu gastrointestinálních hlístic stejná. Vrchol výskytu třetích larválních stádií je zaznamenáván koncem podzimu. Vrchol vylučování vajíček je zaznamenáván na jaře, přičemž největší vliv na něj mají laktující bahnice. Léta na Novém Zélandu jsou málo vlhká, což zpomaluje vývoj parazitů. Imunita jehňat je zpočátku nízká, avšak zvyšuje se souběžně s mírou jejich vystavení infekci. Zdravá dospělá zvířata jsou vůči závažnější infekci odolná (Vlasoff 2001).

Studie, která zkoumala prevalenci různých druhů gastrointestinálních hlístic ve stádech dojných koz a ovcí ve středním a severním Řecku prokázala vliv aktuálního měsíce na výskyt jednotlivých druhů. Významný vliv aktuálního měsíce na vrchol infekce *Haemonchus spp.* u ovcí na severu byl zaznamenán v březnu a srpnu, zatímco nejmenší výskyt byl v lednu a prosinci. Ve středním Řecku byl nejvyšší výskyt v březnu a dubnu, nejnižší v lednu. U koz byl celkově výskyt tohoto druhu nižší, přičemž na severu dosahoval vrcholu v únoru a září, ve středním Řecku v dubnu. *Teladorsagia spp.* byla nejčastěji zastoupeným druhem koz, vrchol infekce nastal na severu Řecku v dubnu a ve středním Řecku v květnu. Dalšími studovanými druhy byly *Trichostrongylus spp.* a *Chabertia spp.* Mimo ně byly identifikovány také *Cooperia spp.*, *Nematodirus spp.* a *Oesophagostomum spp.*, avšak jejich podíl v trusu a v pitvě podrobených zvířatech byl nízký, proto nebyly do statistik zahrnuty. Statistiku lze využít při plánování strategie anthelmintické léčby, která se v Řecku provádí jednou až dvakrát ročně, přičemž zvířata jsou chována ve smíšených stádech, nikoliv rozdělena dle pohlaví (Papadopoulos et al. 2003).

Na dvou litevských farmách byla od dubna 2012 provedena roční studie zabývající se sezónními změnami ve výskytu gastrointestinálních hlístic u koz. Dominantní byly rody *Teladorsagia* (42–100 % zastoupení ve vzorcích trusu), *Trichostrongylus*, *Oesophagostomum*, *Chabertia* a *Haemonchus*. Na počátku pastevního období počínajícího v dubnu byla kontaminace L3 nízká, přesněji 88–499 L3 na kilogram pastevního porostu. Vrcholné počty třetích larválních stádií byly zjištěny na přelomu července a srpna, které vedly k vrcholu vylučování vajíček na přelomu září a října. Rody *Haemonchus* a *Teladorsagia* úspěšně přečkaly zimu jako hypobiotické larvy čtvrtého stádia či dospělci. Vajíčka hypobiotických jedinců z loňského roku, která byla vylučována mezi dubnem a červenem, byla pravděpodobně důvodem vrcholu infekce třetími larválními stádii. Na jedné z farem byla zvířata ošetřena anthelmintiky, což výrazně snížilo jarní vylučování vajíček do prostředí, oproti druhé farmě, kde zvířata ošetřena nebyla. Vajíčka *Haemonchus contortus* se ve výkalech vyskytovala pouze v období pastvy, nikoliv v době ustájení. V období od dubna do května byl zaznamenán nárůst v počtu vylučovaných vajíček, což ukazuje, že vývoj u hypobiotických jedinců tohoto druhu byl v této době obnoven. Pro rod *Teladorsagia* byl vrchol infekce zaznamenán v září, kdy bylo při pitvě prokázáno přes 15 tisíc jedinců tohoto rodu. Taktéž rod *Haemonchus* zaznamenal vrchol v září, kdy bylo pitvě nalezeno přes osm tisíc jedinců (Stadline et al. 2015).

V roce 2014 bylo studováno druhové zastoupení parazitů a jejich sezónní dynamika na ekologické kozí farmě v České republice. Bylo prováděno koprologické vyšetření 334 vzorků výkalů dojných koz, které prokázalo 99% prevalenci strongylidních hlístic z nichž nejčastěji zastoupený byl *Haemonchus contortus* se 42 %, dále pak *Trichostrongylus spp.* (23 %) a *Teladorsagia circumcincta* (11 %). Nejvyšší zaznamenaný počet vyloučených vajíček na gram výkalů byl 9900. Na počet vylučovaných vajíček měl vliv aktuální kalendářní měsíc. Konkrétně u *Haemonchus contortus* byly vrcholy výskytu vajíček ve čtvrtém a šestém měsíci. I *Trichostrongylus spp.* byly vrcholy dosaženy v prvním a sedmém měsíci a stejně tomu bylo i u *Teladorsagia circumcincta*. Prevalence v této studii byla sice vysoká, ale míra infekce nebyla nijak závažná. Výsledky studie mohou pomoci snížit pravděpodobnost vzniku rezistence na anthelmintika (Kyriánová et al. 2017).

Od února 2018 byly po dobu dvou let jednou měsíčně odebírány vzorky trusu v dančí oboře v České republice s již prokázaným výskytem *Ashworthius sidemi* za účelem objasnění změn v sezónní dynamice. Po dobu studie bylo stádo 4krát anthelminticky ošetřeno. Ze 25 vzorků byla prokázána 68% prevalence. Přítomnost parazita v trusu byla ovlivněna dobou od podání anthelmintik, což způsobilo negativitu vzorků do dvou měsíců po ošetření, ale také teplotou daného měsíce v roce. Vajíčka vylučovaná trusem byla přítomna téměř po celou dobu roku, avšak srpnové teploty, které měly v obou letech průměr okolo 20 stupňů Celsia způsobily největší výskyt *Ashworthius sidemi* ve výkalech. Tato studie dokládá oploštění sezónní dynamiky parazita či téměř její vymizení. A také to, že se přizpůsobil klimatickým podmínkám České republiky, jež představují typické středoevropské klima. Avšak pro lepší pochopení a předpovídání epizootologie ashworthiózy jsou zapotřebí další studie s rozsáhlejším počtem vzorků a se zahrnutím vlivu věku a pohlaví hostitele (Magdálek et al. 2023).

## 7.2 Vliv klimatických změn na epizootologii motolic u přežvýkavců

Klimatické podmínky vykazují největší vliv na výskyt infekcí motolicemi. Největší vliv mají na výskyt mezihostitelské populace, na cercariální produkci a rozšíření v zeměpisných šířkách pod vlivem oteplování (Mas-Coma et al. 2009; Lamine et al. 2023). Vzhledem ke své závislosti na mezihostiteli jsou motolice klimatickými změnami postiženy více nežli hlístice. Ty mají oproti motolicím výhody také v delším generačním intervalu a prodlevě v projevu vlivu klimatických změn na jejich populaci (Mas-Coma et al. 2009).

Zvýšení teploty má za následek zvyšování přenosu a rozšíření parazitů. U motolic zvyšování teploty pozitivně ovlivňuje dynamiku přenosu cercárií (Selbach & Poulin 2020). Při vyšších teplotách se může zvýšit produkce cercárií vzhledem ke zvýšené metabolické aktivitě hostitele, která poskytuje parazitovi větší energii (Poulin 2006; Lamine et al. 2023). Míru vylučování cercárií závislou na teplotě lze označit hodnotou Q10 (Schmidt-Nielsen 1997). Pokud je hodnota Q10 nižší než jedna, dochází ke zpomalování vylučování cercárií do prostředí, pokud je hodnota Q10 rovna dvěma, značí to zdvojnásobení rychlosti vylučování cercárií. Při teplotě okolí okolo 20 stupňů Celsia se hodnota Q10 blíží právě dvěma. Ke zvyšování produkce cercárií dochází spíše krátkodobě, aby parazit neusmrtil svého mezihostitele příliš rychle, ale zvýšil svoji šanci k rozšíření na definitivního hostitele. Globální oteplování bude nadále zvyšovat lokální dopady motolichnatosti (Poulin 2006).

Celková přežitelnost cercárií se však se zvyšující se teplotou snižuje, jelikož dochází k rychlejšímu vyčerpání jejich zásob energie. Se zvyšující se teplotou stoupá i infekčnost cercárií, avšak klesá při vysokých teplotách. Nejvyšší účinnost přenosu je při teplotách od 15 do 30 stupňů Celsia (McCarthy 1999).

Riziko kontaminace mezihostitelů motolicemi se v oblastech s vyšší nadmořskou výškou, ale nižší zeměpisnou šířkou zvyšuje v období od listopadu do dubna, kdy jsou zde vhodné vlhkostní podmínky. V oblasti Altiplano v severní Bolívii dochází však k přenosu po celý rok. Ačkoliv teplota nevykazuje výrazný sezónní charakter, střídá se zde období sucha vázané k vyšším teplotám a období dešťů vázané k nižším teplotám. Především zde ale dochází k vysoké evapotranspiraci, odpařování vody ze zemského povrchu, což poskytuje dostatek vlhkosti ke konstantnímu výskytu mezihostitelských měkkýšů (Fuentes et al. 1999).

Motolice díky svému vývojovému cyklu, který je velice závislý na vnějších faktorech, slouží jako dobří ukazatelé klimatických změn. Začlenění motolic parazitujících u mořských mlžů jako bioindikátorů může poskytnout informace o zdraví vodních ekosystémů, především o teplotě, salinitě a okyselení oceánů. Okyselení oceánů může u motolic zde žijících ovlivnit přežití a přenos vývojových stádií a oslabit imunitní systém jejich hostitelů. Na zdraví motolic i mlžů má zde dopad také znečištění oceánů těžkými kovy (Lamine et al. 2023).

Klinické příznaky jako vtažená břicha, dýchací potíže, anemické oční sliznice a celková letargie, včetně úhynu několika kusů, byla popisována u členů stáda ovcí na jihovýchodě Skotska na počátku prosince 2002. V lednu následujícího roku byla popisována velká míra neplodnosti a snížení porodů dvojčat u mnoha stád napříč jihovýchodním Skotskem. Posmrtně byly v těchto stádech diagnostikovány změny na játrech a též nález vajíček v trusu prokázal přítomnost *Fasciola hepatica*, která se v této oblasti běžně nevyskytovala. Infekce, které zapříčinila, způsobily velké ztráty užitkovosti a ziskovosti stád. Změny ve výskytu tohoto druhu motolice způsobilo klima, především pak zvýšení průměru ročních srážek a vytvoření vhodného prostředí pro přežívání mezihostitelů motolic (Kenyon et al. 2009). Spolu se změnou klimatu dochází ke zvyšování prevalence *Fasciola hepatica* také v severoevropských zemích, kde dochází k jejímu šíření do jinak sušších oblastí, které byly motolic prosté. K tomuto dochází především vlivem globálního oteplování (Rojo-Vázquez et al. 2012).

Mezihostitel motolice jaterní *Galba truncatula* se váže na vlhké biotopy, kde žije na okraji stojatých vodních útvarů. Avšak obývá i oblasti, které jsou dočasně zaplavené. Tyto podmínky, poskytující motolici vysoký reprodukční potenciál, mohou poskytovat například otisky nohou skotu na vlhké pastvině v období vydatných dešťů či v blízkosti napajedel (Loos-Frank & Grancis 2017).

Ve studii provedené na těchto plžích byla porovnávána využitelnost plžů z nížin a oblastí s vyšší nadmořskou výškou pro jejich mezihostitelskou roli. Po infekci miracidii prokazovali plži s vyšší nadmořskou výškou o 30-40 % vyšší přežitelnost nežli plži z nížin a také jejich životnost byla delší. Což je pro motolice výhodnější, jelikož plži o to déle vylučují cercárie. Tyto rozdíly dělají z plžů žijících ve vyšších nadmořských výškách lepší mezihostitele. V prevalenci mezi nížinnými a plži z vyšších nadmořských výšek nebyly pozorovány (Vignoles et al. 2001).

### 7.2.1 Sezónní dynamika

Celkový spad dešťových srážek je obtížné předpovídat dlouhodobě a přesně, avšak je stále snaha o modelování matematických modelů k tomuto sloužících. Dešťové srážky mají vliv na volně žijící stádia motolic. Pokud spadne více srážek, vytvoří se nová stanoviště pro jejich přežívání, ale pokud budou srážky extrémní a dojde k záplavám, budou volně žijící stádia motolic splavována ze svých stanovišť. Naopak opakující se sucho vysouší mokřady a louže, s nimi i volná stádia motolic a mezihostitele nutí k migraci do vhodného prostředí (Skuce et al. 2013).

Dočasné vodní plochy jsou důležitými biotopy pro mezihostitele motolic. Jejich přítomnosti při střídání sucha a období dešťů v měnících se klimatických podmínkách má vliv na výskyt motolic. Na jednom z takových stanovišť bylo po skončení období sucha pozorováno několik druhů motolic a téměř všichni jejich mezihostitelé byli parazitováni. U motolic pak bylo zjištěno zkrácení vývojového cyklu jako přízpůsobení se změnám prostředí (Parietti & Merlo 2021).

V Nigérii byla studována prevalence fasciolózy na hovězích jatkách. Dle odebraných vzorků byla zjištěna 20% prevalence, kdy nejčastěji vyskytujícím se druhem byla *Fasciola gigantica*. Výraznou změnu v prevalenci působilo klimatické období. Prevalence v období dešťů totiž vystoupala ke 26,5 % v období sucha naopak klesla k 8,6 %. Z čehož je zřejmý vliv klimatických podmínek na dynamiku výskytu motolic (Banwo et al. 2023).



## 8. Možnosti tlumení gastrointestinálních parazitů

Aby bylo možné vhodně zacílit strategie na tlumení parazitů u přežvýkavců, je nutné, aby parazitolog zabývající se jejich epizootologií porozuměl klimatickým faktorům, globální politice a ekonomii, farmakologii, patologii, ale i biochemii a chování daného parazitárního druhu (Roberts et al. 2013). Především místní znalosti klimatu a dostupnosti larev na pastvě umožňují vhodně zacílit léčbu parazitóz a vypracovat pastevní management (Morgan & van Dijk 2012).

Hubení gastrointestinálních hlístic současně závisí na pravidelném využití anthelmintik (Vercruysee et al. 2018), avšak právě kvůli neustále narůstající rezistenci na odčervovací přípravky je nutné využívat nechemoterapeutických metod tlumení parazitů a pokud možno infekci předcházet (Sutherland & Scott 2010; Rose Vineer et al. 2019). Vzhledem k rostoucímu tlaku ze strany spotřebitelů na zdravotně nezávadné maso, které je prosté léčiv, je nutné tlumení gastrointestinálních hlístic především pomocí metod, které budou infekci předcházet (Sutherland & Scott 2010).

Autoři Bishop & Stear (1997); Rose Vineer et al. (2019); Bautista-Garfias et al. (2022) uvádějí jako cenově nejdostupnější přírodní alternativa v boji proti parazitárním infekcím šlechtění přežvýkavců na odolnost vůči nim. Což svým způsobem zlepšuje užitečnost zvířat a snižuje infekčnost pastvin. Ale především snižuje potřebu anthelmintického ošetření, které v důsledku vede ke snížení rezistence vůči těmto přípravkům. Sutherland & Scott (2010) zmiňují mimořádnou odolnost u červené masajské ovce v Africe, u kterých je prokázána nižší míra vylučování vajíček. Také definují odolného hostitele jako takového, který pozře průměrný počet infekčních stádií parazitů, avšak ve výsledku vylučuje mnohem méně vajíček do prostředí. Bishop & Stear (1997) poukazují na dědičnost rezistence vůči gastrointestinálním hlísticím u ovcí, která se měří množstvím vajíček vyloučených výkaly. Množství vylučovaných vajíček se tedy snižuje a pasoucí se zvířata, včetně vnímavějších jedinců, jsou vystavena menší zátěži infekčními larvami. Při svém výzkumu vlivu šlechtění ovčího plemene Romney na rezistenci vůči parazitům zjistili, že počty larválních stádií v období bahnění na pastvě spásané vnímavějšími jedinci jsou až čtyřikrát vyšší než na pastvě spásané rezistentními jedinci. Toto má dále vliv na následnou infekci narozených jehňat a poté přežití infekčních larev přes zimní období.

Rose Vineer et al. (2019) provedli výzkum týkající se vylučování vajíček parazitů ve vztahu k plemenné hodnotě ovcí s rezistencí vůči parazitům. Jednalo se o bahnice plemene exlana sledované na dvou farmách v jihozápadní Anglii. Ovce s nižší plemennou hodnotou a vyšší rezistencí vůči parazitům vylučovaly v průměru o 30 % méně vajíček ve výkalech nežli ovce s vyšší plemennou hodnotou a nižší rezistencí. Dle Sutherlanda & Scotta (2010) bude vždy existovat negativní korelace mezi odolností vůči gastrointestinálním hlísticím a plemennou hodnotou.

Předním důvodem pro využití anthelmintik je minimalizovat vystavení zvířat parazitární infekci a pokud k ní dojde, tak likvidace již parazitujících stádií. To vše především kvůli minimalizaci ztrát produkce. Parazitě stále prokazují svou schopnost se přizpůsobit podávaným anthelmintikům, aniž by to výrazně ovlivnilo jejich vývoj. Stejně jako se stále přizpůsobují podmínkám prostředí. Hlístice jsou biologicky odlišné od motolic, na které například ivermectin jako anthelmintikum nemá žádný vliv. Ke zpomalení vzniku rezistence

vede pastevní management především rotací čistých pastvin. V roce 1981 neexistovala rezistence na ivermectin. Na konci 90. let stálo celosvětové použití anthelmintik pro užitkové pasoucí se přežvýkavce 1 miliardu amerických dolarů, což je při zohlednění aktuálních kurzů, přes 23 biliónů Korun českých (Sutherland & Scott 2010).

Pravidelná celoskupinová anthelmintická léčba pasoucích se zvířat by mohla zůstat ekonomicky realizovatelná a rutinní, avšak vykoupena rezistencí na anthelmintika v případě, že bude neustále stoupat poptávka po kvalitní stravě s vysokým obsahem bílkovin bez ničení životního prostředí s ohledem na snížení skleníkových plynů a zvýšenou konkurenci o půdu, které bude díky klimatickým změnám ubývat. Nutnost použití anthelmintik klesne v případě, že se chovatelé budou více zaměřovat na efektivitu výroby, zvýší se ustájení přežvýkavců a systémy nulové pastvy, která však stále zůstává klíčovým zdrojem krmiva (Vercruyse et al. 2018).

Z hlediska boje proti rezistenci je vhodné udržovat v přírodě a chovech takzvaná refugia parazitů. Refugia lze chápat jako jakási útočiště pro jednotlivé druhy parazitů. Jedná se o udržování populace vnímavých parazitů. Parazité v refugiích by měli být vnímaví proti anthelmintické léčbě, parazitovat na svých přirozených hostitelích a množit se mezi sebou. Neměli by způsobovat závažné klinické problémy, a proto nevytvářejí nutnost anthelmintického přeléčení. Respektive by neměli způsobovat nepřijatelné ztráty užitkovosti, přestože k jistým ztrátám dochází. Jedná se především o úhyny mláďat, jež nemají vyvinutou dostatečnou imunitu. Pro tyto ztráty je mnoho farmářů, kromě těch ekologických, kteří nejsou ochotni přistoupit k možnosti vytvoření refugií a dále rozvíjejí rezistenci parazitů k léčbě anthelmintiky. Ke zvyšování prevalence rezistence dochází na Novém Zélandu i managementem chovu, kdy se přesouvají telata do odloučených odchoven a po jejich vykrmení do určité hmotnosti, se vrací zpět. V odchovnách jsou telata intenzivně anthelminticky ošetřována a s rezistentními parazity jsou pak posílána zpět. Dochází tak k distribuci rezistentních parazitů po celé zemi (Sutherland & Scott 2010). Skutečnost, že s dobyt看em, který migruje po různých farmách, se rozšiřuje působiště rezistentních parazitů popsal již Sargison et al. (2007).

Tlumení gastrointestinálních hlístic bez využití anthelmintik může pomoci správný management pastvy, především využití její rotace. Je však nutné sledovat období pastvy, úroveň infekce a vliv počasí na dostupnost larev. McFarland et al. (2022) studovali simulační model pro předpovídání dostupnosti infekčních larev druhu *Ostertagia ostertagi*, nejrozšířenější gastrointestinální hlístice u skotu, na úrovni jednotlivých pastvin. Aplikace modelu proběhla v rámci komplexního systému rotační pastvy. Předpovídány byly rozdíly v úrovni kontaminace pastvin ve vztahu k načasování pastevního období a období návratu na pastvu a také to, že část L3 bude přežívat zimu na pastevním porostu. Zahrnuty byly i sezónní změny v infekčnosti pastvin v závislosti na teplotách a počtu srážek. Právě u přežívání L3 v zimním období ukázal model shodu se skutečným počtem larev přežitých na pastvě. Model poskytuje vizualizaci časoprostorových změn v zátěži infekčních larválních stádií na kilogram pastevního porostu na vícero pastvinách v kalendářním roce, napomáhající správnému načasování střídání jednotlivých pozemků. Tento model je k řízení pastvy možné uplatnit v jakékoliv lokalitě, vzhledem k tomu, že pracuje s aktuálním místním klimatem.

Dle Dalton (1999) je v průmyslově rozvinutých zemích relativně široká dostupnost anthelmintik a příznaky onemocnění motolicemi, především jejich dopad na ekonomiku

chovu, nejsou tak markantní. Naopak v rozvojových zemích není valná dostupnost anthelmintik, především z pohledu ekonomiky, a tak je důležité nákaze předcházet jinými způsoby (Dalton 1999). Za možnou nechemoterapeutickou metodu odčervování přežvýkavců může být považováno zkrmování anthelminticky působících rostlin jako rostlinného krmného materiálu nikoliv rostlinných extraktů. To jsou ty rostliny, které mají pozorovatelný dopad na dynamiku parazitů. Většinou je anethelmintický účinek sledován právě v rozvojových zemích, kde se rostliny s tímto účinkem vyskytují. Zde je důležitá především přežitelnost a schopnost reprodukce jedinců, nikoliv snížení produkce. Anthelminticky mohou působit také některé druhy hub (Sutherland & Scott 2010). Také Vercruyse et al. (2018) uvádí, že v budoucnosti bude pravděpodobně možné tlumit parazitární infekce také bioaktivními píceinami. Eysker (1993) pak popisuje, že byla prokázána ochrana proti reinfekci *Haemonchus contortus* u neplodných bahnic poté, co jim byla aplikována dávka 15 tisíc hypobioticky upravených larev.

Skuce et al. (2013) doporučuje změnu managementu pasení v podobě střídavého pasení ovcí, aby se omezil jarní vysoký nárůst infekce, avšak s přihlédnutím na míru přizpůsobivosti vyskytujících se druhů parazitů. A zmiňuje požadavky na vývoj vakcín chránících proti infekcím, avšak ani ta není úplným řešením vzhledem k rezistenci parazitů na léčivé látky. Také Makovcová et al. (2009) zmiňuje důležitost zkoumání epizootologie gastrointestinálních hlístic, jež jsou nejen u ovcí nejčastějšími parazity způsobujícími značné ekonomické ztráty.

## 9. Význam gastrointestinálních parazitů u přežvýkavců v budoucnosti

Vzhledem k tomu, že se v příštích desetiletích očekává obrovský nárůst poptávky po živočišné výrobě, bude nutné optimalizovat produktivitu plodin a pícnin pro živočišnou výrobu a zlepšit schopnosti zvířat vyrovnat se s environmentálním stresem. Šlechtění pro odolnost vůči environmentálnímu stresu je nutné upřednostnit před šlechtěním na zvyšování produkce (Nardone et al. 2010). Úpravy proto budou nutné ze stran zmírnění hustoty chovu, tedy méně dobytčích jednotek na plochu, chladicí systémy v ustájení či například chov zvířat s nižšími přírůstky. Při provádění změn musí být zohledněny choroby zvířat a zoonózy. Avšak s těmito opatřeními dojde k navýšení spotřeby energie a nárůstu skleníkových plynů. U vozidel využívaných k přepravě dojde pravděpodobně ke změně konstrukcí a chladicích systémů přepravního prostoru (Skuce et al. 2013). Vzhledem ke stejné míře vystavení infekci pro každý kus v rámci jednoho stáda, by bylo vhodné selektovat ty jedince, kteří vylučují nadměrné množství vajíček a zároveň ty jedince, kteří jsou nejvíce ohroženi ztrátou produktivity a případně života (Sutherland & Scott 2010). Infekčnost pastvin je v letech velmi proměnlivá díky proměnlivosti podmínek vnějšího prostředí. Současné chovatelské úsilí nemusí příliš spolupracovat s budoucími podmínkami, kdy se tlak infekce gastrointestinálními hlísticemi bude zvyšovat v souvislosti se změnami klimatu. Přestože nynější epizootologické modely předpovídají změny velikosti i sezónních vzorců v závislosti na teplotě a počtu srážek. Terénní studie hodnotící nové přístupy k tlumení gastrointestinálních hlístic by proto měly být, pokud možno, víceleté (Rose et al. 2015).

Úprava epizootologických modelů je nutná i vzhledem k nárůstu anthelmintické rezistence a vlivu spotřebitele na výrobní metody (Charlier et al. 2020). Také Skuce et al. (2013) doporučuje zavést udržitelnější dostatečně účinné programy na tlumení parazitů, které budou flexibilní vůči klimatickým změnám. GLOWORM-FL představuje modelovací rámec, který byl vyvinut pro předpovídání změn v sezónní dynamice infekčních volných vývojových stádií trichostrongyloidních gastrointestinálních hlístic na pastvinách. Tento byl parametrizován pro tři nejčastější zástupce, avšak nejvýznamnější z nich je *Haemonchus contortus*. Jeho pomoc při navrhování strategií tlumení gastrointestinálních hlístic a řízení pastevního managementu při zohlednění klimatických změn je více než zřejmá (Rose et al. 2015). Je nutné dále vyvíjet udržitelné tlumící strategie (Charlier et al. 2020). Dle Rose Vineer et al. (2019) se předpokládá, že v mnoha regionech dojde ke zvýšení infekčního tlaku, jež bude způsoben zlepšením vývojové úspěšnosti a přežitím volných vývojových stádií druhů *Teladorsagia circumcincta* a *Haemonchus contortus*.

Thornton et al. (2009) uvádí potřebu zkoumání dopadů klimatických změn na výskyt parazitóz především v rozvojových zemích, kde je chov přežvýkavců hlavním zdrojem obživy, systémy živočišné výroby se zde velmi rychle mění a je třeba, aby i drobní pastevci reagovali změnou managementu chovu na klimatické změny. Bylo by vhodné uspořádat pastvy tak, aby se na nich páslo více druhů. V případě pasení více druhů přežvýkavců na jedné pastvě totiž dochází k většímu rozptýlení jednotlivých druhů gastrointestinálních hlístic, přestože některé druhy hlístic parazitují u více druhů hospodářských přežvýkavců (Sutherland a Scott 2010). Terapie parazitárních infekcí za použití anthelmintik je, jak již bylo řečeno,

zatížena rezistencí parazitů k léčivům. U některých tříd jsou dokonce stanovené genetické markery pro rezistenci, u některých však chybí. Je tedy nutné, aby digitální revoluce vyústila v nový posun směrem k rychlé a levné diagnostice parazitárních onemocnění se správným ukládáním dat, kterou bude moci chovatel použít sám v podmínkách svého chovu a na základě níž pak zaujme opatření. Odesílání vzorků trusu do laboratoře se totiž v některých situacích může jevit jako zdlouhavá záležitost. Diagnostika metodou proteomické analýzy, která zkoumá soubory bílkovin vylučované daným organismem, ještě není zcela ověřena pro různé druhy helmintů. V budoucnu by však mohla mít velký potenciál pro detekci vícedruhových infekcí díky své spolehlivosti a nízkým nákladům. Do roku 2030 by mohla být technicky i ekonomicky proveditelná detekce více druhů patogenů, tedy i bakterií a virů, pomocí analýzy nukleových kyselin. Díky novým diagnostickým metodám by se měla anthelmintická metoda stát záchranou pro zvířata, u nichž infekce snižuje produktivitu a nikoliv bezmyšlenkovou rutinou pro ochranu celé skupiny (Vercruysse et al. 2018).

## 10. Závěr

Gastrointestinální parazité přežvýkavců mají nepochybně obrovský vliv na užitkovost přežvýkavců a jejich zdravotní stav. Masná a mléčná produkce bude nadále s nárůstem lidské populace stoupat a s ní i tlak spotřebitelů na zdravotně nezávadné výrobky živočišného původu. Spolu s měnícím se klimatem Země se mění i jejich vzorce výskytu a strategie přežití. S narůstajícími teplotami dochází k urychlení jejich vývoje a s úbytkem chladných zim dochází k ustoupení od využívání hypobiózy u některých druhů parazitů.

Parazitující druhy, pro něž bylo překážkou chladné období v daných geografických šířkách, nyní dostávají mnoho příležitostí ke svému životu mimo své původní oblasti výskytu. V závislosti na změnách klimatu dochází k celkovému oploštění vrcholů infekcí a snížení sezónní dynamiky parazitů.

Častý výskyt suchých období má za následek vysychání volně žijících stádií parazitů, v případě motolic také vymizení biotopů, ve kterých se nacházejí jejich mezihostitelé. Bez mezihostitelů nejsou motolice schopné funkčního životního cyklu. Avšak ne pro všechny druhy je sucho fatální. Zvýhodňuje totiž ty druhy, jež jsou schopny využívat ve svém životě anhydrobiózu a díky ní přečkat období nevhodná pro život. Pokud budou období sucha kompenzována častým výskytem srážek, jež způsobují vznik nových vodních ploch, dojde v těchto obdobích k nárůstu výskytu měkkýšů a infekcí způsobených motolicemi.

V případě importu zvířat z jiných zemí, je nutné je po příjezdu do cílové země karanténizovat, aby nedocházelo k zavlečení dalších nepůvodních druhů do stád. Imunitní systém hostitele je zpravidla schopný poradit si s druhy parazitů, s nimiž se již setkal, ale u nepůvodních druhů parazitů může při infekcích častěji docházet k fatálním následkům.

Kromě klimatických změn je problémem v epizootologii gastrointestinálních parazitů nepochybně také anthelmintická rezistence. U ní dochází stále k postupu a některé preparáty už na životaschopnost parazitů nemají vliv. Z tohoto důvodu je vhodné do budoucna vytvářet parazitům vhodná refugia, aby došlo k naředení rezistentní populace. Je nutné sledovat výskyt parazitů v jednotlivých stádech a anthelmintické ošetření vhodně načasovat tak, aby docházelo k potlačení parazitů, ale nedocházelo u nich k dalšímu vývoji rezistence.

Přestože studie zabývající se vztahy mezi gastrointestinálními parazity a klimatickými změnami stále přibývají, jejich výstupy však nejsou univerzálně uplatnitelné. Klimatické změny se budou nadále přirozeně vyvíjet. Spolu s nimi je nutné vyvíjet další, především dlouhodobé studie, díky kterým bude možné úspěšně kontrolovat populace gastrointestinálních parazitů.

Klimatické změny ani výskyt parazitů bohužel nelze zcela zastavit, avšak můžeme jim vhodně přizpůsobit management chovu v jednotlivých stádech přežvýkavců, abychom minimalizovali jejich dopad.

## 11 Literatura

- Adhikari BN, Wall DH, Adams BJ. 2010. Effect of slow desiccation and freezing on gene transcription and stress survival of an Antarctic nematode. *The Journal of Experimental Biology* **213**: 1803-1812.
- Alterová L. 2018. Chov skotu a změna klimatu. *Mlékařské listy – zpravodaj* **29(166)**: 19-21.
- Armour J, Jennings FW, Urquhart GM. 1967. The possible existence of two strains of *Ostertagia ostertagi*. *Veterinary record* **80**: 208.
- Banwo OG, Oyedokun PO, Akinniyi OO, Jeremiah OT. 2023. Bovine Fasciolosis in Slaughtered Cattle at Akinyele, Ibadan, Nigeria. *Journal of Applied Veterinary Sciences* **8(4)**: 104-110.
- Barrett J. 1982. Metabolic responses to anabiosis in the fourth stage juveniles of *Ditylenchus dipsaci* (Nematoda). *Proceedings of the Royal Society of London* **B216**:159-177.
- Bautista-Garfias CR, Castañeda-Ramirez GS, estrada-Reyes ZM, de Freitas Soares FE, Ventura-Cordero J, González-Pech PG, Morgan ER, Soria-Ruiz J, López-Guillén G, Aguilar-Marcelino L. 2022. A Review of the Impact of Climate Change on the Epidemiology of Gastrointestinal Nematode Infections in Small Ruminants and Wildlife in Tropical Conditions. *Pathogens* **11**:148.
- Bishop SC, Stear MJ. 1997. Modelling responses to selection for resistance to gastro-intestinal parasites in sheep. *Animal Science* **64**: 469-478.
- Bokuchava DD, Semenov VV. 2021. Mechanism of the Early 20th Century Warming in the Arctic. *Earth-Science Reviews* **222**: 103820.
- Bolan S, Padhye LP, Jasemizad T, Govarthanan M, Karmegam N, Wijesekara H, Amarasiri D, Hou D, Zhou P, Biswal BK, Balasubramaniam R, Wang H, Siddique KHM, Rinklebe J, Kirkham MB, Bolan N. 2024. Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of the Total Environment* **909**: 168388.
- Burr AHJ and Robinson AF. 2004. Locomotion Behaviour. Pages 25-62 in Gaugler R and Bilgrami AL editors. *Nematode behaviour*. CAB international. Wallingford, United Kingdom.
- Burger MN, Nilgen M, Steimanis I, Vollan B. 2023. Relational values and citizens' assemblies in the context of adaptation to sea-level rise. *Current Opinion in environmental Sustainability* **62**: 101295.
- Croll NA. 1970. *The Behaviour of Nematodes: Their Activity, Senses and Responses*. Edward Arnold, London.
- Dakak A, Fioramonti J, Bueno L. 1981. *Haemonchus contortus* third stage larvae in sheep: kinetics of arrival into the abomasum and transformation during rumino-omasal transit. *Research in Veterinary Science* **31**: 384-385.
- Dalton JP. 1999. *Fasciolosis*. CAB international. Wallingford, United Kingdom.

- Lee DL. 2002. Life Cycles. Pages 59- in Lee DL editors. The Biology of Nematodes. Taylor & Francis, London.
- Drózd J, Demiaszkiewicz AW, Lachowicz J. 2000. Ashworthiosis – new parasitosis of wild ruminants. *Medycyna weterynaryjna* **56**: 32-35.
- Červená B, Modrý D, Noková E, Anettová L, Pafčo B, Pšenková I, Václavek P, Vyhliďalpvá T, Ježková J, Malát K. 2022. Parazitózy masného skotu v České republice – současný stav a budoucnost. *Veterinářství* **72**: 149-15.
- Česká meteorologická společnost. 2017. Elektronický meteorologický slovník. Česká meteorologická společnost, Praha. Available from <http://slovník.cmes.cz/> (accessed March 15, 2024).
- Eysker M. 1993. The role of inhibited development in the epidemiology of *Ostertagia* infections. *Veterinary Parasitology* **46**: 259-269.
- Eysker M. 1997. Some aspects of inhibited development of trichostrongylids in ruminants. *Veterinary Parasitology* **72**: 265-283.
- Fuentes MV, Valero MA, Bargues MD, Esteban JG, Angles R, Mas-Coma S. 1999. Analysis of climatic data and forecast indices for human fascioliasis at very high altitude. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology* **93**: 835–850.
- Gaba S, Gourbière S. 2008. To delay once or twice: the effect of hypobiosis and free-living stages on the stability of host-parasite interactions. *Journal of The royal Society Interface* **5**: 919-928.
- Gaugler R and Bilgrami AL. 2004. Introduction and Overview. Pages xi-xiv in Gaugler R and Bilgrami AL editors. *Nematode behaviour*. CAB international. Wallingford, United Kingdom.
- Gibbs HC. 1986. Hypobiosis in Parasitic Nematodes – An update. *Advances in Veterinary Parasitology* **25**: 129-174.
- Gibbons LM. 2002. General Organisation. Pages 59-139 in Lee DL editors. The Biology of Nematodes. Taylor & Francis, London.
- Gordon HM. 1974. Hypobiosis, haemonchosis and the hytherograph. *Proceedings of the Third International Congress of Parasitology* **2**: 750-751.
- Hegerl GC, Brönnimann S, Schurer A, Cowan T. 2018. The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *WIREs Climate Change* **9**: e522.
- Hoberg EP, Abrahams A, Carreno RA, Lichtenfels JR. 2002. *Ashworthius Patriciapilittae* n. sp. (Trichostrongyloidea: Haemonchinae), an Abomasal Nematode in *Odocoileus virginianus* from Costa Rica, and a New record for the Species of the Genus in the Western Hemisphere. *Journal of Parasitology* **88**: 1187-1199.
- Hogg R, Whitaker K, Collins R, Holmes P, Mitchell S, Anscombe J, Redman L, Gilleard JS. 2010. Haemonchosis in large ruminants in the UK. *Veterinary Record* **168**: 57.



- Horikawa DD, Iwata K-I, Kawai K, Koseki S, Okuda T, Yamamoto K. 2009. High hydrostatic pressure tolerance of four different anhydrobiotic animal species. *Zoological science* **26(3)**: 238-242.
- Huettel RN. 2004. Reproductive Behaviour. Pages 127-149 in Gaugler R and Bilgrami AL editors. *Nematode behaviour*. CAB international. Wallingford, United Kingdom.
- Hunter AR, Mackenzie G. 1982. The pathogenesis of a single challenge dose of *Haemonchus contortus* in lambs under six months of age. *Journal of Helminthology* **56**: 135-144.
- Charlier J, Höglund J, Morgan ER, Geldhof P, Vercruysse J, Clearebout. 2020. Biology and Epidemiology of Gastrointestinal Nematodes in Cattle. *eterinary Clinics of North America Food Animal Practice* **36**: 1-15.
- Kaczmarek Ł, Roszkowska M, Fontaneto D, Jezierska M, Pietrzak B, Wieczorek R, Poprawa I, Kosicki JZ, Karachitos A, Kmita H. 2019. Staying young and fit? Ontogenetic and phylogenetic consequences of animal anhydrobiosis. *Journal of Zoology* **309**: 1-11.
- Kašný M, Beran L, Siegllová V, Siegel T, Leontovyč R, Beránková K, Pankrác J, Košťáková M, Horák P. 2012. Geographical distribution of the giant liver fluke (*Fascioloides magna*) in the Czech Republic and potential risk of its further spread. *Veterinární medicína* **57**: 101-109.
- Kenyon F, Sargison ND, Skuce PJ, Jackson F. 2009. Sheep helminth parasitic disease in south eastern Scotland arising as a possible consequence of climate change. *Veterinary Parasitology* **163**: 293-297.
- Kotrlá B, Kotrlý A. 1977. Helminths of wild ruminants introduced into Czechoslovakia. *Folia parasitologica (Praha)* **24**: 35-40.
- Kutz SJ, Ducrocq J, Verocai GG, Hoar BM, Colwell DD, Beckmen KB, Polley L, Elkin BT, Hoberg EP. 2012. Chapter 2 - Parasites in Ungulates of Arctic North America and Greenland: A View of Contemporary Diversity, Ecology, and Impact in a World Under Change in Rollinson D editors. *Advances in Parasitology Academic Press* **79**: 99-252.
- Kyriánová IA, Vadlejch J, Kopecký O, Langrová I. 2017. Seasonal dynamics of endoparasitic infections at an organic goat farm and the impact of detected infections on milk productions. *Parasitology Research* **116**: 3211-3219.
- Lamine I, Chahouri A, Moukrim A, Alla AA. 2023. The impact of climate change and pollution on trematode-bivalve dynamics. *Marine Environmental Research* **191**: 106130.
- Langrová I, Makovcová K, Vadlejch J, Jankovská I, Petrtyl M, Fechtner J, Keil P, Lytvynets A, Borkovcová M. 2008. Arrested development of sheep strongyles: onset and resumption under field conditions of Central Europe. *Parasitol Res* **103**: 387-3920.
- Lee DL. 2002. Life Cycles. Pages 141-161 in Lee DL editors. *The Biology of Nematodes*. Taylor & Francis, London.
- Lee DL. 2002. Behaviour. Pages 723-756 in Lee DL editors. *The Biology of Nematodes*. Taylor & Francis, London.

- Lettini SE, Sukhdeo MVK. 2006. Anhydrobiosis increases survival of trichostrongyle nematodes. *Journal of Parasitology* **92(5)**:1002-1009
- Li Z. 2022. Global Dimming and its Causes and Effects. *Journal of Environmental Analytical Chemistry* 9 (e357) DOI: 10.37421/2380-2391.2022.9.357.
- Loos-Frank B and Grencis RK. 2017. Parasitic Worms. Pages 225- in Lucius R, Loos-Frank B, Lane RP, Poulin R, Roberts CW, Grencis RK editors. *The Biology of Parasitology*. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.
- Lucius R, Loos-Frank B, Lane RP, Poulin R, Roberts CW, Grencis RK. 2017. Preface. Pages XI-XII in Lucius R, Loos-Frank B, Lane RP, Poulin R, Roberts CW, Grencis RK editors. *The Biology of Parasitology*. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.
- Lucius R and Poulin R. 2017. General Aspects of Parasite Biology. Pages 1-94 in Lucius R, Loos-Frank B, Lane RP, Poulin R, Roberts CW, Grencis RK editors. *The Biology of Parasitology*. Wiley-VCH. Weinheim, Germany
- Magdálék J, Škorpíková L, McFarland C, Vadležh J. 2023. An alien parasite in a changing world – *Ashworthius sidemi* has lost its traditional seasonal dynamics. *Frontiers in Veterinary Science* **10**:1279073.
- Makovcová K, Jankovská I, Vadležh J, Langrová I, Vejl P, Lytvynets A. 2009. The contribution to the epidemiology of gastrointestinal nematodes of sheep with special focus on the survival of infective larvae in winter conditions. *Parasitol Res* **104**: 795-799.
- Malcicka M. 2015. Life history and biology of *Fascioloides magna* (Trematoda) and its native and exotic hosts. *Ecology and Evolution* **5**: 1381-1397.
- Mas-Coma S, Valero MA, Bargues MD. 2009. Climate change effects on trematodiasis, with emphasis on zoonotic fascioliasis and schistosomiasis. *Veterinary Parasitology* **163**: 264-280.
- Mas-Coma S, Valero MA, Bargues MD. 2019. Fascioliasis. *Advances in Experimental Medicine and Biology* **1154**: 71-103.
- McCarthy AM. 1999. The influence of temperature on the survival and infectivity of the cercariae of *Echinoparyphium recurvatum* (Digenea: Echinostomatidae). *Parasitology* **118**: 383-388.
- McFarland Ch, Rose Vineer H, Chesney L, Henry N, Brown Ch, Airs P, Nicholson Ch, Scollan N, Lively F, Kyriazakis I, Morgan ER. 2022. Tracking gastrointestinal nematode risk on cattle farms through pasture contamination mapping. *International Journal for Parasitology* **52(10)**: 691-703.
- Meradi S, Cabaret J, Bentounsi B. 2016. Arrested development of abomasal trichostrongylid nematodes in lambs in a steppe environment (North-Eastern Algeria). *Parasite* **23**: 39.
- Morgan ER, Lundervold M, Medley GF, Shaikenov BS, Torgerson PR, Milner-Gulland EJ. 2006. Assessing risks of disease transmission between wildlife and livestock: The Saiga antelope as a case study. *Biological Conservation* **131**: 244-254.

- Morgan ER, van Dijk. 2010. Variation in the hatching behaviour of *Nematodirus battus*: polymorphic bet hedging? *International Journal for Parasitology* **40**: 675-681.
- Morgan ER, van Dijk J. 2012. Climate and the epidemiology of gastrointestinal nematode infections of sheep in Europe. *Veterinary parasitology* **189**: 8-14.
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. 2010. Effect of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* **130**: 57-69.
- Nithiuthai S, Anantaphruti MT, Waikagul J, Gajadhar A. 2004. Waterborne zoonotic helminthiases. *Veterinary Parasitology* **126**: 167-193.
- Nyindo M, Lukumbagire A-H. 2015. Fascioliasis: An Ongoing Zoonotic Trematode Infection. *BioMed research International* 2015: 786195.
- Papadopoulos E, Arsenos G, Sotiraki S, Deligiannis C, Lainas T, Zygoiannis D. 2003. The epizootiology of gastrointestinal nematode parasites in Greek dairy breeds of sheep and goats. *Small Ruminants Research* **47**: 193-202.
- Parietti M, Merlo MJ. 2021. Effects of droughts on the larval digenean assemblage that parasitizes the snail *Biomphalaria peregrina* (Planorbidae): a 4-year study in a temporary pond from Argentina. *Parasitology Research* **120(5)**: 1909-1914.
- Poulin, R. 2006. Global warming and temperature-mediated increases in cercarial emergence in trematode parasites. *Parasitology* **132**: 143-151.
- Pybus MJ. 2001. Liver flukes. Pages 121-149 in Samuel WM, Kocan AA, editors. *Parasitic diseases of wild mammals*. Iowa State press, Iowa.
- Roberts LS, Janovy J jr., Nadler S. 2013. Gerald D. Schmidt & Larry S. Roberts' foundations of parasitology. McGraw-Hill. New York, USA.
- Roeber F, Hassan EB, Skuce P, Morrison A, Clearebout E, Casaert S, Homer DR, Firestone S, Stevenson M, Smith L, Larsen J. 2017. An automated, multiplex-tandem PCR platform for the diagnosis of gastrointestinal nematode infections in cattle: An Australian-European validation study. *Veterinary Parasitology* **239**: 62-75.
- Rojó-Vázquez FA, Meana A, Valcárcel F, Martínez-Valladares M. 2012. Update on trematode infections in sheep. *Veterinary Parasitology* **189**: 15-38.
- Romero-Freire A, De Marchi L, Freitas R, Velo A, Babarro JMF, Cobelo-García A. 2024. Ocean acidification impact on the uptake of trace elements by mussels and their biochemical effects. *Aquatic Toxicology* **269**: 106882.
- Rose JH. 1963. Observations on the free-living stages of the stomach worm *Haemonchus contortus*. *Parasitology* **53**: 469-48.
- Rose H, Hoar B, Kutz SJ, Morgan ER. 2014. Exploiting parallels between livestock and wildlife: Predicting the impact of climate change on gastrointestinal nematodes in ruminants. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* **3**: 209-219.

- Rose H, Wang T, van Dijk J, Morgan ER. 2015. GLOWORM-FL: A simulation model of the effects of climate and climate change on the free-living stages of gastro-intestinal nematode parasites of ruminants. *Ecological Modeling* **297**: 232-245.
- Rose Vineer H, Baber P, White T, Morgan ER. 2019. Reduced egg shedding in nematode-resistant ewes and projected epidemiological benefits under climate change. *International Journal for Parasitology* **49**: 901-910.
- Sargison ND, Wilson DJ, Bartley DJ, Penny CD, Jackson F. 2007. Haemonchosis and teladorsagiosis in a Scottish sheep flock putatively associated with the overwintering of hypobiotic fourth stage larvae. *Veterinary Parasitology* **147**: 326-331.
- Selbach Ch, Poulin R. 2020. Some like it hotter: trematode transmission under changing temperature conditions. *Global change ecology – original research* **194**: 745-755.
- Schmidt-Nielsen K. 1997. *Animal Physiology: Adaptation and Environment*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Siles-Lucas M, Becerro-Recio D, Serrat J, González-Miguel J. 2021. Fascioliasis and fasciolopsiasis: Current knowledge and future trends. *Research in Veterinary Science* **134**: 27-35.
- Skuce PJ, Morgan ER, van Dijk J, Mitchell M. 2013. Animal health aspects of adaption to climate change: beating the heat and parasites in a warming Europe. *Animal* **7**: 333-345.
- Smith WD. 2007. Some observations on immunologically mediated inhibited *Teladorsagia circumcincta* and their subsequent resumption of development in sheep. *Veterinary Parasitology* **147**: 103-109.
- Stadaliene I, Höglund J, Patkevičius S. 2015. Seasonal patterns of gastrointestinal nematode infection in goats on two Lithuanian farm. *Acta Veterinaria Scandinavica* **57**: 16.
- Stromberg BE. 1997. Environmental factors influencing transmission. *Veterinary Parasitology* **72**: 247-264.
- Stromberg BE, Gasbarre LC, Waite A, Bechtol DT, Brown MS, Robinson NA, Olson EJ, Newcomb H. 2012. *Cooperia punctata*: effect on cattle productivity? *Veterinary Parasitology* **183(3-4)**: 284-291.
- Sutherland I, Scott I. 2010. *Gastrointestinal Nematodes of Sheep and Cattle – Biology and Control*. Wiley-Blackwell. Oxford, United Kingdom.
- Taylor LM, Parkins JJ, Armour J, Bairden K, Ibarra-Silva AM, Salman Sk, McWilliam PN. 1989. Pathophysiological and parasitological studies on *Ostertagia ostertagi* infections in calves. *Research in Veterinary Science* **46(2)**: 218–25.
- Thornton PK, Van de Steeg J, Notenbaert A, Herrero M. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agriculture system* **101**: 113-127
- Timper P and Davies KG. 2004. Biotic interaction. Pages 277-307 in Gaugler R and Bilgrami AL editors. *Nematode behaviour*. CAB international. Wallingford, United Kingdom.

- Vadlejch J, Kotrba R, Čadková Z, Růžicková A, Langrová I. 2015. Effects of age, sex, lactation and social dominance on faecal egg count patterns of gastrointestinal nematodes in farmed eland (*Taurotragus oryx*). Preventive Veterinary Medicine **121**: 265-272.
- van Dijk J, Morgan ER, David GP, Baird G. 2008. Back to the future: Developing hypotheses on the effects of climate change on ovine parasitic gastroenteritis from historical data. Veterinary Parasitology **158**: 73-84.
- van Dijk J, de Louw MDE, Kalis LPA, Morgan ER. 2009. Ultraviolet light increases mortality of nematodes larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. International Journal for Parasitology **39**:1151-1156.
- van Dijk J, Sargison ND, Kenyon F, Skuce PJ. 2009. Climate change and infectious disease: helminthological challenges to farmed ruminants in temperature regions. Animal **4**: 377-392.
- van Wyk JA, Bath GF. 2002. The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. Veterinary Research **33**: 509-529.
- Vercruyse J, Charlier J, van Dijk J, Morgan ER, Geary T, von Samson-Himmelstjerna G, Clearebout E. 2018. Control of helminth ruminant infections by 2030. Parasitology **145(13)**: 1-10.
- Vignoles P, Favennec L, Dreyfuss G, Rondelaud D. 2001. Highland populations of *Lymnaea truncatula* infected with *Fasciola hepatica* survive longer under experimental conditions than lowland ones. Parasitology Research **88(4)**: 386-388.
- Vlassoff A, Leathwick DM, Heath ACG. 2001. The epidemiology of nematode infections of sheep. New Zealand Veterinary Journal **49(6)**: 213-221.
- Wang B, Luo X, Yang Y, Sun W, Cane M, Cai W, Ye s, Liu J. 2019. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **116(45)**: 22512-22517.
- Watanabe M. 2006. Anhydrobiosis in vertebrates. Appl. Entomol. Zool. **41(1)**: 15–31.
- Wharton DA. 2002. Nematode Survival Strategies. Pages 757-799 in Lee DL editors. The Biology of Nematodes. Taylor & Francis, London.
- Wharton DA. 2004. Survival Strategies. Pages 371-399 in Gaugler R and Bilgrami AL editors. Nematode behaviour. CAB international. Wallingford, United Kingdom.
- Wharton DA. 2015. Anhydrobiosis, Current Biology Magazine **25**: R114-R116.
- Yeates GW. 2004. Ecological and Behavioural Adaptations. Pages 1-24 in Gaugler R and Bilgrami AL editors. Nematode behaviour. CAB international. Wallingford, United Kingdom.

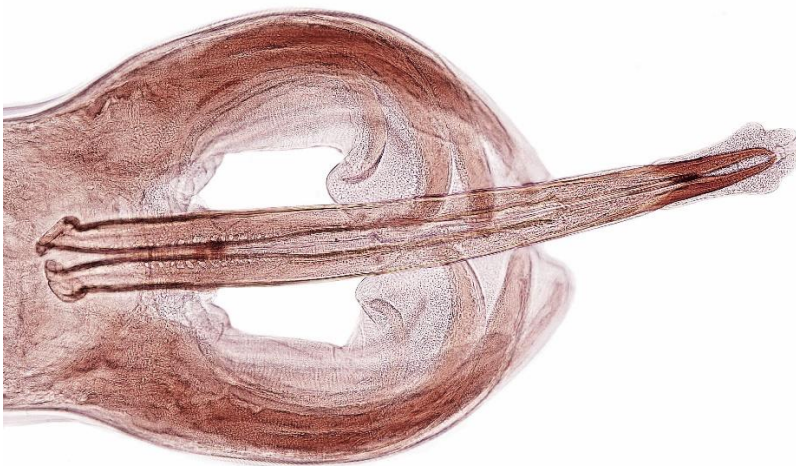


## 12 Přílohy



**Obr. 3: Detail konce těla se zvýrazněnými spikulami *Haemonchus contortus***

Zdroj: foto Vadlejš J.



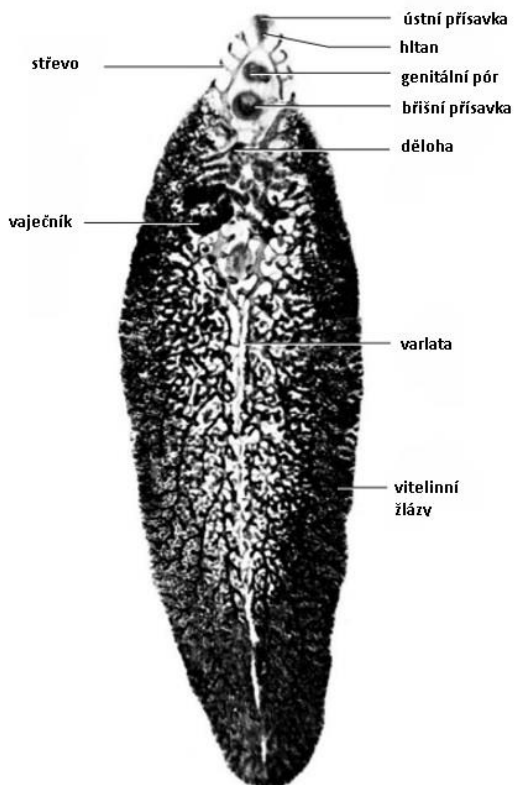
**Obr. 4: Detail konce těla s dominujícími spikulami *Ashworthius sidemi***

Zdroj: foto Vadlejš J.



**Obr. 5: Vajíčko *Fasciola hepatica***

Zdroj: Jay Georgi, dostupné v knize Roberts LS, Janovy J jr., Nadler S. 2013. Gerald D. Schmidt & Larry S. Roberts' foundations of parasitology. McGraw-Hill. New York, USA



**Obr. 6: Dospělec *Fasciola hepatica***

Zdroj: Turtox/Cambosco, dostupné v knize Roberts LS, Janovy J jr., Nadler S. 2013. Gerald D. Schmidt & Larry S. Roberts' foundations of parasitology. McGraw-Hill. New York, USA