

**TARTU ÜLIKOOL**  
**ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INTITUUT**  
**ZOOLOOGIA OSAKOND**  
**LOODUSRESSURSSIDE ÕPPETOOL**

**Eliise Raudmets**

**INTENSIIVSE PÕLLUMAJANDUSEGA KAASNEVAD**  
**NEGATIIVSED MÕJUD KAHEPAIKSETELE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Riinu Rannap

**TARTU 2024**



## Infoleht

Kahepaiksete liigilise mitmekesisuse ja arvukuse languse üheks oluliseks põhjuseks on intensiivne põllumajandus ning selle praktikatest tulenev elupaikade killustumine, hävimine ja kvaliteedi langus. Erinevad intensiivse põllumajanduse praktikad mõjutavad kahepaikseid igas arengujärgus. Veekeskkonnas on kahepaiksete peamiseks mõjutajaks pestitsiidide ja väetiste sattumine veekokku, nii üksikute ainetena kui koosmõjus teiste pestitsiidide ja keskkonnateguritega, põhjustades muuhulgas eutrofeerumist. Maismaal ohustab kahepaikseid intensiivse põllumajanduse laienemisest tulenev maakasutuse muutus, ulatuslikud monokultuurid põllumaad, rasketehnika ning pestitsiidide ja väetiste kasutamine. Intensiivse põllumajanduse mõjudest kahepaiksetele on kõige enam tehtud uuringuid pestitsiidide ja väetiste mõju kohta nii maismaal kui veekeskkonnas, kuid pestitsiidide riskianalüüs ning veekvaliteedi kriteeriumid kahepaiksetele siiani puuduvad. Teiste intensiivpõllumajanduse praktikate ja maakasutuse muutuste mõju kohta kahepaiksetele on uuringuid vähe, sageli vaid üksikud.

Märksõnad: kahepaiksed, intensiivpõllumajandus, pestitsiidid, väetised, maakasutuse muutus

## Abstract

### **Negative influence of intensive agriculture to amphibians**

One of the important reasons for the decline in the species diversity and abundance of amphibians is intensive agriculture and its practices, often resulting in habitat fragmentation, destruction, and a decrease in the quality of habitats. Different practices of intensive agriculture can affect amphibians at the different stage of their development. In the aquatic environment, amphibians are mainly affected by the introduction of pesticides and fertilizers into the water body, both individually and in combination with other chemicals and environmental factors, which can also cause eutrophication. In terrestrial habitats, amphibians are threatened by land use changes resulting from the expansion of intensive agriculture, including enlargement of monocultural farmlands, heavy machinery, and the use of pesticides and fertilizers. Among the impacts of intensive agriculture on amphibians, most research has been conducted on the effects of pesticides and fertilizers both on land and in aquatic environments. However, risk assessments for pesticides and water quality criteria for amphibians are still lacking. There are only a few studies on the effects of other intensive agricultural practices and land use changes on amphibians.

Keywords: amphibians, intensive agriculture, pesticides, fertilizers, land use change

# SISUKORD

1. SISSEJUHATUS .....	5
2. INTENSIIVNE PÕLLUMAJANDUS .....	7
3. NEGATIIVSED MÕJUD KAHEPAIKSETELE.....	9
3.1. Negatiivsed mõjutegurid kahepaiksetele veekeskkonnas.....	11
3.1.1. Pestitsiidid .....	12
3.1.1.1. Glüfosaat .....	12
3.1.1.2. Muud pestitsiidid.....	13
3.1.1.3. Raskmetallid.....	13
3.1.1.4. Pestitsiidide koosmõjud.....	14
3.1.1.5. Pestitsiidid ja röövlus .....	14
3.1.2. Väetised .....	15
3.1.3 Eutrofeerumine .....	15
3.2. Negatiivsed mõjutegurid maismaal .....	16
3.2.1. Maakasutuse muutus .....	17
3.2.2. Pestitsiidid ja väetised .....	18
3.2.2.1. Otsene mõju .....	19
3.2.2.2. Kaudne mõju .....	19
4. ARUTELU.....	21
KOKKUVÕTE .....	26
SUMMARY .....	28
Lisa 1.....	30
Tänuõnad.....	35
Kasutatud kirjandus .....	36

# 1. SISSEJUHATUS

Põllumajanduse intensiivistumine on viimase 50 aastaga kasvanud märgatavalt kogu maailmas (Ickowitz et al., 2019). Euroopa liidu maa-alast hõlmab põllumajandus käesoleval ajal umbes poole, mistõttu on suur osa elusloodusest põllumajandustegevusest mõjutatud (O'Rourke & Finn, 2020). Põllumajanduse intensiivsus vähendab oluliselt põllumaade ja nendega piirnevate alade liigirikkust (Reidsma et al., 2006). Viimase poole sajandi jooksul on eluslooduse populatsioonide suhteline arvukus vähenenud 69% ning mageveega seotud liikide suhteline arvukus on vähenenud 83%. Sellise drastilise liigirikkuse vähenemise üheks oluliseks põhjuseks on intensiivpõllumajanduse laienemine ning selle praktikad (Almond et al., 2022).

Üks kõige ohustatum selgroogsete rühm on kahepaiksed – 40,7% kogu maailma kahepaiksete liikidest on väljasuremisohus ning viimase 40 aasta jooksul on nende ohustatus aina tõusnud. (Luedtke et al., 2023). Kahepaiksete arvukuse languse olulisemad põhjused on elupaikade kvaliteedi langus, nende killustumine ja hävimine, mida põhjustavad intensiivne põllumajandus, metsaraied, maaparandusmeetmed (sh kuivendamine), saastumine ja infrastruktuuri areng (Luedtke et al., 2023). Enamus kahepaiksed on nii maismaa kui ka veelise eluviisiga, mistõttu on neile olulised erinevad maismaaelupaigad, aga ka rändeteede olemasolu ja kudemisveekogude kvaliteet (Boissinot et al., 2019). Lisaks elupaikade seisundi halvenemisele ja nende kui loodusvara liigsele ekspuataerimisele vähendavad kahepaiksete arvukust ka haigused, kliimamuutus (Luedtke et al., 2023).

Üheks suuremaks kahepaiksete arvukuse ja liigirikkuse vähenemise põhjuseks on intensiivne põllumajandus (Almond et al., 2022), mida iseloomustab laiaulatuslik pestitsiidide kasutamine, suured põllumassiivid ja vähene taimestiku heterogeensus (Bäncilä et al., 2023). Kahepaiksetele on omane õhuke nahk, mis võimaldab hingamist ja ainevahetust, ning kudu, mis on väliskeskkonnaga otseses kontaktis. Need omadused teevad kahepaiksetest head bioidikaatorid (Blaustein et al., 1994). Kahepaiksete elutsükliks on olulise tähtsusega nii vee- kui maismaakeskkond ning igas oma arengustaadiumis on nad olulisel kohal toiduahelas (Hopkins, 2007).

Bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjanduse põhjal anda ülevaade, millised intensiivsest põllumajandusest tulenevad negatiivsed tegurid avaldavad mõju kahepaiksetele erinevates arengustaadiumites, seda nii vee- kui maismaaelupaikade kaudu. Töö põhineb põhja-parasvöötmealadel läbi viidud uuringutel. Esmalt annan ülevaate intensiivse põllumajanduse olemusest ja selle üldisest mõjust keskkonnale ning seejärel käsitlen kahepaikseid mõjutavaid tegureid ja intensiivse põllumajanduse rolli kahepaiksete arvukuse ja liigirikkuse vähenemisel. Töö tulemusena on koostatud ka kokkuvõtlik tabel intensiivpõllumajanduse mõjude kohta kahepaiksetele (Lisa 1).

## 2. INTENSIIVNE PÕLLUMAJANDUS

Intensiivne põllumajandus kasutab tootlikkuse suurendamiseks hulgaliselt tehnoloogilisi ja maaparanduslikke meetodeid ning lihtsustatud kultuurikasvatuse süsteemi (Internet 1, Stoate et al., 2001). Intensiivse põllumajanduse sagedased praktikad on loodusmaastike ümberkujundamine põllumajandusmaaks, märgalade kuivendamine (García-Muñoz et al., 2010), kõrge kariloomade tihedus karjamaal, massiivsed monokultuursed põllumaad väheste rohesaartega, suurenenud pestitsiidide ja kunstväetiste ning rohke rasketehnika kasutamine. Selline põllumajanduse vorm toob sageli kaasa liigirikkuse vähenemise (Stoate et al., 2001, Internet 1).

Looduslikel rohumaadel on tüseda huumusehorisondiga viljakas muld (García-Muñoz et al., 2010), mistõttu rajatakse neile põllud, mis on otseseks ohuks sealsetele liikidele ning võivad nende populatsioonide vähenemist ja väljasuremist põhjustada (Stoate et al., 2009). Ka märgalad on elupaigaks paljudele ohustatud loomaliikidele, sealhulgas mitmetele linnu- ja kahepaiksete liikidele. Põllumajanduslikul eesmärgil kuivendatakse märgalasid nende viljaka mulla tõttu. Kraavidesse koguneva veega uhutakse hulgaliselt toitaineid ja põllukemikaale ümberkaudsetesse veekogudesse (De Solla et al., 2002, García-Muñoz et al., 2019). Intensiivse põllumajanduse laienemine vähendab ja killustab ka metsaelupaiku (Luedtke et al., 2023) ning tekitab servaeefekti ümberkaudsetele aladele, mille tagajärjel mitmete loomaliikide populatsioonid kahanevad (Lamb et al., 2016). Aina rohkem on mindud üle püsikarjamaade kasutamisele, mille tagajärjeks on mitmel juhul ülekarjatamine, erosioon ning puisniitude, kesade ja muude looduslike rohumaakoosluste, kadumine (Stoate et al., 2009). Liigne sõnnik uhutakse ümberkaudsetesse veekogudesse, kus see põhjustab vee eutrofeerumist (De Solla et al., 2002).

Monokultuursed põllud on üks levinumaid intensiivpõllumajanduse praktikaid, kuna ühe taimeliigi haldamine korraka lihtsustab vajalikke põllutoiminguid, näiteks väetiste ja pestitsiidide kasutamist ning saagikoristust (García-Muñoz et al., 2010). Põldudele jäetakse ka vähem rohesaari ja roheribasid, kuna nende arvelt saab põllult rohkem saaki koguda (Stoate et al., 2001).

Põllumaade pindala suurenemine ja monokultuuride kasutamine toob kaasa vajaduse üha suuremate koguste pestitsiidide järele, kuna suurtel monokultuursetel põldudel

kasvatatakse enamasti korruga ühte taimeliiki, mis muudab kergemaks taimehaiguste ja -parasiitide levimise (Emanuelli et al., 2009). Konstantselt kemikaale sisaldavas keskkonnas muutuvad kultuurtaimi kahjustavad liigid pestitsiididele resistentsemaks, mistõttu tuleb pealekantavaid koguseid pidevalt suurendada. See mõjutab tugevalt ka neid liike, kes kultuurtaimi ei kahjusta ja üldine liigirikkus põldudel väheneb (Wagner & Lötters, 2013). Põllumajanduse intensiivsus oleneb ka põllul kasvatatavast kultuurist, näiteks vajavad nisu, mais ja sojaoad rohkem pestitsiididega sekkumist kui harilik lutsern ja kõrrelised (Boutin & Jobin, 1998). Põllumaad ja nende äärealad on sagedase pritsimise tagajärjel reostunud pestitsiidide ja raskmetallidega, millest osa jõuab õhu, erosiooni ja põhjavee kaudu ümbritsevasse ökosüsteemidesse (Stoate et al., 2001) ning nende kontsentratsiooni võib keskkonnast leida ka mitmeid kuid pärast esmakordset kandmist põllule (Kreuger, 1998).

Saagi koristamisel ehk orgaanilise aine ärakandel jääb põllumaa toitainevaesemaks ja muutub erosiooni- ja leostumisaltimaks, mistõttu on vaja kasutada kunstlikke väetisi. Osa põllule kantud väetisest jääb taimede poolt omastamata (Lenhardt et al., 2015) ning vihma- ja põhjaveega jõuavad need lähedalasuvatesse veekogudesse, kus põhjustavad eutrofeerumist (Stoate et al., 2001).

Suurte põllumassiivide kündmiseks, kemikaalide külvamiseks ja pritsimiseks ning viljakoristuseks kasutatakse mitmesugust rasketehnikat. Kündmine lõhub mullaelupaiku, mis häirib nii seeni, baktereid kui ka mullas elutsevaid selgrootuid, kellele võib kündmine ka surmavaks osutuda (Chandra et al., 2024; Stoate et al., 2001). Pealmise mullakihi alla tekib põllumasinat pideva sõitmise tagajärjel tihenenud mullakiht, mis pärsib vee liikumist ja takistab taimejuurte kasvamist, muutes taimed altimaks läbikuivamisele (Stoate et al., 2001). Lisaks mehaanilistele häiringutele tekitab rasketehnika ka müra ja õhusaastet (Reidsma et al., 2006). Peatselt pärast saagi koristust hakatakse maad järgmiseks külviks ette valmistama, mis võtab ära võimaluse loomadel põllule jäetud saagijäänustest toitumas käia (Stoate et al., 2001).



### 3. NEGATIIVSED MÕJUD KAHEPAIKSETELE

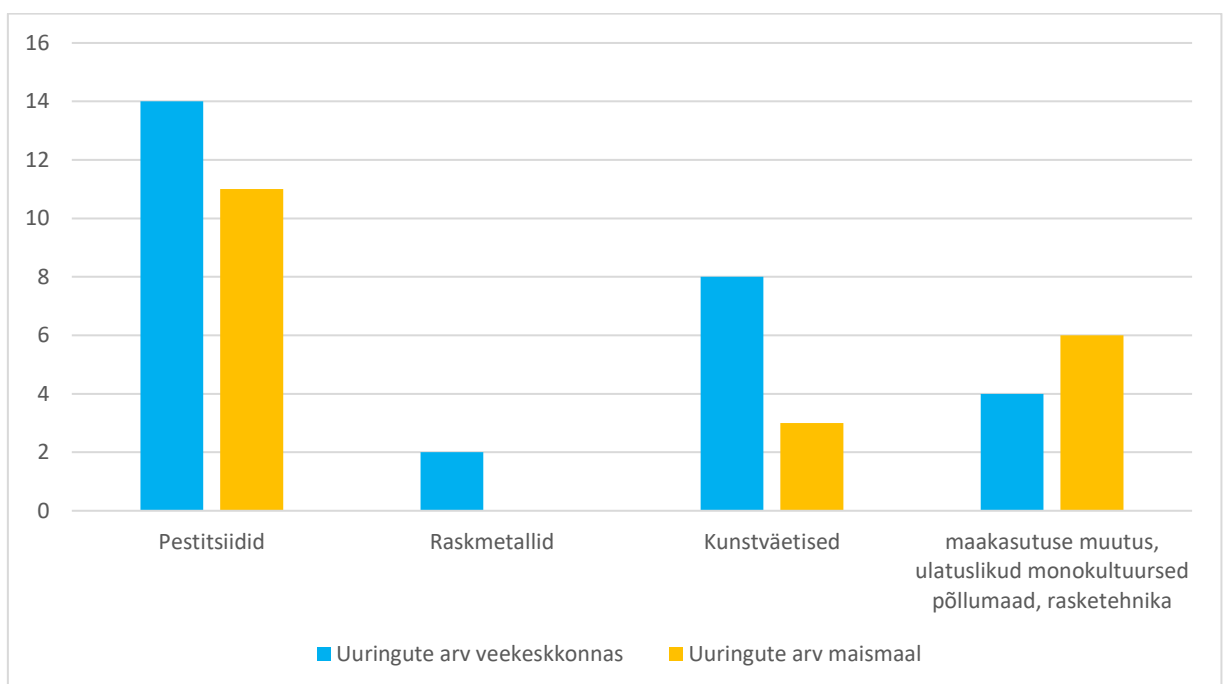
Kahepaiksetel on õhuke keemilisi aineid kergesti läbilaskev nahk, mistõttu on nad keskkonnatingimuste suhtes tundlikumad kui teised loomarühmad (Hopkins, 2007). Kahepaiksed vajavad elu jooksul nii maismaa- kui ka veekeskkonda, mistõttu mõjutab intensiivne põllumajandus neid mitmel erineval eluetapil ning mitmes erinevas elukeskkonnas (Boissinot et al., 2019). Üks peamisi ja enim uuritud ohutegureid kahepaiksetele intensiivses põllumajandusmaastikus on pestitsiidide ja kunstväetiste kasutamine, mis avaldavad neile mõju nii vees kui ka maismaal (Joonis 1) (Koumaris & Fahrig, 2016). Samas on intensiivse põllumajanduse mõju kahepaiksetele liigiti väga erinev (Koumaris & Fahrig, 2016).

Veekogudesse satuvad põllukemikaalid vihma- ja põhjavee ning lähedalasuvate kraavide äravoolu kaudu mõjutades nii kahepaiksete kudu, kulleseid, noori ja täiskasvanud isendeid kui ka üldist liigirikkust (Boissinot et al., 2019; Teplitsky et al., 2005). Sageli võib pestitsiidide negatiivne mõju avalduda mitme kemikaali koosesinemisel või koosmõjus teiste keskkonnateguritega, näiteks temperatuuri (Leeb et al., 2022) või röövloomade esinemisega (Teplitsky et al., 2005). Põldudele lisatud väetistest jõuab osa lähedal asuvasse veekogudesse, mis tekitab eutrofeerumist (Johnson et al., 2007) ning muudab keskkonda happelisemaks (De Solla et al., 2002). Liigne lämmastikuisaldus vees avaldab kahepaiksetele liigiti erinevat mõju. Mõne liigi (*Anaxyrus americanus*, *Lithobates sylvaticus*) kulleled arenevad kõrgema lämmastikuisaldusega vees kiiremini, samas teiste liikide (*Hyla Versicolor*, *Lithobates pipiens*) puhul võib kõrgem lämmastikuisaldus kulleste arengut pärssida nii otseselt kui ka kaudselt ning suurendada suremust (Koumaris & Fahrig, 2016; Rouse et al., 1999).

Maismaakeskkonnas mõjutavad pestitsiidid ja kunstväetised kõige tugevamalt kahepaikseid nende otsesel ülepritsimisel, mis paljude põllukemikaalide korral põhjustab isendite surma (Brühl et al., 2013). Kuigi kahepaiksed väldivad pestitsiidiga ülepritsitud mulda (Leeb, Kolbenschlag, et al., 2020), tuleb neil rändel põllumajandusmaasikku siiski läbida ning sageli kattub rändeperiood kunstväetiste või pestitsiidide pritsimise aegadega (Lenhardt et al., 2013).

Kuivendamine on maaparandusmeetod, kus vesi juhitakse kraavide või drenaažisüsteemide abil eemalasuvasse veekogudesse ning mille tagajärjel alaneb

maapinna põhjaveetase. See vähendab oluliselt kahepaisetele sobivate sigimisveekogude arvu maastikul (Stoate et al., 2001). Kahepaiksete liigirikkust vähendab ka monokultuuride kasutamine (Băncilă et al., 2023) ning põllumaa pindala suurenemine, millega kaasneb märgalade ja väikeveekogude kadu ja nende kiirem ära kuivamine, samuti mõjutab kahepaikseid tihenendud teedevõrk (Cayuela et al., 2015), mis omakorda toob kaasa elupaikade killustumise ja populatsioonide isolatsiooni sattumise. Põllumaade laienemise tagajärjel kaovad lisaks märgaladele ka metsaalad, mis on mitmetele kahepaikseliikidele oluliseks maismaaelupaigaks ja talvituskohaks (Koumaris & Fahrig, 2016).



### Joonis 1. Läbitöötatud uuringud intensiivse põllumajandusega kaasnevate mõjutegurite kohta kahepaiksetele ja nende jaotus mõjutegurite lõikes

Kahepaiksed vajavad populatsioonide säilimiseks oma eripärade tõttu kvaliteetseid ja omavahel tihedalt seotud vee- ja maismaa elupaiku. Intensiivse põllumajanduse praktikate tõttu on nende elupaikade kvaliteet langenud, killustatus tõusnud või on elupaigad otseselt hävinud.

### 3.1. Negatiivsed mõjutegurid kahepaiksetele veekeskkonnas

Kevaditi naasevad kahepaiksed veekogudesse sigima, milleks kasutatakse mitmesuguseid märgalasid, ajutisi ning alalisi veekogusid. Enamasti eelistatavad kahepaiksed sigimiseks päikesele avatud ja kiiresti soojenevaid seisuveekogusid nagu kevadised üleujutusosalad, lombid, tiigid, sügavamad rattarööpad ja muud veega täidetud lohud maapinnas. Vähem sigitakse vooluveekogudes nagu jõed, ojad või kraavid. Veekogus toimub kogu kahepaiksete varane areng, hõlmates kudu ja kulleste arengut kuni moonde läbimiseni. Ajutiste veekogude eelistus sigimispaigana tuleneb ka sellest, et neis esineb vähem kalu ja muid röövloomi (Jeliazkov et al., 2014). Oluliseks elupaigakriteeriumiks kahepaiksete liigirikkusele on veekogude kvaliteet, mitmekesisus ja tihedus maastikul (Boissinot et al., 2019). Nii tagavad klastritena paiknevad sigimisveekogud kahepaiksete liigirikkuse ning populatsioonide geneetilise mitmekesisuse säilimise (Johansson et al., 2005). Vee kvaliteedi langus suurendab aga kahepaiksete riski nakatuda haiguste ja parasiitidega (Boyer & Grue, 1995).

Lisaks vee füüsikalistele ja keemilistele omadustele on kahepaiksete sigimisveekogudes kvaliteedi näitajateks ka veekogu sügavus, pindala ja põhjasubstraadi omadused. Varases arengustaadiumis toetab kahepaiksete arvukust ja liigirikkust veekogu mitmekesise taimestiku olemasolu, mis pakub kinnituskohta kudule, mõjutab vastsete toitumistingimusi (sh selgroogsete arvukust) ja loob varjevõimalusi röövloomade eest. Liigiti on kahepaiksetel sigimisveekogude osas erinevad nõuded, mistõttu on oluline, et maastikul esineks ohtralt mitmesuguseid erinevaid veekogusid (Boissinot et al., 2019).

Kahepaiksete sigimisveekogud asuvad sageli põllumajandusmaade vahetus läheduses või on põllumaadega ümbritsetud ning omavad väikest valgala, mistõttu koguneb neisse märgatavalt suurem kogus põldudel kasutatavaid kemikaale, kui suurematesse veekogudesse (Boissinot et al., 2019). Kulleste nahk, samuti kahepaiksete mune ümbritsev sültjas kest on õhukesed ja vett ning keemilisi aineid läbilaskvad, mistõttu on nad veekogus olevate ainete suhtes eriti tundlikud ning vee kvaliteet on neile eluliselt oluline (Blaustein et al. 1994). Põllukemikaalide esinemine sigimisveekogudes võib negatiivselt mõjutada varastes arengustaadiumites kahepaiksete kasvu, kehamassi, arengukiirust (Egea-Serrano et al., 2012), viljakust, aktiivsust, ujumisvõimet ja immuunsust (Teplitsky et al., 2005) ning suurendada väärarengute esinemise riski ja DNA kahjustuste teket (Egea-Serrano et al., 2012). Intensiivse põllumajanduse praktikad

mõjutavad põllumaastikul olevaid veekogusid mitmel erineval viisil ning kahepaiksete arvukus ja liigiline mitmekesisus sõltub neist suurel määral.

### 3.1.1. Pestitsiidid

Intensiivses põllumajanduses kasutatakse taimehaiguste, parasiitide ja umbrohu tõrjumiseks mitmeid erinevaid keemilisi taimekatsevahendeid. Vihma- ja põhjavee ning erosiooni kaudu satub osa pestitsiididest ümberkaudsetesse veekogudesse, mis mõjutavad oluliselt sealset elustikku, muuhulgas kahepaikseid.

#### 3.1.1.1. Glüfosaat

Tänapäeval on põllumajanduses üheks enimkasutatavaks umbrohutõrjevahendiks glüfosaat, millel põhinevad paljude tuntud kaubamärkide tooted nagu Roundup®, Touchdown®, Vision®, Timberline®90 ja Rodeo® (Wagner & Lötters, 2013).

Glüfosaat ja selle põhised pestitsiidid mõjutavad veekeskkonnas kahepaiksete arengut mitmel moel. Oma ülevaateartiklis on Wagner & Lötters (2013) näidanud, et glüfosaat kahjustab kulleste lõpuseid, mille tõttu on nende edasine areng pidurdunud ja häiritud ning millega kaasneb suur suremus. Glüfosaadi ensüümid tekitavad kullestel ka oksüdatiivset stressi, mis muudab nad patogeenidele ja parasiitidele vastuvõtlikuks. Lisaks suurendab glüfosaat kullestel riski väärarengute tekkimiseks, mis võivad paljudel juhtudel surmavaks osutada kuid võivad põhjustada ka liikumis- ja toitumishäireid. Kõik loetletud glüfosaadist põhjustatud tagajärjed aeglustavad kulleste arengut ja pikendavad moonde läbimisele kuluvat aega. See võib aga osutada neile saatuslikuks, kuna tavalisteks sigimispaikadeks olevad madalad veekogud kuivavad päikese käes kiiresti.

Peamine metaboliit glüfosaadis on aminometüülfosfonis hape (AMPA). See mõjutab kudu ellujäämist, arengu kestvust ja füüsilist arengut, kusjuures madala AMPA koguse juures on kudu suremus kuni kolm korda kõrgem kui suure AMPA koguse juures, kuid põhjuse leidmiseks on vajalikud edasised uuringud. Püsiv kokkupuude AMPA-ga mõjutab kulleste suurust ja kehaproportsioone (Cheron & Brischoux, 2020). Ameerika Ühendriikides uuriti ühe enim kasutatava glüfosaadipõhise herbitsiidi, Roundup, mõju kahepaiksetele (Relyea, 2005). Vaid mõne milligrammi sattumisel läbi mulla veekokku on see pestitsiid mitmete kahepaikseliikide nagu harilik leopardkonn (*Rana pipiens*),

ameerika kärnkonn (*Bufo americanus*) ja muutlik lehekonn (*Hyla versicolor*) kullestele ja juveniilidele surmav ning vähendab sealsete populatsioonide arvukust (Relyea, 2005).

### 3.1.1.2. Muud pestitsiidid

Lisaks glüfosaadile on ka mitmeid teisi pestitsiidides kasutatavaid aktiivaineid, mis suurendavad veekogudes paljude kahepaikseliikide kulleste suremust ja pärsivad nende elutegevust. Pestitsiidides kasutatavad keemilised ained nagu imidaklopriid (Ade et al., 2010), organofosfaat, karbamiidid ja kloropüridinüül on kahepaiksete kullestele surmavad. Lisaks mõjutavad organofosfaat ja fosfonoglütsiin negatiivselt kahepaiksete kulleste kasvu (Baker et al., 2013). Herbitsiid atrasiin põhjustab lisaks suurele suremusele kullestes endokriinseid häireid ehk mõjutab hormonaalsüsteemi toimimist ning võib seeläbi vähendada isendite viljakust (Adams et al., 2021, Baker et al., 2013). Teraviljakultuuride seenhaiguste tõrjumiseks kasutatav fungitsiid fenpropimorph mõjutab kulleste ellujäämist rohkem, kui röövloomad ning *in situ* on leitud, et kõrge fungitsiidi kontsentratsiooniga vees (11 µg/L) läbib metamorfoosi vähem kui 10% kullestest (Teplitzky et al., 2005). Üks toksilisemaid fungitsiide Headline on juba soovitatud annusest 10 korda väiksemas koguses Põhja-Ameerikas elutseva kärnkonna *Bufo cognatus* kullestele surmav ning fungitsiid Stratego põhjustab selle liigi kulleste 40%-lise suremuse (Belden et al., 2010).

Pestitsiidide toimet kahepaiksetele mõjutab ka vee temperatuur. Temperatuuri langedes võib mõnede pestitsiidi toksilisus kahepaiksetele suurened. Üheks selliseks näiteks on fungitsiid folpet, mis häirib kahepaiksete metaboolseid protsesse, kusjuures varasemas arengustaadiumis on kulleled sellele tundlikumad kui hilisemas (Leeb et al., 2022).

### 3.1.1.3. Raskmetallid

Raskmetallidest kasutatakse intensiivses põllumajanduses elavhõbedat seenetõrjevahendites ning bakteriaalseks kaitseks kultuurtaimede seemnetele (Ottesen et al., 2013). Veekeskkonda settides saab elavhõbedast palju toksilisem derivaat – metüülelavhõbe – mis akumulereb kahepaiksete kudesse toidu kaudu ning kokkupuutes veekogu setetega. Metüülelavhõbe võib vähendada kahepaiksete viljakust ja tõsta kudu suremust (Tornabene et al., 2023).

Seenhaiguste tõrjumiseks kasutatakse nii intensiivses põllumajanduses kui ka mahepõllunduses mitmeid vasepõhiseid pestitsiide, näiteks vasksulfaati, seda ka enamustes Euroopa riikides (Tamm et al., 2022). Veekeskkonnas pidurdab vasksulfaat kahepaiksete kulleste ja kudu arengut, vähendab kasvu ja põhjustab ebanormaalset ujumismustrit (García-Muñoz et al., 2009).

#### 3.1.1.4. Pestitsiidide koosmõjud

Lisaks üksikutele kemikaalidele mõjutab kahepaikseid ja põhjustab nende suremust ka erinevate kemikaalide koosmõju. Väikeses koguses ei pruugi üksikud pestitsiidid veekeskkonnas kahepaikseid mõjutada, kuid mõju võib esineda mitme põllumajanduskemikaali koostoimes.

Sellist kemikaalide „kokteili“ esineb põllumajandusmaadel asuvates veekogudes rohkem kui ühe kindla kemikaali reostust. Mitmesuguste pestitsiidide koosmõju veekogus vähendab kudu koorumise edukust. Põldudelt ära voolav vesi sisaldab mitmesuguseid pestitsiide ja väetisi ning vähendab märgatavalt kahepaiksete kudu koorumise edukust (De Solla et al., 2002), kulleste kehapiikkust ja suurendab väärengute esinemise riski ning suremust (García-Muñoz et al., 2019).

Hariliku kärnkonna (*Bufo bufo*) puhul on avastatud, et suurema kemikaalide sisaldusega tiikides on emasloomade kodus rohkem munarakke kui vähese saastega tiikides, kuna põllumajandusmaal on väiksem populatsioonitihedus ja rohkem vabasad ressursse, mistõttu kasvavad emasloomad suuremaks. Saasteaineterohkes veekogus on kulleled väiksemakasvulised, mis võib tuleneda sellest, et emasloomad panustavad rohkem munarakku ümbritsevas limamassi, mis kaitseb kudu pestitsiidide eest. Samas on viljastatud munade arv väiksem kui vähema saastega tiikides ning vähenenud on ka kulleste ellujäämus (Adams et al., 2021).

#### 3.1.1.5. Pestitsiidid ja röövlus

Röövloomade poolt põhjustatud stress muudab kulleled vette sattunud põllukemikaalide suhtes tundlikumaks ning suurendab nende immuunpuudulikkust ja suremust. Üheks selliseks kemikaaliks on putukatõrjevahend imidaklopriid. Eriti tundlik on imidaklopriidi ja röövloomade koosmõju suhtes näiteks ritsikkonn (*Acris crepitans*) kelle puhul lisaks suurenenud suremusele vähenes ka kulleste kehamass (Ade et al., 2010). Pestitsiidide

mõju kahepaiksete arengule (väiksem kasv, hilisem suguküpsus ja vähendatud viljakus), suurendab nende kohasust röövloomadega toimetulemiseks. Fungitsiid fenpropimorfi sisaldus vees koos rööloomade olemasoluga vähendavad rohukonna (*Rana temporaria*) kulleste kehapiikkust, -massi ja arengukiirust. Kulleste arengu pikenemine mõne päeva võrra võib saada populatsioonile saatuslikuks, kuna veekogud kuivavad päikese käes kiiresti ja võivad enne kulleste moonet hävida (Teplitsky et al., 2005).

### 3.1.2. Väetised

Intensiivses põllumajanduses kasutatakse kunstväetisi, et rikastada kultuurtaimede kasvatamiseks kasutatavat mulda lisatoitainetega. Väetiste sattumine veekogudesse võib suurendada kulleste väärarengute tekke võimalust (Egea-Serrano et al., 2012) ning põhjustada nende surma (Baker et al., 2013). Põllumajandusmaadel asuvates veekogudes on leitud kõrgeid lämmastiku, fosfori, kloriidide, fluoriidide ja ammooniumi kontsentratsioone. Väetised muudavad keskkonda ka happelisemaks, mistõttu on põllumaade lähedal asuvates veekogudes vee pH keskmisest madalam (De Solla et al., 2002).

Lämmastiku sattumisel põllult veekogudesse mõjutab see negatiivselt varases arengustaadiumis kahepaiksete kehakaalu, toitumist ja liikumist ning mõne liigi puhul on väetiste mõju isegi tugevam kui pestitsiidide reostus. Siiski leidub liike kellele lämmastiku kõrgem kontsentratsioon veekogus otsest mõju ei avalda (Koumaris & Fahrig, 2016; Rouse et al., 1999). On leitud, et perekonna *Pelophylax* liikidel põhjustab uuread sisaldav väetis pikaajaliselt, isegi madala kontsentratsiooni korral, kasvu- ja moonumishäireid, tekitab väärarenguid ja suurendab suremust, kuid sellist mõju ei täheldata lühiajalisel kokkupuutel, seda isegi kõrge urea kontsentratsiooni korral (Borumand-Fumany et al., 2023).

### 3.1.3 Eutrofeerumine

Pestitsiidide ja väetiste ärakanne põllumaalt võib põhjustada otseselt või kaudselt veekogude eutrofeerumist. Kunstväetised, näiteks lämmastik, fosfor ja ammoonium muudavad veekogu tavalisest toitainerikkamaks ja hapnikuvaesemaks (Boyer & Grue, 1995) ning herbivoorsed loomaliigid ei suuda veetaimede kasvu enam ohjata. Putukatõrjevahendite sattumine veekokku võib põhjustada sealsete veeselgrootute

populatsioonide arvukuse langust, mistõttu veetaimede osakaal hakkab tõusma, viies jällegi veekogu eutrofeerumiseni (Woin, 1998).

Eutrofeerunud veekogu soodustab mitmesuguste parasiitide ja patogeenide arengut. Parasiit *Ribeiroia ondatrae* nakkub kahepaiksetele nii otseselt kullese staadiumis kui ka täiskasvanuna, mõningate teoliikide kaudu. Parasiitidega nakatumine vähendab kahepaiksete ellujäämist ja suurendab vääraengute esinemise riski (Johnson et al., 2007).

## 3.2. Negatiivsed mõjutegurid maismaal

Suure osa aastast veedavad kahepaiksed maismaaelupaikades ringi liikudes ja sigimisveekogude vahel rännates. Liigilistest kohastumustest lähtuvalt asustavad kahepaiksed erinevaid metsakooslusi, põllu-, rohu- ja karjamaid, nõmmesid või liivaalasiid. Kahepaiksete liikumisraadius on liigiti väga erinev, piirdudes vaid mõnekümne meetriga tähnikesilikel (*Lissotriton vulgaris*) (Müllner, 2001) kuni mitmete kilomeetriteni kõredel (*Epidalea calamita*) (Sinsch et al., 2012). Kahepaiksetele on oluline heterogeenne maastik ja mikroelupaikade olemasolu. Pikalt päikese käes viibides on nende vedelikukaotus õhukese naha tõttu suur ning veekaotuse tulemusel võib kahepaiksete kehakaal kõikuda ööpäeva jooksul kuni 10% (Youngquist & Boone, 2014). Varakevadel, kui esimesed kahepaiksed alustavad rännet, on intensiivselt majandatud põllumaad veel vähese või puuduva taimkattega, mistõttu on kahepaiksetel suurem tõenäosus päikese käes kuivada või langeda röövloomade saagiks. Seetõttu eelistavad paljud kahepaiksed niiskeid ja varjulisi või poolvarjulisi elupaiku ning rändekoridore (Youngquist & Boone, 2014).

Sigimispaikade ja talvitumiskohtade vahel rännates läbivad kahepaiksed sageli pikki vahemaid ning rände kestvus sõltub maastiku omadustest, takistuste rohkusest ja taimkattest. Põllumaa ületamine on kahepaiksetele väga energia- ja ajakulukas (Lenhardt et al., 2013). Sageli kasutatakse rändekoridoridena põldude äärseid kraave ja teepervi (Johansson et al., 2005) ent see võib rändeteekonda pikendada.

Intensiivse põllumajanduse laienemise suurim mõju kahepaiksetele on elupaikade vähenemine ning nende killustumine, eriti metsaliikide puhul. Allesjäänud metsatukkades, mida ümbritsevad ulatuslikud monokultuurid põllumaad (Boissinot et al., 2019), on kahepaiksete liigirikkus ja arvukus vähenenud (Cayuela et al., 2015). Pestitsiidide ja väetiste kasutamine mõjutab kahepaikseid nii otseselt, nende ülepritsimise



kaudu kui ka kaudselt, kokkupuutes saastunud mullaga. Pestitsiididega kokkupuutumisel suureneb kahepaiksete energiakulu, mistõttu pikeneb rännete kestvus. Pestitsiidid põhjustavad kahepaiksetele ka suuremat suremust (Lenhardt et al., 2013; Van Meter et al., 2015). Kahepaiksete liigilise mitmekesisuse säilimiseks maismaaelupaikades on seega olulised nii maastiku mitmekesisus kui ka keskkonna kvaliteet.

### 3.2.1. Maakasutuse muutus

Kahepaiksete liigirikkust ja arvukust mõjutavad nii põllukultuuri liik, selle katvus kui ka taimestiku heterogeensus. Laiaulatuslikud monokultuursed põllumaad vähendavad oluliselt liigilist mitmekesisust, vähem intensiivsed maakasutusviisid nagu agrometsandus võivad aga liigilist mitmekesisust kohati suurendada, kuna on mitmekesisema taimkattega ja pakuvad rohkem mikroelupaiku (Bäncilä et al., 2023). Kuna metsaelupaikades jõuab vähem päikesevalgust maapinnale, on sealne keskkond madalama temperatuuri ja kõrgema niiskusega, mis on sobivaks elupaigaks mitmetele kahepaikseliikidele ja vähendab rändele kuluvat energiat. Suurte põllumassiivide ületamine on kahepaiksetel edukam öösiti, kuna temperatuur püsib siis madalal, samas võib tekkida risk, et põllumassiivi ei jõuta enne päikesetõusu ületada ega varju leida, mis suurendab liigse vedelikukaotuse tõttu hukkumise tõenäosust (Youngquist & Boone, 2014).

Liikidel nagu kollakõht-unk (*Bombina variegata*), kelle elupaigaks on peamiselt metsakeskkond, võib metsa ümbritseva põllumaa osakaalu suurenemine põhjustada arvukuse langust (Cayuela et al., 2015). Samas liikidel nagu ritsikkonn (*Acris crepitans*), kes eelistavad elupaigana rohu- ja põllumaid, võib suurte metsaistanduste rajamine mõjutada arvukust negatiivselt kuna populatsioonidevaheline ühendus katkeb ning populatsioonid võivad isolatsiooni jääda. Seega mõjuvad suured kultuurmaastikud, nii põllumaad aga ka majandatavad metsamaad, kahepaiksete arvukusele negatiivselt, kuna killustavad nende elupaiku, millega võib kaasneda muuhulgas populatsioonide geneetilise varieeruvuse vähenemine (Ade et al., 2010).

Inimtegevuse mõju maastiku ümberkujundamisel sõltub elupaiga ökoloogilistest parameetritest. (Johansson et al., 2005). Enimlevinud intensiivse põllumajanduse praktika on maastiku kuivendamine, mida tehakse põldude rajamiseks. Kuivendamise käigus alaneb maapinna põhjaveetase ja vesi juhitakse kraavide kaudu veekogudesse (Stoate et

al., 2001). Maaparandusega kaasnev väikeveekogude võrgustiku hõrenemine ja ajutiste veekogude maastikust kadumine võivad põhjustada kahepaiksete populatsioonide isoleeritust ning tuua kaasa liikide geneetilise mitmekesisuse vähenemise (Johansson et al., 2005).

Intensiivse põllumajandustegevusega kaasneb ka rasketehnika ehk suurte põlluharimismasinatate sage kasutamine, mis häirib nii rändel olevaid kui ka põldu elupaigana kasutavaid kahepaikseid (Boutin & Jobin, 1998). Viinamarjaistandustes tehtud uuring (Leeb, Brühl, et al., 2020) näitas, et istandusi välditakse elupaigana enam, kui seda juhusliku elupaigamustri järgi võiks eeldada. Harilik kärnkonn kasutab viinamarjaistandusi vaid ajutise elupaigana, mille üheks põhjuseks on asjaolu, et istandustes esineb sageli rasketehnika põhjustatud häiringuid, näiteks traktoriga pritsimist ja kündmist (Leeb, Brühl, et al., 2020). Kahepaiksete liigirikkust vähendab ka teedevõrgustiku tihenemine põllumajanduspiirkondades, kusjuures multši ja mullaga kaetud teede puhul see mõju ei avaldu (Boissinot et al., 2019; Cayuela et al., 2015).

### 3.2.2. Pestitsiidid ja väetised

Rännedeperioodil puutuvad paljud kahepaiksed kokku mitmete erinevate pestitsiidide ja väetistega, kuna rändeteed lähevad sageli üle põldude ja rändeaeg kattub suures osas põldude kemikaalidega pritsimisega. Eri liiki kahepaiksetest, kes intensiivselt majandatud põllumaid ületavad, puutub kuni 80% vähemalt korra rände jooksul kokku põldudele kantavate pestitsiididega (Lenhardt et al., 2015). On näidatud, et ühe populatsiooni siseselt võib üle 20% isenditest igapäevaselt pestitsiididega kokku puutuda (Leeb, Brühl, et al., 2020). Hilisema kevadrändega liikidel on suurem tõenäosus puutuda kokku pestitsiididega kui varakevadise rändega liikidel (Lenhardt et al., 2015).

Põllumajanduskemikaalide kasutamise intensiivsus sõltub suuresti kasvatatavast kultuurist. Osad põllukultuurid, näiteks teraviljad, vajavad kõrgemaks saagikuseks suuremaid pestitsiidide ja väetiste koguseid (Boutin & Jobin, 1998). Ometi jõuab väga väike osa põldudele pritsitud pestitsiididest vastava haiguse või kahjuriga nakatunud taimedele – vähem kui 0,1%. Ülejäänud jääb püsima tervetel taimedel, imbub mulda või uhutakse põllult minema (Pimentel, 1995). Kahepaiksed, kes põllutaimede alla varjuvad, satuvad pestitsiidide pritsimisel kemikaalidega otsesesse kontakti, mida juhtub eriti õhtuste pritsimiste ajal, kui kahepaiksed on aktiivsemad. Enamasti kantakse varakevadest

hilissuveni pestitsiidide ja väetisi põldudele korduvalt ja lühikese aja tagant, seega on kahepaiksetel suur risk korduvaks kokkupuuteks erinevate põllukemikaalidega (Leeb, Brühl, et al., 2020).

### 3.2.2.1. Otsene mõju

Kõige suuremat kahju põllumajanduskemikaalidest saavad kahepaiksed otsese kontakti tagajärjel, mis toimub intensiivselt majandatud põllumaadel näiteks põldude pritsimisel erinevate pestitsiidide ja väetistega. Mitmete kahepaikseliikide kõrget suremust otsese ülepritsimise teel põhjustab näiteks glüfosaadipõhine herbitsiid Roundup (Relyea, 2005). Mõningad laialt kasutusel olevad pestitsiidid põhjustavad otsesel ülepritsimisel mitmetele kahepaikseliikidele kuni 100%-list suremust isegi juhul kui järgitakse soovitatud koguseid. Näiteks rohukonna ülepritsimisel pestitsiididega Headline (püraklostrobiin) ja Captan Omya (kaptan) on suremus 100% (Brühl et al., 2013). Headline'iga on üle 60%-list suremust täheldatud ka kärnkonnaliigil *Bufo cognatus* (Belden et al., 2010). Teiste pestitsiidide puhul, nagu fungitsiid Prosper (spiroksamiin), putukatõrjevahend Roxion (dimetoaat), herbitsiidid Dicomil (fenoksaprop-P-etüül) ja Curol B (bromoksüniiloktanoaat), esineb rohukonna suremus vahemikus 40-60% (Brühl et al., 2013). Väetiseks kasutatav ammooniumnitraat on otsesel kontaktil juba väheses koguses kahepaiksetele toksiline, kuid mullale sattudes lahustub see kiiresti ning mõjutab kahepaikseid vähem (Oldham et al., 1997).

Otsene ülepritsimine ei pruugi alati lõppeda isendi surmaga, kuid õhukese ja erinevaid aineid läbilaskva naha tõttu kogunevad kemikaalid kahepaiksete organismi ning talletuvad seal. Kahepaiksete organismi talletuvad pestitsiidid on näiteks imidaklopriid, atrasiin, triadimefon, fipronil, pendimetaaliin. Otsesel ülepritsimisel avaldub organismi talletumine tugevamalt kui kemikaaliga kaetud mullaga kokkupuutel (Van Meter et al., 2015). Kahepaiksete organismi akumulunud pestitsiidid suurendavad energiakulusid rände, mistõttu ei suuda isendid enam pikki rändeid ette võtta ning ligipääsetavate maismaaelupaikade hulk väheneb. Mõningad populatsioonid võivad seetõttu jääda isolatsiooni, mis on tõenäoline eriti vesilike puhul (Lenhardt et al., 2013).

### 3.2.2.2. Kaudne mõju

Kahepaiksed eelistavad elupaigavalikul saastumata mullaga alasid ning intensiivse põllumajandusega põllud pole üldjuhul kvaliteetseks elupaigaks (Leeb, Brühl, et al.,

2020; Leeb, Kolbenschlag, et al., 2020). Mulla saastatust pestitsiididega tajuvad kahepaiksed näiteks lõhna, tekstuuri või metaboolse reaktsiooni kaudu, mis käivitab eesmärgipärase vältimiskäitumise. Sellist vältimiskäitumist on täheldatud hariliku kärnkonna juveniilidel kokkupuutes pestitsiididega nagu Folpan (folpet), Vivando (metrafenoon), Taifun (glüfosaat), Wetable Sulphur Stulln (väävel) (Leeb, Kolbenschlag, et al., 2020). Pestitsiididega kokkupuude kahepaiksetel võib tuleneda ka põldudelt püütud saastunud toidu söömisest (Ockleford et al., 2018). Pestitsiidide tuulega kandumine põldudelt ümberkaudsetele aladele vähendab samuti sealset kahepaiksete liigirikkust ja populatsioonide arvukust (Davidson et al., 2002). Läbi intensiivselt kasutatava põllumaa sigimis- ja talvitumispaiakadesse rännates puutuvad kahepaiksed kokku mitmete põllukemikaalidega ning seda enamasti korduvalt. Ühekordne pestitsiidiga kokkupuude ei pruugi kahepaiksete jaoks lõppeda surmaga, kuid pidev kokkupuude võib tekitada tõsist kahju kahepaiksete tervisele ja mõjutada populatsioonide elujõulisust (Van Meter et al., 2015).

## 4. ARUTELU

Inimpopulatsiooni kasvamine on viinud põllumajanduse intensiivistumiseni ja põllumajandusmaade laienemiseni, millega kahepaiksed ega ka teised elusorganismid pole jõudnud või pole võimelised kohastuma. Intensiivse põllumajanduse praktikad – ulatuslikud monokultuursed põllumaad, suurtes kogustes pestitsiidide ja väetiste kasutamine, maaparandus – mõjutavad kahepaikseid liigiti erinevalt (Koumaris & Fahrig, 2016). Põllumajanduse intensiivsus võib olla eri piirkondades ja eri laiuskraadidel erineva tugevusega ning võib teatud tingimustes liigirikkust isegi suurendada (Johansson et al., 2005). Tavaliselt kaasneb intensiivse põllumajanduse praktikatega siiski enamikule kahepaiksetele negatiivne mõju, seda nii kahepaiksete erinevates arengustaadiumites kui vee- kui maismaaelupaikades (Koumaris & Fahrig, 2016).

Varane areng on kõigile elusorganismidele väga kriitiline periood, mil ollakse eriti tundlikud paljude mõjutegurite suhtes. Kahepaiksete varane areng toimub veekeskkonnas ning seega on vee kvaliteet aga ka mitmed teised veekogu parameetrid nagu veekogu suurus, sügavus, päikesele avatus, toiduobjektide ja muu elustiku olemasolu neile määrava tähtsusega. Intensiivselt kasutatavate põllumajandusmaastike sees ja nende läheduses asuvate veekogude kvaliteet oleneb suurel määral põldudele kantavate pestitsiidide ja väetiste kogustest ja kasutuse sagedusest. Kalade kohta on koostatud põhjalikke veekvaliteedi kriteeriumeid, mille aluseks on erinevate inimtegurite mõju uuringud nende elupaigas, nagu pestitsiidid ja raskmetallid nende erinevates kontsentratsioonides (Alabaster & Lloyd, 2013). Siiani pole aga veekvaliteedi kriteeriume kahepaiksete elupaikade kaitseks koostatud (Boyer & Grue, 1995).

Uute pestitsiidide tootmisel tehakse riskinäidustused kemikaali mõju kohta inimesele ja mõnele suuremale loomarühmale, näiteks lindudele ja imetajatele, kuid kahepaiksetele selliseid riskianalüüse ei tehta. Samuti ei uurita, kuidas mõjutab kemikaali sattumine põllumaa või seda ümbritsevate ökosüsteemide elustikku tervikuna (Brühl et al., 2013). Mitmed pestitsiidid on inimesele nahka ärritava mõjuga ning tekitavad allergilist reaktsiooni (Leeb, Brühl, et al., 2020), mistõttu võiks eeldada, et õhukese ja keemilisi aineid läbilaskva nahaga kahepaiksetele võib ka lühiajaline kokkupuude selliste kemikaalidega olla ohtlik ning pideva organismi akumulatsiooniga tagajärjel ka elumust vähendav. Pestitsiidide negatiivset mõju kahepaiksetele on näidanud ka mitmed uuringud (Brühl et al., 2013; Van Meter et al., 2015; Wagner & Lötters, 2013).

Keskkonnakvaliteedi hindamisel võib kahepaikseid pidada headeks bioindikaatoriteks ning neid saab kasutada katusliikidena, kuna nad on väga tundlikud keskkonnamuutuste ning saastatuse suhtes.

Intensiivse põllumajandusega kaasnevatest mõjuteguritest kahepaiksetele leidub kõige enam uuringuid just pestitsiidide mõju kohta. Enamasti mõõdetakse pestitsiidide mürgisust nende aktiivaine järgi (näiteks glüfosaat) ning nende mõju kahepaiksete käitumisele ja füsioloogiale vajab rohkem uurimist, kuna tegu on komplekssete keemiliste ainetega ning mõjuvad liikidele erinevalt. Kahjulikku mõju võivad tekitada kahepaiksetele ka toodetesse lisatud muud lisatud komponendid (Van Meter et al., 2015).

Pestitsiidid mõjutavad kahepaikseid veekeskkonnas nii üksikult (kindlad tooted või aktiivained) kui ka erinevate ainete koosmõjus. Põllumaadel kasutatakse eri kultuuride ja eri patogeenide jaoks spetsiifilisi pestitsiide ning seepärast satub vihma- ja põhjavee kaudu veekogudesse mitmeid põllukemikaale korraga (De Solla et al., 2002). Ka väike kogus kemikaali vees võib mõjutada sealse elustiku ellujäämist ja kohasust (Teplitsky et al., 2005). Mitmed pestitsiidid ja raskmetallid tekitavad kahepaiksetele varastes arengustaadiumites väärarenguid, DNA kahjustusi, ebanormaalselt liikumismustrit, põhjustavad väiksemat kasvu, viljatust ja suuremat suremust (Adams et al., 2021; Baker et al., 2013; Wagner & Lötters, 2013). Glüfosaat on maailmas üks enim levinud pestitsiid, kuid selle peamise metaboliidi AMPA kohta on tehtud vähe uuringuid, mis puudutab kahepaiksetele avalduvat mõju (Wagner & Lötters, 2013). Siiski on teada, et AMPA suurendab kudu ja kulleste väärarengute teket ja suremust (Cheron & Brischoux, 2020). Raskmetallide mõjust kahepaiksetele vajab samuti rohkem uuringuid (Egea-Serrano et al., 2012).

Pestitsiidide mõju võib avalduda kahepaiksete ka biotiliste ja abiotiliste keskkonnategurite kaudu. Rõõvloomade olemasolu põhjustab kullestel lisastressi, mis võib vähendada nende immuunsust ning pestitsiidid võivad avaldada tugevamat mõju (Ade et al., 2010). Madal temperatuur veekogus võib aga muuta pestitsiidid kahepaiksete jaoks toksilisemaks (Leeb et al., 2022).

Kunstväetiste sattumine veekogudesse võib samuti sealsetele kahepaiksetele negatiivselt mõjuda. Kullestel võivad tekkida kasvu-, moondumis-, toitumis- ja liikumishäired, nende kehakaal väheneb ning suremus suureneb (Borumand-Fumany et al., 2023; Koumaris & Fahrig, 2016). Väetised annavad veekogusse lisatoitaineid, mille tagajärjel tekib

eutrofeerumine ning selle tõttu suureneb ka haiguste ja parasiitidega nakatumine (Johnson et al., 2007).

Vähe on uuritud meetodeid, millega hinnata reostustaset väikeveekogudes, kuigi neis esineb sageli mitmeid kaitsealuseid kahepaikseliike. Paljuski olenevad veekogudes tehtud veeanalüüside tulemused veeproovide kogumise ajast ja meetodist, mistõttu ei pruugi tulemused alati täpsed olla (Lorenz *et al.*, 2017).

Maismaaelupaikades ohustavad intensiivpõllumajanduse praktikad kahepaikseid mitmel viisil. Enamikele kahepaikseliikidele pole intensiivpõllumaad sobivaks elupaigaks mistõttu ohustab neid põllumaade edasisel laienemisel elupaikade hävimine, nende kvaliteedi langus ning killustumine. Osad populatsioonid võivad seetõttu sattuda isolatsiooni ning nende geneetiline mitmekesisus väheneb (Johansson et al., 2005; Youngquist & Boone, 2014).

Põllumaastike ületamine ei ole kahepaiksete jaoks kerge kuna maastik on raskesti läbitav ja päevasel ajal on oht suureks vedelikukaotuseks. Intensiivpõllumajanduses kasutatavad praktikad nagu kuivendamine ja rasketehnika kasutamine ei soodusta samuti kahepaiksete rännet. Kuivendamise tõttu võib põllumaal ja ümberkaudsetel aldel veekogusid vähemaks jääda mistõttu kahepaiksete rändeteekond pikeneb (De Solla et al., 2002; Stoate et al., 2001). Rasketehnika põhjustatud müra ja põllumaal sõitmine muudab kahepaiksed aktiivseks päeval, kui on kasulikum hoida energiat kokku ja olla päikese eest varjulises kohas (Leeb, Brühl, et al., 2020).

Intensiivselt majandatud põllumaal liikumine on kahepaiksetele ohtlik ka pestitsiidide ja väetiste sagedase ja suurtes kogustes kasutamise tõttu. Enamus kahepaikseid ei eelista intensiivpõllumaad elupaigana, kuid rändel peavad nad sageli seda maastikku ületama ning puutuvad ühel või teisel moel kokku pestitsiidide ja väetistega (Lenhardt et al., 2015). Põldudele pritsitud kemikaalidega otseses kontaktis olles on kahepaiksete suremus väga kõrge, isegi kui järgitakse tootja poolt soovitatud koguseid (Belden et al., 2010).

Erinevad põllukemikaalid akumulieruvad pideval kokkupuutel kahepaiksete kudedesse ning suurendavad kahepaiksete energiakulusid, mistõttu väheneb võimekus pikkade rännete tegemiseks (Van Meter et al., 2015). Pestitsiididega kaetud mullaga kontaktis olemine vähendab kahepaiksete ellujäämist ning pritsimisel levivad pestitsiidid tuulega

kõrvalolevatesse ökosüsteemidesse või kaugemalegi (Davidson et al., 2002; Leeb, Kolbensschlag, et al., 2020).

Põllukemikaalide mõju hindamisel kahepaiksetele nii vee- kui ka maismaaelupaikades tuleks arvesse võtta, et laboris tehtud katsete tulemused ei pruugi täielikult looduses kehtida, mitmete lisafaktorite ja mõjutajate tõttu (Egea-Serrano et al., 2012). Seepärast on kõige täpsema tulemuse saamiseks vajalik laboris tehtud katseid ja keskkonnast võetud proovidega võrrelda ning seda erinevate kahepaikseliikidega. Päevasel ajal tehtud uuringud võivad aga alahinnata kahepaiksete tegelikku kokkupuudete ulatust pestitsiididega, kuna öösiti on kahepaiksed aktiivsemad ja liiguvad rohkem kui päeval (Leeb, Brühl, et al., 2020).

Võrdlemisi noore teadusharuna on ökotoksikoloogia töömeetodid alles varases arengujärgus, mistõttu on intensiivse põllumajanduse mõjude ja kahepaiksete elukvaliteedi omavahelist seost sageli raske tõestada (Mann *et al.* 2009). Paljudes katsetes on uuritud erinevate põllukemikaalide mõju kahepaiksetele eraldi, ent see ei seleta probleemi kogupilti, kuna looduses satuvad veekogudesse mitmed kemikaalid koos. Nende omavahelist koosmõju ja ka teiste faktorite võimalikke mõjusid on keeruline uurida, kuna põllumaadel võivad aastate lõikes erinevad kultuurid kasvada ning sellest tulenevalt kasutatakse ka erinevaid pestitsiide. Lisaks on kemikaalide kasutamine põllumaal hooajaline tegevus, kus oma osa on ka kliimal, mistõttu on ülevaatlikku põhjustagajärg ahelat pea võimatu koostada. Lisaks on mitmetes piirkondades ka baasandmed pestitsiidide kasutamise kohta puudulikud (Leeb, Brühl, et al., 2020). Kahepaiksete kohta pole koostatud pestitsiidide riskianalüüsi kriteeriumeid kuna selleks on vaja tervikandmeid otsesest pestitsiidide mõjust mitmele erinevale kahepaikseliigile konkreetses piirkonnas (Lenhardt et al., 2015). Samuti pole kahepaiksetega arvestatud pestitsiidide põhjustatud keskkonnariskide hindamisel Euroopas (Ockleford et al., 2018).

Vähem on uuritud pestitsiididega mitte seoses olevaid mõjutegureid kahepaiksetele. Intensiivse põllumajanduse kohta on välja toodud teadmiste lüngad näiteks kuivenduse ja künnisügavuse mõjudest kahepaiksetele. Samuti jätavad pehme maastiku korral suured põllumasinad endast maha sügavad rattarööpad, kuhu koguneb vesi. Kahepaiksed võivad kasutada neid veekogusid sigimispaiadena, kuid enamasti kuivavad need ennem, kui kulleled jõuavad moonde läbida.



Kahepaiksete liigirikkuse ja arvukuse tõstmiseks peab põllumaastike majandamises tegema mitmeid olulisi muudatusi. Kahepaiksete liigirikkust aitab tõsta mitmekesisem kultuuride kasvatus, loodusliku taimestikuga maalappide jätmine põldude keskele ja põlluservadesse, samuti kündmata puhverribade säilitamine veekogude ümber (Leeb, Brühl, et al., 2020; Youngquist & Boone, 2014). Selleks, et hiiglaslikke põllumaastikke oleks kergem ületada saab istutada hekiribasid, säilitada kündmata ja pritsimata põlluservi ning jätta põllu sisse rohesaari, mida kahepaiksed saavad kasutada rändekoridoridena. On teada, et hekid ja rohesaared tõstavad üldist liigirikkust põllumaadel kuid nende täpsemat mõju kahepaiksetele pole seni uuritud (Boissinot et al., 2019).

# KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on olemasoleva kirjanduse põhjal anda ülevaade olulisematest intensiivse põllumajandusega kaasnevatest negatiivsetest mõjudest kahepaiksetele põhja-parasvöötmes. Töös kirjeldatakse intensiivpõllumajanduse mõjusid erinevas arengujärgus kahepaiksetele nii veekeskkonnas kui maismaal. Töös arutletakse ka selle üle, missuguseid mõjutegureid on uuritud ja milliseid mitte ning milliste võimalike kahepaikseid mõjutavate tegurite kohta oleks vajalik lisauuringuid teha.

Intensiivne põllumajandus on maailmas enim kasutuselolev põllumajandusliku tootmise viis, kus kõrge saagikuse saamiseks kasutatakse mitmeid tehnoloogilisi ja sünteetilisi aineid sisaldavaid sisendeid. Põldude rajamiseks kasutatakse sageli kuivendamist ning domineerivaks on monokultuurid ja suurepindalised põllumassiivid. Tootlikkuse suurendamiseks ning haiguste ja parasiitide tõrjumiseks kasutatakse põldudel hulgaliselt erinevaid väetisi ja pestitsiidide ning suurepindalaliste põldude majandamiseks on vaja kasutada ka rasketehnikat.

Kahepaiksete jaoks kaasneb intensiivpõllumajanduse laienemisega sageli elupaikade hävimine, nende kvaliteedi langus, pindala vähenemine ja killustumine ning seda nii maismaa- kui vee-elupaikade puhul. Intensiivse põllumajandusega põldudel ning nende ümbruses on vähenenud kahepaiksete liigiline mitmekesisus ja arvukus.

Vee-elupaikades ohustavad kahepaikseid kõige enam sinna põhja-, vihmavee või erosiooniga sattunud pestitsiidid ja väetised. Kõige enam on kasutusel glüfosaadi põhised taimekaitsevahendid ja mitmed kunstväetised. Lisaks ohustavad kahepaikseid erinevate põllumajanduskemikaalide koosmõjud ning pestitsiidide ja keskkonnategurite (biotiliste ja abiotiliste) koosmõjud. Väetiste sattumine veekogusse võib lisaks otsesele mõjule kahepaiksetele põhjustada ka veekogu eutrofeerumist, mis soodustab haiguste ja parasiitide levikut.

Ka maismaaelupaikades on elupaiga kvaliteet kahepaiksetele oluline. Kõige enam mõjutab kahepaikseid maakasutuse muutus (loodusmaastike muutmine põllumaaks), mille käigus vähenevad ja killustuvad kahepaiksete elupaigad ning langeb nende kvaliteet. Intensiivselt kasutatavatel põllumaadel vähendab kahepaiksete liigirikkust kuivendamine, laiulatuslikud monokultuurid põllumaad ning rasketehnika kasutamine.

Lisaks vähendab kahepaiksete arvukust oluliselt pestitsiidide ja väetiste kasutamine, seda nii otsesel ülepritsimisel kui saastunud mullaga kokkupuutes või muul kaudsel moel.

Kõige rohkem on intensiivse põllumajanduse mõjudest kahepaiksetele uuritud pestitsiidide ja väetiste mõju, ent kuna tegu on pidevalt muutuvate ja komplekssete keemiliste ainetega, vajavad pestitsiidide tekitatud mõjud edasist uurimist. Teiste mõjutegurite (maaparandus, monokultuurid, rasketehnika) kohta leidis uuringuid oluliselt vähem ning mõningate potentsiaalsete mõjutegurite kohta on vaid üksikuid uuringuid või puuduvad need üldse.

## SUMMARY

This bachelor's thesis aims to provide an overview of the negative impacts of intensive agriculture on amphibians in the northern temperate zone based on existing literature. The thesis describes the effects of intensive agriculture on amphibians at different stages of development, both in aquatic and terrestrial environments. It also discusses which impact factors have been studied and which have not and which potential factors affecting amphibians require further research.

Intensive agriculture is the most widely used agricultural production method in the world, where various technological and synthetic inputs are used to achieve high yields. Drainage is often used to establish fields, and large-scale monocultural farms are dominant in the fields. To increase productivity and combat diseases and parasites, a wide variety of fertilizers and pesticides are used, and heavy machinery is necessary to manage large fields.

For amphibians, the expansion of intensive agriculture often leads to habitat destruction, reduction in habitat area and quality, and fragmentation of both terrestrial and aquatic habitats. The species diversity and abundance of amphibians have decreased in and around intensively farmed fields.

In aquatic habitats, amphibians are most threatened by pesticides and fertilizers that enter these environments through runoff, rainwater, or erosion. Glyphosate-based herbicides and various synthetic fertilizers are the most commonly used. Additionally, amphibians are threatened by the combined effects of different agricultural chemicals and the interactions between pesticides and environmental factors (biotic and abiotic). The entry of fertilizers into water bodies can not only directly affect amphibians but also cause eutrophication, which promotes the spread of diseases and parasites.

In terrestrial habitats, habitat quality is crucial for amphibians. Land use changes (converting natural landscapes into farmland) are the most impactful, leading to reduced and fragmented habitats and decreased habitat quality. On intensively used farmland, amphibian species richness is reduced by drainage systems, extensive monocultural fields, and the use of heavy machinery. Furthermore, the use of pesticides and fertilizers

significantly reduces amphibian abundance, both through direct spraying and through indirect means such as contact with contaminated soil.

The effects of pesticides and fertilizers are the most studied impacts of intensive agriculture on amphibians. However, because these are constantly evolving and complex chemical substances, their impacts require further research. There are significantly fewer studies on other impact factors (land development, monocultures, heavy machinery), and for some potential impact factors, there are only a few studies or none at all.

Lisa 1. Ülevaade uuringutest intensiivpõllumajanduse mõjude kohta kahepaiksetele

Mõjutegur	Liik/elustiku rühm	Uuringu läbiviimise tingimused	Uuringu läbiviimise koht	Arengujärk	Allikas
<b>Pestitsiidid</b>					
Imidaklopriid	<i>Acris crepitans</i> , <i>R. clamitans</i>	labor, välibasseinid	USA Ohio	kullesed	Ade et. al (2010)
organofosfaat, karbamiidid, kloropüridinüül, fosfonoglütsiin, atrasiin	kahepaiksed	meta-analüüs	USA	kullesed	Baker et al. (2013)
Fungitsiidid Headline, Stratego, Quilt	<i>B. cognatus</i>	labor	USA, Oklahoma	kullesed, juveniilid	Belden et al. (2010)
pestitsiidide koosmõju,	<i>R. aurora</i> , <i>Ambystoma gracile</i>	veekogusse paigaldatud puurid	Kanada	kudu, kullesed	De Solla et al. (2002)
pestitsiidid	<i>Anaxyrus americanus</i> , <i>Hyla versicolor</i> , <i>Lithobates catesbeianus</i> , <i>L. clamitans</i> , <i>L. pipiens</i> , <i>L. sylvaticus</i> , <i>Pseudacris crucifer</i> , <i>P. triseriata</i>	meta-analüüs, mudel	Kanada	kõik elustaadiumid	Koumaris & Fahrig (2016)
pestitsiidide kandumine tuulega	<i>A. californiense</i> , <i>Spea hammondii</i> , <i>B. californicus</i> , <i>B. canorus</i> , <i>Rana aurora draytonii</i> , <i>R. cascadae</i> , <i>R. boylei</i> , <i>R. muscosa</i>	metaanalüüs, spatial analysis	USA, California	kõik elustaadiumid	Davidson et al. (2002)

Mõjutegur	Liik/elustikurühm	Tingimused	Koht	Arengujärk	Allikas
Fungitsiid (fenpropimorf)	<i>R. temporaria</i>	labor	Soome	kullesed	Teplitsky et al (2005)
Headline (püraklostrobiin), Captan Omya (kaptan), Prosper (spiroksamiin), putukatõrje Roxion (dimetooat), herbitsiidid Dicomil (fenoksaprop-P-etüül), Curol B (bromoksüniiloktanoaat), BAS 500 18 F (püraklostrobiin)	<i>R. temporaria</i>	labor	Šveits	juveniilid	Brühl et al. (2013)
rändealade ja ligipääsetavate maismaaelupaikade vähenemine pestitsiidide mõjul	<i>B. bufo</i> , <i>Pseudepidalea viridis</i> , <i>R. dalmatina</i> , <i>R. temporaria</i> , <i>Ichthyosaura alpestris</i> , <i>Lissotriton helveticus</i> , <i>L. vulgaris</i>	udel	Saksamaa	täiskasvanud	Lenhardt et al. (2013)
pestitsiidide koosmõju, Atrasiin	<i>B. bufo</i>	keskkond	Saksamaa	kullesed	Adams et al. (2021)
glüfosaat ja aminometüülfosfonis hape	<i>B. spinosus</i>	labor	Prantsusmaa	kullesed	Cheron & Brischoux (2020)
metüülelavhõhe	<i>Rana spp.</i> , <i>P. maculata</i> , <i>A. boreas</i> , <i>Notophthalmus viridescens</i> , <i>Taricha torosa</i> , <i>Eurycea bislineata</i> , <i>Necturus maculosus</i> , <i>N. beyeri</i>	labor	terve USA	kullesed, täiskasvanud	Tornabene et al. (2023)

Mõjutegur	Liik/elustikurühm	Tingimused	Koht	Arengujärk	Allikas
glüfosaadipõhine herbitsiid Roundup	<i>R. pipiens</i> , <i>B. americanus</i> , <i>H. versicolor</i>	välibasseinid	USA Pennsylvania	kullesed ja täiskasvanud	Relyea (2005)
fungitsiid Flopet	<i>R. temporaria</i> , <i>Bufo</i> <i>viridis</i>	labor	Saksamaa	kullesed	Leeb et al. (2022)
rände kattumine pestitsiidide pritsimisega	<i>B. bufo</i>	keskkond	Saksamaa	täiskasvanud	Leeb, Brühl et al. (2020)
põllumajandusmaa veekogude setted	<i>B. bufo</i>	välibasseinid	Hispaania	kullesed	García-Muñoz et al. (2019)
pestitsiidide imendumine läbi kahepaiksete naha. Akiivsed komponendid: imidaklopriid, atrasiin, triadimefon, fiproniil, pendimetalin	<i>H. gratiosa</i> , <i>H. cinerea</i>	labor	New York, USA	juveniilid	Van Meter et al. (2015)
põldude pestitsiidide ja väetistega pritsimise ajaline kattumine kahepaiksete rändega	<i>Bombina bombina</i> , <i>R. arvalis</i> , <i>Pelobates fuscus</i> , <i>Triturus cristatus</i>	keskkond	Saksamaa	täiskasvanud	Lenhardt et al. (2015)
Folpan, Vivando, Taifun, Wetable Sulphur Stulln rändeaja kattumine pestitsiidide pritsimisega	<i>B. bufo</i>	välikatse	Saksamaa	juveniilid	Leeb, Kolbenschlag et al. (2020)
pestitsiidid, raskmetallid	kahepaiksed	metaanalüüs	Hispaania	kullesed	Egea-Serrano et al. (2012)
vasksulfaat, ökoväetised	<i>Epidalea calamita</i>	labor	Hispaania	kudu, kullesed	García-Muñoz et al. (2009)
glüfosaat ja sellel põhinevad pestitsiidid ja väetised	kahepaiksed	ülevaate-artikkel	Saksamaa	kõik elustaadiumid	Wagner & Lötters (2013)



Mõjutegur	Liik/elustikurühm	Tingimused	Koht	Arengujärk	Allikas
Väetised					
Lämmastikust ja fosforist tulenev veekogu eutrofeerumine	Põhja-Ameerika kahepaiksed	välibasseinid	USA Wisconsin	kudu, kulleled	Johnson et al (2007)
Lämmastikväetised	<i>Pseudacris triseriata</i> , <i>R. pipiens</i> , <i>R. clamitans</i>	labor	Kanada	kulleled, täiskasvanud	Rouse et al (1999)
uurea	<i>Pelophylax sp</i>	labor	Saksamaa	kudu, kulleled, metamorfoos	Borumand-Fumany et al. (2023)
väetised: lämmastiku ja fosforiühendid	kahepaiksed	metaanalüüs	Hispaania	kulleled	Egea-Serrano et al. (2012)
lämmastik, fosfor, kloriid, fluoriid, ammoonium, eutrofeerumine liigse sõnniku tõttu, keskkonna hapestumine	<i>R. aurora</i> , <i>Ambystoma gracile</i>	veekogusse paigaldatud puurid	Kanada	kudu, kulleled	De Solla et al. (2002)
lämmastik	<i>Anaxyrus americanus</i> , <i>H. versicolor</i> , <i>Lithobates catesbeianus</i> , <i>L. clamitans</i> , <i>L. pipiens</i> , <i>L. sylvaticus</i> , <i>P. crucifer</i> , <i>P. triseriata</i>	meta-analüüs, mudel	Kanada	kõik elustaadiumid	Koumaris & Fahrig (2016)
ammooniumnitraat	<i>R. temporaria</i>	labor, keskkond	Suur-Britannia	täiskasvanud	Oldham et al. (1997)
lämmastik, fosfor ja ammoonium, veekogu eutrofeerumine	kahepaiksed	Ülevaate-artikkel	USA, Washington	kudu, kulleled	Boyer & Grue (1995)
lämmastikupõhised väetised	kahepaiksed	meta-analüüs	USA	kulleled	Baker et al. (2013)

Mõjutegur	Liik/elustikurühm	Tingimused	Koht	Arengujärk	Allikas
Muud põllumajandusega seotud tegurid					
maakasutuse muutus	<i>R. temporaria</i>	keskkonnas ja laboris	Rootsi	kudu	Johansson et al. (2005)
suur põllumaa pindala, taimestiku vähene heterogeensus	kahepaiksed ja roomajad	metaanalüüs	Rumeenia	kõik elustaadiumid	Băncilă et al. (2023)
maa kasutuse muutus (muutmine põllumaaks, linnastumine, kattega teede rajamine)	<i>yellow-bellied toad</i>	tehiskeskond	Prantsusmaa	täiskasvanud	Youngquist & Boone (2014)
rasketehnika põhjustatud häiringud	<i>B. bufo</i>	keskkond	Saksamaa	täiskasvanud	Leeb, Brühl et al. (2020)
elupaikade killustumine, monokultuursed põllumaad, teedevõrgustiku laienemine	<i>B. variegata</i>	andmeanalüüs, mudel	Prantsusmaa	kudu, kulleled, täiskasvanud	Cayuela et al. (2015)
elupaikade killustumine, monokultuursed põllumaad, põllumaade laienemine, teedevõrgustiku laienemine	Kahepaiksed (15 liiki)	keskkond, mudel	Prantsusmaa	täiskasvanud	Boissinot et al. (2019)
põllumaade laienemine	<i>A. americanus</i> , <i>Hyla versicolor</i> , <i>L. catesbeianus</i> , <i>L. clamitans</i> , <i>L. pipiens</i> , <i>L. sylvaticus</i> , <i>P. crucifer</i> , <i>P. triseriata</i>	metaanalüüs, mudel	Kanada	kõik elustaadiumid	Koumaris & Fahrig (2016)

## Tänuõnad

Soovin eriliselt tänada oma juhendajat Riinu Rannapit, kes pakkus mulle alati tuge, motiveeris, jagas häid nõuandeid ja tagasisidet töö kirjutamisel ning aitas keeleteoimendamisel. Suur tänu ka Iti Miinale, kelle poole sain pöörduda nii rõõmu- kui raskushetkedel ning kes andis head nõu ja abistas teksti toimetamisega. Tänan ka oma lähedasi, kes olid igal hetkel mulle toeks ning kelle seltsis sujus töö kirjutamine hästi.

## Kasutatud kirjandus

Adams, E., Leeb, C., Brühl, C. A. (2021). Pesticide exposure affects reproductive capacity of common toads (*Bufo bufo*) in a viticultural landscape. *Ecotoxicology*, 30:2, 213–223, doi: 10.1007/s10646-020-02335-9

Ade, C. M., Boone, M. D., Puglis, H. J. (2010). Effects of an Insecticide and Potential Predators on Green Frogs and Northern Cricket Frogs. *Journal of Herpetology*, 44:4, 591–600, doi: 10.1670/09-140.1

Alabaster, J. S., & Lloyd, R. S. (2013). *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. No.3117. Elsevier.

Almond, R.E.A., Grooten, M., Juffe Bignoli, D. & Petersen, T. (2022). Living Planet Report 2022 – Building a naturepositive society. WWF, Gland, Switzerland. isbn: 978-2-88085-316-7

Baker, N. J., Bancroft, B. A., Garcia, T. S. (2013). A meta-analysis of the effects of pesticides and fertilizers on survival and growth of amphibians. *Science of The Total Environment*, 449, 150–156, doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.056

Băncilă, R. I., Lattuada, M., Sillero, N. (2023). Distribution of amphibians and reptiles in agricultural landscape across Europe. *Landscape Ecology*, 38:3, 861–874, doi: 10.1007/s10980-022-01583-w

Belden, J., McMurry, S., Smith, L., Reilley, P. (2010). Acute toxicity of fungicide formulations to amphibians at environmentally relevant concentrations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29:11, 2477–2480, doi: 10.1002/etc.297

Boissinot, A., Besnard, A., Lourdais, O. (2019). Amphibian diversity in farmlands: Combined influences of breeding-site and landscape attributes in western France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 269, 51–61, doi: 10.1016/j.agee.2018.09.016

Borumand-Fumany, B., Vaissi, S., Javanbakht, H., Haghghi, Z. M. S. (2023). Marsh frog response to urea fertilizer during the embryonic, larval, and metamorphosis stages: A new perspective into urea toxicity on amphibians. *Environmental Science and Pollution Research*, 30:40, 92581–92593, doi: 10.1007/s11356-023-28859-1

- Boutin, C., & Jobin, B. (1998). Intensity of Agricultural Practices and Effects on Adjacent Habitats. *Ecological Applications*, 8:2, 544–557, doi: 10.1890/1051-0761(1998)008[0544:IOAPAE]2.0.CO;2
- Boyer, R., & Grue, C. E. (1995). The need for water quality criteria for frogs. *Environmental Health Perspectives*, 103:4, 352-357
- Brühl, C. A., Schmidt, T., Pieper, S., Alscher, A. (2013). Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline? *Scientific Reports*, 3:1, 1135, doi: 10.1038/srep01135
- Cayuuela, H., Lambrey, J., Vacher, J., Miaud, C. (2015). Highlighting the effects of land-use change on a threatened amphibian in a human-dominated landscape. *Population Ecology*, 57:2, 433–443, doi: 10.1007/s10144-015-0483-4
- Chandra, P., Fagodiya, R. K., Rai, A. K., Sheoran, P., Prajapat, K., Singh, A., Verma, K., Verma, V. K., Yadav, R. K., Biswas, A. K. (2024). Different Tillage and Residue Management Practices Affect Soil Biological Activities and Microbial Culturable Diversity in Rice-Wheat Cropping System Under Reclaimed Sodic Soils. *Journal of Ecological Engineering*, 25:5, 193–207, doi: 10.12911/22998993/183555
- Cheron, M., & Brischoux, F. (2020). Aminomethylphosphonic acid alters amphibian embryonic development at environmental concentrations. *Environmental Research*, 190, 109944, doi: 10.1016/j.envres.2020.109944
- Davidson, C., Shaffer, H. B., Jennings, M. R. (2002). Spatial Tests of the Pesticide Drift, Habitat Destruction, UV-B, and Climate-Change Hypotheses for California Amphibian Declines. *Conservation Biology*, 16:6, 1588–1601, doi: 10.1046/j.1523-1739.2002.01030.x
- De Solla, S. R., Pettit, K. E., Bishop, C. A., Cheng, K. M., Elliott, J. E. (2002). Effects of agricultural runoff on native amphibians in the Lower Fraser River Valley, British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21:2, 353–360, doi: 10.1002/etc.5620210218

Egea-Serrano, A., Relyea, R. A., Tejedó, M., Torralva, M. (2012). Understanding of the impact of chemicals on amphibians: A meta-analytic review. *Ecology and Evolution*, 2:7, 1382–1397, doi: 10.1002/ece3.249

Emanuelli, M. S., & Jonsén, J. (2009). *Red sugar, green deserts: Latin American report on monocultures and violations of the human rights to adequate food and housing, to water, to land and to territory* (S. Monsalve Suárez, Toim., J. Grahl & R. Rodríguez, Tölk) (1. ed). FIAN International/FIAN Sweden.

García-Muñoz, E., Gilbert, J. D., Parra, G., Guerrero, F. (2010). Wetlands classification for amphibian conservation in Mediterranean landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 19:3, 901–911, doi: 10.1007/s10531-009-9747-7

García-Muñoz, E., Guerrero, F., Arechaga, G., Parra, G. (2019). Does wetland watershed land use influence amphibian larval development? A relevant effect of agriculture on biota. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37:1, 160–168, doi: 10.1007/s00343-019-7378-8

García-Muñoz, E., Guerrero, F., Parra, G. (2009). Effects of Copper Sulfate on Growth, Development, and Escape Behavior in *Epidalea calamita* Embryos and Larvae. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56:3, 557–565, doi: 10.1007/s00244-008-9201-y

Hopkins, W. A. (2007). Amphibians as Models for Studying Environmental Change. *ILAR Journal*, 48:3, 270–277, doi: 10.1093/ilar.48.3.270

Ickowitz, A., Powell, B., Rowland, D., Jones, A., Sunderland, T. (2019). Agricultural intensification, dietary diversity, and markets in the global food security narrative. *Global Food Security*, 20, 9–16, doi: 10.1016/j.gfs.2018.11.002

Jeliazkov, A., Chiron, F., Garnier, J., Besnard, A., Silvestre, M., Jiguet, F. (2014). Level-dependence of the relationships between amphibian biodiversity and environment in pond systems within an intensive agricultural landscape. *Hydrobiologia*, 723:1, 7–23, doi: 10.1007/s10750-013-1503-z

Johansson, M., Primmer, C. R., Sahlsten, J., Merilä, J. (2005). The influence of landscape structure on occurrence, abundance and genetic diversity of the common frog, *Rana*

*temporaria*. *Global Change Biology*, 11:10, 1664–1679, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.1005.x

Johnson, P. T. J., Chase, J. M., Dosch, K. L., Hartson, R. B., Gross, J. A., Larson, D. J., Sutherland, D. R., Carpenter, S. R. (2007). Aquatic eutrophication promotes pathogenic infection in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104:40, 15781–15786, doi: 10.1073/pnas.0707763104

Koumaris, A., & Fahrig, L. (2016). Different Anuran Species Show Different Relationships to Agricultural Intensity. *Wetlands*, 36:4, 731–744, doi: 10.1007/s13157-016-0781-4

Kreuger, J. (1998). Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990–1996. *Science of the Total Environment*, 216:3, 227–251, doi: 10.1016/S0048-9697(98)00155-7

Lamb, A., Balmford, A., Green, R. E., Phalan, B. (2016). To what extent could edge effects and habitat fragmentation diminish the potential benefits of land sparing? *Biological Conservation*, 195, 264–271.

Leeb, C., Brühl, C., Theissinger, K. (2020). Potential pesticide exposure during the post-breeding migration of the common toad (*Bufo bufo*) in a vineyard dominated landscape. *Science of The Total Environment*, 706, 134430, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134430

Leeb, C., Kolbensschlag, S., Laubscher, A., Adams, E., Brühl, C. A., Theissinger, K. (2020). Avoidance behavior of juvenile common toads (*Bufo bufo*) in response to surface contamination by different pesticides. *PLOS ONE*, 15:11, e0242720, doi: 10.1371/journal.pone.0242720

Leeb, C., Schuler, L., Brühl, C. A., Theissinger, K. (2022). Low temperatures lead to higher toxicity of the fungicide folpet to larval stages of *Rana temporaria* and *Bufo viridis*. *PLOS ONE*, 17:8, e0258631, doi: 10.1371/journal.pone.0258631

Lenhardt, P. P., Brühl, C. A., Berger, G. (2015). Temporal coincidence of amphibian migration and pesticide applications on arable fields in spring. *Basic and Applied Ecology*, 16:1, 54–63, doi: 10.1016/j.baae.2014.10.005

Lenhardt, P. P., Schäfer, R. B., Theissinger, K., Brühl, C. A. (2013). An expert-based landscape permeability model for assessing the impact of agricultural management on amphibian migration. *Basic and Applied Ecology*, 14:5, 442–451, doi: 10.1016/j.baae.2013.05.004

Lorenz, S., Rasmussen, J.J., Süß, A. (2017). Specifics and challenges of assessing exposure and effects of pesticides in small water bodies. *Hydrobiologia* 793, 213–224, doi: 10.1007/s10750-016-2973-6

Luedtke, J. A., Chanson, J., Neam, K., Hobin, L., Maciel, A. O., Catenazzi, A., Borzée, A., Hamidy, A., Aowphol, A., Jean, A., Sosa-Bartuano, Á., Fong G., A., de Silva, A., Fouquet, A., Angulo, A., Kidov, A. A., Muñoz Saravia, A., Diesmos, A. C., Tominaga, A., ... Stuart, S. N. (2023). Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*, 622:7982, 308–314, doi: 10.1038/s41586-023-06578-4

Mann, M. R., Hyne, R. V.; Choung, C. B., Wilson, S. P. (2009). Amphibians and agricultural chemicals: Review of the risks in a complex environment, *Environmental Pollution*, 157:11, 2903 - 2927, doi: 10.1016/j.envpol.2009.05.015

Müllner, A. (2001) Spatial patterns of migrating great crested newts and smooth newts: The importance of the terrestrial habitat surrounding the breeding pond. *RANA*, 4: 279–293

Ockleford, C., Adriaanse, P., Berny, P., Brock, T., Duquesne, S., Grilli, S., Hernandez-Jerez, A. F., Bennekou, S. H., Klein, M., Kuhl, T., Laskowski, R., Machera, K., Pelkonen, O., Pieper, S., Stemmer, M., Sundh, I., Teodorovic, I., Tiktak, A., Topping, C. J., ... Smith, R. H. (2018). Scientific Opinion on the state of the science on pesticide risk assessment for amphibians and reptiles. *EFSA Journal*, 16:2, e05125, doi: 10.2903/j.efsa.2018.5125

Oldham, R. S., Latham, D. M., Hilton-Brown, D., Towns, M., Cooke, A. S., Burn, A. (1997). The effect of ammonium nitrate fertiliser on frog (*Rana temporaria*) survival. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 61:1, 69–74, doi: 10.1016/S0167-8809(96)01095-X

O'Rourke, E., & Finn, J. A. (2020). *Farming for nature: The role of results-based payments*. Teagasc and National Parks and Wildlife Service (NPWS), isbn: 978-1-84170-663-4



- Ottesen, R. T., Birke, M., Finne, T. E., Gosar, M., Locutura, J., Reimann, C., Tarvainen, T. (2013). Mercury in European agricultural and grazing land soils. *Applied Geochemistry*, 33, 1–12, doi: 10.1016/j.apgeochem.2012.12.013
- Pimentel, D. (1995). Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 8:1, 17–29, doi: 10.1007/BF02286399
- Reidsma, P., Tekelenburg, T., Van Den Berg, M., Alkemade, R. (2006). Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114:1, 86–102, doi: 10.1016/j.agee.2005.11.026
- Relyea, R. A. (2005). THE LETHAL IMPACT OF ROUNDUP ON AQUATIC AND TERRESTRIAL AMPHIBIANS. *Ecological Applications*, 15:4, 1118–1124, doi: 10.1890/04-1291
- Rouse, J. D., Bishop, C. A., Struger, J. (1999). Nitrogen Pollution: An Assessment of Its Threat to Amphibian Survival. *Environmental Health Perspectives*, 107:10, doi: 10.1289/ehp.99107799
- Sinsch, U., Oromi, N., Miaud, C., Denton, J. & Sanuy, D. (2012). Connectivity of local amphibian populations : modelling the migratory capacity of radio-tracked natterjack toads. *Animal Conservation*, 15:388–396, doi: 10.1111/j.1469-1795.2012.00527.x
- Stoate, C., Báldi, A., Beja, P., Boatman, N. D., Herzon, I., Van Doorn, A., De Snoo, G. R., Rakosy, L., Ramwell, C. (2009). Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. *Journal of Environmental Management*, 91:1, 22–46, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.07.005
- Stoate, C., Boatman, N. D., Borralho, R. J., Carvalho, C. R., Snoo, G. R. de, Eden, P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management*, 63:4, 337–365, doi: 10.1006/jema.2001.0473
- Tamm, L., Thuerig, B., Apostolov, S., Blogg, H., Borgo, E., Corneo, P. E., Fittje, S., de Palma, M., Donko, A., Experton, C., Alcázar Marín, É., Morell Pérez, Á., Pertot, I., Rasmussen, A., Steinshamn, H., Vetemaa, A., Willer, H., & Herforth-Rahmé, J. (2022).

Use of Copper-Based Fungicides in Organic Agriculture in Twelve European Countries. *Agronomy*, 12:3, Article 3, doi: 10.3390/agronomy12030673

Teplitsky, C., Piha, H., Laurila, A., Merilä, J. (2005). Common Pesticide Increases Costs of Antipredator Defenses in *Rana temporaria* Tadpoles. *Environmental Science & Technology*, 39:16, 6079–6085, doi: 10.1021/es050127u

Tornabene, B. J., Hossack, B. R., Halstead, B. J., Eagles-Smith, C. A., Adams, M. J., Backlin, A. R., Brand, A. B., Emery, C. S., Fisher, R. N., Fleming, J., Glorioso, B. M., Grear, D. A., Grant, E. H. C., Kleeman, P. M., Miller, D. A. W., Muths, E., Pearl, C. A., Rowe, J. C., Rumrill, C. T., ... Smalling, K. L. (2023). Broad-Scale Assessment of Methylmercury in Adult Amphibians. *Environmental Science & Technology*, 57:45, 17511–17521, doi: 10.1021/acs.est.3c05549

Van Meter, R. J., Glinski, D. A., Henderson, W. M., Garrison, A. W., Cyterski, M., Purucker, S. T. (2015). Pesticide Uptake Across the Amphibian Dermis Through Soil and Overspray Exposures. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69:4, 545–556, doi: 10.1007/s00244-015-0183-2

Wagner, N., & Lötters, S. (2013). *Expert opinion on the possible correlation of the worldwide amphibian decline and the increasing use of glyphosate in the agrarian industry*. BfN Bundesamt für Naturschutz.

Woin, P. (1998). Short- and Long-Term Effects of the Pyrethroid Insecticide Fenvalerate on an Invertebrate Pond Community. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41:2, 137–146, doi: 10.1006/eesa.1998.1694

Blaustein, A. R. (1994). Chicken Little or Nero's Fiddle? A Perspective on Declining Amphibian Populations. *Herpetologica*, 50:1, 85–97. <http://www.jstor.org/stable/3892877>.  
Vaadatud: 23.05.2024

Youngquist, M. B., & Boone, M. D. (2014). Movement of amphibians through agricultural landscapes: The role of habitat on edge permeability. *Biological Conservation*, 175, 148–155, doi: 10.1016/j.biocon.2014.04.028

## **Internetiallikad**

Internet 1. Loodusveeb. Põllumajandus ja elurikkus. Põllumajanduse mõjud elurikkusele. <https://loodusveeb.ee/et/themes/pollumajandus-ja-elurikkus/pollumajanduse-mojud-elurikkusele>. Vaadatud: 21.05-2024

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Eliise Raudmets,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose “Intensiivse põllumajandusega kaasnevad negatiivsed mõjud kahepaiksetele”, mille juhendaja on Riinu Rannap, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Eliise Raudmets

**23.05.2024**