

A B C

MULLA

IV osa

Mullaelustik



Kuidas rühmitada?

Mullaelustiku mitmekesisus moodustub liigilise, geneetilise ja funktsionaalse mitmekesisuse koosmõjul. Paljud liigid võivad olla ühesuguse funktsiooniga, kuid mõned neist võivad mõjuda koos, et täita ülesandeid, mida ei suuda ükski liik eraldi. Mullaorganismide tohutu mitmekesisuse käsitlemise hõlbustamiseks on kasutusel mitu erinevat viisi nende rühmitamiseks.

• Enim kasutatakse mullaorganismide keha suurusel põhinevat klassifikatsiooni.

Kõige väiksemad organismid keha läbimõõduga alla 0,2 mm jagatakse **mikroflooraks** ja **mikrofaunaks**; koos moodustavad nad mulla **mikrobioomi**.

Mulla **mikrofloora** moodustavad bakterid, arhed, seened, vetikad ja viirused. Nad lagundavad orgaanilist ainet, mineraliseerivad ja transpordivad toitaineid ning mõjutavad mulla struktuursust, tootes ühendeid, mis moodustavad ja seovad mullaosakesi. Nende aktiivne elutegevus mõjutab kõiki teisi organisme, samal ajal sõltuvad nad ise keskkonnateguritest: niiskusest, hapniku kättesaadavusest, mullastruktuurist jm. Mulla mikrofloora on eriti arvukas laguneva orgaanilise aine, samuti taimejuurte vahetus läheduses.

Mikrofauna rühma kuuluvad selgrootud loomad, kes on mõnede tunnuste poolest omavahel sarnased nii ökoloogiliselt kui ka talitluslikult. Neil on väikesed (kuni 0,2 mm) ühe- või mitmerakulised kehad, nad elavad mullavees, keha on kaetud kaitsva kutiikulaga (epidermirakkude välispinna tugevam kate). Kõik need liigid on kohastunud üle elama äärmuslikke tingimusi. Külmutades ja kuivades kaotavad nende kehad niiskust kuni 85% ning soodsa perioodi saabudes taastavad rakkude niiskusesisalduse mõne tunniga.

Oma elutegevusega reguleerivad nad mikrofloora arvukust ja aktiivsust, samuti mõjutavad mulla struktuursust ja toitai-

nete ringlemist. Aktiivselt liikuvad mikrofauna organismid on oluliseks lüliks mulla toitumisvõrgustikus: nad tükeldavad ja peenestavad orgaanilist ainet, mis muutub seeläbi mikrofloorale paremini kättesaadavaks.

Tuntuimad mikrofauna rühmad on algloomad, nematoodid, keriloomad ja loimurid.

Mesofauna hulka kuuluvate selgrootute loomade keskmine suurus on 0,2–2 mm ja nad elavad õhuga täidetud mullapoorides. Mesofauna organismid osalevad toitumisvõrgustikes kõigil troofilistel tasemetel. Nad tükeldavad taime- ja loomajäänuseid, eritavad väljaheitetombukesi, tekitavad mullas poore ning mõjutavad oma tegevusega otseselt mullaprotsesside kulgemist. Mesofauna oluline roll on reguleerida seente ja bakterite arvukust ja aktiivsust ning seega ka toitaineringeid.

Mesofaunasse kuuluvatel organismidel on tähtis koht lagunemisprotsessides. Nad avaldavad kas positiivset või negatiivset mõju taimede ja seente kasvule, mulla-seente suktessioonile ja levikule olenevalt liigist, mullatingimustest ja -protsessidest. Mida mitmekesisem ja aktiivsem on mulla mesofauna, seda kiiremini ja intensiivsemalt moodustuvad orgaanilistest jääkidest huumusained.

Mesofauna hulka kuuluvad valge-liimuklased, lestad ja hooghännalised.

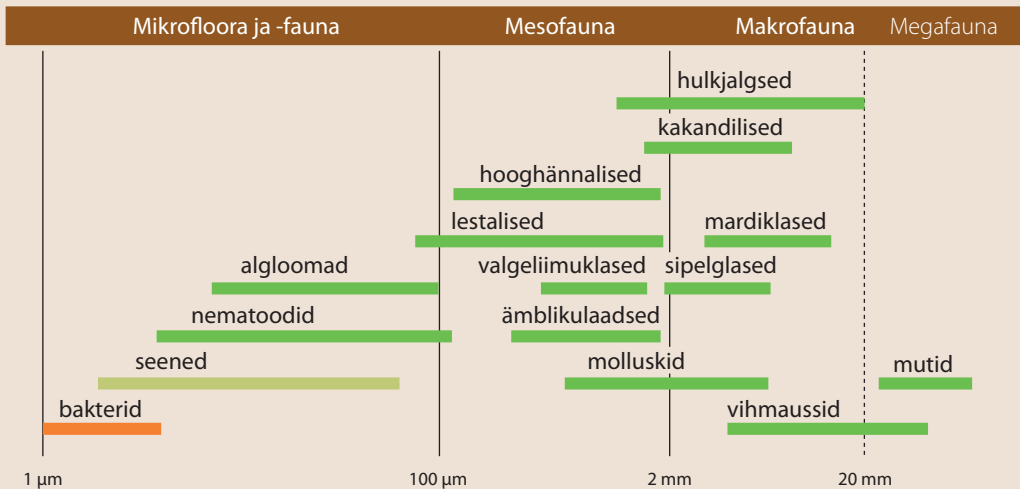
Makrofauna moodustavad mullas elavad selgrootud loomad kehasuurusega üle 2 mm. Isekeskis rühmitatakse neid pigem kogumismeetodite, mitte niivõrd kehasuuruse järgi. Osa neist on mullas ajutiselt, teised elavad kogu aeg mullas.

Makrofauna rühma loomad kuuluvad enamikku toitumisvõrgustikesse, reguleerides oma tegevusega mesofauna aktiivsust ja arvukust. Nende tähtsus mullaprotsesside jaoks seisneb orgaanilise aine tükeldamises ja töötlemises, mulla rikastamises väljahaidetega, mikroobikoosluse aktiivsuse stimuleerimises, mullaosakeste segamises ja pooride tekitamises. Makrofaunasse

kuuluvate selgrootute loomade tohtu mõju tõttu mulla struktuurile ja paljude mullaorganismide elupaigale nimetatakse neid **ökosüsteemi insenerideks**.

Osa makrofauna organisme on kõdutoidulised: nad söövad lehti, rohtu ja metsavarist ning mõjutavad sellega tugevalt lagunemisprotsesside ja aineringete kiirust. Suur osa makrofauna organisme on kiskjad, kes jahivad aktiivselt teisi organisme. Samal ajal on nad ise toiduks paljudele selgroogsetele loomadele.

Mõned autorid käsitavad eraldi rühmana vihmausse (keha suurus üle 20 mm) ja nimetavad seda rühma **megafaunaks**.



☛ Mõnel juhul on otstarbekas rühmitada organisme talitluse järgi olenevalt nende rollist ökosüsteemis. Tuleb meeles pidada, et mullaorganismide funktsioon ökosüsteemis võib muutuda sedamööda, kuidas vahetuvad nende elustaadiumid. Talitluse põhjal võib üks liik kuuluda ka mitmesse funktsionaalsesse rühma.

Risofääri organismid Mõjutavad oma tegevusega taime talitlust otseselt, nii positiivselt kui negatiivselt. Bakterid, seemned (sh mükoriisa), nematoodid, herbivoorsed putukad jt selgrootud

Lagundajad Lagundavad taime- ja loomajäänuseid mullas ja varises. Mulla mikroobikooslus, selgrootud lagundajad, selgrootud ja selgroogsed kiskjad

Ökosüsteemi insenerid Mõjutavad teiste organismide elupaiku – kaevavad, uuristavad urge, segavad, moodustavad agregate. Vihmaussid, putukavastsed, selgroogsed

Kes elavad mullas?

Mulla mikrofloora

BAKTERID (Bacteria) on üherakulised eltuumsed organismid, kelle elupaik on seotud mullaveega. Nad on väikseimad ja arvukaimad mullaorganismid, kes kasutavad väga erinevaid energiaallikaid ning kelle toitumisviisid on seetõttu varieeruvad. Nende hulgas on nii hetero- kui ka autotroofe, nii anaeroobe kui ka aeroobe. Bakterite tegevus on kogu maakera seisukohalt eluliselt tähtis: neil on võtmeroll aineringetes ja nad mineraliseerivad toitaineid. Paljud bakterid elavad saprobiontidena ja toituvad surnud orgaanilisest ainest. Nende talitluse aktiivsus sõltub mullas valitsevatest tingimustest (niiskus, hapniku kättesaadavus, reaktsioon). Taimejuured ja mullafauna tegevus suurendavad bakterite aktiivsust lagundamisprotsessis. Seetõttu leidub neid rohkem rikkalikuma orgaanilise aine sisaldusega ülemistes mullakihtides, taimejuurte piirkonnas.

Baktereid klassifitseeritakse mitmesuguste tunnuste põhjal, nagu näiteks raku ehitus, ainevahetus ja raku koostises sisalduvad ühendid (DNA, rasvhapped, pigmendid, antigeenid,okinoonid jt), samuti kasutatakse bakterite koloonia parameetreid, nagu koloonia morfoloogia, kasvukiirus, söötmed. Tänapäeva mikrobioloogias kasutatakse klassifitseerimisel valdavalt DNA ehk geenijärjestuste võrdlemist, mõningate ühendite (guaniin, tsütosiin) sisaldust bakteritüvedes ja teisi molekulaarseid meetodeid. Bakterite mitmekesisus on hiigelsuur ning uute meetodite lisandudes kirjeldatakse üha uusi bakterite rühmi, perekondi ja liike.

Kiirikbakterid ehk **aktinomütseedid** on bakterid, kes eluviisilt sarnanevad seentega. Mullas elutsevad kiirikbakterid moodustavad mütseelisarnaseid agregaatide. Nad lagundavad surnud orgaanilist ainet, sealhulgas ühendeid, mida teised organismid ei suuda lagundada, näiteks tselluloosi ja ligniini. See on mitmekesine hõimkond, millesse kuulub nii maismaal kui ka vees elavaid organisme.

ARHED (Archaea) sarnanevad bakteritega ja koosnevad samuti ühest prokarüootsest rakust. Nende ainevahetusel ja mõnedel geenidel on sarnaseid tunnuseid ka eukarüootsete organismidega, kuid kasutatavate energiaallikate poolest sarnanevad nad pigem bakteritega. Tõenäoliselt on tegemist evolutsioonis sõltumatult arenenud organismirühmaga bakterite ja eukarüootide kõrval.



Bakterid moodustavad libliköeliste taimede juurestikus sõlmelisi struktuure, mille abil nad seovad lämmastikku ja muudavad selle taimete kättesaadavaks

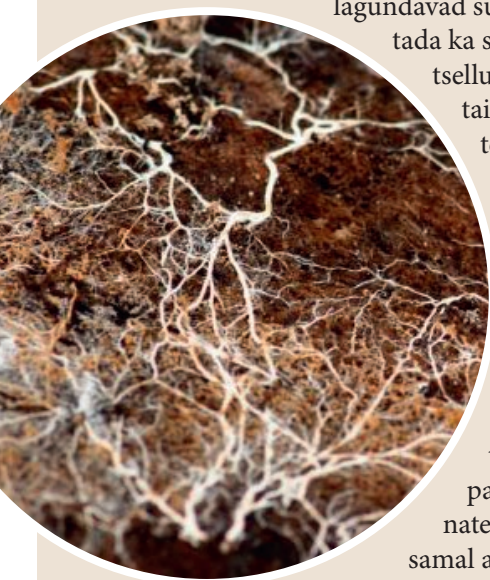
Foto: DPIRD

SEENED (Fungi) on mitmekesine rühm, kuhu kuuluvad nii üherakulised pärmseened, taimedega vastastikustes suhetes olevad mükoriisaseened kui ka silmaga nähtavad struktuurid, nagu hallitused.

Seened täidavad ökosüsteemis olulist rolli. Saprotroofsed seened lagundavad surnud orgaanilist ainet ning osa neist suudab lõhustada ka suhkruid, näiteks tärklisi ja puidukudedes leiduvat tselluloosi. Mükoriisaseened on sümbiootilistes suhetes taimedega, varustades taime mineraalsete toitainetega mullast. Seeneiidistik ja taimejuured koos moodustavad kompleksorgani – **mükoriisa**. Ligi 90% taimedest on seotud rakusisese arbuskulaarse mükoriisaga, mille moodustavad krohmseened, kelle hüüfid tungivad läbi juureraku seina. Rakuvälise mükoriisa ehk ektomükoriisa korral levivad hüüfid peremeestaime juurerakkude vahel ega tungi nende sisse.

Taimed saavad seente abil mullast paremini toitaineid kätte, muutuvad vastupidavamaks taimepatogeenide suhtes ning taluvad paremini keskkonnategurite kõikumist ja toksiinide mõju. Seen omandab samal ajal taimelt fotosünteesi käigus toodetud orgaanilist süsinikku, mida on vaja seeneniidistiku arendamiseks.

Terve hulk mullas elavaid seeni on **patogeenid** – taimehaiguste põhjustajad. Nad on vastupidavad äärmuslike ja muutuvate keskkonnatingimuste suhtes ning nende arvukus ja talitlus põllumullas sõltub eelkõige kasvatatavast kultuurist ja mullaharimisviisist.



Seeneiidistik
ehk mütseel

Foto: Mari Ivask

Mikrofauna

Mulla mikrofauna

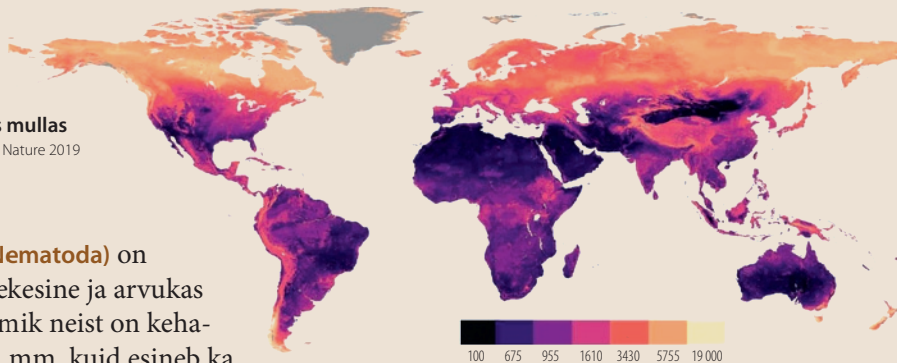
ALGLOOMAD (Protozoa) on üherakulised organismid, kellel puudub fotosünteesivõime. Nad on mikrofauna kõige väiksemad loomad, kes elavad mullaosakesi ümbritsevas veekiles. Algloomad toituvad bakteritest. Tuntuimad algloomad on amööbid, viburloomad ja ripsloomad.

RIPSKÕHTSETE (Gastrotricha) keha on kaetud kutiikulaga, kõhupoolel asuvad ripsmed on liikumiseks, toidu haaramiseks ja viljastumiseks. Ripsloomade toiduks on protistid, bakterid, lagunev orgaaniline aine. Põhiliselt elavad nad varises ja kõdus. Külumise ja kuivamise elavad maismaaliigid üle munadena või tsüstidena.



Nematoodide arv 100 grammis kuivas mullas

Allikas: J. van den Hoogen jt, Nature 2019



NEMATOODID (*Nematoda*) on

liigirikas, mitmekesine ja arvukas hõimkond. Enamik neist on kehasuurusega alla 1 mm, kuid esineb ka suuremaid liike. Neil on lihtne kehaehitus; keha koosneb väikesest arvust rakukihtidest ja on kaetud kaitsva õhukese kutiikulaga. Nad on hea kohanemisvõimega loomad, keda leidub kõikvõimalikes muldades ja väga mitmesuguste keskkonnatingimuste juures. Nad on olulised lagun-dajad. Vabalt elavad nematoodid jagatakse rühmadesse talitluse, seedeelundkonna ehituse ja toitumise põhjal. Nende toiduobjektid on väga varieeruvad ning toitumisviis võib organismi eluea jooksul muutuda. Nad imevad oma elupaigas orgaanilise aine osakesi, baktereid, vetikaid, tsüste, eoseid, selgrootute mune ja algloomi. Osa nematoodide suudab toidu hankimise eesmärgil läbi närida taimejuurte ja -kudede, vetikate, seente või väikeste selgrootute katteid.

KERILOOMAD (*Rotifera*) on valdavalt veeloomad ja vaid üksikud sugukonnad on kohastunud eluks maismaal, peamiselt mullas ja kõdus. Sobivates elutingimustes võivad nad väga arvukad olla. Mullas on nad aktiivsed variseosakeste veekiles. Keriloomade keha katavad tugevad epiteelirakud, arenenud on närvisüsteem ja meeled. Liikumiselundina toimib nende peaotsas asuv ripsmetest koosnev keriaparaat. Saagiks on neil algloomad, nematoodid ja väikeste selgrootute vastsed; liikuvad lõuad muudavad saagi haaratavaks või suupäraseks. Areng munast sigimisvõimelise täiskasvanuni kestab vaid mõne päeva, mistõttu nad on võimelised plahvatuslikult paljunema.



Keriloom
Philodina roseola
Foto: Antonio Guillén

LOIMURID (*Tardigrada*) asustavad maismaal mulla pindmisi kihte, puukoort, mereliiva ja -setteid. Nad on vastupidavad külma ja kuivamise suhtes. Arvukamad on nad seal, kus on palju toitu, eeskätt räni- ja rohevetikaid. Neil on neli paari jäsemelaadseid moodustisi, mida nad kasutavad liikumisel; küünised nende otstes on liigiomaste tunnustega. Lihaseline keha, tundlikud papillid peas, seljal ja jäsemetel ning kaks lihsat silma võimaldavad keerulist liikumist igas suunas. Osa loimurite liike on rööveluviisiga: suuava külgedel asuvate kihvadega lõhutakse taimede, sammalde, samblike, nematoodide, ümarloomade, loimurite ja teiste väikeste selgrootute elusaid rakke, et neid tühjaks imeda.



Täiskasvanud loimur (*Echiniscus granulatus*)

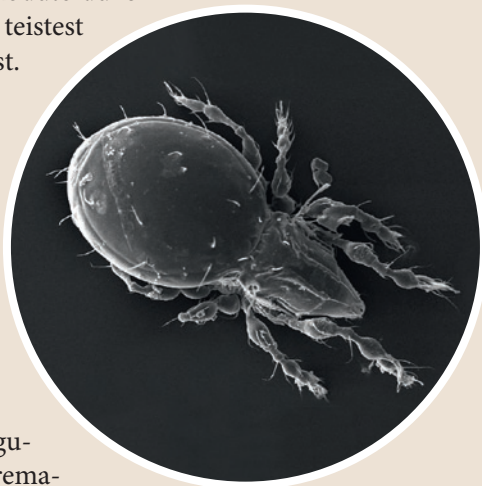
Foto: Aditya Sainiary, CC BY-SA 3.0

Mesofauna

Lestad (Acari) on väikesed ämblikulaadsed (kehapikkus enamasti 0,2–1 mm), kes asustavad mulda kõikides maailma regioonides ja elavad sageli ka äärmuslikes tingimustes. Parasvöötme põllumulla ülemises (10 cm) kihis on kirjan-duse andmeil ühel ruutmeetril mitu tuhat lesta, kes kuuluvad 50–100 liiki; neid leidub ka sügavamal mullas.

Toitumisviis on liigiti erinev. Lestad on toidu peenestajad, läbista-jad-imejad ja filtreerijad, nende hulgas on kõdutoidulisi ja nematofaage, samuti kiskjaid, kes toituvad teistest mikro- ja mesofaunasse kuuluvatest loomadest.

Kõige tavalisemad on mullas **SARVLESTAD**. Eriti arvukas ja mitmekesine on nende kooslus metsamullas, põllumajandustege-vus vähendab nende arvukust tunduvalt. Tavaliselt jagatakse nad toitumisviisi järgi rohu-, kõdu- ja seentoidulisteks. Sarvlestad ise on saagiks paljudele putukatele (mar-dikad, sipelgad), kahepaiksetele jt. Et tugev väliskelett kaitseb neid väikeste kiskjate eest (mardikad lühitiiblaste ja pihumardiklaste sugu-konnast, röövlestad), on nad toiduks just suurema-tele mullaselgrootutele, näiteks jooksiklastele. Sarvlestad mõjutavad orgaanilise varise lagunemist ja aineringeid sel teel, et söövad mikroobikooslust ja tükeldavad taimevarist. Sarvles-tade nagu ka teiste loomarühmade rolli neis protsessides saab siiski hinnata vaid kogu mullafauna tegevuse kontekstis.



Sarvlest
(*Conchogneta
traegardi*)

Foto: Kaarel Sammet,
Märt Rahi

Hooghännalised (Collembola) kuuluvad lüljalgsete hõimkonda ja moodustavad suure osa mulla mesofaunast. Varem peeti neid putukate alamklassiks (ürg- ehk tiivutud putukad), tänapäeval paigutatakse nad omaette loomarühmana kuuejalgsete alamhõimkonda. Hooghännalisi on leitud mullast üle kogu maakera, nad elavad nii varises, kõdus kui ka mullas ja on väga arvukad.

Kehaehituses on neil ühiseid jooni putukatega: keha koosneb peast koos tundlatega, rind-mikust ja tagakehast, neil on kolm paari jalgu ja paar tundlaid. Putukatest erinevad nad pehme keha, puuduvate tiibade, lihtsilmade (mõnel puuduvad) ja lõugade ehituse poolest. Suurendusega on näha kahte vaid hooghännalistele iseloomulikku organit: kõhutoru ja vedrutaolist liikumis-organit hüppeharki, mis aitab teha kiireid hüppeid, kui on vaja ohu eest põgeneda.



Hooghännaline *Isotoma* sp

Foto: Mari Ivask

Valgeliimuklased (Enchytraeidae) kuuluvad rõngusside hõimkonda. Teadmised nende ökoloogiast ja liigirikkusest on äärmiselt kasinad, ehkki tegemist on ühe arvukaima loomarühmaga põhjapoolkeral.

Valgeliimuklaste keha on jagunenud lülideks, see annab neile hea liikuvuse. Vaid väga suure suuredusega on nende kehal näha harjaseid. Nagu vihmausidki on nad **hermafrodiitsed** ehk mõlemasoolised.

Valgeliimuklased vajavad eluks niisket keskkonda ning seetõttu on aktiivsemad kevadel ja sügisel. Neid leidub sagedamini niisketes mahalangenud lehtedes ja mullas, kompostis ning muus kõdunevas taimses materjalis. Valgeliimuklased peenestavad varise ja nende seedetrakti läbides seguneb lagunev orgaaniline aine seedeensüümidega. See on suupärane materjal bakteritele ja seentele, kes selle kiiresti asustavad ja lõplikult mineraliseerivad. Et valgeliimuklased söövad selle protsessi käigus koos orgaanilise ainega ka mikroorganisme, avaldub siin nende roll mikroobse lagundajakoosluse reguleerijana. Nad on tundlikud elupaiga tingimuste suhtes, mistõttu nad on head niiskuse ja happesuse indikaatorid.

Valgeliimuklaste sugukond on liigirikas ja nende arvukus on suur. Eestis on põllumuldades mõõdetud kuni kolm tuhat isendit ruutmeetril, mujal tehtud uuringute järgi võib see arv olla veel kümme korda suurem. Praeguseks Eestist leitud liikide arv jääb selgelt alla tegelikult meil elavate liikide arvule nende vähesel uurituse tõttu.

Valgeliimuklane. Foto: Mari Ivask



Sadajalgne
Geophilus sp
Foto: Viio Aitsam



Makro- ja megafauna

Makrofauna moodustavad mullas ja mullapinnal elavad selgrootud, kelle keha läbimõõt on vähemalt 2 mm ja kes on enamasti vaadeldavad ka ilma suurenduseta. Enamik neist on varjatud eluviisiga: nad kaevuvad kivide ja puunottide alla, elavad pragudes ja lõhedes. Nad erinevad üksteisest toitumisviisilt ning on ise tähtsaks toiduobjektiks paljudele selgroogsetele. Mullas on olulised järgmised loomarühmad:

HULKJALGSED (Myriapoda) on lülidest koosneva ussilaadse kehaga selgrootud. Eestis elavate liikide pikkus varieerub mõnest millimeetrist mõne sentimeetriteni, pikimatel on see isegi kuni 4–5 cm. Peaaegu igal kehalülil on paar või kaks lülilisi jäsemeid. Eesti hulkjalgsed jaotatakse nelja klassi.

Harvjalgused (Pauropoda) ja **harusabased (Symphyla)** ühendavad loomi, kes keha suuruse järgi ei kuulu makrofaunasse ja on enamasti tundmatud. Hästi on tuntud suuremad hulkjalgsed: **sadajalgused (Chilopoda)** ja **tuhatjalgsed (Diplopoda)**.

Sadajalgsete keha koosneb paljudest lülidest. Eesti pikimad sadajalgused on siiski vaid kuni 5 cm pikkused. Igal kehalülil on üks paar jalgu. Sadajalgsetel on hästi eristunud pea, mis kannab pikki tundlaid, täppsilmi ja kahte paari alalõugu, mille ülesanne on saaki püüda. Sadajalgused on aktiivsed rõövloomad, kellel on mürgihambad saagi surmamiseks. Eesmine jalapaar on moondundan haardeelundiks – lõugjalga-deks, mille tipus on küünised.

Sadajalgused on varjatud eluviisiga loomad, kes peidavad end pinnases, puutükkide või kivide all, pragudes või metsakõdus. Hämaras tulevad nad välja jahti pidama, toitudes selgrootutest. On teada ka taimtoidulisi liike, kes toituvad taime juurtest ja taimede mahlakatest osadest. Meie sadajalgused kuuluvad välimuiselt ja eluviisilt erinevatesse seltsidesse – kivihargilised ja sadajalalised.

Tuhatjalgsed eelistavad elupaigana kohti, kus on võimalik varjuda ning kus on kõdunevat orgaanilist materjali. Nende keha koosneb lülidest, mis on kaetud tugeva kestaga. Kehalülid on kahekaupa kokku kasvanud ja seetõttu on iga lüli all kaks paari jalgu. Jalad on neil väga väikesed ja liikumisel tõmbuvad jalad lainetena eest tahapoole. Pea külgedel on täppsilmad, mis võivad aga ka puududa. Neil on üks paar tundlaid, suised pea alumisel küljel ja keerulise ehitusega tugevad lõuad. Ohu korral keerab tuhatjalgne ennast rõngasse, nii et pea ja jalad oleksid kaetud ja kaitstud. Paljudel liikidel on seljakilbid, mis kerra tõmbunud looma hästi kaitsevad. Kaitsefunktsioon on ka seljakilpide külgedel paiknevatel mürginäarmetel, mis eritavad terava lõhnaga vedelikku.

Tuhatjalgsed on taimtoidulised.

Ökosüsteemis on neil tähtis roll lagundajatena: nad tükeldavad, purustavad ja seedivad taimset varist ning osalevad sellega toitainete liikumises ja aine- ringes. Nad on saagiks suurematele loomadele, näiteks kahepaiksetele ja lindudele.



Kerra tõmbunud tuhatjalgne
Ommatoiulus sabulosus

Foto: Viio Aitsam



Harilik lehterämblik (*Agelena labyrinthica*). Foto: Mari Ivask

ÄMBLIKULAADSED ehk ARAHNIIDID (Arachnida)

Ämblikud (Araneae) on selgrootud loomad, kelle kehapikkus varieerub vähem kui 1 mm-st 2,5 cm-ni. Ämblike keha koosneb väliselt lülistumata paarindmikust ja tagakehast, neil on kaheksa jalga. Pehme tagakeha võimaldab neil vajaduse korral rohkesti varuaineid säilitada. Nad on kehavälise seedimisega karnivoorid, kes kasutavad saakloomade püüdmisel mitmesuguseid strateegiaid – varitsemine, jälitamine, võrgud jm. Neid leidub maakeral kõikjal peale polaaralade. Ämblikud asustavad maapealseid elupaiku, kuid osa neist elab varjatult taimevarises ja mõned väga väikesed liigid isegi mullas.

Kehasuuruse järgi võiks osa ämblikke olla paigutatud hoopis mesofauna hulka koos hooghännaliste ja lestadega. Ämblike arv varises on päris suur, kuni 100 isendit ruutmeetril, kuid sellegipoolest teatakse mullas ja varises elavatest ämblikest (peamiselt kangurlaste sugukonnast) palju vähem kui näiteks taimedel elavatest ämblikest.

Ämblikud püüavad saaki kas võrkude abil, seda varitsedes ja jälitades või hüppel tabades. Nad on mulla toiduahelate tippkiskjad ja seetõttu ökosüsteemis olulised hoolimata suhteliselt väikesest arvukusest võrreldes paljude teiste mullaloomadega.



Koibikuline
Opilio parietinus

Koibikulised (Opiliones) on suured ämblikulaadsed. Eriti pikad on nende jalad, mille abil nad liiguvad maapinnal, taimedel ja varisel. Ämblikest erinevad nad kehaehituse poolest: paarindmik ja tagakeha on neil laialt ühendatud. Nad on valdavalt karnivoorid, kes on aktiivsed päeva-valguses, samuti päikesetõusu ja -loojangu ajal.

PUTUKAD (Insecta)

Paljud tiivulised putukad osalevad mulla toitumisvõrgustikes. Nende seos muldkeskkonnaga võib olla ajutine või pidev:

- Osa neist on mulla püsiasiukad, s.t kõik arengustaadiumid toimuvad mullas või mulla peal.
- Osa liikide noorvormid on mullaloomad, kuid täiskasvanud elavad taimedel ja kuuluvad maapealsetesse toiduahelatesse.
- Kõikides suuremates putukarühmades (sh mardikalised, liblikad, kiletiivalised, kahetiivalised) on ka mullas elavaid liike.

Mullaelustiku hulka kuuluvad putukad on eluviisilt omni-voorid, kiskjad, parasiidid, koprofaagid või fütofaagid. Nad mõjutavad lagunemisprotsessi oma aktiivse tegevusega, tükeldades, lagundades ja fermenteerides orgaanilist ainet ning sel moel muutes mullastruktuuri ja mõjutades lukekeskkonda.

Muldkeskkonna olulisimad putukarühmad on järgmised:



Jooksiklased (Carabidae) on aktiivsed ja liikuvad putukad, kes tegutsevad peamiselt mullapinnal. Mõned perekonnad on spetsialiseerunud seemnete söömisele, kuid enamik on siiski kiskjad. Vastsed elavad kogu aeg mullas.

Põllujooksik
(*Carabus cancellatus*)

Foto: Viio Aitsam



Jooksiklase vastne

Foto: Viio Aitsam

Kahetiivalised (Diptera) kuuluvad mullaelustiku hulka vaid teatud arengustaadiumides. Nende kiskjaliku eluviisiga vastsed on saprovoorid eelkõige niisketes orgaanilise aine rikastes elupaikades, samuti kuivemates muldades. Kahetiivaliste (kärbeste) vastsed kiirendavad tunduvalt surnud loomakudedede lagunemisprotsessi.

Lühitiibblased (Staphylinidae) on valdavalt kiskjad (nii vastse kui ka valmikuna), vähesed on kõdutoidulised. Valmikud on kiired liikujad maapinnal. Paljud neist on lennuvõimelised, kuid euedaafilistel liikidel on tiivad taandarenenud.



Lühitiiblase kirju-samblasultan
(*Staphylinus caesareus*). Foto: Viio Aitsam

Kiletiivaliste (Hymenoptera) seltsi kuuluvad mulda tugevalt mõjutavad sipelgad ja maaherilased.

Sipelgad täidavad mitmeid ökoloogilisi nišše; nende seas on herbivoore, kiskjaid, laibasööjaid, mutualiste, sotsiaalseid parasiite jm. Nagu maaherilastelgi on neil suur mõju mullastruktuurile. Kiskjatena mõjutavad sipelgad niihästi väikeste selgrootute, nt lestade ja hooghännaliste, kui ka suuremate kiskjate, sh ämblike ja jooksiklaste arvukust. Samuti talitlevad nad

„ökosüsteemi inseneridena“, liigutades mulda sama palju kui vihmaussid, kuivades regioonides veel märksa rohkemgi.

Maaherilased ehitavad muldkeskkonda pesa, kaevates selleks urge või kasutades olemasolevaid tühimikke. Maaherilaste vastsed on karnivoorid, kes toituvad putukatest ja ämblikest.

Täpik-maaherilane
(*Vespula germanica*)

Foto: Pjt56 (CC BY-SA 3.0)

KAKANDID (Isopoda)

elavad kõigis maismaa-elupaikades, kuid vajavad niiskust ja tegutsevad pigem öösi, pimedas. Nad on kõdutoidulised, lagundavad surnud orgaanilist ainet ning on ise saagiks paljudele lüljaljasetele ja imetajatele.

KÕHTJALGSED ehk TEOD (Gastropoda) on taime- ja kõdutoiduliste loomadena tähtsad paljudes, eriti aga põllumajanduslikes ökosüsteemides. Nende toiduks on ka lagununud loomakoed ja seemned. Tigudele on oluline elupaiga niiskuse- ja kaltsiumisisaldus. Neil on tähtis osa toitainete ringes ja toitainete transportimises sügavamatesse mullahorizontidesse.

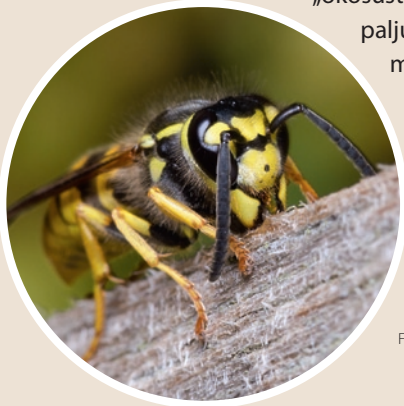
Põldnälkjäs
(*Deroceras agreste*)

Foto: Viio Aitsam



Mullamurelane
(*Lasius niger*)

Foto: Bernard Dupont,
CC BY-NC-SA 2.0



Kakand
(*Porcellio spinicornis*)

Foto: Mari Ivask



Kiriteod (*Arianta arbustorum*)

Foto: Viio Aitsam



Vihmaussid (Lumbricidae)

Mullakihti, milles vihmaussid elavad, nimetatakse **drilosfääriks** (kr drilos – 'uss') ja seal kehtivad omad seaduspärasused. Eluviisi põhjal jagatakse ussid kolme ökoloogilisse rühma, mille esindajaid iseloomustab mõnevõrra erinev välimus, käitumine ja toitumine.

- 1. Epigeilised liigid** veedavad kogu elu maapinnal ja kõdus. Neid liike leidub peaaegu kõigis looduslikes elupaikades, isendid on väikesed, keha peapool või kogu keha on tugevalt pigmenteerunud. Nende toiduks on taimejäänused, mida nad tükeldavad ja peenestavad ning mullaga segavad. Osa liike eelistab elupaigana metsakõdu (nt **KAHEKSAKANT-KÕDUUSS**), teised asustavad ka rohumaade kõdukihti (**PEEN KÕDUUSS**, **TUME VIHMAUSS**) või lamminiite (**NELIKANT-KALDAUSS**). Epigeilised liigid on kõige väiksemad vihmaussid. Suhteliselt suure keha välispinna tõttu on nad tundlikud elupaiga tingimuste, eeskätt niiskuse ja happesuse suhtes. Väga happelises männimetsakõdus vihmaussid peaaegu puuduvad ning seetõttu toimub ka lagunemine aeglaselt.
- 2. Endogeilised vihmaussiliigid** asustavad mulla ülemist kihti, kus kasvab taimejuurte põhimass ning orgaanilist ainet on usside eluks piisavalt. Nad on eelmistest suuremad ja valdavalt pigmenteerumata. Mullas liikumiseks uuristavad need ussid nii horisontaalseid kui ka vertikaalseid urgusid ja neelavad selle tegevuse käigus suures koguses mulda, mis läbib nende seedekulglä. Mullas sisalduv orgaaniline aine seeditakse ära, mineraalne osa väljub ussist väljaheite ehk **koproliitidena**. Väljaheited on sobiv substraat paljudele mullabakteritele ning hea keskkond taimede juurtele, mis tihti kulgevad piki vihmausside urge. See vihmaussirühm on olulisim põllumeestele ja aednikele: just selle rühma vihmaussid kobestavad ja

õhustavad mulda ning soodustavad mullamikroobide paljunemist. Meie tavalisim liik **HARILIK MULLAUSS** on just niisuguse eluviisiga. Sellesse rühma kuuluvad liigid on tihti värvilised: peale tavaliste hallikasroosade usside võib kaevates leida rohelist, roosaid, sinakas-lillakaid ja isegi peaaegu valgeid liike. Mullas on siiski värve suhteliselt raske eristada, seal tunduvad kõik ussid üsna ühetaoliselt hallikad või roosakad.



Harilik mullauss (*Aporrectodea caliginosa*)

Foto: Mari Ivask

3. **Aneetsilised liigid** elavad sügaval urgudes. Siia kuuluvad meie suurimad vihmaussid, kes suudavad kaevata vertikaalkäike mõne meetri sügavuseni: **HARILIK VIHMAUSS** ja **SUUR MULLAUSS**. Mõlema liigi esindajad on kuni 20–30 cm pikkused, tumeda esiosaga ning suudavad vertikaalsetes käikudes liikuda suure kiirusega. Harilikult veedavad nad enamiku päevast sügaval urus, kuid tulevad maapinnale toituma. Nende toiduks on taimede lehed, mida nad uru ümbrusest haaravad ja vahel ka sügavale veavad, et seal segamatult toituda; tulemuseks on orgaanilise aine sattumine sügavamatesse mullakihtidesse ja sealsete asukate varustamine toitainetega. Urud mõjutavad oluliselt mulla veerežiimi.

Vihmaussikooslus moodustub tavaliselt kõigi kolme rühma esindajatest. Milline ökooloogiline rühm on ülekaalus, sõltub elupaiga tingimustest: metsas on kõige rohkem kodus elavaid epigeilisi liike, haritavas mullas kohtame peamiselt endogeilisi vihmausse. Sügavates urgudes elavad ussid tunnevad end kõige paremini looduslikus mullas, kus põlluharimisega nende püsiurge ei lõhuta. Urgude sügavusele seab sageli piiri põhjavesi, mis võib kõrge taseme korral urgude alumised osad üle ujutada.



Harilik vihmauss
(*Lumbricus terrestris*)

Foto: Mari Ivask

Vihmausside arv mullas sõltub paljudest teguritest, millest olulisimad on maakasutus, niiskuse- ja orgaanilise aine sisaldus ning mulla happesus. Tavaliselt lähtutakse hinnangutes sellest, kui palju vihmausse leitakse 1 m² suuruselt alalt. Väikseim (0–150) on see arv haritavas mullas, suurem rohumaade ja metsade mullas (200–400). Eriti halbades või eriti soodsates tingimustes on arvukus märksa väiksem või suurem. Eri liike leiab ühelt ruutmeetritl koos elamas haritavas mullas enamasti 1–3, rohumaade ja metsamullas 3–8.

Sinakas soouss
(*Octolasion cyaneum*)

Foto: Mari Ivask



Roheline mullauss
(*Allolobophora chlorotica*)

Foto: Mari Ivask



Punane vihmauss (*Lumbricus rubellus*)

Foto: Mari Ivask



Mutt ehk euroopa mutt (*Talpa europaea*)

Foto: Michael David Hill, CC BY-SA 3.0

SELGROOGSED (Vertebrata)

Mitmed selgroogsed loomad kaevavad urgusid ja veedavad neis osa oma elust, kuid ainus liik, kes on päriselt kohastunud muldkeskkonnaga, on **MUTT**. Mutid on kuni 160 mm pikkused, labidakujuliste esijäsemetega ja taandarenenud silmadega loomad. Nad on kiskjad, kelle põhitoiduks on vihmaussid, kuid kes söövad ka putukavastseid ja tiguseid ning isegi kahepaikseid ja teisi mutte.

TABEL. Elustikurühmade liigirikkus ja elupaigad mullas

	Keha suurus	Hinnanguline liikide arv Maa	Eestis teadaolev liikide arv mullas	Elupaik
Mikrofloora	kuni 0,2 mm			
Bakterid		pole hinnatud	*	mullavesi
Seened		140 000	*	mullas ja maapinnal
Mikrofauna	kuni 0,2 mm			
Algloomad		> 50 000	*	mullavesi
Keriloomad		2200	*	mullavesi
Nematoodid		> 80 000	*	mullavesi
Ripsköhtsed		> 800	*	mullavesi
Loimurid		> 1100	*	mullavesi
Mesofauna	0,2–2 mm			
Nematoodid		> 25 000	*	mullas ja kõdus
Valgeliimuklased		700	51	niiske muld
Lestad		> 48 000	305	mullaõhus
Hooghännalised		9023	150	mullaõhus ja maapinnal
Makrofauna	üle 2 mm			
Hulkjalgsed		16 000	54	mullas ja maapinnal
Ämblikud		48 200	538	maapinnal
Putukad		1 000 000	*	mullas ja maapinnal
Kakandid		10 000	16	mullas ja maapinnal
Teod		80 000	80	mullas ja maapinnal
Vihmaussid		7000	13	mullas ja kõdus

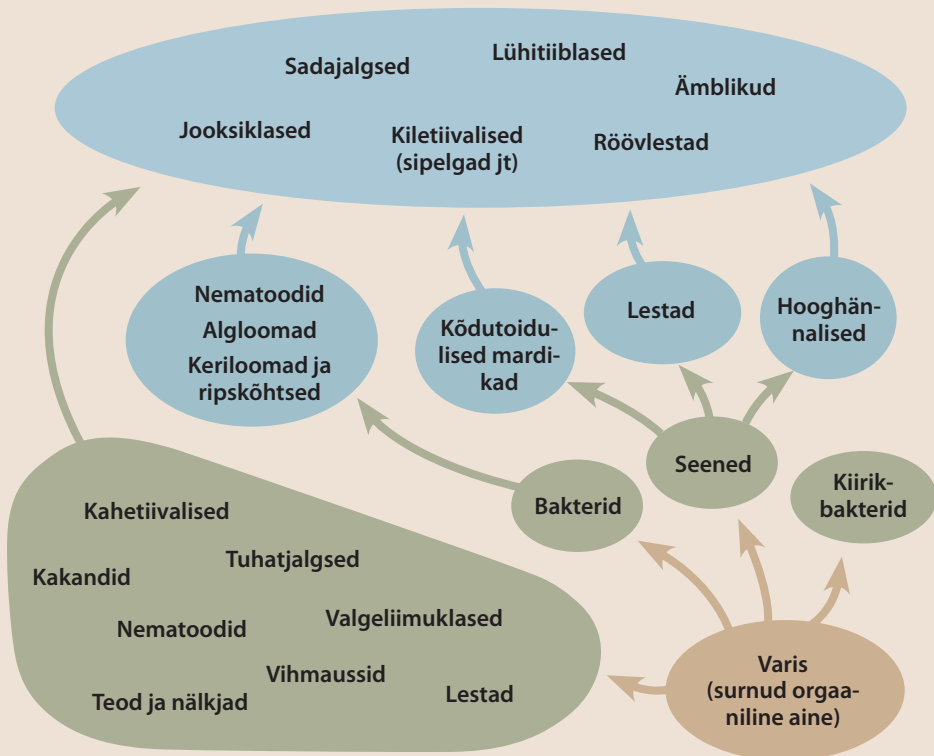
* Kokkuvõtlikud andmed puuduvad

Mulla elustiku talitlemine

Mulla bioloogiline aktiivsus on suurim kõige ülemises mullakihis, eriti just taimejuurte piirkonnas, kus on organismidele piisavalt niiskust, õhku, toitu ja energiat. Mulla ruumiline ja ajaline heterogeensus on aluseks elustiku mitmekesisusele.

Lagundajate osa bioloogilises ainerings on elu kui tervikliku süsteemi jätkusuutlikkuseks fundamentaalselt tähtis. Nende tegevuse tulemusena valitseb eluslooduses dünaamiline ökoloogiline tasakaal. Mullaorganismid (nii mikroobikooslus kui ka mullafauna) mineraliseerivad orgaanilist ainet, täites sel moel olulist osa aineringetes. Mullaselgrootud tükeldavad lagunevat orgaanilist ainet ja mõjutavad oma elutegevusega mikroobikooslust. Samuti on neil tähtis osa orgaanilise aine sünteesiprotsessis ja mullatekkes. Iga üksiku liigi või organismirühma osa kogu selles protsessis on raske hinnata, sest organismide toitumissuhted on keerulised ega ole senini lõplikult selged.

Mulla elustiku talitluse tulemusena moodustub toiduvõrgustik, mis tagab põhiliste elementide ringlemise surnud orgaanilisest ainest elusorganismideni. Mulla toitumisvõrgustike mitmekesisus suurendab mulla ökosüsteemi stabiilsust ja kiirendab häiringutejärgset taastumist.



TABEL. **Mullaelustiku kasulikkus põllumehele**

Talitlus	Kes osaleb?
Mulla struktuuri kujundamine ja säilitamine	Mikroobikooslus, vihmaussid, tuhatjalgsed, kakandid, lestad, hooghännalised, valgeliimuklased
Mulla veerežiimi reguleerimine	Mikroobikooslus, vihmaussid, mikro- ja mesofauna, selgrootud kiskjad
Gaaside ringe	Mikroobikooslus
Mulla detoksikatsioon	Mikroobikooslus, vihmaussid
Kliima reguleerimine	Kogu mullaelustik
Toitainete ringe	Kogu mullaelustik
Orgaanilise aine lagundamine	Kogu mullaelustik
Kahjurite ja haiguste allasurumine	Mikroobikooslus ja mullafauna nematoodid, algloomad, hooghännalised, lestad, ämblikud, rööveluviisiga putukad, sadajalgised
Sümbiootilised suhted taimedega	Mikroobikooslus, ainuraksed loomad, nematoodid, valgeliimuklased, hooghännalised, sipelgad, vihmaussid
Keskkonnastressi puhver	Kogu mullaelustik

Ohud mitmekesisusele

Mullaelustiku suhteliselt vähene uuritus kogu maailmas ei võimalda piisavalt täpselt hinnata mullas elavate liikide väljasuremise intensiivsust. Selleks oleks kõigepealt vaja paremini teada, milline on mullaelustiku bioloogiline mitmekesisus, millised on mullakooslustes kehtivad ruumilised ja ajalised seaduspärasused ning milline on keskkonnategurite ja inimtegevuse mõju ühele või teisele liigile.

Peamised mullaelustikku ohustavad tegurid on järgmised:

1. Ökosüsteemide tasandil maakasutuse intensiivistumine ning kliima, veerežiimi ja mulla keemiliste omaduste muutumine.
2. Liikide tasandil elupaigatingimuste ja mulla keemiliste omaduste muutumine, konkurents invasiivsete võõrliikidega ja mulla saastumine.
3. Geenide tasandil elupaigatingimuste muutumine, mulla saastumine, keskkonnatingimuste muutumine, ökotoksiinide mõju, geneetiline saaste.
4. Kõigil mitmekesisuse tasanditel vähendab mullaelustiku mitmekesisust igasugune mulla kadu, nt erosioon, mulla katmine ehitiste ja rajatistega, suurte mullakoguste teisaldamine.



Mullaelustik mullakvaliteedi indikaatorina

Mullakvaliteedi hindamisel kasutatakse bioloogiliste indikaatoritena organismide arvukuse ja talitluse näitajaid, mis on seotud mullas toimuvate protsessidega. Peale selle saab mulla kvaliteeti hinnata organismide toodetud keemiliste ühendite ja ainevahetussaaduste, näiteks mitmesuguste ensüümide sisalduse järgi mullas.

Bioloogilised indikaatorid hõlmavad ka mitmesuguseid kooslust iseloomustavaid näitajaid, nagu arvukus, mitmekesisus, toiduahelate komplekssus, koosluste stabiilsus. Indikaatoriks võivad olla nii mikroobikoosluse kui ka mikro-, meso- ja makrofauna organismid ning nende populatsioonid.

Teistest sagedamini on mulla kvaliteedi indikaatoritena kasutusel vihmaussid, hooghännalised, lestad, valgeliimuklased, nematoodid ja hulkjalgsed (arvukus, levik, käitumine, bioakumulatsioon).

Mikroobikoosluse parimate indikaativsete omadustega näitajateks peetakse bakterite ja seente arvukust ja biomassi, nende aktiivsuse parameetreid (sh hingamisaktiivsus, potentsiaalse süsiniku ja lämmastiku mineralisatsiooni kiirus, ensümaatiline aktiivsus jm), mikroobikoosluse struktuuri parameetrid (sh funktsionaalne ja liigiline mitmekesisus) ning molekulaarsete meetodite abil analüüsitavaid näitajaid (fosfolipiidsed rasvhapped, DNA jt).

Iga mullas elav organism ei sobi indikaatoriks. Indikaatori valimisel tuleb arvestada, et liik oleks arvukas ning tähtsal kohal mulla talitlemises ja toitumisvõrgustikes. Indikaatori parameetrid peavad olema hõlpsalt mõõdetavad, saasteaine mõju indikaatorliigile (võrreldes kontrollrühma või taustaga) peab saama täpselt kindlaks teha, indikaator peab olema tundlik ja samas piisavalt vastupidav häiringu mõjule. Bioloogilise indikaatori kasutamine peab põhinema usaldusväärsetel ja tänapäevastel teadmistel.





Koostaja: Mari Ivask
Kirjastus: Eesti Loodusfoto
Väljaandja: Eesti Maaülikool, 2019

ISBN 978-9949-698-13-4 (trükkis) ISBN 978-9949-698-14-1 (pdf)

 **Eesti Maaülikool**
Estonian University of Life Sciences
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut
Institute of Agricultural and Environmental Sciences

www.emu.ee



ISSN 2504-8074