

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
BOTAANIKA OSAKOND
TAIMEÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Monika Vassiljev

HUULHEINA PEREKONNA (*DROSER* L.) BIOOTILISED INTERAKTSIOONID
EESTIS

Magistritöö (30 EAP)

Bioloogia ja ökoinnovatsioon

Juhendaja: Kadri Koorem PhD

Tartu 2026

Infoleht

Huulheina perekonna (*Drosera* L.) biootilised interaktsioonid Eestis

Käesoleva magistritöö eesmärk oli uurida Eestis kasvavate huulheina perekonna liikidega kaasnevaid taimekooslusi ja hinnata arbuskulaarse mükoriisa esinemist nende liikide juurtes. Uuriti nelja taksonit: ümaralehist, pikalehist ja vahelmist huulheina ning hübriidi vänd-huulheina. Välitööd viidi läbi kuues Eesti soos, kus hinnati taimeliikide katvusi ja koguti huulheinte juuri. Selgus, et vahelmise huulheina kasvukooslused erinesid teistest liikidest väiksema liigirikkuse ja samblakatvuse poolest. Vänd-huulheina taimekooslused sarnanesid rohkem pikalehise kui ümaralehise huulheina kasvukohtadega. Ellenbergi indikaatorväärtuste ja häiringuindikaatorite põhjal hinnatud abiootilised tingimused liikide vahel statistiliselt oluliselt ei erinenud. Ühegi uuritud huulheina juurtest ei leitud arbuskulaarsele mükoriisale iseloomulikke struktuure. Tulemused viitavad sellele, et huulheinte kasvukohad võivad olla AM seente levikuks ebasobivad ning mükoriisa puudumine võib olla seotud ka huulheinte putuktoidulise eluviisiga.

Märksõnad: Perekond huulhein, vänd-huulhein, taimekooslused, arbuskulaarne mükoriisa, Ellenbergi indikaatorväärtused

CERCS kood: B270 Taimeökoloogia

Biotic interactions of the genus *Drosera* L. in Estonia

The aim of this master's thesis was to investigate the plant communities associated with Estonian *Drosera* species and also assess the presence of arbuscular mycorrhiza in their roots. Four taxa were studied: *D. rotundifolia*, *D. anglica*, *D. intermedia* and the hybrid *Drosera* × *obovata*. Fieldwork was conducted in six Estonian mires, where plant cover was estimated and root samples of *Drosera* species were collected. The results showed that the communities associated with *D. intermedia* differed from the other species by having lower species richness and bryophyte cover. The plant communities associated with *Drosera* × *obovata* were more similar to those of *D. anglica* than to *D. rotundifolia*. Environmental conditions estimated using Ellenberg indicator values and disturbance indicator values did not differ significantly among species. No structures characteristic of arbuscular mycorrhiza were detected in the roots of any studied *Drosera* species. The results suggest that the habitats of *Drosera* may be unsuitable for the spread of arbuscular mycorrhizal fungi and that the absence of mycorrhiza may also be related to the carnivorous lifestyle of *Drosera* species.

Keywords: *Drosera*, *Drosera* × *obovata*, plant communities, arbuscular mycorrhiza, Ellenberg indicator values

CERCS code: B270 Plant ecology

SISUKORD

Sissejuhatus	5
1. Teoreetiline ülevaade	7
1.1 Eestis leiduvad perekond huulheina (Drosera) liigid	7
1.2 Perekond huulheina liikide ökoloogia	8
1.2.1 Putuktoidulisus	8
1.2.2 Kasvukohaeelistused	9
1.2.3 Abiootiliste keskkonnatingimuste kaudne hindamine	10
1.3 Arbuskulaarne mükoriisa märgaladel	11
1.4 Arbuskulaarne mükoriisa putuktoidulistes taimedes ja huulheina perekonnas	12
2. Metoodika	14
2.1 Andmeanalüüs	16
3. Tulemused	17
3.1 Huulheina perekonna liike ümbritsevad taimekooslused	17
3.2 Eesti Huulheina perekonna liikide taimekoosluste Ellenbergi indikaatorväärtused ja häiringu indikaatorväärtused	21
3.3 Arbuskulaarne mükoriisa	23
4. Arutelu	24
Kokkuvõte	27
Summary	29
Tänuõnad	31
Kasutatud kirjandus	32
Lisad	37

Sissejuhatus

Perekond huulhein (*Drosera* L.) kuulub sugukonda *Droseraceae* Salisb. ja seltsi nelgilaadsed (*Caryophyllales*) (Crowder *et al.* 1990). Huulheinad on üks liigirikkamaid putuktoiduliste taimede perekondi maailmas, kokku on kirjeldatud üle 260 liigi ja uusi liike avastatakse pidevalt (Olivares-Pinto *et al.* 2025, Robinson 2017). Perekonna liigid on iseloomulikud määrgadele ja toitainetevaestele kasvukohtadele, kasvades Eestis peamiselt siirde- ja kõrgsoodes (Crowder *et al.* 1990, Aher 1984). Need putuktoidulised taimed on teadlasi paelunud juba üle 125 aasta, selle aja jooksul on palju teada saadud huulheinte fülogeneesist, morfoloogiast ja putuktoidulisuse mehhanismidest (Ellison ja Gotelli 2009, Olivares-Pinto *et al.* 2025). Putuktoidulisus kui suhteliselt haruldane ja silmatorkav kohastumus on antud perekonnas üks peamisi uurimussuundi, mistõttu on vähem tähelepanu pööratud teiste biotiliste suhete uurimisele, näiteks juurte endofüüdid, kasvukohtade taimekooslused ning hübriidsatsioonile (Montero ja Fukushima 2023).

Eestis kasvab kolm huulheina liiki: ümaralehine huulhein (*Drosera rotundifolia* L.), pikalehine huulhein (*Drosera anglica* Huds.) ja vaheline huulhein (*Drosera intermedia* Hayne) (Aher 1984). Lisaks moodustavad ümaralehine ja pikalehine huulhein hübriidi vārd-huulhein (*Drosera* × *obovata* Mert. & W.D.J.Koch) (Aher 1984). Eesti kontekstis on põhjalikult uuritud ainult huulheinte paljunemist ja saagiks püütud putukaid ning seda peamiselt ainult ümaralehise ja pikalehise huulheina põhjal (Aher 1984). Vahelise huulheina kohta on informatsiooni vähem ja vārd-huulheina pole eraldi käsitletud (Aher 1984). Vārd-huulhein on üks kahest Euroopas esinevast huulheina perekonna hübriidist, mille puhul on põhjalikumalt uuritud vaid õietolmu morfoloogiat (Rodondi *et al.* 2009). Senised huulheina perekonna endofüüte käsitlevad uuringud on peamiselt keskendunud arbuskulaarsele mükoriisale, kuid selle esinemise kohta huulheinte juurtes puudub teaduskirjanduses ühtne konsensus (Montero *et al.* 2025, Weishampel ja Bedford 2006, Quilliam ja Jones 2009).

Huulheinte tundlikus keskkonnatingimuste ja häiringute suhtes võimaldab neid rakendada soode seisundi indikaatorliikidena (Olivares-Pinto *et al.* 2025). Seetõttu on oluline uurida nende kasvukohaeelistusi ja biotilisi suhteid, mis võivad mõjutada liikide püsimist ja paljunemisedukust. Käesoleva töö eesmärk on uurida huulheina liikidega seotud taimekooslusi ning arbuskulaarse mükoriisa esinemist nende juurtes, pöörates erilist

tähelepanu hübriidile väre-huulhein. Nende interaktsioonide välja selgitamiseks püstitati järgmised uurimisküsimused ning hüpoteesid:

1. Millised taimekooslused kaasnevad Eestis kasvavate huulheina perekonna liikidega?

Hüpotees: Liikidevahelised erinevused eelistatud kasvukoha abiootilistes tingimustes väljenduvad ka taimekoosluste liigirikkuses.

2. Millised on väre- huulheinaga kaasnevad taimekooslused?

Hüpotees: Väre-huulheinaga seotud taimekooslused on liigilise koosseisu ja taimede keskkonnaeelituse osas sarnasemad pikalehise huulheinaga kui ümaralehise huulheinaga.

3. Kas Eestis kasvavate perekond huulheina liikide juurtes leidub arbuskulaarset mükoriisat?

Hüpotees: Arbuskulaarse mükoriisa kolonisatsioon on võimalik juhul, kui naabertaimed moodustavad ulatuslikult arbuskulaarset mükoriisat.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Eestis leiduvad perekond huulheina (*Drosera*) liigid

Huulheina perekond on levinud peaaegu üle kogu maailma, puududes vaid Antarktikas, ning nende suurim liigirikkus esineb Austraalias ja Lõuna-Aafrikas (Robinson 2017). Euroopas leidub vaid kolm liiki ja kaks hübriidi, millest kõik, peale ühe hübriidi, on esindatud ka Eestis (Robinson 2017, Aher 1984). Eestis leiduvateks liikideks on ümaralehine huulhein (*Drosera rotundifolia* L.), pikalehine huulhein (*Drosera anglica* Huds.) ja vaheline huulhein (*Drosera intermedia* Hayne) (Aher 1984). Eestis kasvavat hübriidi vänd-huulhein (*Drosera* × *obovata* Mert. & W.D.J.Koch) moodustavad pikalehine ja ümaralehine huulhein (Robinson 2017, Aher 1984). Lisaks on Euroopas leitud veel hübriid *Drosera* × *eloisiana* T.S.Bailey, mis on ristand vahelmise ja ümaralehise huulheina vahel, kuid Eestis ei ole antud hübriidi leitud (Robinson 2017, Aher 1984). Eesti huulheina liikidest on kõige laiem levikuga ümaralehine huulhein, samas kui pikalehine ja eriti vaheline huulhein esinevad vähesemal määral (Aher 1984). Vahelmist huulheina leidub peamiselt ainult Lääne-Eestist (Aher 1984). Kõige harvemini on leitud vänd-huulheina, kuid see võib tuleneda sellest, et hübriidi on keeruline määrata (Aher 1984, Hoyo ja Tsuyuzaki 2013).

Vänd-huulhein on steriilne hübriid, mida leidub tavaliselt hajusate üksikute taimedena kohtades, kus kasvavad tema vanemliigid (Robinson 2017, Rodondi *et al.* 2009). Steriilsus tuleneb sellest, et meioosi käigus ei moodustu korrektsed kromosoomipaarid, mistõttu on õietolm madala eluvõimega ning seemned enamasti ei arene (Hoyo *et al.* 2020). Vaatamata steriilsusele, on vänd-huulhein edukas vegetatiivne paljuneja, mis võimaldab tal populatsioonides püsida ka piiratud generatiivse paljunemise korral. (Rodondi *et al.* 2009). Vänd-huulheina morfoloogilised tunnused (suurem lehepindala vanemliikidest) võivad viidata edukamale kasvujõulisusele ja potentsiaalselt paremale võimele uusi kasvukohti asustada, kuid samas piirab tema steriilsus populatsiooni levikut ja püsimist (Hoyo 2013).

Vänd-huulheina on vanemliikidega võrreldes uuritud suhteliselt vähe ning peamiselt on tähelepanu pööratud vaid õietolmu morfoloogiale (Rodondi *et al.* 2009). Lisaks on hübriidi keeruline looduses määrata, kuna ta on morfoloogiliselt väga sarnane vahelmise ja pikalehise huulheinaga, mistõttu võib vänd-huulhein sageli tähelepanuta jääda (Robinson 2017). On ka leitud, et vänd-huulheina määratakse palju tihedamini valesti kui tema vanemliike (Hoyo ja Tsuyuzaki 2013). Vahelmist ja vänd-huulheina saab eristada õisikuvarre põhjal, vahelmisel

huulheinal on õisikuraag vaevu lehtedest pikem ja kaarjalt tõusev, hübriidil on õisikuvars püstine ja vähemalt poole pikem kui lehed (Robinson 2017). Pikalehisest huulheinast saab vänd-huulheina eristada lehelaba kuju järgi, pikalehisel paikneb lehelaba kõige laiem koht selle tipu lähedal, seevastu hübriidil asub kõige laiem osa asub lehe keskel (Robinson 2017). Kõige kindlamaks eristustunnuseks mõlemast liigist peetakse siiski seemnekupraid, mis vänd-huulheinal jäävad steriilsuse tõttu alaarenenuks ja seemneteta (Robinson 2017).

1.2 Perekond huulheina liikide ökoloogia

1. 2.1 Putuktoidulisus

Peamiselt kõik huulheina perekonda kuuluvad liigid on mitmeaastased putuktoidulised õistaimed (Crowder *et al.* 1990). Putuktoidulisus tähendab, et taim täidab viis kriteeriumit: saak püütakse või hoitakse kinni spetsiaalsete püüniste abil, püütud saak surmatakse, saak seeditakse, sealt saadud toitained omastatakse ja neid kasutatakse taime kasvuks ja arenguks (Ellison ja Adamec 2018). Huulheina perekonna liigid püüavad saaki lehtede küljes asenevate liikumisvõimeliste tentaaklitega, mille tippudes on näärmed, mis eritavad kleepuvat happelist polüsahhariidi (Crowder *et al.* 1990). See aine toimib nii püünise kui ka peibutisena (Poppinga *et al.* 2013). Otsese mehaanilise ärrituse või kaudse ärrituse korral, mis tekib naabertentaaklite puudutamisel või keemilise stimulatsiooni tulemusena, painduvad kleepuvad tentaaklid pöördvalt saagi suunas mis tahes suunast (Poppinga *et al.* 2013). Tentikaalite ja lehe liikumine võib kesta mõnest minutist kuni mitme tunnini (Poppinga *et al.* 2013). Püütud saak hakkab kurnatuse või hapnikupuuduse tõttu (Robinson 2017). Saaki püüdes eritavad näärmed ensüüme nagu esteraas, peroksidaas ja proteaas, mis lagundavad saagi, vabastades toitaineterikka segu, mis seejärel imendub lehepinna kaudu taime ja mida kasutatakse taime kasvuks ja arenguks (Robinson 2017). Huulheinad omastavad saagist olulisi mineraaltoitaineid, nagu lämmastik, fosfor, väävel, kaalium ja kaltsium (Adamec ja Pavlovič 2018).

Suurema osa perekond huulheina liikide saagist moodustavad kahetiivalised (*Diptera*) (Crowder *et al.* 1990). Putuktoidulisus on kujunenud kohastumusena toitainetevaestele kasvukohtadele, kus mullast saadavate toitainete, eeskätt lämmastiku ja fosfori, kättesaadavus on piiratud (Ellison ja Gotelli 2009). Saagi püüdmine ja seedimine võimaldab neil neid puudujääke kompenseerida ning seeläbi suurendada oma kasvuvõimet ja kohasust (Ellison ja

Gotelli 2009). On tõestatud, et putuktoidulised taimed võivad sõltuvalt keskkonnatingimustest panustada putuktoidulisse strateegiasse erineval määral ja suunata ressursse teistesse funktsioonidesse (Abbott 2017). On leitud, et ümralehisel huulheinal vähenes saagist omastatud lämmastiku hulk aladel, kus atmosfäärse lämmastiku depositsioon ja seega ka juurte kaudu kättesaadava lämmastiku hulk oli suurem (Millett *et al.* 2012).

1.2.2 Kasvukohaeelistused

Huulheina perekonna liigid eelistavad liigniiskeid, toitainevaeseid ja happelisi kasvukohti ning rohkem päikesevalgust, esinedes tavaliselt kas turbas, liivas või turbasamblas (Fleischmann *et al.* 2018). Eestis kasvavad huulheinad peamiselt rabades või siirdesoodes (Aher 1984). Soode mikroreljeef võib luua väga mitmekesised kasvukoha tingimused, mis omakorda mõjutab seal kasvavat taimekooslust (Hatcher ja Millett 2024). Need tingimused võivad erineda valgusrežiimi, niiskustingimuste, toitainete kättesaadavuse ning taimkatte struktuuri poolest. (Hatcher ja Millett 2025). Näiteks on rabamättad tavaliselt tihedama ja kõrgema soontaimestikuga ning rohkem varjutatud, samas kui älvestes on taimkate hõredam ja valgusolud avatumad (Hatcher ja Millett 2025).

Ümaralehine huulhein eelistab soode mikroreljeefil kuivemaid alasid ning talub varju paremini kui teised Eestis esinevad huulheinad (Crowder *et al.* 1990, Robinson 2017). Pikalehine ja vaheline huulhein paiknevad pigem niiskemates kasvukohtades (Crowder *et al.* 1990, Robinson 2017). Pikalehine kasvab valdavalt älvestes või laukaservades ja vaheline huulhein esineb enamasti ainult mudaälvestes, kus on madalam turbasambla ja soontaimede katvus (Crowder *et al.* 1990, Robinson 2017). Kuigi vaheline huulhein ei talu varju, on ta hästi kohastunud nii pikemate kuivaperioodide kui ka üleujutustega (Crowder *et al.* 1990, Robinson 2017). Hübriid vörd-huulhein eelistab pigem pikalehise huulheinaga sarnaseid niiskemaid tingimusi, kuid esineb kõigis kasvukohades, kus on olemas tema vanemliigid (Robinson 2017).

Huulheintega seotud koosluste liigiline koosseis sõltub eelkõige niiskustingimustest, substraadi happesusest, toitainete kättesaadavusest ning samblakihi struktuurist (Plackowski 2025). Rabade taimkate on üldiselt liigivaene, puurindes peamiselt ainult harilik mänd, puhmarindes kanarbik, sookail, sinikas, kukemari, küüvits ja jõhvikas, rohurindes ainult tupp-villpea, murakas ja rabakas (Paal 1997). Samblarinnet domineerivad rabas erinevad turbasamblad (Paal 1997). Siirdesoode taimkate on vähesel määral mitmekesisem, puurindes esineb peale hariliku männi ka sookaske, põõsarindes madal kask ja pross, puhmarindes

samad taimed, mis rabades ja rohurindes peale rabataimede ka soopihl ja ubaleht (Paal 1997). Samblarinne on mitmekesisem, esineb ka teisi liike peale turbasambla (Paal 1997). Erinevust huulheinte kasvukohtade taimekoosluste vahel ei ole põhjalikult Eestis uuritud. Vahelmise ja ümaralehise huulheina kasvukohtade varieeruvus võib tuleneda sellest, et nad eelistavad erinevaid turbasambla liike (Bradley 2010, Hoyo ja Tsuyuzaki 2014). On ka täheldatud, et ümaralehine huulhein talub kõrgemat taimkatet paremini kui vaheline huulhein (Bradley 2010).

1.2.3 Abiootiliste keskkonnatingimuste kaudne hindamine

Lisaks otsesele mõõtmistele on võimalik abiootilisi tingimusi hinnata ka kaudselt, kasutades näiteks Ellenbergi indikaatorväärtusi (Tichý *et al.* 2022). See meetod on Euroopas laialdaselt kasutusel (Tichý *et al.* 2022). Meetodi töötas välja Heinz Ellenberg, kes määras soontaimeliikidele indikaatorväärtused erinevate keskkonnategurite nagu valguse, niiskuse, temperatuuri, mullareaktsiooni ja toitainesisalduse suhtes (Ellenberg, 1974). Ellenbergi indikaatorväärtused põhinevad skaalal, mis näitab, millistes keskkonnatingimustes liik kõige paremini kasvab (Tichý *et al.* 2022). Madal väärtus tähendab, et liik eelistab keskkonnagradiendi madalamat osa, kõrge väärtus aga tingimuste kõrgemat osa (Tichý *et al.* 2022). Näiteks valguse puhul iseloomustavad madalad väärtused varju taluvaid liike, samas kui kõrged väärtused viitavad liikidele, mis kasvavad hästi täisvalguses (Tichý *et al.* 2022). Ellenbergi indikaatorväärtusi on nende väljatöötamisest alates korduvalt täiendatud ja parandatud, mistõttu kasutatakse neid tänapäeval sageli (Tichý *et al.* 2022).

Lisaks on Euroopa taimede puhul võimalik kasutada ka häiringuindikaatori väärtusi. Need on arvulised näitajad, mis kirjeldavad taimeliikide seost häiringurežiimidega, tuginedes ekspertide hinnangutele häiringu tugevuse, sageduse, niitmise ja karjatamise kohta (Midolo *et al.* 2022). Neid väärtuseid võimaldavad hinnata taimekoosluste liigilist koosseisu ja funktsioneerimist häiringute kontekstis (Midolo *et al.* 2022). Häiringu tugevuse indikaatori väärtus esitatakse pideva väärtusena vahemikus 0–1, kus 0 tähendab biomassi muutuse puudumist ja 1 taimkatte täielikku hävimist (Midolo *et al.* 2022). Häiringu sageduse indikaatori väärtus väljendab, kui sageli häiringud elupaigas keskmiselt esinevad (Midolo *et al.* 2022). Väärtus arvutatakse häiringute vahelise keskmise ajavahemiku põhjal ning esitatakse selle pöördväärtuse kümnendlogaritmina ($\log_{10}$) (Midolo *et al.* 2022). Häiringute vaheline aeg on keskmine periood järjestikuste häiringu sündmuste vahel ja seda mõõdetakse sajandites (Midolo *et al.* 2022). Mõlemad indikaatorid hõlmavad kõiki võimalikke häiringu

tüüpe, mis võivad konkreetses elupaigas esineda, sealhulgas inimtekkelisi ja looduslikke (Midolo *et al.* 2022).

Ellenbergi ning häiringuindikaator väärtused on omistatud kõigile Eestis esinevatele huulheina perekonna liikidele, kuid puuduvad hübriidil vārd-huulhein (Tichý *et al.* 2022, Midolo *et al.* 2022).

1.3 Arbuskulaarne mükoriisa mārgaladel

Lisaks teistele taimedele interakteeruvad taimed ka seentega. Üheks hästi uuritud sūmbiootiliseks interaktsiooniks on arbuskulaarne mükoriisa (AM), mis on sūmbioos krohmseente (*Glomeromycota*) ja soontaimede vahel (Willis *et al.* 2012). Taimed saavad sūmbioosist minreaaltoitaineid ja kaitset häiringute vastu (Brundrett ja Tedersoo 2018). Arbuskulaarne mükoriisa esineb 72 protsendil kõigist õistaime liikidest (Brundrett ja Tedersoo 2018). Enamik AM moodustavaid liike on obligaatset arbuskulaar-mükoriissed ehk ei suuda ilma selle sūmbioosita edukalt kasvada (Brundrett ja Tedersoo 2018).

Pikalt usuti, et liigniisketel aladel kasvavad taimed ei ole võimelised moodustama arbuskulaarse mükoriisa struktuure, sealhulgas hüüfe, vesikuleid, arbuskuleid ega eoseid (Xu *et al.* 2016, Weishampel ja Bedford 2006). Mārgalad loovad madala hapnikusisaldusega keskkonna, kujundades AM seente jaoks täiesti erineva ökoloogilise keskkonna (Xu *et al.* 2016). Arbuskulaarne mükoriisa on mārgaladel sageli vähem levinud, kuna veega küllastunud ja hapnikuvaesed mullad piiravad AM-seente ellujäämist ning taimed saavad suure osa toitainetest omastada otse veest (Xu *et al.* 2016). Lisaks on mārjala tingimustes raskendatud AM seente eoste idanemine, kuna peremeestaimede signaalid, mis on vajalikud idanemise käivitamiseks, ei toimi efektiivselt ning kontaktide loomine ujuvate juurtega on keeruline (Huang *et al.* 2021). Siiski on hiljutised uuringud näidanud, et AM-seened on ka soodes levinud (Xu *et al.* 2016, Weishampel ja Bedford 2006). Arvatakse, et mükoriisete seente püsimist soodes võimaldab mārjala taimede võime transportida hapnikku juurtesse aerenhüümi kaudu, mis parandab juurte ümbruse hapniku tingimusi (Xu *et al.* 2016, Weishampel ja Bedford 2006).

1.4 Arbuskulaarne mükoriisa putuktoidulistes taimedes ja huulheina perekonnas

Putuktoidulisi taimi ja nende sümbioosi arbuskulaarse mükoriisaga on vähe uuritud, peamiselt kuna putuktoidulisus ja AM sümbioos on sama funktsiooniga, ehk aitavad taimel mineraaltoitaineid omastada (Montero *et al.* 2025). Lisaks on leitud, et AM-tunnus on putuktoidulistes taimedes korduvalt kadunud, kas koos putuktoidulisuse kujunemisega või sellele eelnevalt (Montero *et al.* 2025, Montero ja Fukushima 2023). Samas on putuktoiduliste taimede biotilisi vastastikmõjusid käsitlevad teadustööd keskendunud peamiselt saagile ning juurte bioloogiale on pööratud vähem tähelepanu (Montero *et al.* 2025).

Putuktoidulise eluviisiga sugukonnad *Droseraceae* ja *Nepenthaceae* kuuluvad nelgilaadsete seltsi (*Caryophyllales*), mille liikmeid on traditsiooniliselt käsitletud mittemükoriissetena (Brundrett 2017, Soudzilovskaia *et al.* 2020). Siiski on seni teadaoleva informatsiooni kohaselt võimalik, et ka putuktoidulised taimed moodustavad AM sümbioosi. Näiteks leiti, et putuktoidulise eluviisiga perekonna *Nepenthes* L. taimed olid Indoneesia metsades vähesel määral (2.4 % kuni 16.2 %) arbuskulaarse mükoriisa poolt koloniseeritud (Rahmawati *et al.* 2023). Kõik teised teadusartiklid, mis uurivad putuktoiduliste taimede AM sümbioosi on keskendunud huulheina perekonnale. Näiteks on leitud India madalsoodes kasvavates liikides *Drosera burmanni* Vahl. ja *Drosera indica* L. nii AM hüüfe, vesiikluleid kui ka arbuskulid (Chakraborty *et al.* 2019, Harikumar 2013).

Eestis kasvavatest huulheintest on arbuskulaarse mükoriisa olemasolu uuritud kahel liigil: ümaralehisel ja vahelmisel huulheinal. Madalsoodes kasvavatest ümaralehisest huulheinast on leitud molekulaarsete meetoditega AM seente olemasolu ja ka vaadeldud AM hüüfe ja vesiikuleid (Weishampel ja Bedford 2006, Quilliam ja Jones 2009). Fuchs ja Haselwandter (2004) uuringu kohaselt oli vahelmine huulhein AM seentega koloniseeritud, kuid vaid vähesel määral (1 kuni 7%) ning esinesid ka arbuskulid ja vesiikulid.

Siiski on ebaselge, kas putuktoidulised taimed moodustavad mükoriisat. Montero *et al.* (2025) töös väidetakse, et arbuskulaarse mükoriisa sümbioos ja putuktoidulisus on enamasti teineteist välistavad ning nende koosesinemine on haruldane, peamiselt kuna olemasolev tõendusmaterjal on ebapiisav. Näiteks Harikumar (2013) töös esitatud pildid ei pruugi kujutada arbuskulid ning ei pruugi olla seotud arbuskulaarse mükoriisa seentega (Montero *et al.* 2025). Samuti juhiti Montero *et al.* (2025) töös tähelepanu Fuchs ja Haselwandter (2004) artikli puudustele vahelmise huulheina kohta, kuna seal puudusid pildid leitud AM

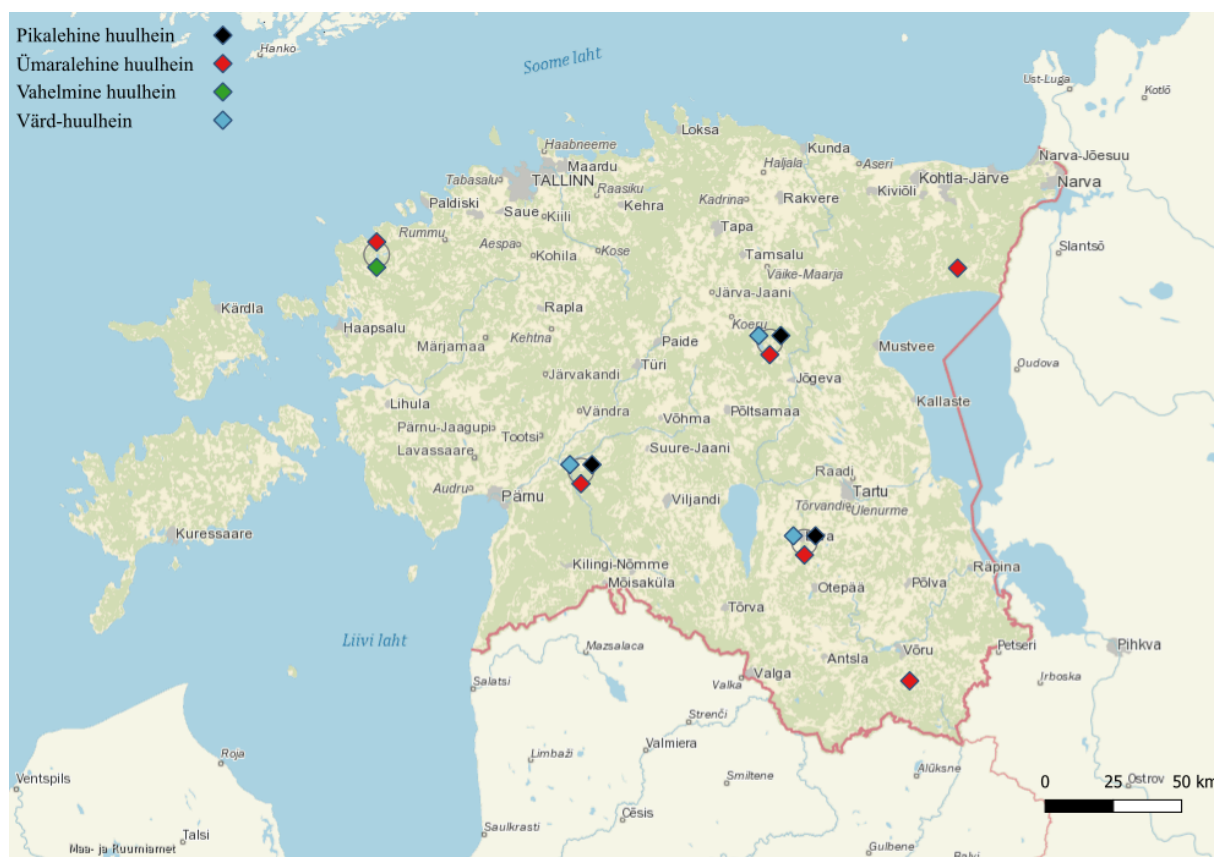
kolonisatsioonist. Ümaralehise huulheina puhul tehtud tööd võivad ka olla ebapiisavad, kuna Quilliam ja Jones (2009) töös täheldati AM seeni ainult molekulaarsete meetoditega, kuid mikroskoopiline vaatlus AM struktuure ei leidnud. Kuid Montero *et al.* (2025) ei käsitlenud kõik olemasolevad töid, mis hõlmavad huulheina liike, näiteks Santiago ja Darnowski (2012), kus viidi läbi kasvahoone katse 8 erineva huulheina perekonna liigiga ja leiti, et kõik moodustavad mingil määral AM seentega sümbioosi. Lisaks leiti Abbott (2017) töös, et *Drosera tracyi* oli koloniseeritud, kuid AM olemasolu varieerus hooajaliselt, esinedes augustis, kuid puududes juunis. Sarnast hooajalist varieeruvust AM esinemises on täheldatud ka Fuchs ja Haselwandter (2004) ning Quilliam ja Jones (2009) töödes. Seega ei ole üheselt selge, kas putuktoidulised taimed moodustavad arbuskulaarset mükoriisat või on varasemates uuringutes täheldatud struktuurid seotud teiste juurtes esinevate seentega. Samuti võib AM esinemine sõltuda kasvukoha tingimustest ja hooajalisest varieeruvusest.

2. Metoodika

Katse hõlmas nelja erinevat huulheina perekonna liiki: ümaralehine huulhein, pikalehine huulhein, vaheline huulhein ja vârd-huulhein ning viidi läbi kuues erinevas asukohas (Joonis 1) perioodil 18.06.2025 kuni 16.08.2025 (Tabel 1). Igal proovialal määrati 1 × 1 meetri suuruses ruudus taimeliigid ning hinnati nende katvus protsentides. Katvuse hindamisel kasutati visuaalset hindamist, kus iga liigi osakaal väljendati protsendina kogu taimeruudu pinnast. Igast taimeruudust koguti kaasa 1 kuni 2 huulheina perekonna isendit arbuskulaarse mükoriisa kolonisatsiooniks. Edasiseks hoiustamiseks kuivatati kogutud taimed temperatuuril 40 °C vähemalt 96 tundi. Kõigi asukohtade peale kokku analüüsiti 67 erinevat taimeruutu.

Tabel 1. Uurimisalade iseloomustus ja esinenud huulheina perekonna liigid

Asukoht	koordinaadid XY	Kuupäev	Paali kasvukohatüüp	Esinenud huulheina perekonna liigid
Simula Lakesoo	57.738624, 27.043560	18.06.25	3121 Rohu-siirdesoo	Ümaralehine huulhein
Veskijärve läänekalda soo	59.180511, 23.751616	05.07.25	3221 Puis-mättaraba	Ümaralehine huulhein, vaheline huulhein
Valgesoo idaosa	59.090142, 27.469731	01.08.25	3222 Peenra-âlveraba	Ümaralehine huulhein
Männikjärve raba	58.873301, 26.253167	01.08.25	3222 Peenra-âlveraba	Ümaralehine huulhein, pikalehine huulhein, vârd-huulhein
Elva Vaikse järve õõtsiksoo	58.209526, 26.427023	03.08.25	3122 Õõtsik-siirdesoo	Ümaralehine huulhein, pikalehine huulhein, vârd-huulhein
Kuresoo lääneosa	58.463241, 25.040094	16.08.25	3222 Peenra-âlveraba	Ümaralehine huulhein, pikalehine huulhein, vârd-huulhein



Joonis 1. Uuritud proovialade paiknemine ning erinevate huulheina liikide esinemine. Aluskaart: Maa-amet.

Kogumisaladest kuulusid enim asukohti (Valgesoo idaosa, Männikjärve raba ja Kuresoo lääneosa) peenra-älveraba kasvukohatüüpi ehk toitainevaesed rabad, mille pinnavorm on mättaline ja turbasambla rohke. Simula lagesoo kuulub rohustiirde-soo kasvukohatüüpi, mis on mõõdukalt toitaineterikas, tasase reljeefiga ja tarnadega domineeritud taimkattega. Veskijärve läänekalda soo liigitub peenra-älveraba kasvukohatüüpi, mida iseloomustab toitainetevaene pinnas, mättaline pinnamood ja hõre puistu. Elva Vaikse järve õõtsiksoo paikneb õõtsik-siirde-soo kasvukohatüübis, mille tunnusteks on vesine ja ebastabiilne pinnas ning tihe samblarinne.

Arbuskulaarse mükoriisa määramiseks eraldati kuivatatud taimedel juured ja lõigati need umbes 1 cm pikkusteks tükkideks, mis asetati kassetidesse. Juhul kui juuri oli vähe ja need olid väga õhukesed, seoti kassetide ümber valge puuvillane riie, et vältida nende kadumist töötuse käigus. Juurte puhastamiseks hoiti neid esmalt 10% KOH lahuses toatemperatuuril 24 tundi, seejärel samas lahuses 90 °C juures 15 minutit (Vierheilig *et al.* 1998). Kuna huulheina perekonna liikide juured on äärmiselt tumedad, siis nähtavuse parandamiseks hoiti

neid 12-15% naatriumhüpokloriidi (NaOCl) lahuses toatemperatuuril vähemalt 20 minutit. Juurte värvimiseks kasutati 4% sinise tindi ja 5% äädikhappe lahust, milles hoiti juuri 15 minutit 90 °C juures (Vierheilig *et al.* 1998). Arbuskulaarse mükoriisa kolonisatsiooni hinnati valgusmikroskoobi abil, kasutades 100 ristlõike vaatluse meetodit, mille käigus märgiti hüüfide, arbuskulite ja vesiikulite esinemine.

2.1 Andmeanalüüs

Taimekoosluste liigirikkuse ja Shannoni mitmekesisusindeksi erinevusi huulheina liikide vahel hinnati ühesuunalise dispersioonanalüüsiga (ANOVA), kus sõltumatuks muutujaks oli huulheina liik. Huulheinte katvuste võrdlemiseks kasutati Kruskal–Wallise testi, kuna andmed ei vastanud normaaljaotuse eeldusele.

Taimekoosluste koosseisu erinevuste hindamiseks koostati Bray–Curtise kaugusmõõdikul põhinev NMDS ordinatsioon (*non-metric multidimensional scaling*), kasutades paketti vegan (Oksanen *et al.* 2024).

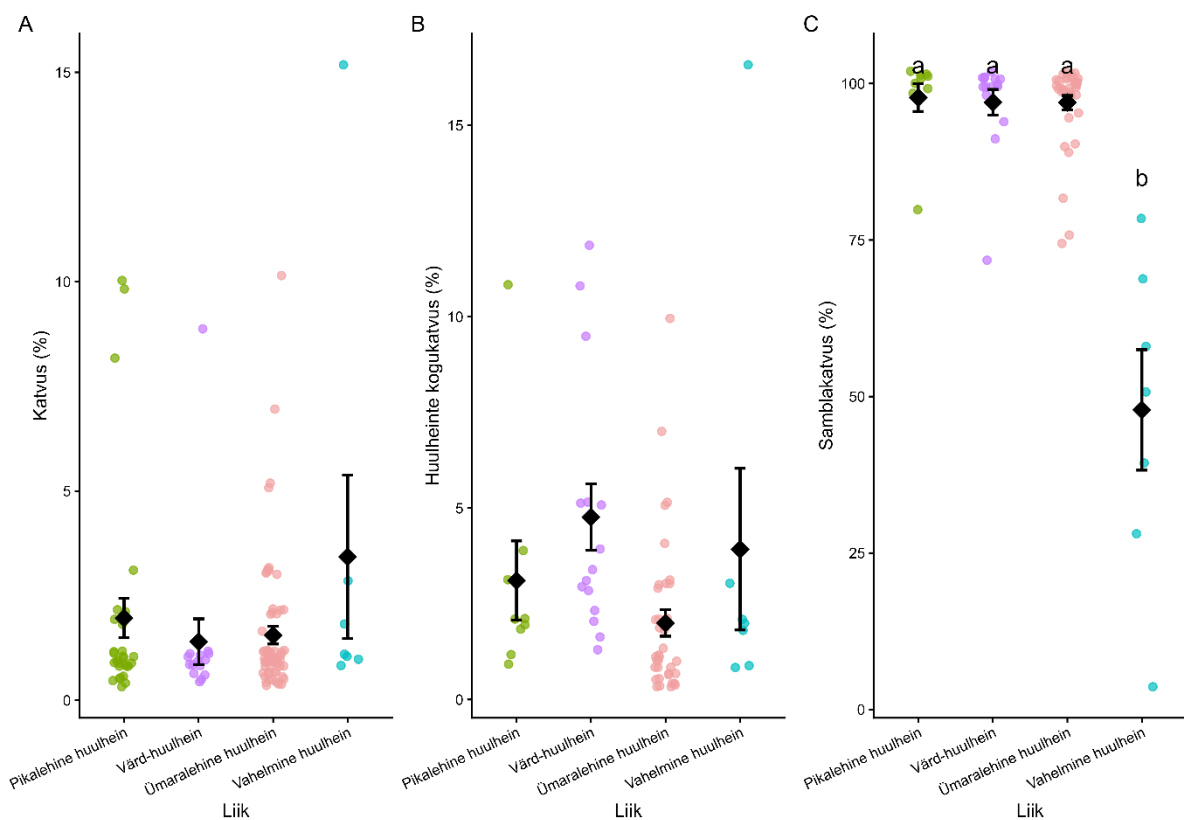
Ellenbergi indikaatorväärtuste ja Euroopa taimede häiringu indikaatorväärtuste koosluste kaalutud keskmiste (*Community Weighted Mean*, CWM) arvutamiseks leiti kõigepealt iga taimeruudu kohta liikide proportsionaalne katvus, jagades iga liigi katvuse taimeruudus kõigi liikide kogukatvusega. Seejärel korrutati iga liigi indikaatorväärtus selle liigi proportsionaalse katvusega ning summeeriti saadud väärtused taimeruutude kaupa ja leiti igale huulheina liigile keskmised väärtused, mida võrreldi ühesuunalise dispersioonanalüüsiga (ANOVA), kus sõltumatuks muutujaks oli huulheina liik ning sõltuvateks muutujateks koosluste kaalutud keskmised Ellenbergi väärtused ja häiringuindikaatorid.

Taimekoosluste erinevuste statistiliseks hindamiseks kasutati PERMANOVA analüüsi ning liikide vaheliste erinevuste hindamiseks viidi läbi paariviisilised PERMANOVA analüüsid. Taimekoosluste varieeruvuse hindamiseks võrreldi beetamitmekesisust Bray–Curtise kaugusmõõdiku alusel. Indikaatorliikide määramiseks kasutati IndVal analüüsi paketi *indicspecies* abil (De Cáceres ja Legendre 2009). Analüüsid viidi läbi programmis R (R Core Team 2025).

3. Tulemused

3.1 Huulheina perekonna liike ümbritsevad taimekooslused

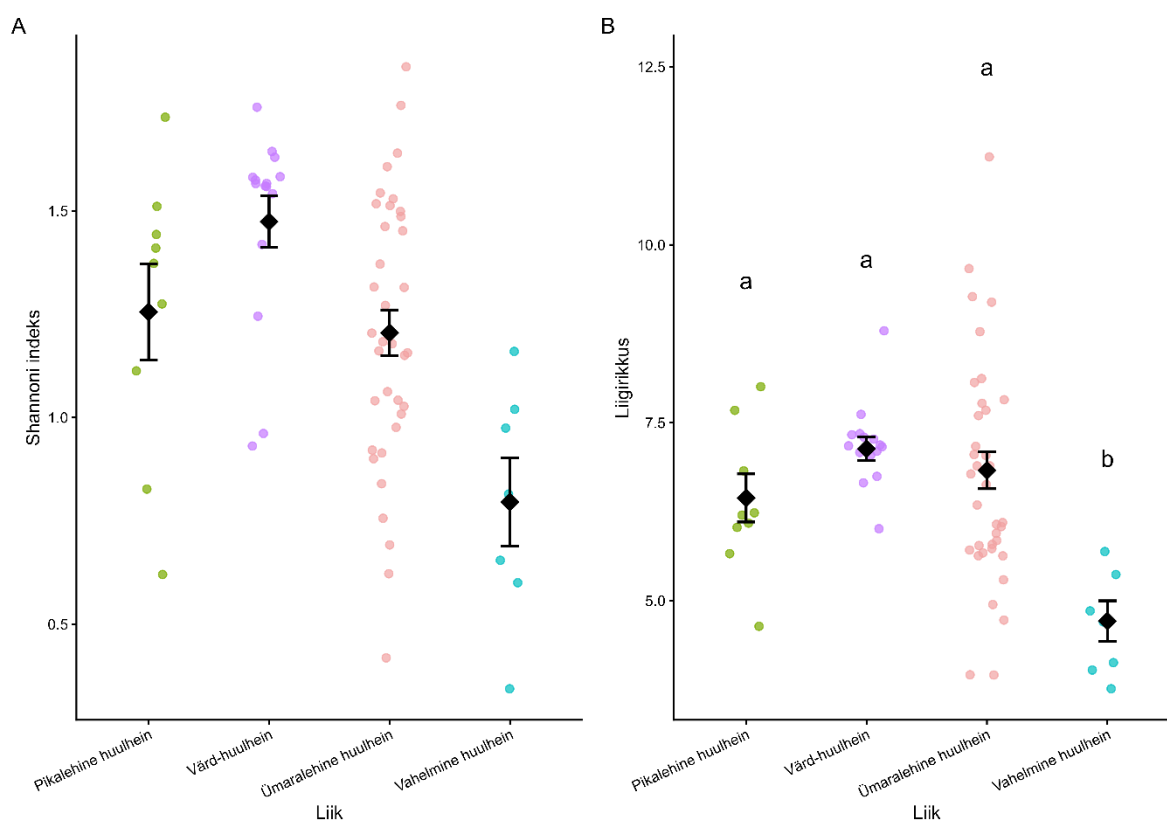
Värd-huulheina kasvukohtades oli kõigi huulheina liikide summaarne katvus keskmiselt kõrgem kui teiste liikide kasvukohtades, kuid erinevus ei olnud statistiliselt oluline (ANOVA, $p > 0,05$) (Joonis 2B). Samuti ei erinenud statistiliselt oluliselt katvused liikide lõikes (Kruskal-Wallise test, $p > 0,05$) (Joonis 2A). Samblakatvus erines huulheina liikide kasvukohtade vahel statistiliselt oluliselt (ANOVA: $F = 46,91$; $p < 0,001$) (Joonis 2). Tukey järeltest näitas, et vahelmise huulheina kasvukohtades oli samblakatvus oluliselt väiksem võrreldes pikalehise, ümaralehise ja värd-huulheina kasvukohtadega (kõigil $p < 0,001$). Värd-huulheina kasvukohtade samblakatvus ei erinenud statistiliselt oluliselt tema vanemliikide kasvukohtadest.



Joonis 2. Huulheina katvused liikide lõikes uuritud kooslustes (A) Huulheinte summaarne katvus (B) ja Samblakatvus erinevate huulheina liikide kasvukohtades (C). Punktid tähistavad

üksikuid prooviruute, mustad rombid keskmisi ning vurrud standardviga. Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulisi erinevusi liikide vahel Tukey järeltesti alusel.

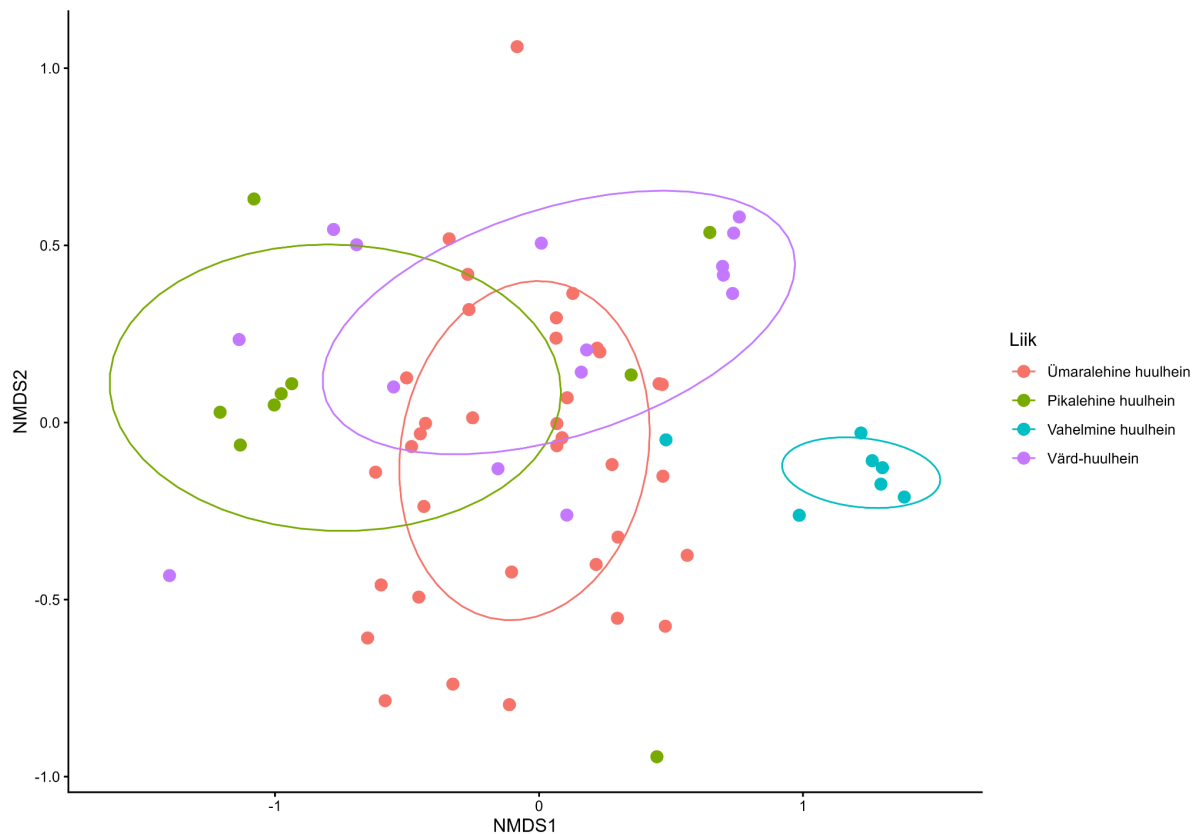
ANOVA analüüs näitas statistiliselt olulist erinevust huulheina liikidega kaasnevate taimekoosluste liigirikkuse osas ($F = 6,42$, $p < 0,001$) (Joonis 3B). Tukey järelanalüüs näitas, et vahelmise huulheina proovialadel oli üldine liigirikkus statistiliselt oluliselt madalam võrreldes ümaralehise, pikalehise ja vârd-huulheina proovialadega. Huulheina liikidega kaasnevate taimekoosluste Shannoni mitmekesisusindeks liikide vahel statistiliselt oluliselt ei erinenud (ANOVA: $F = 2,08$; $p = 0,111$).



Joonis 3. Shannoni mitmekesisusindeksi (A) ja liigirikkuse väärtused (B) erinevate huulheina liikide kooslustes. Punktid tähistavad üksikuid prooviruute, mustad rombid keskmisi ning vurrud standardviga. Erinevad tähed näitavad statistiliselt olulisi erinevusi liikide vahel Tukey järeltesti alusel.

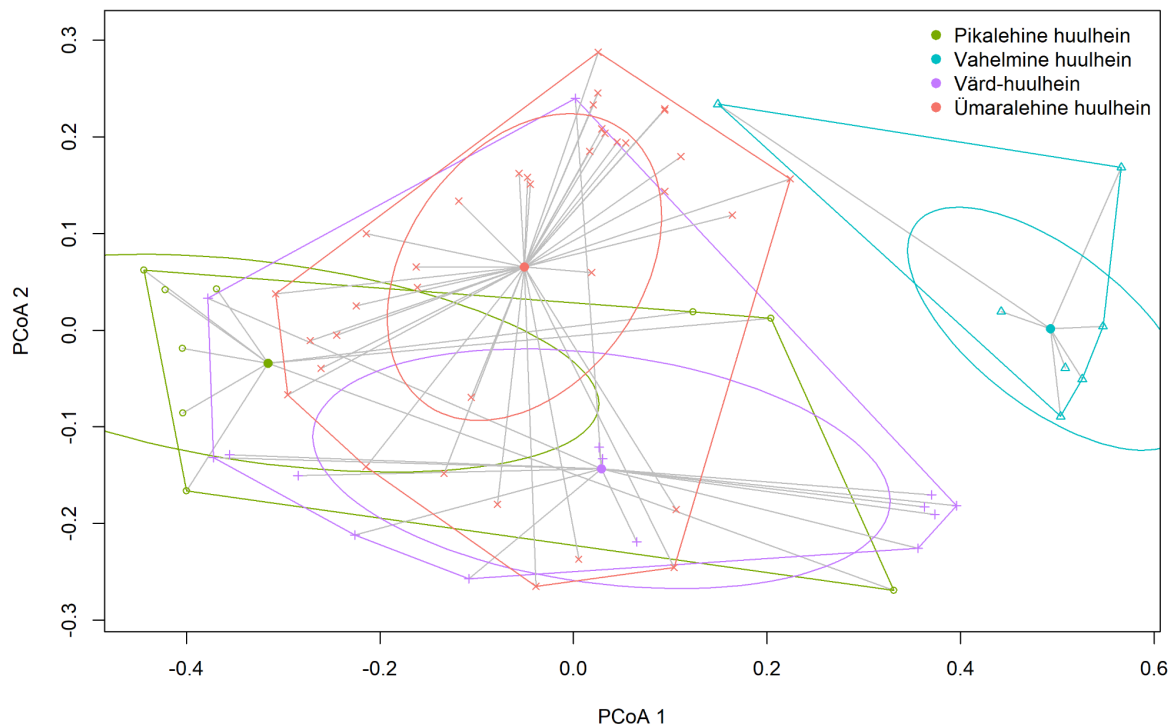
NMDS ordinatsioon ja PERMANOVA analüüs näitasid statistiliselt olulisi erinevusi erinevate huulheina liikide taimekooslustes ($F = 7,95$; $p = 0,001$; $R^2 = 0,34$) (Joonis 4). Kõige selgemalt eristus vahelmise huulheina rühm. Paariviisilised PERMANOVA analüüsid näitasid, et vahelmise huulheina taimekooslused erinesid statistiliselt oluliselt kõigi teiste

uuritud huulheina liikide kooslustest ($p = 0,001$). Kõige suurem erinevus ilmnes vahelmise ja pikalehise huulheina vahel ($R^2 = 0,56$). Võrreldes vänd-huulheina taimkooslusi tema vanemliikidega, sarnanesid need rohkem pikalehise huulheina kooslustega, kuna statistiliselt olulist erinevust nende vahel ei leitud ($p = 0,112$). Seevastu ümaralehise huulheina kooslustest erinesid vänd-huulheina kooslused statistiliselt oluliselt ($p = 0,001$).



Joonis 4. Erinevate huulheina liikide taimkoosluste NMDS ordinatsioon Bray–Curtise kaugusmõõdiku alusel. Ellipsid tähistavad liikide hajuvust ordinatsiooniruumis. PERMANOVA analüüs näitas statistiliselt olulisi erinevusi liikide taimkooslustes ($F = 7,95$; $p = 0,001$; $R^2 = 0,34$).

Beetamitmekesisuse analüüs näitas statistiliselt olulisi erinevusi huulheina liikide taimkoosluste varieeruvuses ($F = 4,73$; $p = 0,005$) (Joonis 5). Paariviisilised võrdlused näitasid, et vahelmise huulheina koosluste varieeruvus erines oluliselt nii vänd-huulheina ($p = 0,002$) kui ka ümaralehise huulheina kooslustest ($p = 0,022$). Vänd-huulheina koosluste varieeruvus ei erinenud statistiliselt oluliselt tema vanemliikide kooslustest.



Joonis 5. Huulheina liikide taimekoosluste beetadiversiteedi ordinaatsioon Bray–Curtise kaugusmõõdiku alusel. Ellipsid tähistavad liikide hajuvust ordinaatsiooniruumis.

Indikaatorliikide analüüs näitas, et erinevate huulheina liikide kooslustega olid seotud erinevad taimeliigid (Tabel 2). Pikalehise huulheina kooslusi iseloomustas ubaleht ($p = 0,001$), vahelmise huulheina kooslusi rabajänesvill ($p = 0,001$) ning ümaralehise huulheina kooslusi kukemari ($p = 0,037$). Vård-huulheina kooslustele ei leitud eraldiseisvat indikaatorliiki, kuid valge nokkhein oli statistiliselt seotud nii vård- kui ka pikalehise huulheina kooslustega ($p = 0,006$).

Tabel 2. Indikaatorliikide analüüsi (IndVal) tulemused erinevate huulheina liikide taimkooslustes.

Liik	Indikaatorliik	IndVal	P väärtus
Ümaralehine huulhein	Kukemari	0,58	0,037
Vahelmine huulhein	Rabajänesvill	1,00	0,001
Pikalehine huulhein	Ubaleht	0,77	0,001
Pikalehine huulhein + vänd-huulhein	Valge nokkhein	0,61	0,006

3.2 Eesti Huulheina perekonna liikide taimekoosluste Ellenbergi indikaatorväärtused ja häiringu indikaatorväärtused

Huulheina perekonna liikide koosluse kaalutud keskmised väärtused olid üldiselt sarnased (Tabel 3). Keskmine valgusväärtus jäi 7,1 - 7,5 vahele, mis Ellenbergi skaalal tähendab poolvalguslembelisi taimi, mis kasvavad enamasti täisvalguses, kuid võivad esineda ka varjulisemates tingimustes. Keskmine niiskuseväärtus oli 7,9 kuni 8,3, mis iseloomustab substraati kui läbivettinud ja halvasti õhutatud. Keskmine toitainete väärtus oli 2 - 2.4, mis iseloomustab kasvukohta väga toitainevaesena. Kõigi liikide keskmine häiringu sageduse väärtus oli ligikaudu 0,7, mis viitab suhteliselt harva esinevatele häiringutele ning umbes 20-aastasele häiringute korduvusintervallile. Keskmine häiringu tugevuse väärtus oli 0,4 - 0,5, mis viitab mõõdukalt tugevale häiringule, mille käigus võib hävida umbes pool maapealsest biomassist. Ühesuunalise dispersioonanalüüsi (ANOVA) tulemused näitasid, et erinevate huulheina liikide taimekoosluste vahel ei esinenud statistiliselt olulisi erinevusi valguse, niiskuse, toitainete sisalduse, häiringu sageduse ega häiringu tugevuse kaalutud keskmiste väärtustes (kõigil tunnustel $p > 0,05$) (Tabel 4).

Tabel 3. Erinevate huulheina liikide taimekoosluste keskmised Ellenbergi väärtused ning häiringu sagedus ja tugevus. Kooslustes esinenud taimeliikide Ellenbergi väärtused põhinesid Tichý *et al.* (2022) andmetel ning häiringu sageduse ja tugevuse väärtused Midolo *et al.* (2022) andmetel.

Liik	N	Keskmine valgusväärtus	Keskmine niiskuseväärtus	Keskmine toitainete väärtus	Keskmine häiringu sagedus	Keskmine häiringu tugevus
Ümaralheine huulhein	36	7,5	8.3	2.0	0.7	0.5
Pikalehine huulhein	9	7,1	7.9	2.4	0.7	0.4
Vahelmine huulhein	7	7,1	8.2	2.3	0.7	0.5
Värd-huulhein	15	7.5	8.3	2.0	0.7	0.4

Tabel 4. Ühesuunalise dispersioonanalüüsi (ANOVA) tulemused erinevate huulheina liikide taimekoosluste kaalutud keskmiste Ellenbergi väärtuste ning häiringu sageduse ja tugevuse võrdlemisel.

Faktor	F väärtus	p väärtus
Valgusväärtus	1,207	0,315
Niiskuseväärtus	0,369	0,776
Toitainete väärtus	0,582	0,629
Häirignu sagedus	0,189	0,904
Häiringu tugevus	0,416	0,742

3.3 Arbuskulaarne mükoriisa

Prooviruudust korjatud huulheinte juureproovidest ei tuvastatud mitte ühtegi arbuskulaarmükoriisale iseloomulikke seenstruktuure, sealhulgas hüüfe, arbuskuleid ega vesiikuleid. Obligatoorselt arbuskulaar-mükoriisseid taimeliike tuvastati vaid kahes 67-st uuritud taimeruudust.

4. Arutelu

Perekond huulheina liigid on efektiivsed indikaatorliigid soode seisundi hindamiseks (Olivares-Pinto *et al.* 2025). Samas pole siiani Eestis teadmisi selle perekonnaga kaasnevate soontaimede liigirikkuse kohta. Antud töö tulemused kinnitavad osaliselt hüpoteesi, et liikidevahelised erinevused kasvukohta abiootilistes tingimustes väljenduvad ka kaaslevas taimekoosluse liigirikkuses, kuna vahelmise huulheinaga kaasnevad taimekooslused olid madalama liigirikkusega, kui ümaralehise, pikalehise ja vänd-huulheinaga seonduvad kooslused. Vahelmise huulheina kasvukohtades oli ka madalam samblarinde katvus, mis on kooskõlas varasemate leidudega, et see liik eelistab kasvada mudasälvestes ja ei talu varju. (Crowder *et al.* 1990). Erinev kasvukoha eelistus võib olla ka põhjus, miks vaheline huulhein teistest Eesti huulheintest kõige haruldasem on (Aher 1984).

Vänd-huulhein esines kõigis töös uuritud asukohtades, kus esinesid tema vanemliigid. Hübriidi taimekooslused olid üldiselt sarnased teiste Eestis esinevate huulheina liikide kooslustega, kuid võrreldes oma vanemliikidega sarnanes vänd-huulhein rohkem pikalehise kui ümaralehise huulheina kooslustega. See kinnitab töös püstitatud hüpoteesi, et vänd-huulheina kooslused sarnanevad vanemliikidest pigem pikalehise huulheinaga. Antud töö andmestiku põhjal leiti, et ka vänd-huulheina katvus ei erinenud tema vanemliikidest oluliselt. On leitud, et vänd-huulhein võib oma suurema morfoloogia tõttu olla vanemliikidega ühistes kasvukohtades domineerivam (Hoyo 2013). Antud töös oli huulheinte summaarne katvus vähesel määral kõrgem vänd-huulheina taimeruutudes, aga see ilmselt ei tulene morfoloogilisest eripärast vaid väljendab kolme huulheina liigi koosesinemist.

Ellenbergi indikaatorväärtused ei erinenud liikide vahel. See võib tuleneda sellest, et uuritud perekonna kasvukohad (rabad ja siirdesood) olid jõudnud suktsessiooni hilisesse etappi ning kujunenud suhteliselt stabiilseteks kliimakskooslusteks. Kuigi Ellenbergi koosluse kaalutud keskmised väärtused ei erinenud uuritud liikide vahel, on teada, et nende kasvukohad raba mikroreljeefil erinevad (Crowder *et al.* 1990, Robinson 2017). Taimekoosluste põhjal hinnatud kasvukohatingimused ei pruugi siiski neid mikroelupaigalisi erinevusi selgelt välja tuua.

Vänd-huulheina Ellenbergi väärtuseid ega häiringuindikaatoreid ei ole varasemalt uuritud (Tichý *et al.* 2022, Midolo *et al.* 2022). Käesolevas töös arvatud koosluste keskmised väärtused viitavad sellele, et vänd-huulheina Ellenbergi väärtarvud võiksid olla sarnased teiste Eestis kasvavate huulheinade Ellenbergi väärtarvudega. See on tõenäoliselt tingitud sellest, et

värd-huulhein kasvab peamiselt ainult nendes kasvukohtades, kus esinevad tema vanemliigid ja ta ei ole suuteline seemnetega levima (Rodondi *et al.* 2009, Hoyo *et al.* 2020).

Antud töö andmestiku põhjal leiti, et erinevate huulheinte liikide kooslusi iseloomustasid erinevad indikaatorliigid. Ümaraleheise huulheinaga oli seotud harilik kukemari, vahelmise huulheinaga rabajänesevill ja pikalehisega ubaleht. Need liigid kirjeldavad hästi huulheinte kasvukohtasid ja levikut, näiteks harlikku kukemarja leidub kuivematest kasvukohtadest nagu rabametsad (Krall *et al.* 2010). Ka ümaralehine huulhein eelistab pigem kuivemat kasvukohta (Aher 1984). Ubaleht esineb pigem märjemates kohtades raba mikroreljeefil sarnaselt pikalehise huulheinaga (Krall *et al.* 2010, Aher 1984). Rabajänesvill nagu vahelmine huulhein on peamiselt levinud ainult Lääne-Eestis (Krall *et al.* 2010, Aher 1984). Värd-huulheinale ei leitud eraldiseisvat indikaatorliiki, mis võib tuleneb sellest, et ta kasvab samades kohtades, kus tema vanemliigid (Hoyo *et al.* 2020).

Käesolevas töös ei tuvastatud Eestis kasvavatel huulheina perekonna liikide juurtes arbuskulaarset mükoriisat. Kuna Eesti huulheinte kasvukoht on liigniiske ja hapnikuvaene on seal AM seente levik pärsitud ja seal kasvavad taimed üldiselt arbuskulaarset mükoriisat ei moodusta (Huang *et al.* 2021, Xu *et al.* 2016). Leitud tulemus toetab Montero, Freundi ja Fukushima (2025) hiljutises uuringus välja toodud seisukohta, et huulheina perekonnas ei ole piisavalt tõendid arbuskulaarse mükoriisa sümbioosi kohta. Kuna huulheitel on võime omastada toitained enda saagist, puudub neil tõenäoliselt vajadus arendada sümbiootilisi suhteid arbuskulaarsete mükoriisaseentega täiendavate toitainete omastamiseks (Montero *et al.* 2025). Siiski on varem huulheina perekonna juurtest arbuskulaarset mükoriisat leitud ja seda mitme erineva katse käigus (Quilliam ja Jones 2009, Weishampel ja Bedford 2006, Fuchs ja Haselwandter 2004). Käesoleva magistr töö üheks hüpoteesiks oli, et arbuskulaarse mükoriisa kolonisatsioon huulheinte juurtes on võimalik juhul, kui naabertaimed moodustavad ulatuslikult arbuskulaarset mükoriisat. Antud töö käigus kogutud huulheinad kasvasid aga läbivalt sellistes taimekooslustes, kus puudusid AM moodustavad taimeliigid, mistõttu ei olnud võimalik seda hüpoteesi testida. Samas varasemates uuringutes kasvasid uuritud huulheinad kooslustes, kus esines AM moodustavaid taimi. Näiteks ümaralehine huulhein kasvas kooslustes, kus domineerisid lamba-aruhein (*Festuca ovina*) ja jusshein (*Nardus stricta*), mis mõlemad moodustavad arbuskulaarset mükoriisat (Quilliam ja Jones 2009). Ka Weishampel ja Bedford (2006) uuringus kasvas ümaralehine huulhein madalsoos, kus peaaegu kõik ümbritsevad taimed olid mingil määral koloniseeritud AM seente poolt. Lisaks kasvas vahelmine huulhein, mida uuriti Fuchs ja Haselwandter (2004) töös, koos hariliku sinihelmikaga (*Molinia caerulea*), mis moodustab arbuskulaarset mükoriisat. Seega

vajab endiselt uurimist püstitatud hüpotees, et AM moodustavate naabertaimede olemasolu võib olla oluline tegur huulheinte võimalikul koloniseerimisel arbuskulaarsete mükoriisaseente poolt, kuid selle kinnitamiseks on vajalikud täiendavad uuringud erinevates kasvukohtades.

Kokkuvõte

Magistritöö eesmärk oli uurida Eestis kasvavate huulheinte kasvukoha taimekooslusi ning leida, kas nende juurtes esineb arbuskulaarset mükoriisat. Töö keskendus neljale Eestis kasvavale huulheina perekonna taksonile: ümaralehine huulhein (*D. rotundifolia*), pikalehine huulhein (*D. anglica*), vaheline huulhein (*D. intermedia*) ja hübriid vänd-huulhein (*Drosera* × *obovata*). Lisaks taimekoosluste kirjeldamisele hinnati liikide kasvukohtade abiootilisi tingimusi Ellenbergi indikaatorväärtuste ja Euroopa taimede häiringuindikaatorite abil.

Töö jaoks püstitati järgmised uurimisküsimused:

1. Millised taimekooslused kaasnevad Eestis kasvavate huulheina perekonna liikidega?

Hüpotees: Liikidevahelised erinevused eelistatud kasvukoha abiootilistes tingimustes väljenduvad ka taimekoosluste liigirikkuses.

2. Millised on vänd- huulheinaga kaasnevad taimekooslused?

Hüpotees: Vänd-huulheinaga seotud taimekooslused on liigilise koosseisu ja taimede keskkonnaeelistuse osas sarnasemad pikalehise huulheinaga kui ümaralehise huulheinaga.

3. Kas Eestis kasvavate perekond huulheina liikide juurtes leidub arbuskulaarset mükoriisat?

Hüpotees: Arbuskulaarse mükoriisa kolonisatsioon on võimalik juhul, kui naabertaimed moodustavad ulatuslikult arbuskulaarset mükoriisat.

Katse jaoks koguti 2026 aasta suvel andmeid kuuest erinevast soost Eestis, kus määrati taimeruutudes liigid ja nende katvused ning koguti huulheinte isendeid arbuskulaarse mükoriisa määramiseks. Leiti, et ümaralehise, pikalehise ja vänd-huulheina kasvukoha taimekooslused olid sarnased, kuid vaheline huulhein erines oluliselt nii liigirikkuse kui ka samblakatvuse osas. Olemasolevate Ellenbergi indikaatorväärtuste ja häiringuindikaatorite põhjal hinnatud kasvukohtade abiootilised tingimused liikide vahel oluliselt ei erinenud. Lisaks leidis kinnitust hüpotees, et vänd-huulheina kasvukoha taimekooslused sarnanevad pigem pikalehise kui ümaralehise huulheinaga.

Arbuskulaarset mükoriisat ei tuvastatud ühegi uuritud huulheina juurtest ning valdav enamus registreeritud taimedest teadaolevalt arbuskulaarset mükoriisat ei moodusta. Tulemused viitavad sellele, et sobivate peremeestaimede puudus ja liigniisked ning hapnikuvaesed soo elupaigad ei toeta arbuskulaarse mükoriisa kujunemist. Lisaks võib mükoriisa puudumine olla seotud huulheinte putuktoidulise eluviisiga, mis võimaldab neil omastada vajalikke toitaineid saagist. Kuna obligatoorselt arbuskulaar-mükoriisseid taimeliike esines uuritud

kasvukohtades väga vähe, oleks tulevikus oluline uurida huulheinte ja arbuskulaarse mükoriisa seoseid ka teistes Eesti elupaikades, kus AM taimi esineb sagedamini.

Huulheina perekonna liigid on tundlikud keskkonnatingimuste ja häiringute suhtes ning seetõttu olulised soode seisundi indikaatorliigid. Käesoleva töö tulemused täiendavad teadmisi Eestis kasvavate huulheina liikide ökoloogiast, biotilistest suhetest ja kasvukoha eelistustest ning annavad uusi teadmisi väheuuritud hübriidi värehuulheina kohta.

Summary

The aim of this master's thesis was to investigate the plant communities associated with Estonian *Drosera* species and determine whether arbuscular mycorrhiza occurs in their roots. The study focused on four taxa of the genus *Drosera* occurring in Estonia: *D. rotundifolia*, *D. anglica*, *D. intermedia*, and the hybrid *Drosera* × *obovata*. In addition to describing plant communities, the abiotic conditions of the habitats were assessed using Ellenberg indicator values and European disturbance indicator values.

The following research questions were addressed in this study:

1. What plant communities are associated with *Drosera* species occurring in Estonia?

Hypothesis: Differences in the preferred abiotic habitat conditions among species are also reflected in the species richness of their plant communities.

2. What plant communities are associated with the hybrid *Drosera* × *obovata*?

Hypothesis: Plant communities associated with *Drosera* × *obovata* are more similar in species composition and environmental preferences to those associated with *D. anglica* than with *D. rotundifolia*.

3. Does arbuscular mycorrhiza occur in the roots of *Drosera* species growing in Estonia?

Hypothesis: Colonisation by arbuscular mycorrhiza is possible when neighbouring plants extensively form arbuscular mycorrhiza.

Field data were collected during the summer of 2026 from six different mires in Estonia, where plant species and their cover were recorded and *Drosera* species were collected for arbuscular mycorrhiza analysis. The results showed that the plant communities associated with *D. rotundifolia*, *D. anglica*, and *Drosera* × *obovata* were similar, whereas *D. intermedia* differed significantly from the other taxa. Habitat abiotic conditions estimated using Ellenberg indicator values and disturbance indicator values did not differ significantly among species. In addition, the hypothesis that plant communities associated with *Drosera* × *obovata* resemble those of *D. anglica* more than those of *D. rotundifolia* was supported.

Arbuscular mycorrhiza was not detected in the roots of any studied *Drosera* species, and the vast majority of recorded plant species are not known to form arbuscular mycorrhiza. The results suggest that the absence of suitable host plants and the waterlogged, oxygen-poor conditions of mire habitats do not favor the development of arbuscular mycorrhiza. In addition, the absence of mycorrhiza may be related to the carnivorous lifestyle of *Drosera* species, which enables them to obtain necessary nutrients from prey. As obligately arbuscular mycorrhizal plant species were very rare in the studied habitats, future studies should investigate the relationships between *Drosera* species and arbuscular mycorrhiza in other Estonian habitats where AM plants are more common.

Species of the genus *Drosera* are sensitive to environmental conditions and disturbances and are therefore important indicator species of mire ecosystems. The results of this study expand current knowledge of the ecology, biotic interactions, and habitat preferences of Estonian *Drosera* species and provide new information about the poorly studied hybrid *Drosera* × *obovata*.

Tänu sõnad

Soovin tänada enda juhendajat Kadri Kooremit igakülgse abi ja toetuse eesti. Lisaks Karinit ja Miinat laboritööga aitamise eest ning Merikest, kes sõidutas mind terve suvi ringi, et huulheinasid otsida.

Kasutatud kirjandus

- Abbott, Matthew J. 2017. "Conditions Responsible For The Success Of Carnivorous Plants In Nutrient-Poor Wetlands." *University of Mississippi*.
- Adamec, Lubomír, and Andrej Pavlovič. 2018. *Mineral Nutrition of Terrestrial Carnivorous Plants*.
- Aher, S. (1984) Huulhein. Tallinn, Valgus.
- Bradley, Mark. 2010. "Assessment of Differences in Microhabitat Preferences Between *Drosera Rotundifolia* and *Drosera Intermedia* in a Northern Michigan Bog." *Deep Blue (University of Michigan)*.
- Chakraborty, Kripamoy, Krishna Talapatra, Aparajita Roy Da, Ajay Krishna Saha, and Panna Das. 2019. "Mycorrhizal Colonization in *Drosera Burmannii* Vahl, a Carnivorous Plant: Observation Using Light and Fluorescence Microscopy." *AMBIENT SCIENCE* 06 & 06h(1). doi: 10.21276/ambi.2019.06.1.ra02.
- Crowder, A. A., M. C. Pearson, P. J. Grubb, and P. H. Langlois. 1990. "*Drosera* L." *Journal of Ecology* 78(1):233. doi: 10.2307/2261048.
- De Cáceres M, Legendre P (2009). "Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference." *_Ecology_*, *90*, 3566-3574. doi:10.1890/08-1823.1 <<https://doi.org/10.1890/08-1823.1>>.
- Ellenberg, H. (1974). 1979-Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (Indicator values of vascular plants in Central Europe). *Scripta Geobot*, 9(2), 444-457.
- Ellison, Aaron M., and Lubomír Adamec. 2018. *Introduction: What Is a Carnivorous Plant?*
- Ellison, Aaron M., and Nicholas J. Gotelli. 2009. "Energetics and the Evolution of Carnivorous Plants—Darwin's 'Most Wonderful Plants in the World.'" *Journal of Experimental Botany* 60(1):19–42. doi: 10.1093/jxb/ern179.
- Fleischmann, Andreas, Adam T. Cross, Robert Gibson, Paulo M. Gonella, and Kingsley W. Dixon. 2018. *Systematics and Evolution of Droseraceae*.
- Fuchs, B., and K. Haselwandter. 2004. "Red List Plants: Colonization by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Dark Septate Endophytes." *Mycorrhiza* 14(4):277–81. doi: 10.1007/s00572-004-0314-5.

- Harikumar, V. S. (2013). Are there arbuscular mycorrhizal associations in
carnivorous plants *Drosera burmanii* and *D. indica*. *Botanica Serbica*, 37, 13-
19.
- Hatcher, Christopher R., and Jonathan Millett. 2024. "Carnivorous Sundews (*Drosera*
Rotundifolia) Are More Carnivorous in High-light Bog Microhabitats That
Are Not Also Nutrient-rich." *Functional Ecology* 39(2):596–608. doi:
10.1111/1365-2435.14719.
- Hoyo, Yuri. 2013. "Comparisons of Life Histories, Morphological Traits and Habitats
Between Endangered Species, *Drosera Anglica*, and Common Species, *D.*
Rotundifolia, in a Post-Mined Peatland." *Hokkaido University Collection of*
Scholarly and Academic Papers (Hokkaido University). doi:
10.14943/doctoral.k11082.
- Hoyo, Yuri, Yoichiro Hoshino, and Shiro Tsuyuzaki. 2020. "Formation and
Establishment of Neopolyploids From Sterile Hybrids in *Drosera* in a
Disturbed Environment." *Folia Geobotanica* 55(3):185–93. doi:
10.1007/s12224-020-09377-1.
- Hoyo, Yuri, and Shiro Tsuyuzaki. 2013. "Characteristics of Leaf Shapes Among Two
Parental *Drosera* Species and a Hybrid Examined by Canonical Discriminant
Analysis and a Hierarchical Bayesian Model." *American Journal of Botany*
100(5):817–23. doi: 10.3732/ajb.1200510.
- Hoyo, Yuri, and Shiro Tsuyuzaki. 2014. "Habitat Differentiation Between *Drosera*
Anglica and *D. Rotundifolia* in a Post-Mined Peatland, Northern Japan." *Wetlands* 34(5):943–53. doi: 10.1007/s13157-014-0555-9.
- Huang, Guang-Ming, A. K. Srivastava, Ying-Ning Zou, Qiang-Sheng Wu, and Kamil
Kuča. 2021. "Exploring Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Wetland Plants
With a Focus on Human Impacts." *Symbiosis* 84(3):311–20. doi:
10.1007/s13199-021-00770-8.
- Krall, H.; Kukk, T.; Kull, T.; Kuusk, Vi.; Leht, M.; Oja, T.; Pihu, S.; Reier, Ü.;
Zingel, H.; Tuulik, T.; Muuga, G.; Zingel, H. (2010). *Eesti taimede määraja*.
Tartu: Eesti Maaülikool : Eesti Loodusfoto.
- Midolo, Gabriele, Tomáš Herben, Irena Axmanová, Corrado Marcenò, Ricarda
Pätsch, Helge Bruelheide, Dirk Nikolaus Karger, Svetlana Aćić, Ariel ,
Erwin Bergmeier, Idoia Biurrun, Gianmaria Bonari, Andraž Čarni, Alessandro
Chiarucci, Michele De Sanctis, Olga Demina, Jürgen Dengler, Tetiana Dziuba,

- Giuliano Fanelli, Emmanuel Garbolino, Gianpietro Giusso Del Galdo, Friedemann Goral, Behlül Güler, Guillermo Hinojos-Mendoza, Florian Jansen, Borja Jiménez-Alfaro, Attila Lengyel, Jonathan Lenoir, Aaron Pérez-Haase, Remigiusz Pielech, Vadim Prokhorov, Valerijus Rašomavičius, Eszter Ruprecht, Solvita Rūsiņa, Urban Šilc, Željko Škvorc, Zvezdana Stančić, Irina Tatarenko, and Milan Chytrý. 2022. “Disturbance Indicator Values for European Plants.” *Global Ecology and Biogeography* 32(1):24–34. doi: 10.1111/geb.13603.
- Millett, J., B. M. Svensson, J. Newton, and H. Rydin. 2012. “Reliance on Prey-derived Nitrogen by the Carnivorous Plant *Drosera Rotundifolia* Decreases With Increasing Nitrogen Deposition.” *New Phytologist* 195(1):182–88. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04139.x.
- Montero, Héctor, Matthias Freund, and Kenji Fukushima. 2025. “Convergent Losses of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Carnivorous Plants.” *New Phytologist* 248(4):2040–51. doi: 10.1111/nph.70544.
- Montero, Héctor, and Kenji Fukushima. 2023. “Non-Prey Biotic Interactions in Carnivorous Plants.” *Current Biology* 33(11):R497–500. doi: 10.1016/j.cub.2023.01.053.
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., ... Wagner, H. (2024). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-10.
- Olivares-Pinto, Ulises, Julio Cesar Santiago Lopes, Criseida Ruiz-Aguilar, Yumi Oki, and Geraldo Wilson Fernandes. 2025. “Adapting to a Shifting Planet: The Future of *Drosera* Species Amidst Global Challenges and Conservation Imperatives.” *Anthropocene* 49:100466. doi: 10.1016/j.ancene.2025.100466.
- Paal, J. (1997). *Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon*. Tartu Ülikooli Botaanika ja Ökoloogia Instituut.
- Plackowski, Ryszard. 2025. “*Drosera Intermedia* Hayne – Introduction of Rare Plants Near Radomsko, Central Poland.” *Journal of Ecological Engineering* 26(3):159–65. doi: 10.12911/22998993/199581.
- Poppinga, Simon, Siegfried R. H. Hartmeyer, Tom Masselter, Irmgard Hartmeyer, and Thomas Speck. 2013. “Trap Diversity and Evolution in the Family Droseraceae.” *Plant Signaling & Behavior* 8(7):e24685. doi: 10.4161/psb.24685.

- Quilliam, Richard S., and David L. Jones. 2009. "Fungal Root Endophytes of the Carnivorous Plant *Drosera Rotundifolia*." *Mycorrhiza* 20(5):341–48. doi: 10.1007/s00572-009-0288-4.
- Rahmawati, R., Megawati, K., & Yusran, Y. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi status of *Nepenthes* spp. around Lore Lindu National Park, Central Sulawesi, Indonesia. For. In Ideas Vol. 29, pp. 94-108.
- R Core Team (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Robinson, Alastair. 2017. *Drosera of the World*.
- Rodondi, Graziella, Mario Beretta, and Carlo Andreis. 2009. "Ovule and Pollen Development in the Natural Hybrid *Drosera X Obovata* Mert. & Koch (Droseraceae) and Its Parents." *Flora* 204(9):685–91. doi: 10.1016/j.flora.2008.10.001.
- Santiago, Yana, and Douglas W. Darnowski. 2012. "Mycorrhizal Formation by Various Carnivorous Plants." *Carnivorous Plant Newsletter* 41(1):4–7. doi: 10.55360/cpn411.ys948.
- Soudzilovskaia, Nadejda A., Stijn Vaessen, Milagros Barcelo, Jinhong He, Saleh Rahimlou, Kessy Abarenkov, Mark C. Brundrett, Sofia I. F. Gomes, Vincent Merckx, and Leho Tedersoo. 2020. "FungalRoot: Global Online Database of Plant Mycorrhizal Associations." *New Phytologist* 227(3):955–66. doi: 10.1111/nph.16569.
- Tichý, Lubomír, Irena Axmanová, Jürgen Dengler, Riccardo Guarino, Florian Jansen, Gabriele Midolo, Michael P. Nobis, Koenraad Van Meerbeek, Svetlana Aćić, Fabio Attorre, Erwin Bergmeier, Idoia Biurrun, Gianmaria Bonari, Helge Bruelheide, Juan Antonio Campos, Andraž Čarni, Alessandro Chiarucci, Mirjana Ćuk, Renata Ćušterevska, Yakiv Didukh, Daniel Dítě, Zuzana Dítě, Tetiana Dziuba, Giuliano Fanelli, Eduardo Fernández-Pascual, Emmanuel Garbolino, Rosario G. Gavilán, Jean-Claude Gégout, Ulrich Graf, Behlül Güler, Michal Hájek, Stephan M. Hennekens, Ute Jandt, Anni Jašková, Borja Jiménez-Alfaro, Philippe Julve, Stephan Kambach, Dirk Nikolaus Karger, Gerhard Karrer, Ali Kavgacı, Ilona Knollová, Anna Kuzemko, Filip Küzmič, Flavia Landucci, Attila Lengyel, Jonathan Lenoir, Corrado Marcenò, Jesper Erenskjold Moeslund, Pavel Novák, Aaron Pérez-Haase, Tomáš Peterka, Remigiusz Pielech, Alessandro Pignatti, Valerijus Rašomavičius, Solvita

- Rūsiņa, Arne Saatkamp, Urban Šilc, Željko Škvorc, Jean-Paul Theurillat, Thomas Wohlgemuth, and Milan Chytrý. 2022. “Ellenberg-type Indicator Values for European Vascular Plant Species.” *Journal of Vegetation Science* 34(1). doi: 10.1111/jvs.13168.
- Vierheilig, Horst, Andrew P. Coughlan, Urs Wyss, and Yves Piche. 1998. “Ink And Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi.” *Applied and Environmental Microbiology* 64(12):5004–7. doi: 10.1128/aem.64.12.5004-5007.1998.
- Weishampel, Peter A., and Barbara L. Bedford. 2006. “Wetland Dicots and Monocots Differ in Colonization by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Dark Septate Endophytes.” *Mycorrhiza* 16(7):495–502. doi: 10.1007/s00572-006-0064-7.
- Willis, A., B. F. Rodrigues, and P. J. C. Harris. 2012. “The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi.” *Critical Reviews in Plant Sciences* 32(1):1–20. doi: 10.1080/07352689.2012.683375.
- Xu, Zhouying, Yihui Ban, Yinghe Jiang, Xiangling Zhang, and Xiaoying Liu. 2016. “Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Wetland Habitats and Their Application in Constructed Wetland: A Review.” *Pedosphere* 26(5):592–617. doi: 10.1016/s1002-0160(15)60067-4.

Lisad

Lihthitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Monika Vassiljev ,
(*autori nimi*)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihthitsentsi) minu loodud teose
Huulheina perekonna (*Drosera* L.) biootilised interaktsioonid Eestis ,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on Kadri Koorem ,
(*juhendaja nimi*)

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commons 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 lihthitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Monika Vassiljev

22.05.2026