

**Tartu Ülikool**  
**Loodus- ja täppisteaduste valdkond**  
**Ökoloogia ja maateaduste instituut**  
**Loodusteadusliku hariduse keskus**

**Merit Männi**

**Joonistamise kui visualiseerimismeetodi kasutamine fotosünteesist  
arusaamise hindamiseks 11. klassi õpilaste näitel**

**Magistritöö**

**Gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja**

Juhendaja: Anne Laius, PhD

**TARTU**

**2026**

## **Joonistamise kui visualiseerimismeetodi kasutamine fotosünteesist arusaamise hindamiseks**

### **11. klassi õpilaste näitel**

Fotosüntees on üks olulisemaid biokeemilisi protsesse Maal ning selle protsessi mõistmine on keskse tähtsusega bioloogiaõpetuses. Paraku on fotosünteesi teemat õpilastel keeruline mõista selle abstraktsuse tõttu ning see võib viia väärarusaamade tekkimiseni. Seetõttu on eriti oluline tuvastada, millised teadmised, arusaamad ja väärarusaamad õpilastel juba olemas on. Magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada visualiseerimismeetodi kaudu 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist ning tuvastada levinumaid väärarusaamu, mis selle teemaga seonduvad. Selle eesmärgi saavutamiseks viidi õpilastega läbi uuring, kus õpilaste arusaamist fotosünteesi protsessist hinnati joonistuste analüüsi kaudu. Uuringu tulemuste põhjal antakse õpetajatele soovitusi fotosünteesi õpetamise toetamiseks ja õpilaste kontseptuaalse mõistmise arendamiseks.

**Märksõnad:** fotosüntees, arusaamad, väärarusaamad, visualiseerimine, hindamine

**CERCS: S272 Õpetajakoolitus**

## **The Use of Drawing as a Visualization Method for Assessing 11th-Grade Students' Understanding of Photosynthesis**

Photosynthesis is one of the most important biochemical processes on Earth, and understanding this process is of central importance in biology education. Unfortunately, students often find the topic of photosynthesis difficult to understand due to its abstract nature, which may lead to the development of misconceptions. Therefore, it is important to identify the knowledge, understanding, and misconceptions that students already possess. The aim of this master's thesis was to determine, through a visualization method, 11th-grade students' knowledge and understanding of photosynthesis, as well as to identify the most common misconceptions related to this topic. To achieve this aim, a study was conducted in which students' understanding of the photosynthesis process was assessed through the analysis of their drawings. Based on the results of the study, recommendations are provided for teachers to support the teaching of photosynthesis and to promote students' conceptual understanding.

**Keywords:** photosynthesis, understanding, misconceptions, visualization, assessment

**CERCS: S272 Teacher education**

## Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Kirjanduse ülevaade.....	6
1.1 Visuaalne kirjaoskus bioloogiaõppes.....	6
1.2 Visualiseerimismeetodid bioloogiaõppes .....	8
1.2.1 Joonistamine kui visualiseerimismeetod bioloogiaõppes .....	9
1.3 Joonistamine hindamise meetodina .....	10
1.4 Õpilaste arusaamad fotosünteesi protsessist.....	11
2. Metoodika .....	13
2.1 Uuringu disain ja läbiviimine.....	13
2.2 Valim.....	14
2.3 Uurimisinstrument .....	14
2.4 Andmeanalüüs.....	15
2.5 Eetika .....	16
3. Tulemused.....	17
3.1 Millised on 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist?.....	17
3.2 Millised on 11. klassi õpilaste väärarusaamad fotosünteesist?.....	20
3.3 Millisel tasemel on õpilaste joonistused fotosünteesi protsessist? .....	21
4. Arutelu ja järeldused .....	21
Piirangud.....	24
Kokkuvõte.....	25
Kasutatud kirjandus .....	26
Summary .....	31
Lisad.....	33

## Sissejuhatus

Fotosüntees on üks kesksemaid biokeemilisi protsesse Maal, kujundades eluslooduse toimimise aluseid ning tagades ökosüsteemide püsimise ja ökoloogilise tasakaalu (Gondim & Nolasco Rondon, 2020). Selle protsessi mõistmine ei ole oluline üksnes bioloogia-alaste teadmiste kujunemisel, vaid aitab kaasa tervikliku arusaama tekkimisele maailmast kui omavahel seotud süsteemist, kus elusa ja eluta looduse vahel toimivad pidevad vastastikused seosed. Just seetõttu kuulub fotosünteesi teema bioloogia riiklike õppekavade hulka üle kogu maailma, eriti gümnaasiumiastmes.

Fotosüntees on aga bioloogia õppeaines üks keerukamaid ja abstraktsemaid teemasid, mistõttu tekivad õpilastel selle kohta sageli väärarusaamad (Aprianti et al., 2025). Väärarusaamad on aga üks peamisi tegureid, mis takistavad õpilastel süvitsi minevat ja püsivat õppimist (Köse, 2008). Seetõttu on eriti oluline tuvastada, millised arusaamad ja väärarusaamad õpilastel juba olemas on. Õpetajate teadlikkus õpilaste olemasolevatest arusaamadest ja tüüpilistest väärarusaamadest võimaldab neid sihipäraselt korrigeerida ning toetada õpilaste sügavamal kontseptuaalset mõistmist.

Üheks tõhusaks lähenemiseks õpilaste arusaamade hindamiseks on visualiseerimismeetodite, näiteks joonistuste analüüsi rakendamine. Varasemad uuringud on näidanud, et joonistused võimaldavad tuvastada nii õpilaste arusaamu kui ka nende võimalikke väärarusaamu, pakkudes õpetajatele väärtuslikku teavet õppimise toetamiseks (İlkkörücü-Göçmençelebi & Tapan, 2010; Jayanti, 2020). Ühtlasi võimaldab joonistamine õpilastel väljendada ka neid arusaamu ja mõtteprotsesse, mida nad sõnaliselt ei oska või ei julge formuleerida, mistõttu on see eriti sobiv meetod keerukate bioloogiliste protsesside käsitlemisel (Köse, 2008).

Lähtudes teadmisest, et õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist on sageli killustatud ning selle teema käsitlemisel esinevad väärarusaamad on püsivad ja laialt levinud, mõjutades otseselt õpilaste loodusteadusliku kirjaoskuse kujunemist, on käesoleva magistritöö eesmärgiks välja selgitada visualiseerimismeetodi abil 11. klassi õpilaste arusaamu ja väärarusaamu fotosünteesist. Visualiseerimismeetodite kasutamine võimaldab saada täpsema ülevaate õpilaste kontseptuaalsetest arusaamadest ning pakub väärtuslikku sisendit õpetamispraktika tõhustamiseks (Aprianti et al., 2025).

Pidades silmas magistr töö eesmärgi, püstitati järgmised uurimisküsimused:

1. Millised on 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist?
2. Millised on 11. klassi õpilaste väärarusaamad fotosünteesist?
3. Millisel tasemel on 11. klassi õpilaste joonistused fotosünteesi protsessist?

Eesmärkide saavutamiseks tutvuti erialase kirjandusega ning rakendati õpilaste seas visuaaliseerimismeetodina joonistamist, et tuvastada nende teadmisi, arusaamu ja võimalikke väärarusaamu fotosünteesi protsessi kohta ning hinnata joonistuste taset. Kogutud andmeid analüüsi magistr töö raames väljatöötatud hindamismaatriksi abil.

Soovin tänada oma juhendajat Anne Laiust magistr töö juhendamise ning hindamismaatriksi koostamisel osutatud abi eest. Täna kõiki uuringus osalenud õpilasi nende panuse eest ning kooli juhtkonda, kes võimaldas uuringu läbiviimist. Tänuõnad kuuluvad ka ekspertidele, kelle tagasiside põhjal sai hindamismaatriksit täiendatud. Samuti soovin tänada oma perekonda kannatlikkuse, mõistmise ja toetuse eest.

# 1. Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Visuaalne kirjaoskus bioloogiaõppes

Tänapäeva digiühiskonnas omandab visuaalne informatsioon üha suurema tähtsuse nii hariduses kui ka igapäevaelus. Seetõttu muutub järjest olulisemaks oskus visuaalseid kujutisi tõlgendada, analüüsida ja mõtestada. See tõstab esile visuaalse kirjaoskuse arendamise olulisuse, sest õpilaste suutlikkus visuaalset teavet mõista ja hinnata mõjutab otseselt nende teadmiste sügavust ja mõtlemisoskuse arengut (Hanci, 2022; Ode et al., 2025). Rahvusvahelistes haridusraamistikutes käsitletakse visuaalset kirjaoskust 21. sajandi võtmeoskuste olulise komponendina, mis toetab õpilaste teadmiste sügavamalt omandamist, seoste loomist ning kriitilise mõtlemise arengut (Afidah & Juanengsih, 2024).

Visuaalse kirjaoskuse mõiste kujunes 20. sajandi teisel poolel ning seda seostatakse sageli John Debes'i (1969) töödega, kes rõhutas, et visuaalne kirjaoskus hõlmab nii visuaalsete sõnumite mõistmist kui ka loomist. Hilisemates käsitlustes on mõiste tähendus laienenud, hõlmates lisaks tajuprotsessidele ka kriitilist analüüsi, kultuurilist konteksti ja kommunikatiivset pädevust (Bell, 2014; Newman et al., 2023). Kuigi ühtset definitsiooni ei ole, käsitletakse visuaalset kirjaoskust üldjuhul kui võimet mõista, analüüsida, tõlgendada ja luua visuaalseid representatsioone eesmärgiga konstrueerida ja edastada tähendust. Selline määratlus rõhutab, et visuaalne kirjaoskus ei piirdu passiivse vaatlemisega, vaid hõlmab aktiivset ja reflektiivset tähendusloomet (Peña, 2025).

Visuaalse kirjaoskuse tähtsus avaldub eriti selgelt loodusteaduste õpetamisel ja õppimisel, kus keerukate teaduslike mõistete mõistmisel mängivad kesket rolli visuaalsed representatsioonid (McTigue & Flowers, 2011). Bioloogiaõppes on visuaalne kirjaoskus üks keskseid pädevusi, kuna bioloogilisi nähtusi ja protsesse esitatakse sageli skeemide, diagrammide, jooniste, joonistuste, mudelite ja mikroskoopiliste kujutiste kaudu (Gilbert, 2004; Zhang & Jenkinson, 2024).

Visuaalse kirjaoskuse kognitiivset alust on selgitatud mitmete õppimisteooriate kaudu. Duaalse kodeerimise teooria kohaselt töödeldakse verbaalset ja visuaalset informatsiooni osaliselt eraldiseisvates, kuid omavahel seotud kognitiivsetes süsteemides, mille tulemusel toetavad visuaalsed kujutised õppimist, sest need loovad verbaalsele esitusviisile lisaks eraldi visuaalse representatsiooni, mis tugevdab mõistmist ja soodustab õpitu paremat omandamist ja hilisemat

meenutamist (Paivio, 2010). Richard E. Mayeri multimeedia õppimise teooria rõhutab, et õppimine on tõhusam, kui õpilane integreerib pildilise ja sõnalise informatsiooni (Mayer, 2014). Samas kui John Swelleri kognitiivse koormuse teooria osutab, et halvasti struktureeritud visuaalne info võib töömälu üle koormata ja õppimist takistada. Seega on visuaalne kirjaoskus tihedalt seotud õpilase kognitiivsete protsesside ja eelnevate teadmistega (Sweller, 1988).

Kedra (2018) käsitluse kohaselt jagunevad visuaalse kirjaoskuse oskused kolme omavahel seotud põhikategooriasse: visuaalse lugemise oskused, visuaalse kirjutamise oskused ja muud visuaalsed oskused.

Visuaalse lugemise oskused hõlmavad võimet mõista, tõlgendada ja analüüsida visuaalset teavet ning liikuda erinevate representatsioonitasandite vahel, mis on loodusteadustes õppimise seisukohalt kesksel kohal (McTigue & Flowers, 2011; Paivio, 2010). See hõlmab makrotasandi (nähtav protsess või organism), mikrotasandi (rakuline või molekulaarne tase) ja sümboolse tasandi (valemid, skeemid, diagrammid) seostamist, võimaldades õpilasel kujundada terviklik kontseptuaalne arusaam. Kedra (2018) järgi kuuluvad sellesse valdkonda ka visuaalne tajus, visuaalse grammatika tundmine ning analüüsi- ja hindamisoskused, mis võimaldavad õpilasel pildilist teavet mõtestada ja sihipäraselt kasutada. Õpilase suutlikkus liikuda erinevate tasandite vahel ning integreerida pildiline ja verbaalne teave on otseselt seotud tema kontseptuaalse arusaamise ja sügava õppimisega (Farrar et al., 2024; Mayer, 2014).

Visuaalse kirjutamise oskused võimaldavad luua ja kasutada visuaalseid väljendusvahendeid tähenduse edastamiseks ning kombineerida neid verbaalse kommunikatsiooniga. Kedra (2018) jagab need oskused kolmeks omavahel seotud rühmaks: 1) visuaalne kommunikatsioon, 2) visuaalne kujundamine ja pildiloome, 3) pildimaterjali rakendamine. Kõik need toetavad eesmärgipärast ja mõtestatud visuaalset väljendust.

Multimodaalse kommunikatsiooni käsitlused rõhutavad, et visuaalsed ja verbaalsed ressursid toimivad koos ning tähendus kujuneb nende vastastikmõjus. Hariduslikus kontekstis tähendab see, et õpilaste loodud visuaalid ei ole pelgalt illustratsioonid, vaid väljendavad nende sisemisi mõttemudeleid ja kontseptuaalseid seoseid (Bezemer & Mavers, 2011).

Muud visuaalsed oskused hõlmavad visuaalset mõtlemist, visuaalset õppimist ja rakenduslikku pildikasutust. Visuaalne mõtlemine võimaldab töödelda teavet kujutiste kaudu, samas kui visuaalne õppimine viitab teadmiste omandamisele ja mõtestamisele visuaalsete

representatsioonide abil ning rakenduslik pildikasutus hõlmab visuaalide teadlikku ja eesmärgipärast kasutamist (Guglietti, 2023; Kędra, 2018).

Brumberger (2011) rõhutab, et visuaalne mõtlemine ja visuaalne õppimine ei kujune üksnes igapäevaste visuaalsete kogemuste kaudu, vaid vajavad teadlikku ja sihipärast arendamist. Hariduslikus kontekstis, kus õpitakse keerukaid ja mitmetasandilisi protsesse, on visuaalse kirjaoskuse süsteemne arendamine oluline eeltingimus sügavama kontseptuaalse arusaamise kujunemisele ning loob aluse erinevate visualiseerimismeetodite teadlikuks kasutamiseks õppimise ja hindamise protsessis.

## **1.2 Visualiseerimismeetodid bioloogiaõppes**

Visualiseerimine on õppimist toetav pedagoogiline lähenemine, mille abil muudetakse keerukad ja abstraktsed teadmised visuaalseteks kujutisteks, võimaldades õpilasel neid tõlgendada, analüüsida ja seostada (Evagorou et al., 2015; Gou, 2023). Visualiseerimise kasutamine lähtub konstruktivistlikust õpikäsitusest, mille kohaselt õpilane loob teadmisi aktiivselt, sidudes uue informatsiooni varasemate kogemuste ja teadmistega (Vygotsky, 1978). Visuaalsed representatsioonid toimivad vahendajatena, mis toetavad mentaalsete mudelite kujunemist ja tähendusloomet (Gilbert, 2004).

Bioloogiaõppes aitab visualiseerimine mõista selliseid nähtusi, mis ei ole otseselt vaadeldavad, näiteks rakuprotsesse, fotosünteesi või aineringet (McTigue & Flowers, 2011). Haridusuuringud rõhutavad üha enam visualiseerimise tähtsust õppimise tõhustamisel ning kognitiivsete protsesside toetamisel (Evagorou et al., 2015). Multimodaalse õppimise teooria kohaselt süvendab verbaalse ja visuaalse informatsiooni integreerimine arusaamist, samas kui kognitiivse koormuse teooria juhib tähelepanu sellele, et liigne või halvasti struktureeritud visuaalne info võib õppimist takistada (Mayer, 2014; Sweller, 1988).

Visualiseerimine aitab õpilasel informatsiooni struktureerida, luua seoseid ja mõista keerukate süsteemide dünaamikat. Bioloogiaõppes kasutatakse selleks joonistamist, skeeme, mõistekaarte, diagramme, pilte, graafikuid ning digitaalset ja kolmemõõtmelisi mudeleid (Ainsworth et al., 2011; Ajaja, 2013; Gilbert, 2004; Kragten et al., 2015). Erinevate esitlusviiside kombineerimine loob rikkalikuma õpikeskkonna, kus representatsioonid täiendavad üksteist, toetavad keerukate

protsesside mõistmist ning soodustavad õpilase arusaamise ja kriitilise mõtlemise arengut (Ainsworth et al., 2011; Gilbert, 2004).

Joonistamine võimaldab õpilasel luua isiklikke visuaalseid representatsioone, mis peegeldavad tema arusaamist ja aitavad tuvastada väärarusaamu (Ainsworth et al., 2011; Ajaja, 2013). Skeemid ja diagrammid toetavad süsteemide struktuuri ja protsesside mõistmist ning aitavad liikuda makrotasandite ja mikrotasandite vahel (Hahn & Klein, 2023). Mõistekaardid näitavad mõistetevahelisi seoseid ja toetavad teadmiste organiseerimist (Ajaja, 2013). Pildid ja graafikud aitavad kujutleda protsesse ja trende, toetades andmete tõlgendamise oskust (Gilbert, 2004). Digitaalsed ja kolmemõõtmelised mudelid võimaldavad interaktiivset uurimist ning arendavad probleemilahendusoskust, kuigi liigne detailsus võib suurendada kognitiivset koormust (Mayer, 2014).

Visualiseerimise eesmärk ei ole üksnes informatsiooni esitamine, vaid õpilase mõtlemisstrateegiade kujundamine. Kui õpilasel puudub oskus visuaalseid kujutisi mõista ja kriitiliselt hinnata, võivad visuaalsed mudelid hoopis kinnistada väärarusaamu (Ainsworth et al., 2011; Zhang & Jenkinson, 2024).

### **1.2.1 Joonistamine kui visualiseerimismeetod bioloogiaõppes**

Joonistamist peetakse loodusteaduslikus hariduses oluliseks visualiseerimismeetodiks, kuna see toetab õpilaste aktiivset kaasatust, teadmiste ümberstruktureerimist ja sügavamat arusaamist (Quillin & Thomas, 2015). Joonistamine võimaldab õpilasel luua visuaalseid kujutisi, mis toimivad mõtlemise ja õppimise vahendina ning arenevad koos kontseptuaalse mõistmisega (Ainsworth et al., 2011).

Uuringud toovad esile mitu peamist põhjust, miks joonistamine on bioloogiaõppes oluline: see suurendab õpilaste kaasatust, toetab teaduslike tähistamisviiside õppimist, soodustab arutlemist ja mõtlemist, aitab mõista keerukaid mõisteid ja protsesse ning võimaldab esitada ja põhjendada väiteid (Areljung et al., 2022, 2025). Joonistamise protsess suunab õpilast infot tõlgendama ja organiseerima, samas kui joonistuste jagamine ja arutlemine toetab arusaamade võrdlemist ning väärarusaamade tuvastamist ning korrigeerimist (Ainsworth et al., 2011; Fiorella et al., 2021).

Joonistamine suurendab õpilaste kaasatust, sest nõuab aktiivset osalemist ja loob tähendusliku seose õpilase ning õpitava sisu vahel. Bioloogiaturundides kogevad paljud õpilased passiivset rolli, eriti kui õpe keskendub faktide mehaanilisele meeldejätmisele. Joonistamine pakub võimaluse õppida loovalt ja uurimuslikult, mis aitab vähendada motivatsioonilangust ning suurendada huvi bioloogia vastu (Quillin & Thomas, 2015). Samuti toetab joonistamine individuaalseid erinevusi, kuna iga joonistus peegeldab õpilase hetke arusaamu, kogemusi ja visuaalseid eelistusi, muutes selle paindlikuks ja õpilasekeskseks strateegiaks (Ainsworth et al., 2011).

Bioloogiaõppes on oluline eristada generatiivset ja dekoratiivset joonistamist, sest need täidavad erinevaid eesmärke ja toetavad õppimist erineval määral (Fiorella et al., 2021). Generatiivne joonistamine tähendab verbaalse või kontseptuaalse info tõlkimist visuaalseks kujutiseks, mis sisaldab objekte, nende ruumilisi suhteid ja protsesse. See nõuab õpilaselt sisuliste valikute tegemist, mida kujutada, kuidas elemente seostada ja millised aspektid on mõistmise seisukohalt olulised. Selline joonistamine toetab teadmiste ümberstruktureerimist, seoste loomist ja põhjendamist ning aitab mõista keerukaid bioloogilisi süsteeme (Fiorella et al., 2021; Quillin & Thomas, 2015).

Dekoratiivne joonistamine keskendub visuaalsele kujundusele või esteetikale, mis võib küll suurendada motivatsiooni, kuid ei toeta otseselt kontseptuaalset mõistmist. Liigne dekoratiivsus võib õpilase kognitiivset koormust hoopis suurendada, kui tähelepanu kandub sisult vormile. (Navratil & Kühl, 2023). Seetõttu on õpetaja ülesanne suunata õpilasi generatiivse joonistamise poole, kus visuaalne kujutis toetab mõtlemist, mitte ei täida üksnes illustratiivset funktsiooni. Selline juhendamine aitab vähendada välist koormust ja soodustab õppimisele suunatud pingutust (Dechamps & Skulmowski, 2025).

### **1.3 Joonistamine hindamismeetodina**

Joonistamist kasutatakse loodusteaduslikus hariduses üha enam mitte ainult õppimise toetamiseks, vaid ka hindamisvahendina, mis võimaldab õpetajal saada ülevaadet õpilase arusaamadest, mõtlemisprotsessidest ja kontseptuaalsetest seostest. Joonistamine hindamismeetodina tähendab õpilase loodud visuaalsete representatsioonide kasutamist selleks, et hinnata tema teadmiste struktuuri, arusaamise sügavust ja kontseptuaalset täpsust (Quillin & Thomas, 2015). Erinevalt traditsioonilistest hindamisvormidest, mis keskenduvad sageli faktiteadmistele, võimaldab

joonistamine esile tuua õpilase sisemised mentaalsed mudelid ning näha, kuidas ta mõtestab nähtusi, protsesse ja süsteeme (Van Meter & Garner, 2005).

Joonistamise kui hindamisvahendi tugevus seisneb selles, et visuaalne representatsioon teeb nähtavaks nii õpilase olemasolevad teadmised kui ka arusaamises esinevad lüngad. Joonistus näitab, milliseid nähtuste elemente õpilane oluliseks peab, kuidas ta neid seostab ning millised protsessid või seosed jäävad ebaselgeks. Selline teave ei tule sageli esile suulistes vastustes ega valikvastustega testides (Areljung et al., 2025). Seetõttu peetakse joonistamist hindamisvormiks, mis nõuab teadmiste aktiivset ümbermõtestamist ja seoste loomist, toetades sügavamalt arusaamist kui ka pakkudes õpetajale sisukamat alust õppimise kvaliteedi hindamiseks (Fiorella et al., 2021).

Navratil ja Kühl (2023) rõhutavad, et joonistamine toimib tõhusalt ka diagnostilise hindamisvahendina, paljastades sageli õpilaste väärarusaamu, mida muude hindamismeetoditega on keeruline märgata. Visuaalne väljendus sunnib õpilast oma mõtlemist struktureerima ja toob esile kontseptuaalsed ebakõlad, mida õpetaja saab kasutada edasise õpetamise suunamiseks. Seega toimib joonistamine ühtaegu nii hindamise kui ka õppimise vahendina, toetades õpilase metakognitiivseid oskusi ja arusaamise arengut (Ainsworth et al., 2011).

Samas nõuab joonistamine hindamisvahendina läbimõeldud juhendamist ja selgeid hindamiskriteeriume. Kui õpilastele ei anta selgeid juhiseid ega hindamiskriteeriume, võivad nad keskenduda liigselt esteetikale ja detailidele, mis ei ole sisuliselt olulised. Seetõttu on oluline rõhutada, et joonistamise eesmärk ei ole kunstiline tulemus, vaid mõtlemise nähtavaks tegemine. Hästi sõnastatud hindamiskriteeriumid aitavad õpilasel mõista, mida hinnatakse (Stammes & De Putter-Smits, 2025).

#### **1.4 Õpilaste arusaamad fotosünteesi protsessist**

Fotosüntees on üks bioloogia kesksemaid, kuid samas ka kontseptuaalselt keerukamaid teemasid, kuna selle mõistmine eeldab õpilastelt teadmiste sidumist molekulaar-, raku-, organismi- ja ökosüsteemitasandil ning suutlikkust mõista aine- ja energiavoogude vahelisi seoseid (Jančaříková & Jančařík, 2022; Keleş & Kefeli, 2010).

Mitmed uuringud on näidanud, et fotosünteesi kontseptuaalne keerukus ja abstraktsus raskendavad paljudel õpilastel tervikliku arusaama kujunemist (Aprianti et al., 2025; Jančaříková & Jančařík, 2022). Abstraktsus väljendub muu hulgas keerukates mõistetes, nagu energia muundumised ja

molekulaarsel tasandil toimuvad meeleliselt tajumatud protsessid ning gaasiliste ainete tajumine aienena. Lisaks suurendab fotosünteesi mõistmise keerukust erinevate mõõtkavade, nagu makrotasandi, mikrotasandi ja submikrotasandi lõimimine õpetamisel, mis põhjustab õpilastes sageli segadust (Simmie et al., 2021).

Uuringud on näidanud, et õpilased omandavad fotosünteesi protsessi sageli peamiselt päheõppimise teel. Selline lähenemine vähendab õpilaste kaasatust, takistab sügava arusaama kujunemist ning ei toeta seoste loomist abstraktsete mõistete ja nende igapäevaelulise rakenduse vahel (Keleş & Kefeli, 2010; Mekonen & Kelkay, 2023). Selle tulemusena kujunevad ja püsivad väärarusaamad, mis on fotosünteesi õppimisel laialt levinud (Jančaříková & Jančařík, 2022; Simmie et al., 2021). Väärarusaamad tekivad sageli intuiitivsetest, kogemuslikest seletustest, mis ei ühti aktsepteeritud teadusliku kontseptsiooniga ning võivad püsida ka pärast õpetamist, kui õpilasel puudub võimalus oma arusaamu teaduspõhise mudeliga kõrvutada. See rõhutab õpetuse sügavuse ja selguse olulisust (Köse, 2008).

Aprianti jt (2025) uurimus tõi esile mitmeid väärarusaamu fotosünteesi kohta, mis ilmned eriti seoses protsessi toimumise koha, kasutatavate lähteainete ja tekkivate produktidega. Levinud oli arusaam, et fotosüntees toimub otseselt klorofüllis, kuigi tegelikult leiab protsess aset taimerakkude kloroplastides, kus klorofüll toimib pigem valguse neelajana. Samuti ilmned ekslik arusaam, et fotosünteesi lähteaineks on vajalik hapnik. Tegelikuses on hapnik fotosünteesi kõrvalprodukt.

Nurbaety jt (2016) on tuvastanud, et õpilastel esineb mitmeid fotosünteesiga seotud väärarusaamu, mis puudutavad eelkõige protsessiks vajalikke lähteaineid, tekkivaid produkte ning fotosünteesi toimumise aega. Tulemused näitasid, et õpilastel on raskusi taimede ehituse ja fotosünteesi kontseptsioonide seostamisega.

Eestis läbi viidud uuringud näitavad sama tendentsi (Must, 2023; Štukert, 2021), sest ka siinsetel õpilastel on fotosünteesi mõistmisel raskusi, mis soodustab väärarusaamade kujunemist. Seetõttu on fotosünteesi õpetamisel oluline keskenduda mõistete selgele seostamisele ja õpilaste eelnevate arusaamade teadvustamisele.

## 2. Metoodika

Käesolevas magistritöös uuriti õpilaste arusaamist fotosünteesist, analüüsides nende endi koostatud joonistusi fotosünteesi teemal. Joonistuste koostamise eesmärk oli välja selgitada õpilaste arusaamad ja võimalikud väärarusaamad fotosünteesi protsessi kohta ning hinnata, millisel tasemel suudavad õpilased fotosünteesi protsessi kujutada. Uurimuse läbiviimiseks valiti metoodika magistritöö eesmärkidest lähtuvalt ning selle alusel määratleti eesmärgipärane valim. Järgnevas peatükis kirjeldatakse üksikasjalikult uuringu disaini ja valimit, antakse ülevaade kasutatud uurimisinstrumentidest, selgitatakse andmeanalüüsi põhimõtteid ning käsitletakse uuringu eetilisi aspekte.

### 2.1 Uuringu disain ja läbiviimine

Lähtuvalt magistritöö eesmärkidest koostati kombineeritud empiiriline uuring, mis hõlmas nii kvalitatiivseid kui ka kvantitatiivseid meetodeid. Andmete kogumiseks paluti õpilastel joonistada paberile oma arusaamad fotosünteesi protsessist. Joonistuste koostamine toimus bioloogia tundide raames ning nende valmimine võttis õpilastel aega ligikaudu 20–30 minutit. Õpilaste loodud joonistuste analüüsimiseks kasutati uurimistöö raames välja töötatud hindamismaatriksit, mille koostamisel tugineti eksperthinnangutele ja teaduskirjanduse lähtekohtadele. Magistritöö koostamine toimus mitmes etapis ning uuringu ajakava on toodud tabelis 1.

**Tabel 1**

*Uuringu ajakava*

<b>Magistritöö etapid</b>	<b>Tegevus</b>	<b>Läbiviimise aeg</b>
Magistritöö teema valimine	Teema määratlemine, arutelu juhendajaga, uurimistöö eesmärkide sõnastamine ja kirjandusega tutvumine.	Oktoober 2024 – märts 2025
Uuringu läbiviimine	Andmete kogumine	Aprill – mai 2025
Hindamismaatriksi koostamine	Hindamiskategooriate ja -kriteeriumide väljatöötamine	August – september 2025

<b>Magistritöö etapid</b>	<b>Tegevus</b>	<b>Läbiviimise aeg</b>
Hindamismaatriksi eksperthinnang	Hindamismaatriksile eksperthinnangu võtmine	September – oktoober 2025
Uuringute andmeanalüüs	Joonistustega tutvumine, andmeanalüüsi planeerimine ja läbiviimine	November – detsember 2025
Kirjanduse ülevaate kirjutamine	Artiklite lugemine ja kirjanduse ülevaate kirjutamine	Jaanuar – veebruar 2026
Tulemuste kokkuvõtmine ja järelduste tegemine	Tulemused ja arutelu	Märts – aprill 2026
Magistritöö vormistamine	Magistritöö kirjutamine	Detsember 2025 – mai 2026

## **2.2 Valim**

Käesoleva uuringu valim moodustati mugavusvalimi põhimõttel. Mugavusvalim tähendab, et osalejate valik põhineb uurijale kergesti kaasatavatel isikutel, mistõttu ei ole valim esinduslik kogu sihtrühma suhtes ega võimalda teha põhjendatud üldistusi kogu sihtrühma kohta (Beilmann & Rämmer, 2025). Käesolevas töös moodustasid valimi ühe gümnaasiumi 11. klassi õpilased vanuses 17–18 eluaastat. Osalejate anonüümsuse tagamiseks ei ole kooli nime avaldatud. Valimisse kuulus kokku 59 õpilast kõigilt õppesuundadelt, kellest 28 olid naissoost ja 31 meessoost. Joonistuste koostamisel ei küsitud õpilaste nimesid ning osalemine uuringus oli vabatahtlik.

## **2.3 Uurimisinstrument**

Uuringus kasutati kahte omavahel seotud uurimisinstrumenti: õpilaste loodud joonistusi ja nende analüüsimiseks loodud hindamismaatriksit. Õpilastel paluti joonistada fotosünteesi protsess, et esile tuua nende arusaamade struktuur ja võimalikud väärarusaamad. Joonistuste analüüsimisel kasutati uurimistöö raames loodud hindamismaatriksit. Olemasolevad standardiseeritud hindamismaatriksid ei olnud antud uuringu spetsiifikale piisavalt kohandatavad, mistõttu oli vajalik luua spetsiaalne hindamismaatriks. Hindamismaatriksi koostamisel tugineti Köse (2008)

ning Özay ja Öztaşı (2003) poolt kirjeldatud hindamiskategooriatele, mis keskenduvad fotosünteesi bioloogilisele korrektsusele ja võimalikele väärarusaamade tuvastamisele.

Fotosünteesi visualiseerimise 4D hindamismaatriks koosnes neljast dimensioonist, mis kirjeldasid fotosünteesi kujutamise sisulisi ja struktuurseid aspekte: bioloogiline korrektsus (fotosünteesi protsesside teaduspõhine täpsus), süsteemne sidusus ja põhjendatus (energia ja ainete liikumise loogika), visuaalne ja kontseptuaalne selgus (kujundi struktuur ja arusaadavus) ning loovus ja visuaalne esitus (kujunduslikud valikud ja joonistuse üldine mõistetavus). Hindamismaatriksi täielik versioon, mis sisaldab kõiki dimensioone ja kriteeriume, on esitatud lisas 1.

Dimensioon koosnes mitmest hindamiskriteeriumist, mida hinnati kolmetasemelisel ordinaalskaalal (0–2), kus 0 tähistas puudulikku või valet esitlust, 1 osaliselt täpset või ebaselget esitlust ning 2 täielikku, loogilist ja teaduslikult korrektset esitlust. Väärarusaamu ei käsitletud eraldi dimensioonina, kuna ekslikud arusaamad võivad avalduda kõigis hindamiskriteeriumides. Need kajastuvad hindamiskaala madalamates punktides: 0 punkt viitab puudulikule või valele esitlusele, mis hõlmab ka olulisi väärarusaamu, ning 1 punkt viitab osaliselt täpsele või ebaselgele kujutusele, kus võivad esineda üksikud väärarusaamad.

Loodud hindamismaatriksi valiidsuse ehk kehtivuse tagamiseks kaasati hindamisprotsessi kaks valdkonnaeksperti, kellel on üle 20 aasta töökogemust bioloogiaõpetajana. Ekspertide hinnangute vahel ilmnenud lahknevused arutati läbi konsensusmeetodil ning arutelude tulemusel täpsustati vajaduse korral hindamiskriteeriumide sõnastust. Uuringu sisemist valiidsust toetab ka asjaolu, et kõik õpilased õppisid sama õpetaja juhendamisel, mis tagas ühtse õpetamiskeskonna ja -metoodika kõigi osalejate jaoks.

## **2.4 Andmeanalüüs**

Joonistuste analüüsimiseks rakendati kvalitatiivset deduktiivset sisuanalüüsi, kasutades eelnevalt määratletud kategooriaid, mis põhinesid loodud hindamismaatriksil. Deduktiivne lähenemine on põhjendatud, kuna uuritav nähtus on teoorias selgelt kirjeldatud ning selle põhjal on võimalik luua eelnevalt määratletud kategooriad, mille abil õpilaste loodud materjali süstemaatiliselt hinnata (Elo & Kyngäs, 2008). Andmete esmaseks töötlemiseks sisestati õpilaste joonistustest saadud hindamistulemused MS Exceli tabeli formaati, mis võimaldas andmeid korrastada, kontrollida ja

edasiseks analüüsiks struktureerida. Edasiseks analüüsiks ja sagedusjaotuste leidmiseks eksporditi andmed andmetöötlusprogrammi IBM SPSS 28.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Lisaks kvalitatiivsele sisuanalüüsile hinnati hindamismaatriksi rakendamise usaldusväärsust kahe sõltumatu eksperdi abil. Mõlemad eksperdid, kes olid kaasatud hindamismaatriksi valiidsuse hindamise, hindasid sama maatriksi alusel 12 õpilase joonistusi, mis võimaldas võrrelda nende hinnanguid töö autori omadega. Kvalitatiivse andmeanalüüsi reliaabluse hindamisel peetakse piisavaks 10–25% andmete kaashindamist (O'Connor & Joffe, 2020). Selleks arutati iga kriteeriumi kohta Cohen'i kapp koefitsient, mis võimaldab hinnata töö autori ja ekspertide omavahelist kokkulangevust, võttes arvesse juhusliku kokkulangevuse mõju. Kapp koefitsient on sobiv mõõdik kategooriliste andmete puhul ning seda kasutatakse laialdaselt hindamisvahendite reliaabluse kontrollimisel (Li et al., 2023). Analüüsis arutati iga kriteeriumi kohta nii kapp väärtus kui ka selle 95% usaldusintervall, mis võimaldas hinnata hindamiskriteeriumide stabiilsust ja tuvastada kriteeriumid, mille rakendamine oli hindajate vahel ühtlasem või tõlgenduslikum. Kapp väärtuste tõlgendamisel lähtuti üldlevinud piiridest, mille kohaselt väärtused üle 0,80 viitavad väga heale kokkulangevusele, 0,60–0,79 heale kokkulangevusele ning alla 0,60 jäävad väärtused osutavad nõrgemale või ebastabiilsemale hindamisele. Kõik kriteeriumid näitasid head kuni väga head kokkulangevust ( $\kappa > 0,60$ ), mis viitab sellele, et hindamismaatriksi hindamiskriteeriumid on hindajatele selgelt mõistetavad ja ühtlaselt rakendatavad. Kõigi hindamiskriteeriumide Cohen'i kapp koefitsiendid ning nende 95% usaldusintervallid on esitatud lisa 2 (tabel 2).

## 2.5 Eetika

Enne põhiuuringu läbiviimist informeeriti õpilasi ja saadeti õpilaste vanematele informeerimise ja teadliku nõusoleku vorm, milles tutvustati uurimuse teemat ja eesmärki ning küsiti lapsevanematelt kirjalikku nõusolekut osalemiseks. See tagas, et kõik uuringus osalejad olid teadlikud uuringu olemusest ja tingimustest. Informeerimise ja teadliku nõusoleku vormis rõhutati, et osalemine on täielikult vabatahtlik ning osalejatel on õigus uuringust igal ajahetkel loobuda. Samuti kinnitati, et osalejate isikuandmed jäävad anonüümseks ja uuringus antud teave konfidentsiaalseks, et tagada osalejate privaatsuse kaitse. Lisaks sisaldas informeerimise ja teadliku nõusoleku vorm uurija kontaktandmeid, võimaldades lapsevanematel huvi korral küsida

lisateavet uurimistöö tulemuste kohta või saada vastuseid tekkinud küsimustele. Selline lähenemine rõhutab eetiliste printsiipide järgimist, tagades läbipaistvuse ja usalduse kogu uuringuprotsessi vältel. Uuringuga seotud algandmed säilitati kuni hävitamiseni turvaliselt ja konfidentsiaalselt. Informeerimise ja teadliku nõusoleku vorm on esitatud lisa 3.

### 3. Tulemused

Uuringus osales kokku 59 õpilast, kelle fotosünteesi joonistusi hinnati hindamismaatriksi 15 hindamiskriteeriumi alusel. Uuringu tulemused on esitatud uurimisküsimuste kaupa.

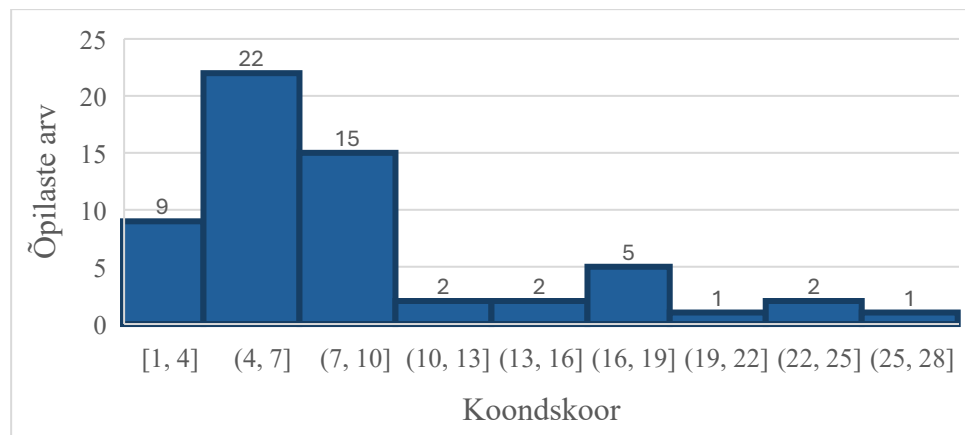
#### 3.1 Millised on 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist?

Selles alapeatükis esitatakse õpilaste teadmisi ja arusaamu fotosünteesist, tuues välja koondskooride kirjeldava statistika ning analüüsides hindamiskriteeriumide omavahelisi seoseid, et selgitada, millised teadmiste aspektid olid omavahel seotud ning millised tegurid mõjutavad õpilaste üldist arusaamist fotosünteesist.

Õpilaste koondskoorid varieerusid vahemikus 1–26 punkti ( $M = 8,92$ ;  $Md = 7$ ;  $SD = 5,84$ ). Tulemuste suur hajuvus näitab, et õpilaste teadmiste tase on väga ebaühtlane. Enamik õpilasi saavutas pigem madalaid koondskoori, samas kui üksikud väga tugevad sooritused tõstsid keskmist. Koondskooride jaotust illustreerib joonis 1.

#### Joonis 1

*Koondskooride jaotus ( $N = 59$ )*

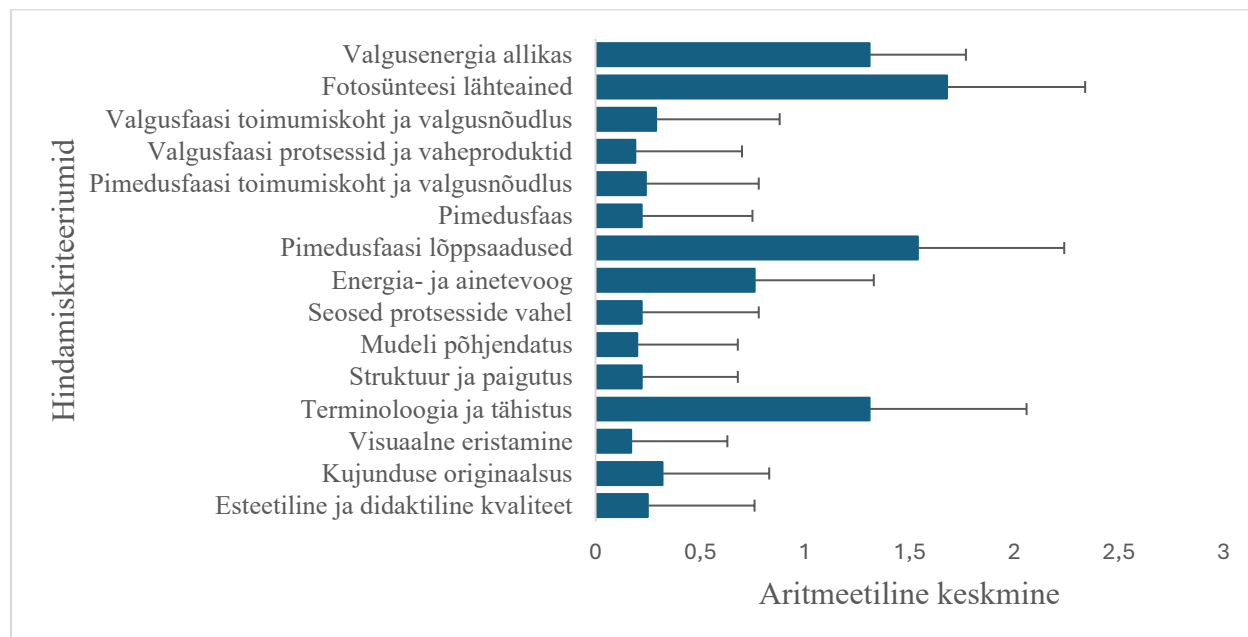


Õpilaste poolt joonistatud fotosünteesi mudelite hindamine hindamismatriksi kriteeriumide alusel näitas selget erinevust faktipõhiste ja protsessuaalsete teadmiste mõistmises. Kõrgeimaid hinnanguid said fotosünteesi lähteained ( $M = 1,68$ ;  $SD = 0,66$ ) ja lõppsaadused ( $M = 1,54$ ;  $SD = 0,70$ ). Suhteliselt kõrgeid hinnanguid said ka valgusenergia allikas ( $M = 1,31$ ;  $SD = 0,46$ ) ning terminoloogia ja tähistus ( $M = 1,31$ ;  $SD = 0,75$ ), kuigi viimase puhul esines suuremat varieeruvust. Keskmise tasemega hinnanguid said energia- ja ainetevoog ( $M = 0,76$ ;  $SD = 0,57$ ), mudeli kujunduse originaalsus ( $M = 0,32$ ;  $SD = 0,51$ ) ning esteetiline ja didaktiline kvaliteet ( $M = 0,25$ ;  $SD = 0,51$ ).

Madalaimad hinnangud said fotosünteesi protsessuaalsed ja süsteemsed aspektid. Valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid ( $M = 0,19$ ;  $SD = 0,51$ ), protsessidevahelised seosed ( $M = 0,22$ ;  $SD = 0,56$ ), pimedusfaas ( $M = 0,22$ ;  $SD = 0,53$ ) ning pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus ( $M = 0,24$ ;  $SD = 0,54$ ) said valdavalt madalaid hinnanguid (Mediaan 0). Samuti oli madal mudeli visuaalne eristamine ( $M = 0,17$ ;  $SD = 0,46$ ). Hindamiskriteeriumeid kirjeldavat statistikat illustreerib joonis 2.

## Joonis 2

*Hindamiskriteeriumeid kirjeldav statistika (N = 59)*



Spearmani korrelatsioonianalüüs näitas, et fotosünteesi mudeli hindamiskriteeriumid jagunesid kaheks selgelt eristuvaks võrgustikuks: visuaalsete ja protsessuaalsete aspektide tugev seostevõrgustik ning faktipõhiste elementide nõrgem võrgustik.

Visuaalsed, esteetilised ja struktuursed omadused olid omavahel väga tugevalt seotud. Esteetiline kvaliteet korreleerus väga tugevalt kujunduse originaalsusega ( $r = 0,80$ ;  $p < 0,001$ ), visuaalse eristamisega ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,001$ ) ning struktuuri ja paigutusega ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,001$ ). Need visuaalsed hinnangud olid tugevalt seotud ka fotosünteesi protsessuaalsete aspektidega, sealhulgas valgusfaasi toimumiskoha ( $r = 0,90$ ;  $p < 0,001$ ), pimedusfaasi ( $r = 0,86$ ;  $p < 0,001$ ) ning valgusfaasi protsesside ja vaheproduktidega ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,001$ ). See näitab, et mudeli visuaalne selgus ja esteetiline kvaliteet toetasid oluliselt protsessuaalsete aspektide mõistmist.

Visuaalne eristamine oli tugevalt seotud nii struktuuri ja paigutusega ( $r = 0,79$ ,  $p < 0,001$ ) kui ka pimedusfaasi ( $r = 0,89$ ;  $p < 0,001$ ) ning valgusfaasi protsessidega ( $r = 0,86$ ,  $p < 0,001$ ). Samuti ilmnes tugev seos pimedusfaasi ja valgusfaasi protsesside vahel ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,001$ ), mis viitab sellele, et õpilased tajusid neid protsesse mudelis ühtse tervikuna. Struktuuri ja paigutuse hinnang oli tugevalt seotud valgusfaasi protsesside ja vaheproduktidega ( $r = 0,79$ ;  $p < 0,001$ ), pimedusfaasiga ( $r = 0,69$ ;  $p < 0,001$ ) ning valgusfaasi toimumiskohaga ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,001$ ), mis kinnitab, et mudeli struktuurne loogika toetas protsesside järjestuse ja seoste mõistmist.

Faktipõhiste elementide vahel esines mõõdukaid kuni tugevaid seoseid. Fotosünteesi lähteainete ja lõppsaaduste vahel oli tugev positiivne seos ( $r = 0,71$ ;  $p < 0,001$ ), mis näitab, et sisendite mõistmine oli seotud väljundite mõistmisega. Lähteained olid mõõdukalt seotud energia- ja ainetevooga ( $r = 0,45$ ;  $p < 0,001$ ). Terminoloogia ja tähistus seostus peamiselt faktipõhiste elementidega, sealhulgas energia- ja ainetevoo ( $r = 0,38$ ;  $p = 0,003$ ), lõppsaaduste ( $r = 0,38$ ;  $p = 0,003$ ) ja valgusfaasi toimumiskohaga ( $r = 0,35$ ;  $p = 0,007$ ). Valgusenergia allikas oli mõõdukalt seotud terminoloogia ja tähistusega ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,001$ ), valgusfaasi toimumiskohaga ( $r = 0,47$ ;  $p < 0,001$ ) ning lõppsaadustega ( $r = 0,40$ ;  $p = 0,002$ ), kuid need seosed olid nõrgemad kui visuaalsete ja protsessuaalsete aspektide vahelised seosed.

Kokkuvõttes näitas analüüs, et mudeli visuaalne selgus, esteetiline kvaliteet ja struktuurne loogika olid õpilaste hinnangutes keskse tähtsusega ning toetasid oluliselt fotosünteesi protsessuaalsete aspektide mõistmist. Faktipõhised teadmised moodustasid eraldi, nõrgema seostevõrgustiku, mis

viitab, et üksikute faktide tundmine ei taga veel protsesside mõistmist. Kõik Spearmani korrelatsioonikordajad ( $\rho$ - ja  $p$ -väärtused) on esitatud lisa 2 (tabel 3).

### 3.2 Millised on 11. klassi õpilaste väärarusaamad fotosünteesist?

Väärarusaamade analüüs näitas, et 59 õpilasest 12-l (20,3%) esines fotosünteesiga seotud väärarusaamu. Kahel õpilasel (3,4%) ilmnis mitu sisulist väärarusaama, kümnel õpilasel (16,9%) esines üksikuid väärarusaamu. Enamikul õpilastel (79,7%) väärarusaamu ei tuvastatud.

Väärarusaamad esinesid peamiselt fotosünteesi protsessuaalsete aspektide juures ja energia liikumise kujutamisel. See viitab sellele, et õpilastel esines ebakindlust eelkõige fotosünteesi etappide ning nende omavaheliste seoste mõistmisel. Õpilaste joonistustes esinenud väärarusaamade ülevaade on toodud tabelis 4.

**Tabel 4**

*Väärarusaamade esinemine õpilaste seas (N = 59)*

Väärarusaamade esinemine	Õpilaste arv (n)	Protsent (%)	Väärarusaamad
Mitu sisulist väärarusaama	2	3,4%	1. Fotosünteesi toimumiseks on vaja soojusenergiat. 2. Fotosüntees toimub ainult taime lehtedes. 3. Fotosüntees leiab aset klorofüllis.
Üksikud väärarusaamad	10	16,9%	4. Fotosünteesi pimedusfaas toimub öösel. 5. Fotosünteesi ainus lõpp-produkt on hapnik.
Väärarusaamu ei esinenud	47	79,7%	

### **3.3 Millisel tasemel on õpilaste joonistused fotosünteesi protsessist?**

Õpilaste joonistuste analüüs näitas, et nende arusaam fotosünteesist paiknes valdavalt faktipõhisel tasandil. Selgemalt ja järjekindlamalt kujutati fotosünteesi lähteaineid ja lõppsaadusi, mis viitab sellele, et õpilased tundsid ennast kindlamalt protsessi sisendite ja väljundite osas. Seevastu protsessuaalsete elementide esitamine oli märksa ebajärjekindlam. Eriti keerukaks osutusid valgus- ja pimedusfaasi seoste kujutamine, energia liikumise suund ning protsesside järjestus ja omavahelised sõltuvused. Näited õpilaste fotosünteesi protsessi kujutavatest joonistuste tasemetest on esitatud lisa 4.

## **4. Arutelu ja järeldused**

Käesoleva uuringu eesmärk oli välja selgitada, millised on 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist, milliseid väärarusaamu selles teemas esineb ning millisel tasemel suudavad õpilased fotosünteesi protsessi joonistada. Tulemused näitasid, et õpilaste teadmised fotosünteesi protsessist on ebaühtlased ning paljudel õpilastel esineb raskusi selle keeruka bioloogilise protsessi terviklikul mõistmisel. Seda kinnitavad ka varasemad uuringud, mis rõhutavad fotosünteesi kontseptuaalset keerukust ja abstraktsust ning sellest tulenevaid raskusi tervikliku arusaama kujunemisel (Aprianti et al., 2025; Simmie et al., 2021).

Õpilaste hinnangud fotosünteesi mudeli erinevatele aspektidele viitasid, et nende arusaam fotosünteesist põhineb valdavalt meeldejäetud faktidel. Kõrgemad hinnangud visuaalselt lihtsatele ja õppetöös sagedamini käsitletavatele elementidele näitavad, et õpilased tunnevad end kindlamalt fotosünteesi sisendite ja väljundite tasandil, kuid ei suuda neid teadmisi siduda protsessi dünaamilise kulgemisega. Seda tendentsi on kirjeldanud ka varasemad autorid, osutades, et faktikeskne teadmine ei toeta keerukamate seoste ja protsesside mõistmist (Keleş & Kefeli, 2010; Mekonen & Kelkay, 2023).

Fotosünteesi protsessuaalsete kriteeriumide madalad hinnangud osutasid raskustele fotosünteesi valgus- ja pimedusfaasi omavaheliste seoste ning energia muundumise ja ainete liikumise protsesside mõistmisel. See viitab, et õpilased käsitlevad fotosünteesi etappe eraldiseisvate osadena, mitte sidusa tervikuna. Sarnaseid tulemusi on kirjeldanud ka Simmie jt. (2021), kelle

hinnangul kujuneb õpilaste arusaam fotosünteesist sageli killustunult. Üheks võimaluseks selliste killustunud arusaamade vähendamiseks on visualiseerimise teadlik rakendamine, mis toetab õpilaste võimet siduda fotosünteesi etapid terviklikuks protsessiks (Ajaja, 2013; Kragten et al., 2015).

Kuigi uuringus kasutati visualiseerimise meetodina joonistamist, viitasid madalad hinnangud visuaalsele eristamisele ja mudeli originaalsusele sellele, et õpilased lähtusid peamiselt õpikutes esitatud tüüpskeemidest. See võib osutada nii piiratud visualiseerimisoskusele kui ka raskustele mõista fotosünteesi ruumilist ülesehitust. Gilbert (2004) on rõhutanud, et keerukate bioloogiliste protsesside mõtestamisel kalduvad õpilased kasutama pigem reproduktiivseid kui generatiivseid visuaalseid esitusviise. Seetõttu on õpetaja roll visualiseerimise juhendamisel eriti oluline, kuna sihipärane juhendamine võib suunata õpilasi looma generatiivseid joonistusi, mis toetavad seoste loomist ja arusaamade põhjendamist (Fiorella et al., 2021).

Uuringu tulemused näitasid, et fotosünteesi mudeli hindamiskriteeriumid koondusid kahte selgelt eristuvasse teadmiste võrgustikku. Visuaalsed ja protsessuaalsed aspektid moodustasid omavahel tihedalt seotud terviku, mis viitab sellele, et mudeli visuaalne selgus, esteetiline kvaliteet ja struktuurne loogika olid otseselt seotud õpilaste arusaamisega fotosünteesi protsesside järjestusest ja omavahelistest seostest. Sarnaseid tulemusi on kirjeldanud ka Köse (2008), kelle uuring näitas, et õpilaste koostatud fotosünteesi joonistuste kvaliteet oli seotud nende arusaamisega protsessi järjestusest ja põhietappidest. See kinnitab, et visuaalsete mudelite loomine võib olla oluline vahend õpilaste protsessuaalse mõistmise toetamisel, kuna see eeldab nähtuste struktureerimist, oluliste elementide valikut ning nendevaheliste seoste kujutamist (Ainsworth et al., 2011).

Faktipõhised teadmised moodustasid seevastu eraldi ja märksa nõrgema seostevõrgustiku. See viitab, et üksikute faktide tundmine ei ole otseselt seotud sügavama kontseptuaalse arusaamisega. Selline teadmiste struktuur viitab, et kuigi visuaalne modelleerimine võib toetada protsesside mõtestamist, ei pruugi faktiteadmised automaatselt integreeruda sügavamasse kontseptuaalsesse arusaamisse. Jayanti (2020) on samuti leidnud, et õpilaste faktiteadmised fotosünteesist jäävad sageli killustunuks ega toeta protsessi terviklikku mõistmist. Seetõttu on õpetamisel oluline kasutada lähenemisviise, mis aitavad õpilastel siduda faktiteadmisi protsessuaalsete seostega ning kujundada terviklikumaid mentaalseid mudeleid (Quillin & Thomas, 2015; Van Meter & Garner, 2005).

Väärarusaamade analüüs näitas, et 59 õpilasest 12-1 (20,3%) esines fotosünteesiga seotud väärarusaamu. Enamikul õpilastest (79,7%) väärarusaamu ei tuvastatud. Kuigi enamik õpilasi omab fotosünteesi kohta põhiteadmisi, esineb ligi viiendikul õpilastest raskusi keerukamate protsessuaalsete seoste mõistmisel. Seda toetab ka Köse (2008) uuring, mis näitas, et fotosünteesi väärarusaamad püsivad õpilaste seas sõltumata vanusest. Uuringud näitavad, et korduvad väärarusaamad hõlmavad arusaama, et fotosüntees on pelgalt gaasivahetusprotsess, et taimed toodavad hapnikku enda tarbeks või et fotosünteesi protsess toimub ainult lehtedes, mitte teistes rohelistes taimeosades. Samuti usuvad paljud õpilased endiselt, et taimed saavad oma põhitoidu mullast, mis näitab, et mentaalsed mudelid jäävad sageli killustatuks ega seostu teadusliku selgitusega energia muundumisest (Aprianti et al., 2025; Jančaříková & Jančařík, 2022). See osutab vajadusele õppimisstrateegiate järele, mis toetavad seoste loomist ja protsessi terviklikku mõtestamist. Aprianti jt (2025) rõhutavad, et sihipärased visualiseerimise strateegiad võivad aidata vähendada väärarusaamu ja toetada sidusamate mentaalsete mudelite kujunemist.

Uuringu tulemused näitasid, et kuigi õpilaste joonistused fotosünteesi protsessist kajastasid põhikomponentide äratundmist, jäi protsessi terviklik mõistmine puudulikuks. Enamik õpilasi kujutas küll päikest, lehte, süsihappegaasi ja hapnikku, kuid nende omavahelised seosed ning protsessi loogiline järjestus jäid sageli esitamata. Selline kujutamiski viitab pigem fragmentaarsetele kui süsteemsetele arusaamistele fotosünteesist. Sarnastele tulemustele on jõudnud ka Köse (2008), kelle järgi põhinevad õpilaste fotosünteesialased teadmised sageli üksikelementide äratundmisel, mitte tervikliku mentaalse mudeli kujunemisel. Samuti leidsid Nurbaety jt (2016), et õpilastel esineb raskusi fotosünteesi protsessi selgitamisega. Need tulemused viitavad sellele, et õpilaste arusaam fotosünteesist kujuneb sageli killustunult ning terviklik arusaam ainete liikumisest ja protsesside seotusest ei ole piisav fotosünteesi mõistmise toetamiseks.

Selline fragmentaarne arusaam võib olla seotud õpetamisega, mis keskendub enam üksikute faktide ja mõistete omandamisele kui protsessidevaheliste seoste mõistmisele. Seetõttu on oluline pöörata õpetamisel suuremat tähelepanu protsessuaalsele mõistmisele ning toetada õpilaste võimet siduda erinevaid bioloogilisi mõisteid terviklikuks mentaalseks mudeliks (Aprianti et al., 2025).

Edasised uuringud Eestis võiksid keskenduda sellele, kuidas erinevad visualiseerimise ja mudeldamise võtted toetavad õpilaste protsessuaalse mõistmise arengut ning mil määral

õpetamisviisid ja õppematerjalid mõjutavad fotosünteesiga seotud väärarusaamade kujunemist ja püsimist.

Lähtuvalt uuringu tulemustest saan anda mõned soovitusel õpetajatele:

1. Tugevdada protsessuaalset mõistmist. Fotosünteesi õpetamisel tuleks pöörata enam tähelepanu protsessi etappide seostamisele, energia muundumisele ja ainete liikumisele, mitte üksnes faktiteadmiste omandamisele.
2. Rakendada juhendatud visualiseerimist ja mudeldamist. Skeemid ja mudelid peaksid toetama nähtustevaheliste seoste mõistmist ning vältima õpikupiltide mehaanilist kopeerimist.
3. Tuvastada ja korrigeerida väärarusaamu. Diagnostilised küsimused ja joonistamisülesanded aitavad välja selgitada õpilaste püsivaid eksiarvamusi, mida tuleb õpetamisel teadlikult käsitleda.
4. Arendada õpilaste võimet kujutada fotosünteesi ruumiliselt ja loogilises järjestuses, et toetada tervikliku mentaalse mudeli kujunemist.
5. Kasutada joonistamist hindamismeetodina. Õpilaste visuaalsed esitused võimaldavad õpetajal näha nii olemasolevaid teadmisi kui ka arusaamises esinevaid lünki, pakkudes väärtuslikku sisendit edasise õpetamise suunamiseks.

## **Piirangud**

1. Käesoleva uurimustöö tulemuste tõlgendamisel tuleb arvestada, et uuringus kasutati ühe kooli õpilaste joonistusi, mistõttu ei ole tulemused üldistatavad laiemale õpilaskonnale.
2. Õpilaste joonistuste varieeruvust võib vähendada asjaolu, et kõik õpilased õppisid sama õpetaja juhendamisel sarnastes õppetöötingimustes, mistõttu ei kajastu tulemustes erinevate õpetamispraktikate mõju.
3. Õpilaste joonistuste tõlgendamine võib sõltuda hindaja vaatenurgast. Hindaja otsused selle kohta, milliseid aspekte joonistustes hinnata, võivad mõjutada tulemuste objektiivsust.

## Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö eesmärk oli välja selgitada, millised on 11. klassi õpilaste teadmised ja arusaamad fotosünteesist, milliseid väärarusaamu selles teemas esineb ning millisel tasemel suudavad õpilased fotosünteesi protsessi joonistada. Uurimistöö lähtekohaks oli arusaam, et fotosüntees on bioloogiaõppes üks keerukamaid ja abstraktsemaid teemasid, mille mõistmisel tekivad õpilastel sageli püsivad väärarusaamad. Üheks tõhusaks lähenemiseks õpilaste kontseptuaalse arusaamise hindamisel on visualiseerimismeetodite, näiteks joonistuste analüüsi kasutamine, mis võimaldab tuvastada nii teadmisi kui ka fotosünteesiga seotud väärarusaamu.

Eesmärkide saavutamiseks viidi ühes gümnaasiumis läbi empiiriline uuring, mille tulemustest selgus, et õpilaste arusaam fotosünteesist on ebaühtlane ning sageli faktikeskne. Joonistuste analüüs näitas, et õpilased tunnevad fotosünteesi põhikomponente, kuid neil on raskusi protsessi tervikliku kulgemise, energia muundumise ja ainete liikumise mõistmisega. Fotosünteesi etappe käsitleti sageli eraldiseisvate osadena, mistõttu jäi protsessi sisemine loogika ebaselgeks. Samuti ilmnas, et ligi viiendikul õpilastest esines püsivaid väärarusaamu fotosünteesi olemuse, toimumiskoha ja ainete liikumise kohta.

Joonistuste kvaliteet ja protsessuaalne mõistmine olid omavahel tihedalt seotud: õpilased, kes suutsid luua selgema ja loogilisema visuaalse mudeli, mõistsid paremini ka fotosünteesi etappide seoseid. Faktiteadmised moodustasid seevastu nõrgema ja vähem seotud teadmistevõrgustiku, mis viitab, et üksikute faktide omandamine ei toeta iseenesest sügavamat kontseptuaalset arusaamist.

Kokkuvõttes näitas uuring, et fotosünteesi mõistmine kujuneb õpilastel sageli killustunult ning vajab õpetuses suuremat rõhku seoste loomisele, visualiseerimisele ja mentaalsete mudelite arendamisele.

Magistritöö tulemused kehtivad antud valimi piires ega ole üldistavad kõigile 11. klassi õpilastele.

## Kasutatud kirjandus

- Afidah, A., & Juanengsih, N. (2024). Analysis of visual literacy skills for junior high school and high school students on the concept of the cell in Tangerang Selatan. *AIP Conference Proceedings*, 3048(1), 1–6. (176473042). <https://doi.org/10.1063/5.0201211>
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ajaja, O. P. (2013). Which way do we go in biology teaching? Lecturing, Concept mapping, Cooperative learning or Learning cycle? *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 17(1). <https://ejse.southwestern.edu/article/view/11522>
- Aprianti, E., Sunandar, A., & Setiadi, A. E. (2025). Misconceptions about the concept of photosynthesis among grade 12 students using the image analysis method. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v11i1.37978>
- Areljung, S., Andersson, J., Hermansson, C., Skoog, M., & Sundberg, B. (2025). Co-drawing to Learn in Science. *Research in Science Education*, 55(5), 1189–1204. (68052208). <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10217-x>
- Areljung, S., Skoog, M., & Sundberg, B. (2022). Teaching for Emergent Disciplinary Drawing in Science? Comparing Teachers' and Children's Ways of Representing Science Content in Early Childhood Classrooms. *Research in Science Education*, 52(3), 909–926. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10036-4>
- Beilmann, M., & Rämmer, A. (2025). *Valimi moodustamine – Sotsiaalse Analüüsi Meetodite ja Metodoloogia õpibaas*. <https://samm.ut.ee/valimi-moodustamine/>
- Bell, J. C. (2014). Visual Literacy Skills of Students in College-Level Biology: Learning Outcomes following Digital or Hand-Drawing Activities. *The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 5(1). <https://doi.org/10.5206/cjsotl-rcacea.2014.1.6>
- Bezemer, J., & Mavers, D. (2011). Multimodal transcription as academic practice: A social semiotic perspective. *International Journal of Social Research Methodology*, 14(3), 191–206. (60540030). <https://doi.org/10.1080/13645579.2011.563616>

- Brumberger, E. (2011). Visual Literacy and the Digital Native: An Examination of the Millennial Learner. *Journal of Visual Literacy*, 30(1), 19–47.  
<https://doi.org/10.1080/23796529.2011.11674683>
- Debes, J. L. (1969). The Loom of Visual Literacy—An Overview. *Audiovisual Instr*, 14(8), 25–27. (EJ010321).
- Dechamps, T., & Skulmowski, A. (2025). The Effective Design of Tasks Involving Learning by Drawing: Current Trends and Methodological Progress in Research on Drawing to Learn. *Educational Psychology Review*, 37(2), 50. <https://doi.org/10.1007/s10648-025-10026-2>
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing (Wiley-Blackwell)*, 62(1), 107–115. (105726909). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Evagorou, M., Erduran, S., & Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: From conceptual understanding and knowledge generation to ‘seeing’ how science works. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 11.  
<https://doi.org/10.1186/s40594-015-0024-x>
- Farrar, J., Arizpe, E., & Lees, R. (2024). Thinking and learning through images: A review of research related to visual literacy, children’s reading and children’s literature. *Education 3-13*, 52(7), 993–1005. <https://doi.org/10.1080/03004279.2024.2357892>
- Fiorella, L., Pyres, M., & Hebert, R. (2021). Explaining and drawing activities for learning from multimedia: The role of sequencing and scaffolding. *Applied Cognitive Psychology*, 35(6), 1574–1584. (58264158). <https://doi.org/10.1002/acp.3871>
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130.  
<https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Gondim, E., & Nolasco Rondon, J. (2020). The Crucial Role of Photosynthesis in Sustaining Plant Life and Its Impact on the Global Ecosystem, Climate, And Human Survival. *Australian Herbal Insight*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.25163/ahi.319925>
- Gou, X. (2023). Multimodality in language education: Implications of a multimodal affective perspective in foreign language teaching. *Frontiers in Psychology*, 14.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1283625>

- Guglietti, M. V. (2023). Redefining Visual Literacy in an Era of Visual Overload: The Use of Reflective Visual Journals to Expand Students' Visual Thinking. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, 20(4). (EJ1393580).  
<https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=43a0f917-665b-3b3e-8912-b1b785177f0d>
- Hahn, L., & Klein, P. (2023). The impact of multiple representations on students' understanding of vector field concepts: Implementation of simulations and sketching activities into lecture-based recitations in undergraduate physics. *Frontiers in Psychology*, 13.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1012787>
- Hanci, H. (2022). Investigation of High School Students' Visual Literacy Levels. *International Journal of Research in Education and Science*, 8(3), 611–625.  
<https://doi.org/10.46328/ijres.2980>
- İlkörücü-Göçmençelebi, Ş., & Tapan, M. S. (2010). Analyzing students' conceptualization through their drawings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2681–2684.
- Jančaříková, K., & Jančařík, A. (2022). How to Teach Photosynthesis? A Review of Academic Research. *Sustainability*, 14(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su142013529>
- Jayanti, P. (2020). Comparative study: Misconceptions on photosynthesis and respiration concepts from past to the present. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 9(1), 1750.  
<https://doi.org/10.26740/jpps.v9n1.p1750-1755>
- Kędra, J. (2018). What does it mean to be visually literate? Examination of visual literacy definitions in a context of higher education. *Journal of Visual Literacy*, 37(2), 67–84.  
<https://doi.org/10.1080/1051144X.2018.1492234>
- Keleş, E., & Kefeli, P. (2010). Determination of student misconceptions in “photosynthesis and respiration” unit and correcting them with the help of cai material. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Innovation and Creativity in Education*, 2(2), 3111–3118.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.474>
- Kragten, M., Admiraal, W., & Rijlaarsdam, G. (2015). Students' Ability to Solve Process-diagram Problems in Secondary Biology Education. *Journal of Biological Education*, 49(1), 91–103. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.888363>
- Köse, S. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 283–293.

- Li, M., Gao, Q., & Yu, T. (2023). Kappa statistic considerations in evaluating inter-rater reliability between two raters: Which, when and context matters. *BMC Cancer*, 23(1), 799. <https://doi.org/10.1186/s12885-023-11325-z>
- Mayer, R. E. (2014). Introduction to multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2nd ed. (lk 1–24). Cambridge University Press. (2015-00153-001). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.002>
- McTigue, E. M., & Flowers, A. C. (2011). Science Visual Literacy: Learners' Perceptions and Knowledge of Diagrams. *Reading Teacher*, 64(8), 578–589. (EJ923588). <https://doi.org/10.1598/RT.64.8.3>
- Mekonen, D., & Kelkay, A. D. (2023). Inquiry-based instructional strategies for effective conceptualization of photosynthesis: The case of elementary school. *Cogent Education*, 10(1), 2172927. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172927>
- Must, P. (2023). *Gümnaasiumiastmele õppemooduli "Kui taimed kaoks ehk miks on vaja fotosünteesi" koostamine ja selle mõju hindamine õpipädevustele ühe kooli näitel* [Tartu Ülikool]. <https://hdl.handle.net/10062/98815>
- Navratil, S. D., & Köhl, T. (2023). Learning with self-generated drawings and the impact of learners' emotional states. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1286022>
- Newman, D. L., Spector, H., Neuenschwander, A., Miller, A. J., Trumpore, L., & Wright, L. K. (2023). Visual Literacy of Molecular Biology Revealed through a Card-Sorting Task. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(1), e00198-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00198-22>
- Nurbaety, D., Rustaman, N. Y., & Sanjaya, Y. (2016). The Use of Drawing Method for Diagnosing Students' Misconception about Plant Structure In Relation to Photosynthesis. *AIP Conference Proceedings*, 1708(1), 1–5. (113035034). <https://doi.org/10.1063/1.4941192>
- O'Connor, C., & Joffe, H. (2020). Intercoder Reliability in Qualitative Research: Debates and Practical Guidelines. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 1609406919899220. <https://doi.org/10.1177/1609406919899220>

- Ode, A. B., Rieders, N. F., Ode, P. J., & Balgopal, M. M. (2025). Improving Visual Literacy Skills: Reading Between the Lines, Bars, Dots, and Images. *The Science Teacher*, 92(4), 42–48. <https://doi.org/10.1080/00368555.2025.2502585>
- Paivio, A. (2010). Dual coding theory and the mental lexicon. *Mental Lexicon*, 5(2), 205–230. (55744206). <https://doi.org/10.1075/ml.5.2.04pai>
- Peña, E. (2025). The three waves of visual literacy. *Journal of Visual Literacy*, 44(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/1051144X.2025.2462379>
- Quillin, K., & Thomas, S. (2015). Drawing-to-Learn: A Framework for Using Drawings to Promote Model-Based Reasoning in Biology. *CBE—Life Sciences Education*, 14(1), es2. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-08-0128>
- Simmie, G. M., Galvin, E., & O’Grady, A. (2021). Alternative Concepts in the Teaching of Photosynthesis: A Literature Review 2000-2021. *Higher Education of Social Science*, 21(2), 1–11. <https://doi.org/10.3968/12304>
- Stammes, H., & De Putter-Smits, L. (2025). Drawing meaning from student-generated drawings: Exploring chemistry teachers’ noticing. *Chemistry Education Research and Practice*, 26(2), 494–507. <https://doi.org/10.1039/D3RP00253E>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Štukert, K. (2021). *Arusaamad fotosünteesi protsessist 6., 9. Ja 11. Klassi õpilaste näitel* [Tartu Ülikool]. <http://hdl.handle.net/10062/75013>
- Zhang, K. E., & Jenkinson, J. (2024). *The Visual Science Communication Toolkit: Responding to the Need for Visual Science Communication Training in Undergraduate Life Sciences Education*. <https://doi.org/10.3390/educsci14030296>
- Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The Promise and Practice of Learner-Generated Drawing: Literature Review and Synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285–325. (EJ732434). <https://doi.org/10.1007/s10648-005-8136-3>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>
- Özay, E., & Öztaş, H. (2003). Secondary students’ interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37(2), 68–70. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655853>

## **Summary**

### **The Use of Drawing as a Visualization Method for Assessing 11th-Grade Students' Understanding of Photosynthesis**

#### **Merit Männi**

The aim of this master's thesis was to determine the knowledge and understanding of photosynthesis among 11th-grade students, to identify misconceptions in this topic, and to assess the level at which students can illustrate the photosynthesis process. The study is based on the understanding that photosynthesis is one of the most complex and abstract topics in biology education, often leading to persistent misconceptions among students. One effective approach to assessing students' conceptual understanding is the use of visualization methods, such as analyzing drawings, which allows for the identification of both knowledge and misconceptions related to photosynthesis.

To achieve these objectives, an empirical study was conducted in a single high school. The results showed that students' understanding of photosynthesis was uneven and often focused on factual knowledge. The analysis of drawings indicated that while students recognized the main components of photosynthesis, they had difficulties understanding the overall process, energy transformation, and the movement of substances. The stages of photosynthesis were often treated as separate elements, leaving the internal logic of the process unclear. Additionally, nearly one-fifth of students displayed persistent misconceptions regarding the nature of photosynthesis, its site of occurrence, and the movement of substances.

The quality of the drawings and process-based understanding were closely related: students who were able to produce clearer and more logical visual models also demonstrated a better understanding of the relationships between the stages of photosynthesis. In contrast, factual knowledge formed a weaker and less connected knowledge network, indicating that the acquisition of isolated facts alone does not support a deeper conceptual understanding.

In conclusion, the study showed that students' understanding of photosynthesis often develops in a fragmented way and requires greater emphasis in teaching on establishing connections, visualization, and the development of mental models.

When interpreting the results of this study, it is important to keep in mind that the data were based on drawings from students of a single school, and therefore the findings cannot be generalized to a broader student population

## Lisad

### Lisa 1. Fotosünteesi visualiseerimise 4D hindamismatriks

Hindamiskaala: 0 p = puudulik või vale; 1 p = osaliselt täpne või ebaselge; 2 p = täielik, loogiline ja teaduslikult korrektne.

Väärarusaamad: 0 p = mitu olulist väärarusaama; 1 p = mõned väärarusaamad; 2 p = täielik, väärarusaamad puuduvad.

Dimensioon	Fookus	Hindamis- kriteerium	0 p	1 p	2 p
1. <b>Bioloogiline täpsus</b>	Foto- sünteesi protsessid	Valgusenergia allikas	Päikese- valgus või energiaallikas pole joonisel näidatud ega seostatud fotosünteesi- ga.	Päikesevalgu s on kujutatud, kuid seos klorofüllil või energia neeldumisega on ebaselge.	Selgelt näidatud, et energia pärineb päikesevalguse st ja neeldub klorofüllis.
		Fotosünteesi lähteained (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Lähteained puuduvad või on esitatud ekslikult.	Lähteained on kujutatud, kuid mitte kõik või ebaselgelt.	CO <sub>2</sub> ja H <sub>2</sub> O on korrekselt ning loogiliselt kujutatud lähteainetena.
		Valgusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	Valgusfaasi toimumiskoht (tülakoidide membraan) pole märgitud või on vale; valguse roll on ebaselge.	Toimumis- koht on osaliselt näidatud, kuid valgus- nõudlus või seos energiaga	Selgelt märgitud, et valgusfaas toimub tülakoidide membraanis ning vajab otseselt

Dimensioon	Fookus	Hindamis- kriteerium	0 p	1 p	2 p
				pole piisavalt selge.	valgus-energiat.
		Valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid (ATP, NADPH, elektronid)	Valgus-reaktsioonid ja vaheproduktid puuduvad või on valesti kujutatud.	ATP ja/või NADPH on näidatud, kuid nende tekkimine või roll on ebaselge.	Valgusreaktsioonid on õigesti kujutatud: vee fotolüüs, elektronide liikumine ja ATP/NADPH teke.
		Pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	Pimedusfaasi (Calvini tsükli) toimumiskoht pole märgitud või on ekslik.	Strooma on kujutatud, kuid seos Calvini tsükliga on ebaselge või loogiliselt katkenud.	Selgelt märgitud, et Calvini tsükkel toimub stroomas ja ei sõltu otseselt valguse olemasolust.
		Pimedusfaas (Calvini tsükkel, CO <sub>2</sub> sidumine)	Calvini tsükli pole või see on valesti kujutatud.	Kujutatud on ainult osa tsüklist (nt CO <sub>2</sub> sidumine), kuid energiaallikad või seosed on ebaselged.	Calvini tsükkel on õigesti kujutatud: CO <sub>2</sub> , ATP ja NADPH kasutamine glükoosi sünteesiks stroomas.
		Lõppsaadused (glükoos, O <sub>2</sub> )	Lõppsaadused puuduvad või on valesti esitatud.	Mõned lõppsaadused (nt O <sub>2</sub> ) on olemas, kuid glükoosi teke ebaselge.	Glükoosi ja hapniku teke on täpselt ja loogiliselt kujutatud fotosünteesi tulemusena.

Dimensioon	Fookus	Hindamis- kriteerium	0 p	1 p	2 p
<b>2. Süsteemne sidusus ja põhjendatus</b>	Energia- ja ainetevood	Energia- ja ainetevoog	Energia ja ainete liikumise seosed puuduvad või on ekslikud.	Seosed on osaliselt õiged, kuid energia või ainete suund ebaselge.	Energia- ja ainetevoog on loogiline ja järjepidev (valgusenergia → ATP/NADPH → glükoos).
		Seosed protsesside vahel	Valgus- ja pimedusfaas ei ole omavahel seotud või on ekslikult ühendatud.	Seos faaside vahel on osaliselt kujutatud, kuid katkine või visuaalselt ebaselge.	Valgus- ja pimedusfaasi seos on loogiline, näidatud on energia-ülekanne ATP/NADPH kaudu.
		Mudeli põhjendatus	Joonis on deklaratiivne ega näita mehhanismi ega energia muundumist.	Joonis selgitab mõningaid seoseid, kuid ei toeta sügavamat arusaamist.	Joonis näitab selgelt, kuidas energia ja ained muunduvad ning miks protsessid toimuvad.
<b>3. Visuaalne ja kontseptuaalne selgus</b>	Kujutise struktuur ja loogika	Struktuur ja paigutus	Joonis on segane, elementide paigutus ei toeta arusaamist.	Joonis on osaliselt arusaadav, kuid mõned osad on ebaselged või	Joonis on selge, hästi struktureeritud ja toetab arusaamist energia ja

Dimensioon	Fookus	Hindamis- kriteerium	0 p	1 p	2 p
				loogiliselt katkenud.	ainete liikumisest.
		Terminoloogia ja tähistus	Kasutatud ebatäpseid, vale tähendusega või vastuolulisi termineid.	Terminid on valdavalt õiged, kuid mõningad ebatäpsused või ebaühtlus esineb.	Kõik terminid ja tähistused on teaduslikult täpsed ja ühtsed; kasutatakse korrektset bioloogilist sõnavara.
		Visuaalne eristamine (valgus- ja pimedusfaas)	Faasid pole eristatavad või on segamini kujutatud.	Faasid on eristatavad, kuid nende omavaheline seos pole täiesti selge.	Valgus- ja pimedusfaasid on visuaalselt eristatavad ja nende seosed on loogilised (nt värvide, tsoonide abil).
<b>4. Loovus ja visuaalne esitus</b>	Kujundus ja arusaadavus	Kujunduse originaalsus	Joonis on kopeeritud või puudub isikupära ja kujunduslik huvitavus.	Mõningane originaalsus joonise ülesehituses või värvikasutuses.	Originaalne, loov ja arusaamist toetav kujundus; visuaalne lahendus aitab mõista protsessi.
		Esteetiline ja didaktiline kvaliteet	Joonis on segane, tasakaalust väljas või visuaalselt häiriv.	Joonis on üldiselt korras, kuid mõni osa on tasakaalust väljas või	Visuaalselt tasakaalus, esteetiline ja õppimist toetav kujundus, mis aitab protsessi mõista.

<b>Dimensioon</b>	<b>Fookus</b>	<b>Hindamis- kriteerium</b>	<b>0 p</b>	<b>1 p</b>	<b>2 p</b>
				raskesti loetav.	

## Lisa 2. Tabelid

**Tabel 2**

*Hindamiskriteeriumide Cohen'i kappa koefitsiendid ning nende 95% usaldusintervallid (N = 12)*

Hindamis-kriteerium	Võrdlus (E1/A/E2)	Cohen'i kappa ( $\kappa$ )	95% usaldus-intervallid (CI)	Tõlgendus
1	E1 – A	1,00	[1,00; 1,00]	väga hea
	E2 – A	0,64	[0,21; 1,00]	mõõdukas – hea
2	E1 – A	0,63	[-0,03; 1,00]	mõõdukas – hea
	E2 – A	1,00	[1,00; 1,00]	väga hea
3	E1 – A	0,94	[0,81; 1,00]	väga hea
	E2 – A	1,00	[1,00; 1,00]	väga hea
4	E1 – A	0,70	[0,45; 0,94]	hea
	E2 – A	0,83	[0,62; 1,00]	väga hea
5	E1 – A	0,90	[0,72; 1,00]	väga hea
	E2 – A	1,00	[1,00; 1,00]	väga hea
6	E1 – A	0,85	[0,68; 1,00]	väga hea
	E2 – A	0,93	[0,81; 1,00]	väga hea
7	E1 – A	0,77	[0,36; 1,00]	hea
	E2 – A	0,88	[0,58; 1,00]	väga hea
8	E1 – A	0,80	[0,60; 1,00]	väga hea
	E2 – A	0,90	[0,72; 1,00]	väga hea
9	E1 – A	0,75	[0,50; 1,00]	hea – väga hea
	E2 – A	0,85	[0,65; 1,00]	väga hea
10	E1 – A	0,70	[0,45; 0,95]	hea
	E2 – A	0,82	[0,60; 1,00]	väga hea
11	E1 – A	0,95	[0,85; 1,00]	väga hea
	E2 – A	1,00	[1,00; 1,00]	väga hea
12	E1 – A	0,78	[0,55; 1,00]	hea – väga hea
	E2 – A	0,88	[0,70; 1,00]	väga hea
13	E1 – A	0,82	[0,60; 1,00]	väga hea
	E2 – A	0,91	[0,75; 1,00]	väga hea
14	E1 – A	0,76	[0,52; 1,00]	hea – väga hea
	E2 – A	0,89	[0,70; 1,00]	väga hea
15	E1 – A	0,84	[0,65; 1,00]	väga hea
	E2 – A	0,92	[0,78; 1,00]	väga hea

Märkus. E1 = ekspert 1; A = autor; E2 = ekspert 2.

**Tabel 3***Spearmani korrelatsioonikordajad ( $\rho$ - ja  $p$ -väärtused;  $N = 59$ )*

<b>Muutujapaar</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>p</math></b>
mudeli põhjendatus – valgusenergia allikas	0,29	0,029
mudeli põhjendatus – esteetiline	0,85	0,001
mudeli põhjendatus – kujunduse originaalsus	0,70	0,001
mudeli põhjendatus – visuaalne eristamine	0,88	0,001
mudeli põhjendatus – terminoloogia ja tähistus	0,31	0,017
mudeli põhjendatus – struktuur ja paigutus	0,90	0,001
mudeli põhjendatus – valgusfaasi toimumiskoht	0,74	0,001
mudeli põhjendatus – energia ja ainete voog	0,40	0,002
mudeli põhjendatus – lõppsaadused	0,32	0,015
mudeli põhjendatus – pimedusfaas	0,78	0,001
mudeli põhjendatus – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,69	0,001
mudeli põhjendatus – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,88	0,001
seosed protsesside vahel – esteetiline	0,81	0,001
seosed protsesside vahel – kujunduse originaalsus	0,65	0,001
seosed protsesside vahel – visuaalne eristamine	0,94	0,001
seosed protsesside vahel – terminoloogia ja tähistus	0,27	0,038
seosed protsesside vahel – struktuur ja paigutus	0,84	0,001
seosed protsesside vahel – valgusfaasi toimumiskoht	0,67	0,001
seosed protsesside vahel – energia ja ainete voog	0,49	0,001
seosed protsesside vahel – lõppsaadused	0,30	0,022
seosed protsesside vahel – pimedusfaas	0,83	0,001
seosed protsesside vahel – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,74	0,001
seosed protsesside vahel – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,94	0,001
valgusenergia allikas – esteetiline	0,35	0,006
valgusenergia allikas – kujunduse originaalsus	0,35	0,007
valgusenergia allikas – terminoloogia ja tähistus	0,43	0,001
valgusenergia allikas – struktuur ja paigutus	0,29	0,024
valgusenergia allikas – fotosünteesi lähteained	0,35	0,007
valgusenergia allikas – valgusfaasi toimumiskoht	0,47	0,001
valgusenergia allikas – energia ja ainete voog	0,28	0,029
valgusenergia allikas – lõppsaadused	0,40	0,002
esteetiline – kujunduse originaalsus	0,80	0,001
esteetiline – visuaalne eristamine	0,76	0,001
esteetiline – terminoloogia ja tähistus	0,33	0,012
esteetiline – struktuur ja paigutus	0,76	0,001
esteetiline – fotosünteesi lähteained	0,28	0,032
esteetiline – valgusfaasi toimumiskoht	0,90	0,001
esteetiline – energia ja ainete voog	0,43	0,001
esteetiline – lõppsaadused	0,37	0,004
esteetiline – pimedusfaas	0,86	0,001

<b>Muutujapaar</b>	<b>ρ</b>	<b>p</b>
esteetiline – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,69	0,001
esteetiline – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,76	0,001
kujunduse originaalsus – visuaalne eristamine	0,62	0,001
kujunduse originaalsus – struktuur ja paigutus	0,69	0,001
kujunduse originaalsus – fotosünteesi lähteained	0,27	0,038
kujunduse originaalsus – valgusfaasi toimumiskoht	0,72	0,001
kujunduse originaalsus – energia ja ainete voog	0,40	0,002
kujunduse originaalsus – lõppsaadused	0,31	0,018
kujunduse originaalsus – pimedusfaas	0,69	0,001
kujunduse originaalsus – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,53	0,001
kujunduse originaalsus – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,61	0,001
visuaalne eristamine – struktuur ja paigutus	0,79	0,001
visuaalne eristamine – valgusfaasi toimumiskoht	0,59	0,001
visuaalne eristamine – energia ja ainete voog	0,48	0,001
visuaalne eristamine – lõppsaadused	0,28	0,033
visuaalne eristamine – pimedusfaas	0,89	0,001
visuaalne eristamine – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,68	0,001
visuaalne eristamine – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,86	0,001
terminoloogia ja tähistus – struktuur ja paigutus	0,27	0,043
terminoloogia ja tähistus – fotosünteesi lähteained	0,43	0,001
terminoloogia ja tähistus – valgusfaasi toimumiskoht	0,35	0,007
terminoloogia ja tähistus – energia ja ainete voog	0,38	0,003
terminoloogia ja tähistus – lõppsaadused	0,38	0,003
struktuur ja paigutus – valgusfaasi toimumiskoht	0,65	0,001
struktuur ja paigutus – energia ja ainete voog	0,33	0,010
struktuur ja paigutus – pimedusfaas	0,69	0,001
struktuur ja paigutus – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,60	0,001
struktuur ja paigutus – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,79	0,001
fotosünteesi lähteained – valgusfaasi toimumiskoht	0,28	0,033
fotosünteesi lähteained – energia ja ainete voog	0,45	0,001
fotosünteesi lähteained – lõppsaadused	0,71	0,001
valgusfaasi toimumiskoht – energia ja ainete voog	0,32	0,013
valgusfaasi toimumiskoht – lõppsaadused	0,37	0,004
valgusfaasi toimumiskoht – pimedusfaas	0,70	0,001
valgusfaasi toimumiskoht – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,59	0,001
valgusfaasi toimumiskoht – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,61	0,001
energia ja ainete voog – lõppsaadused	0,44	0,001
energia ja ainete voog – pimedusfaas	0,49	0,001
energia ja ainete voog – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,47	0,001
energia ja ainete voog – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,48	0,001
lõppsaadused – pimedusfaas	0,32	0,015
lõppsaadused – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,28	0,033
pimedusfaas – pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus	0,59	0,001
pimedusfaas – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,77	0,001

<b>Muutujapaar</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>p</math></b>
pimedusfaasi toimumiskoht ja valgusnõudlus – valgusfaasi protsessid ja vaheproduktid	0,80	0,001

### Lisa 3. Informeerimise ja teadliku nõusoleku vorm

**Uuringu pealkiri:** Joonistamise kui visualiseerimismeetodi kasutamine fotosünteesist arusaamise hindamiseks 11. klassi õpilaste näitel

**Uurija nimi:** Merit Männi

**Õppeasutus:** Tartu Ülikool

Austatud õpilane ja lapsevanem/hooldaja,

Olete kutsutud osalema magistritöö uuringus, mis on suunatud 11. klassi õpilastele. Uuringu eesmärk on välja selgitada joonistamise kaudu õpilaste arusaamad ja väärarusaamad fotosünteesist 11. klassi näitel. Osalemine on vabatahtlik ning te võite uuringust igal ajal loobuda, ilma et see mõjutaks teie õppetööd või muid kooliga seotud tegevusi.

Teie vastused ja isikuandmed jäävad täielikult konfidentsiaalseks ning neid kasutatakse ainult teaduslikul eesmärgil. Kõik andmed esitatakse anonüümselt ning neid ei seota osalejatega isiklikult.

Kui olete tutvunud ülaltoodud teabega ja nõustute uuringus osalema, palume allkirjastada alljärgnev nõusolekuvorm

#### Nõusoleku vorm

**Õpilase nimi:** \_\_\_\_\_

**Klass:** \_\_\_\_\_

Olen lugenud ja aru saanud informeerimisteatest ning nõustun osalema magistritöö uuringus.

Ma mõistan, et minu osalemine on vabatahtlik ning võin igal ajal loobuda.

**Õpilase allkiri:** \_\_\_\_\_ **Kuupäev:** \_\_\_\_\_

*(Alla 18-aastaste osalejate puhul peab nõusoleku andma ka lapsevanem/hooldaja.)*

**Lapsevanema/hooldaja nimi:** \_\_\_\_\_

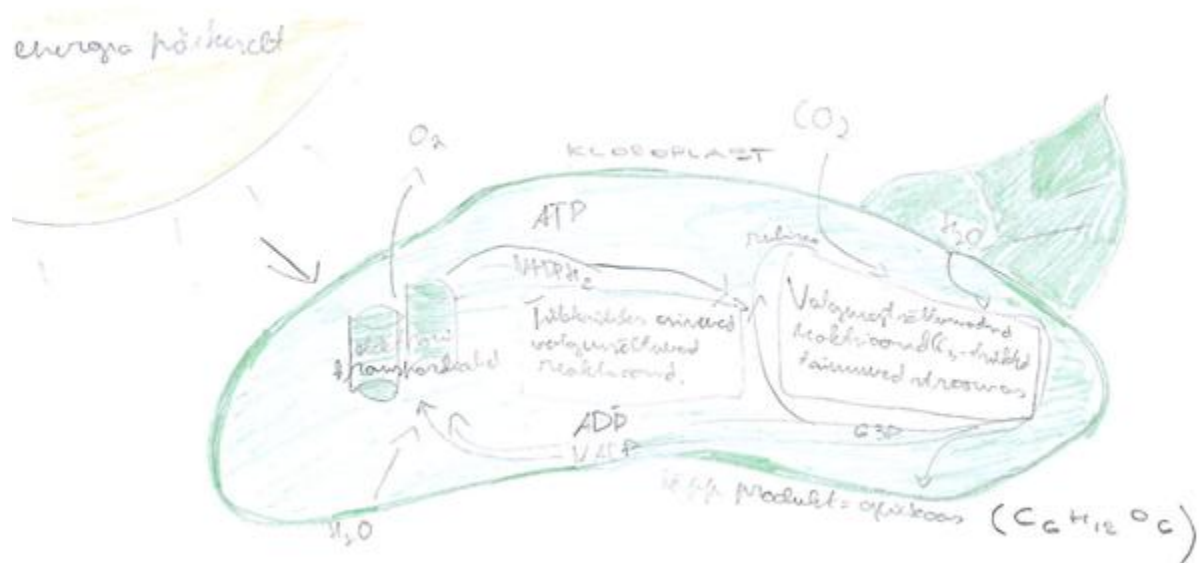
Olen tutvunud uuringu eesmärkidega ja nõustun, et minu laps osaleb uuringus.

**Lapsevanema/hooldaja allkiri:** \_\_\_\_\_ **Kuupäev:** \_\_\_\_\_

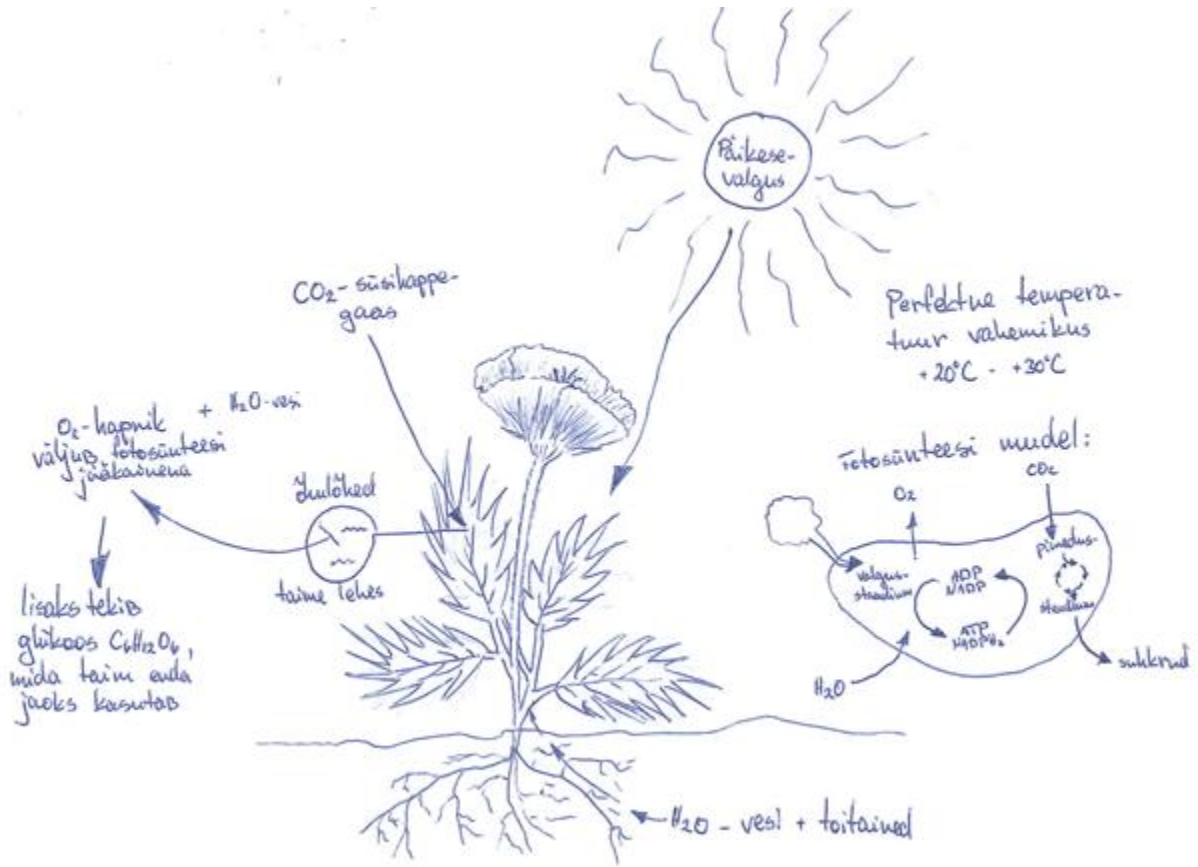
Kui teil on küsimusi või vajate lisainfot, võtke ühendust: **Merit Männi**, e-post: [merit.manni@ut.ee](mailto:merit.manni@ut.ee), **Anne Laius**, e-post: [anne.laius@ut.ee](mailto:anne.laius@ut.ee)

# Lisa 4. Näited õpilaste fotosünteesi protsessi kujutavatest joonistuste tasemetest

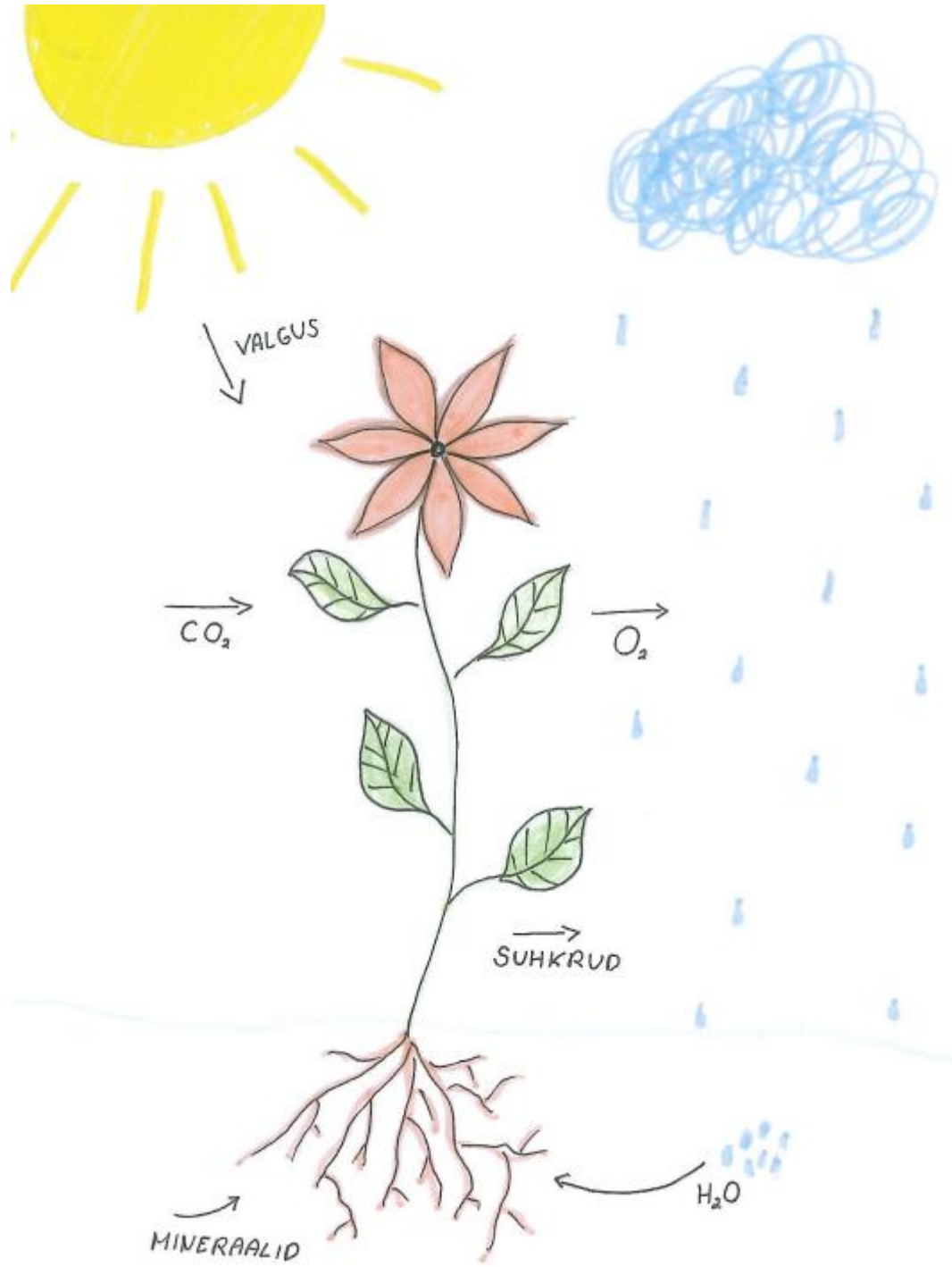
## Näide 1



## Näide 2



Näide 3



## Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Merit Männi

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Joonistamise kui visualiseerimismeetodi kasutamine fotosünteesist arusaamise hindamiseks 11. klassi õpilaste näitel“, mille juhendaja on Anne Laius, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi

Merit Männi

25.05.2026