

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Loodusteadusliku hariduse keskus

Rauno Savolainen

**Arvutipõhise modelleerimise tulemuslikkus õpilaste visuaalse kirjaoskuse
ja bioloogilistest protsessidest arusaamise arendamisel**

Magistritöö

Juhendaja: Jaanika Piksööt, MSc

Tartu 2013

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Kirjanduse ülevaade	5
1.1. Animatsioonide kasutamine õppetöös	5
1.1.1. Animatsioonide eelised	5
1.1.2. Animatsioonide puudused	6
1.2. Mudelid ja mudelipõhine õpe	7
1.3. Visuaalne kirjaoskus	8
1.4. Fotosüntees ja hingamine	10
2. Materjal ja meetodika	12
2.1. Uuringu ülesehitus	12
2.2. Valim	13
2.3. Õpikeskkond „Rakumaailm“	13
2.3.1. Fotosünteesi mudel	15
2.3.2. Glükoosi lagundamise mudel	18
2.4. Kirjalikud küsimustikud	20
2.5. Andmeanalüüs	21
3. Tulemused ja arutelu	23
3.1. Eelküsimustiku tulemused	23
3.2. Järelküsimustiku tulemused	27
3.3. Arusaamise areng fotosünteesi ja hingamise protsesside komponentidest ja protsesse mõjutavatest teguritest	32
3.4. Mudelioperatsioonide mõju õpiprotsessi tulemuslikkusele	35
3.6. Visuaalse kirjaoskuse areng	38
Kokkuvõte	40
Tänuavaldused	42
Kasutatud kirjandus	43
Summary	47
Lisad	49

Sissejuhatus

Fotosüntees ja hingamine on õpilaste jaoks ühed keerulisemad koolibioloogias käsitletavad protsessid (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Tekkaya & Yenilmez, 2006). Mõlemad protsessid on väga abstraktsed ja seetõttu õpilastele raskesti mõistetavad (Tekkaya & Yenilmez, 2006). Fotosünteesi ja hingamist käsitletakse Eesti üldhariduskoolides osana gümnaasiumibioloogia II kursusest, kusjuures nii fotosünteesi kui hingamise juures on üheks soovitatavaks praktiliseks tööks fotosünteesi ja hingamist mõjutavate tegurite uurimine arvutimudelite abil (Gümnaasiumi riikliku õppekava, 2011).

Varasemate uuringute põhjal saab väita, et animatsioonide kasutamine võib potentsiaalselt parandada õpilaste arusaamist sellistest abstraktsetest protsessidest nagu fotosüntees, keemilised reaktsioonid jm, kuna tänu animatsioonidele on võimalik näitlikustada ka protsesse, mida reaalelus nende mikroskoopilisuse tõttu ei näeks (Ryoo & Linn, 2011), kusjuures tõhusam on õppimine just interaktiivsete animatsioonide abil (Rasch & Schnotz, 2009).

Visuaalne ehk pildiline info on ühiskonnas väga tähtsal kohal, ümbritsedes inimesi igal pool ning ajal. Seetõttu on tänapäeva koolis äärmiselt oluline õppida visuaalset informatsiooni analüüsima ja looma (Vasquez jt, 2010). Võrreldes varasemaga on õpikutes, töövihikutes ja muudes õppematerjalides kasutusel oluliselt rohkem pildilist informatsiooni. Lisaks õpikutele ja töövihikutele pakub ka IKT palju erinevaid õppimise ja õpetamise viise. Selleks aga on vaja omada selget ülevaadet ja arusaama visuaalse kommunikatsiooni (*visual communication*) rollist (Yeh & Cheng, 2010). Eelnevad uuringud on näidanud, et õpilastel on raskusi visuaalse info analüüsimise ja loomisega, eriti info ülekandmisega ühelt visuaalselt esituselt teisele (Castera jt, 2012).

Kõike eelpoolmainitud arvesse võttes on käesoleva magistritöö üldiseks eesmärgiks uurida, milline on virtuaalse õpikeskkonna „Rakumaailm“ mudelite mõju Eesti gümnaasiumiõpilaste visuaalse kirjaoskuse ja bioloogilistest protsessidest arusaamise arengule. Tulenevalt üldisest eesmärgist on magistritööle püstitatud kolm kitsamat eesmärki:

- 1) uurida gümnaasiumiõpilaste arusaamise arengut ainevahetuslikest protsessidest kasutades veebipõhiseid mudeleid;
- 2) uurida mudelioperatsioonide mõju õpilaste bioloogilistest protsessidest arusaamisele;

3) selgitada välja õpilaste visuaalse kirjaoskuse areng, rakendades selleks veebipõhiseid mudeleid.

Magistritöö eesmärkidest lähtuvalt sõnastati kolm uurimisküsimust.

1. Kuidas areneb gümnaasiumiõpilaste arusaamine ainevahetuslikest protsessidest kasutades glükoosi lagundamise ja fotosünteesi mudeleid?

Selle uurimisküsimuse raames uuriti kahte aspekti. Esiteks, milline on arusaamise areng glükoosi lagundamise ja fotosünteesi protsessides osalevate komponentide ülesannetest. Teiseks, milline on areng neid protsesse mõjutavatest teguritest arusaamisel.

2. Mil määral erineb õpilaste arusaamine liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudelikomponentidest?

Liigutatavaks mudelikomponendiks on komponent, mida mudeli kasutaja saab ise õpikeskkonna töölaual liigutada, sarnaselt on mitteliigutatavaks mudelikomponendiks komponent, mida mudeli kasutaja liigutada ei saa. Uurimisküsimusele vastuse saamiseks võrreldakse arusaamise arengut liigutatavatest mudelikomponentidest ja arusaamise arengut mitteliigutatavatest mudelikomponentidest.

3. Mil määral areneb gümnaasiumiõpilaste visuaalse info ülekandmisoskus kasutades virtuaalse õpikeskkonna „Rakumaailm“ mudeleid?

Uurimisküsimusele vastuse saamiseks analüüsitakse eel- ja järelküsimustikke ning tehakse kindlaks, kas ja mil määral on visuaalse info ülekandmisoskust kontrollivad ülesanded järelküsimustikus paremini vastatud.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Animatsioonide kasutamine õppetöös

Tänapäeva maailmas omavad olulist rolli tekstilised ja pildilised representatsioonid ehk esitused. Representatsioone kasutatakse informatsiooniallikana nii õppimisel kui õpetamisel (Eilam & Poyas, 2008). Animatsioonid on dünaamilise ehk liikuva representatsiooni vorm, mis edastavad infot ajas muutuva protsessi kohta (Ainsworth, 2008). Neid kasutatakse, et kirjeldada erinevate protsesside (mehhaanilised, bioloogilised jt) muutuvat, dünaamilist olemust (Meyer jt, 2009). Animatsioonide kasutamisel on suur potentsiaal just looduslike nähtuste ja protsesside abstraktsuse määra vähendamisel ja seeläbi nende nähtuste ja protsesside arusaadavamaks muutmisel (Ryoo & Linn, 2011). Animatsioone on haridustehnoloogiliste vahenditena kasutatud alates 1980.-ndatest aastatest (Ainsworth, 2008). Viimastel aastatel on palju uuritud animatsioonide kasutamise tõhusust õppetöös. Uuringute tulemused aga on olnud vastuolulised (Meyer jt, 2009; Rasch & Schnotz, 2009).

Meyer ja teised (2009) on välja toonud, et võrreldes liikumatute piltide seeriaga võib animatsioonide kasutamine mõjutada õpiprotsessi tulemuslikkust kolmel erineval viisil. Animatsioonide kasutamine võib mõjutada õpiprotsessi tulemuslikkust positiivselt või negatiivselt. Samuti võib animatsioonide kasutamisel puududa mõju õpiprotsessi tulemuslikkusele. Selliste vastuoluliste tulemuste põhjustajaks võib olla animatsioonides esitatava materjali erinev sisu.

1.1.1. Animatsioonide eelised

Animatsioonide kasutamisel on mitmeid eeliseid, mis puuduvad liikumatute ehk staatiliste piltide kasutamisel (Arguel & Jamet, 2009; Höffler & Leutner, 2007). Esiteks on animatsioonid pidevad (või katkematud), tänu millele saab animatsioonidest rohkem informatsiooni kui liikumatute piltide reast (Tversky jt, 2002; Arguel & Jamet, 2009). Teiseks aitavad animatsioonid luua õppijatel õiget sisemist representatsiooni (*internal representation*). Teine eelis tuleb sellest, et animatsioonides saab edastada informatsiooni erinevast pildilise info esitusviisist, näiteks võimaldavad animatsioonid edastada infot kasutades ikoonilist esitust (*iconic depictive representation*), mitte sümbolilist esitust (*symbolic description*

representation) (Arguel & Jamet, 2009). Kolmandaks aitavad animatsioonid paremini kujundada mõningaid inimese praktilisi oskusi. Näiteks sõlmede tegemist on parem õppida animatsioonide kui liikumatute piltide abil (Arguel & Jamet, 2009). Võrreldes liikumatute piltide reaga, mis annab edasi ainult struktuurset infot (*structural information*), võimaldavad animatsioonid edastada ka ajutist informatsiooni (*temporal information*). Ajutise informatsiooni edastamine võimaldab animatsioonide abil õppijal kujundada õpitavast protsessist korrektsemat dünaamilist mõttemudelit (*dynamic mental model*) (Ainsworth, 2008).

Arvutipõhistes õpikeskkondades kasutatakse sageli manipuleeritavaid animatsioone, mille puhul võivad õppijad protsessidest paremaks arusaamiseks animatsioonide tempot muuta, neid kiirendada, aeglustada või peatada (Rasch & Schnotz, 2009). Õppija kontroll animatsiooni tempo üle annab samuti võimaluse korrata üle algselt arusaamatuks jäänud nüansse (Boucheix & Schneider, 2009). Käesolevas magistritöös rakendatud mudelid on samuti manipuleeritavad mudelid – õpilane saab mudelit peatada, komponente lisada ja ära võtta ning animatsiooni uuesti algusest vaadata.

1.1.2. Animatsioonide puudused

Üks võimalus animatsioonide väheefektiivsuse põhjendamiseks on ühilduvuse printsiip (*congruence principle*). Ühilduvuse printsiibiga saab selgitada animatsioonide vähest tulemuslikkust sellisel juhul, kui kirjeldatav protsess ei ole muutuv (dünaamiline) või õppija dünaamiline sisemine representatsioon pole protsessi mõistmiseks vajalik (Arguel & Jamet, 2009). Tulenevalt kognitiivse koormuse teooriast (*cognitive load theory*) võib sellistel juhtudel, kui õppimiseks piisab staatiliste piltide reast, põhjustada animatsioonide kasutamine töömälu ülekoormust. Inimese töömälu maht on piiratud (7 ± 2 ühikut) ning ei muutu elu jooksul (Clark jt, 2006). Kui aga õppimise käigus tuleb vastu võtta liiga palju infot, siis koormab see töömälu üle, põhjustades kognitiivset ülekoormust (Arguel & Jamet, 2009).

Animatsioonide väheefektiivsust võib põhjustada ka animatsioonide lühiaegsus. Osad animatsioonid väljendavad dünaamilist infot konstantsel kiirusel, millest tulenevalt võib õppijal olla keeruline aru saada komponentidest, mis on nähtavad vaid lühikest aega (Arguel & Jamet, 2009). Seega, kui õpilased hoiavad olulist infot töömälus ja püüavad samal ajal moodustada sidusat sisemist representatsiooni, suurendab liiga suure hulga info omanda-

mine liiga lühikese aja jooksul kognitiivset ülekoormust (Arguel & Jamet, 2009). Selline probleem väheneb juhul, kui tegu on manipuleeritava animatsiooniga – õppijal on kontroll animatsiooni tempo üle, mis peaks vähendama kognitiivset ülekoormust (Arguel & Jamet 2009; Rasch & Schnotz, 2009; Boucheix & Schneider, 2009).

Kolmandaks võib animatsioonide kasutamine õppetöös võtta rohkem aega kui staatiliste piltide kasutamine (Tversky jt, 2002). Lisaks võivad olla animatsioonid keeruliselt mõistetavad või olla lihtsalt mõistetavad ainult oma ala asjatundjatele (Tversky jt, 2002). Animatsioonide kasutamine ei pruugi olla efektiivne ka siis, kui õpilastel on vähe eelteadmisi animeeritava protsessi kohta. Sellisel juhul, kui animatsioonis esitatakse palju keeruliselt mõistetavat infot mõne abstraktse nähtuse kohta, võib väheste eelteadmistega õpilastel olla raske eristada olulisemat infot ebaolulisemast (Ryoo & Linn, 2011). Animatsioonide kasutamine võib olla efektiivsem nendele õpilastele, kellel on kehvem ruumiline võimekus (*spatial ability*), sest sellistel õppijatel on raskem mitteliikuvaid pilte ruumiliselt ette kujutada (Boucheix & Schneider, 2009). Seega sõltub animatsioonide kasutamise tulemuslikkus suurel määral ka õpilaste individuaalsetest eripäradest.

1.2. Mudelid ja mudelipõhine õpe

Mudel on objektist või nähtusest lihtsustatud jäljendus, mis peaks hõlbustama arusaamist sellest modelleeritavast objektist või nähtusest. Mudeleid konstrueeritakse, kui objekt või nähtus on liiga väike, suur, kompleksne või muul moel raskesti mõistetav (Cobert & Buckley, 2000; Valanides jt, 2008). Mudelid võivad olla füüsilised, kontseptuaalsed või matemaatilised. Loodusteadustes on mudelite loomisel oluline roll teaduslikus uurimistöös nii hüpoteeside testimisel kui nähtuste kirjeldamisel (Louca & Zacharia, 2012). Loodusteaduste õpetamise puhul on oluline ka see, et õpilased mõistaksid mudelite olulisust reaalse objektide ning protsesside esitamisel (Sarapuu, 2012).

Kontseptuaalsed mudelid on välised representatsioonid, mis on loodud õpetajate või teadlaste poolt selleks, et lihtsustada süsteemi õpetamist ja sellest arusaamist. Kontseptuaalsed mudelid on oma sisult teaduslikult täpsed, kuid lihtsustatud ja idealiseeritud (Ornek, 2008). Ka antud magistristöös kasutatavad õpikeskkonna „Rakumaailm“ mudelid on oma olemuselt kontseptuaalsed mudelid.

Mudelite kasutamine õppetöös (sh ainetundides) aitab õpetajal demonstreerida, kuidas mingi süsteem toimib. Samuti aitab mudelite kasutamine seletada lahti teaduse keerulist olemust (Oh & Oh, 2011). Mudelid välise representatsioonina (kujutisena) aitavad õppijatel süsteemi olemuses paremini aru saada ning luua õppijal õiget sisemist representatsiooni – mõttemudelit (Oh & Oh, 2011).

Mudelipõhisel õppimisel loovad õppijad enda jaoks objektist, nähtusest või ideest mõttemudeli (Cobert & Buckley, 2000). Mõttemudel on õppija sisemine, personaalne ja mitte-täiuslik kujutis objektist, nähtusest või ideest (Greca & Moreira, 2000; Louca & Zacharia, 2012). Mõttemudel säilitab üldjoontes modelleeritava süsteemi struktuuri (Vosniadou, 2002), aga on lihtsustatud representatsioon (kujutis) süsteemist, mille kohta ta loodud on (Ornek, 2008). Mõttemudel ei saa kirjeldada täielikult süsteemi, millest mudel loodud on, vaid õppija teeb teadlikult või alateadlikult valikuid selle kohta, millised aspektid on mõttemudelis paremini välja toodud (Ornek, 2008). Vastavalt sellele, kas ja kui palju uut, täiendavat informatsiooni, õppija väliskeskkonnast omandab, täiustab ta ka mudelit (Greca & Moreira, 2000). Mõttemudelid on seotud asjadega, millest inimesed mõtleavad ja mida nad kasutavad (Ornek, 2008). Õppija jaoks on mõttemudeli koostamisel peamine eesmärk see, et saaks kirjeldada ja teha ennustusi konkreetse nähtuse või objekti kohta (Greca & Moreira, 2000).

Arvutimudel on arvutiprogramm, mis matkib mingi kindla süsteemi käitumist (Ornek, 2008). On leitud, et arvuti abil modelleerimine muudab õpitava materjali õppijate jaoks tajutavamaks ning huvitavamaks, näiteks saavad õpilased arvutite abil uurida mikromaailma, mida nad muidu teha ei saaks (Valanides jt, 2008). Samuti võimaldavad arvutimudelid virtuaalselt teha eksperimente ohtlikes keskkondades või ideaalsetes situatsioonides (Oh & Oh, 2011).

1.3. Visuaalne kirjaoskus

Loodusainete õpetamisega kujundatakse loodusteaduste- ja tehnoloogiaalast kirjaoskust, millega taotletakse, et gümnaasiumi lõpetajad saaks aru elus ja eluta looduses toimuvatest protsessidest ning oskaks neid selgitada mikro-, makro- ja megatasandil. Kõik see aga seostub visuaalse kirjaoskusega, mida arendatakse läbivalt kõigis õppeainetes (Sarapuu, 2012).

Visuaalsel kirjaoskusel on mitmeid, vähesel määral erinevaid, definitsioone, kuid kõige sagedamini on visuaalne kirjaoskus defineeritud õpitud oskuste kogumina, mis võimaldab inimestel õigesti tõlgendada ja luua visuaalset informatsiooni (Avgerinou, 2009; Avgerinou & Pettersson, 2011). Visuaalse kirjaoskuse alla kuulub mitmeid omavahel tihedalt seotud oskuseid, näiteks võime aru saada piltidest, võime kasutada pilte ning võime mõelda ja õppida piltide abil (Avgerinou & Ericson, 1997; Avgerinou & Pettersson, 2011). Kuna visuaalset materjali ei tõlgendata inimese mõistuses automaatselt, tuleb õppijaid harida, et nad omandaksid piisava visuaalse kirjaoskuse taseme ning oskused, mis lubaksid neil paremini mõista ja luua visuaalset infot (Yeh & Cheng, 2010). Loodusainetes peetakse visuaalse kirjaoskuse all enamasti silmas kolme omavahel seotud tegevust ja nendega kaasnevat oskusi (Sarapuu, 2012).

Nendeks tegevusteks on:

1. Visuaalse (pildilise) info analüüsimine ja tulemuste esitamine verbaalses (tekstilises) vormis (Pettersson, 2002; Sarapuu, 2012). See on tegevus, mis eeldab õppijalt nii suulist kui ka kirjalikku väljendusoskust (Sarapuu, 2012).
2. Verbaalse info analüüsimine ja info ülekandmine visuaalsesse vormi (Pettersson, 2002; Sarapuu, 2012). Pildilist materjali võib koostada nii suulise kui ka kirjaliku esituse põhjal (Sarapuu 2012).
3. Ühes vormis esitatud visuaalse info analüüsimine ja ülekandmine teise visuaalsesse vormi. Nendest kolmest tegevusest on see kõige komplekssem ning tuginneb eelnevale kahele tegevusele ja nendega seotud oskustele. Ülesande korrektseks täitmiseks tuleb esmalt viia algne info verbaalsele kujule ning seejärel koostada vormilt teistsugune visuaalne esitus (Sarapuu, 2012). Ka käesolevas magistritöös uuriti ühes vormis esitatud visuaalse info ülekandmist teise visuaalsesse vormi.

Pildilise info kandjaid saab jagada esituse vormide ja abstraktsusastmete järgi. Kuigi ei ole ühtset pildilise info kandjate klassifikatsioone, on üks võimalik jaotus selline nagu on pakunud Freidman (1993).

1. Pildiline esitus, mis on kõige realistlikum. Siia alla kuuluvad näiteks fotod, videod ning kolmemõõtmelised mudelid.
2. Skemaatiline esitus, kuhu alla kuuluvad erinevad skeemid (mõistekaardid, maakaardid jm).

3. Icooniline esitus. Siia alla käivad näiteks rahvusvahelised tähised ja hieroglüüfid.
4. Struktuurne-funktsionaalne esitus. See grupp sisaldab peamiselt arvjooniseid (nt diagrammid), millega antakse edasi muutujate omavahelisi suhteid.
5. Sümboliline esitus, mis sisaldab lisaks sümbolitele ka logosid.

Sellisest jaotusest lähtuvalt võib visuaalse info hulka arvata ka keemiliste elementide sümbolid, valemid jm mitteverbaalne esitus (Sarapuu, 2012). Käesolevas magistritöös keskendatakse pildilistele esitustele analüüsile.

1.4. Fotosüntees ja hingamine

Viimastel aastakümnetel on fotosünteesi ja hingamise teemad bioloogia õppimisel ja õpetamisel olnud tähelepanu keskpunktis (Lin & Hu, 2003).

Fotosüntees on oluline biokeemiline protsess, mille käigus moodustatakse anorgaanilistest ainetest energiarikkaid orgaanilisi aineid nii autotroofsetele kui heterotroofsetele organismidele (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Fotosünteesi intensiivsus oleneb valguskiirguse intensiivsusest, õhutemperatuurist, mulla veesisaldusest, lisaks on oluline süsihappegaasi hulk õhus (Masing, 1992; Thain & Hickman 2004). Fotosüntees on fundamentaalne protsess, mis on vajalik selleks, et maailm kui ökosüsteem üldse toimiks. Fotosünteesi käigus eemaldatakse atmosfäärist süsihappegaasi ja täiendatakse atmosfääri hapniku hulka (Ray & Beardsley, 2008). Tänu fotosünteesi tähtsusele käsitletakse protsessi kõigi riikide õppekavades (Marmaroti & Galanopoulou, 2006), kuid paljud uuringud on näidanud, et õpilased ei saa tihti peale protsessist hästi aru (Ray & Beardsey, 2008).

Fotosünteesist arusaamise teeb keeruliseks eelkõige asjaolu, et tegu on protsessiga, milles lõimuvad mitmed erinevad aspektid (ökoloogiline, füüsikaline, biokeemiline, energeetiline). Nende aspektide omavahelistest seostest arusaamine on õpilaste jaoks sageli probleemiline (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Põhiliseks väärarusaamaks fotosünteesi puhul on see, et taimed saavad toitu (orgaanilist ainet) pinnasest (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Ryoo & Linn, 2011), ning et vesi on taimedele energia allikaks (Ryoo & Linn, 2011). Energeetilisest aspektist arvatakse, et fotosünteesis kasutatav energia on midagi, mille fotosünteesivad taimed omandavad keskkonnast (Marmaroti &

Galanopoulou, 2006). Samuti on õpilastel probleeme arusaamisega energia muundumisest. Arvatakse, et energia võetakse kasutusse ja seejärel kaob energia lihtsalt ära (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Aetakse segi ka fotosünteesi lähteaineid ja saadusi. Lisaks on täheldatud probleeme, kui õpitakse fotosünteesi protsessi mitmes õppeaines (nt keemias ja bioloogias). Arvatakse, et keemias õpitud protsess on täielikult erinev sellest, mida õpitakse bioloogias (Marmaroti & Galanopoulou, 2006).

Hingamine on organismidele elutegevuseks energiat andev ainevahetusprotsess (Masing, 1992), mille käigus lagundatakse energiarikkaid orgaanilisi aineid (Thain & Hickman 2004). Hingamisel juhitakse orgaanilistelt ühenditelt elektrone järk-järgult madalamatele energiatasemetele. Hingamisel saadav energia salvestatakse ATP molekulides (Masing, 1992). Hingamist jagatakse hapniku osalemise või puudumise järgi vastavalt aeroobseks või anaeroobseks hingamiseks e käärimiseks (Thain & Hickman 2004). Hingamine ja fotosüntees on vastandlikud protsessid. Fotosünteesi protsessis salvestatakse energia süsinikku sisaldavatesse (eelkõige glükoosi) molekulidesse, samas kui hingamise käigus lagundatakse süsinikku sisaldavaid molekule (eelkõige glükoos), et saada eluks vajalikku energiat (Bajd jt, 2010).

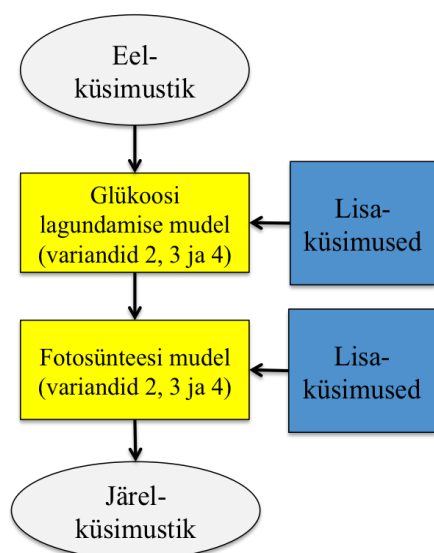
Nii nagu fotosüntees, on ka hingamine kompleksne bioloogiline protsess, millel on samuti erinevaid aspekte (sh ökoloogiline, biokeemiline, anatoomilis-füsioloogiline), mis teevad selle protsessi mõistmise keeruliseks (Tekkaya & Yenilmez, 2006). Hingamise puhul arvatakse tihti, et protsessis eralduv süsihappegaas tekib hapnikust. Väärarusaama põhjuseks võib olla see, et õpilaste arvates tekivad gaasid teistest gaasidest (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Palju aetakse segamini hingamist fotosünteesiga, arvatakse et taimed hingavad süsihappegaasi ning loomad hapnikku (Bajd jt, 2010).

2. Materjal ja metoodika

Magistritöö eesmärkide täitmiseks teostati uuring veebipõhises õpikeskkonnas „Rakumaailm“. Uuringus kasutati õpikeskkonna fotosünteesi ja glükoosi lagundamise (hingamise) mudeleid. Uuringu andmete kogumiseks ja analüüsimiseks koostati eel- ja järelküsimustikud.

2.1. Uuringu ülesehitus

Magistritöö jaoks vajalike andmete kogumiseks teostati uuring, mis viidi läbi kolmes Eesti koolis. Uuringus kasutati õpikeskkonna „Rakumaailm“ kahte mudelit: fotosüntees ja glükoosi lagundamine. Uuring koosnes neljast osast (joonis 1): esiteks täideti eelküsimustik, mille järel töötati kahe koolitunni jooksul glükoosi lagundamise ja fotosünteesi mudelitega. Viimases etapis vastasid õpilased järelküsimustiku küsimustele. Uuringus osalemiseks oli ainult üks eeldus: kõik uuringus osalenud õpilased pidid olema enne eelküsimustiku täitmist läbinud riiklikus õppekavas oleva fotosünteesi ja hingamise osa (Gümnaasiumi riiklik õppekava, 2011).



Joonis 1. Magistritöö uuringu skeem.

Uuringu esimese osana täitsid õpilased individuaalselt eelküsimustiku (lisa 1), millega kontrolliti nende algset arusaamist fotosünteesist ja hingamisest. Eelküsimustiku täitmiseks oli aega kuni 25 minutit.

Uuringu teises osas töötasid õpilased ühe koolitunni (45 minutit) jooksul glükoosi lagundamise mudeli kolme erineva variandiga. Glükoosi lagundamise mudelis kasutati variante 2, 3 ja 4. Mudelit kasutasid õpilased individuaalselt.

Järgnevalt töötasid õpilased ühe koolitunni jooksul fotosünteesi mudeli kolme erineva variandiga (variandid 2, 3 ja 4). Nii nagu glükoosi lagundamise mudelit, kasutati ka fotosünteesi mudelit individuaalselt.

Uuringu neljanda osana täitsid õpilased järelküsimumstiku (lisa 2). Järelküsimumstik täideti individuaalselt ja selleks oli aega maksimaalselt 25 minutit.

2.2. Valim

Magistritöö uuringu andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim (Johnson & Christensen, 2012). Põhiuuringu valim koosnes kolme Eesti kooli 10. ja 11. klassi õpilastest. Põhiuuringu andmed koguti ajavahemikul september 2012 kuni aprill 2013, vastavalt sellele, millal aineõpetajatel oli plaanis fotosünteesi ja hingamise teemad läbida. Uuringus osalenud õpilaste jaotus kooliti on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Uuringus osalenud õpilaste arv kooliti.

Kool	Klass	Klasside arv	Õpilaste arv
Tartu Jaan Poska Gümnaasium	10. ja 11.	4	93
Kadrina Keskkool	11.	1	29
Tartu Kivilinna Gümnaasium	11.	2	42
Kokku		7	164

Instrumentide valideerimiseks viidi 2012. aasta kevadel läbi ka pilootuuring. Pilootuuringu valimisse kuulus 15 õpilast Tartu Jaan Poska Gümnaasiumi 10. klassist.

2.3. Õpikeskkond „Rakumaailm“

Uuringus kasutatud õpikeskkond „Rakumaailm“ (bio.edu.ee/mudelid) on loodud Tartu Ülikooli loodusteadusliku hariduse keskuses ning mõeldud eelkõige gümnaasiumiõpilastele. „Rakumaailmas“ on 10 gümnaasiumibioloogia teemasid käsitlevat arvutimudelit.

„Rakumaailma“ mudeliteks on:

- 1) membraantransport,
- 2) glükoosi lagundamine (hingamine),
- 3) fotosüntees,
- 4) DNA süntees,
- 5) geenide avaldumine,
- 6) RNA süntees,
- 7) valgusüntees,
- 8) geneetiline kood,
- 9) lihasraku kokkutõmbumine,
- 10) sünap.

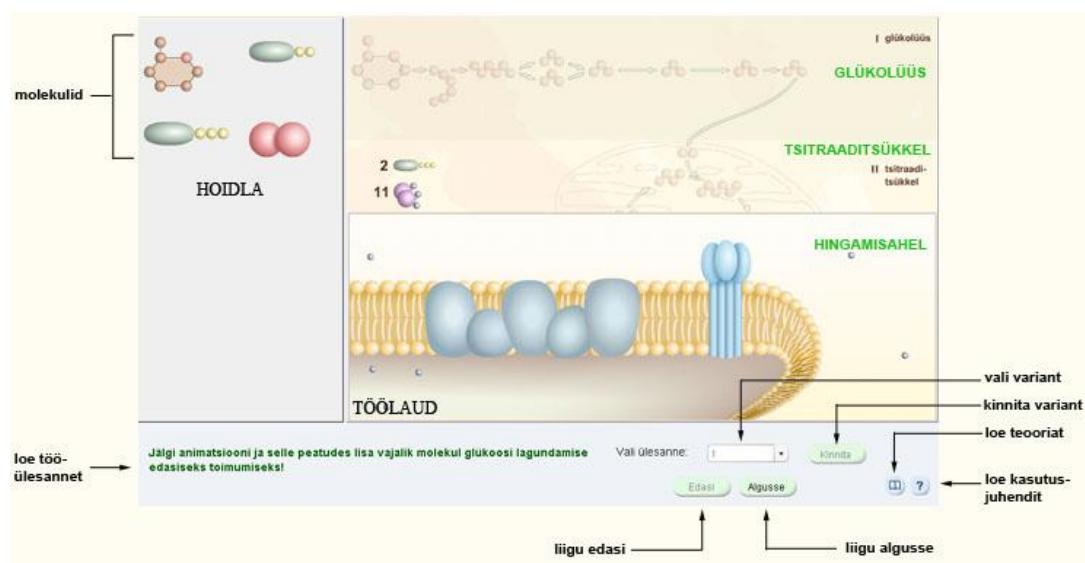
Õpikeskkonnas olevad 10 mudelit jagunevad nelja valdkonda. Valdkondadeks on: raku ehitus (eelnevast loetelust mudel nr 1), aine- ja energiavahetus (mudelid 2 ja 3), pärilikkus (mudelid 4-8) ja inimene (mudelid 9 ja 10). Kõigil mudelitel on neli erinevat varianti. Kahes variandis (variandid 1 ja 2) tuleb õppijal lisada sobivaid molekule nii, et kujutatav protsess õigesti toimiks. Kahes ülejäänud variandis (variandid 3 ja 4) tuleb õppijal juba toimivat protsessi muuta nii, et lõpptulemus oleks algsest erinev.

„Rakumaailm“ jaguneb kaheks keskkonnaks: õpetajale mõeldud keskkonnaks ja õpilasele mõelduks. Selleks, et siseneda õpetaja keskkonda, tuleb õpetajal eelnevalt kasutajaks registreeruda. Õpetaja saab oma keskkonnas valida õpilastele mudeli ja mudelivariandi, samuti saab ta määrata seda, kas lisaküsimusi kasutatakse või mitte. Lisaks saab õpetaja keskkonnas vaadata mudeliga töötanud õpilaste tulemusi ning samuti paneb keskkond õpilasele automaatselt hinde, mis on mõõdetav 5 pallisel skaalal.

Õpilase keskkonda saab kasutada nii registreerudes kui registreerumata. Kui kasutada keskkonda registreerumata, ei salvestata tulemusi õpetaja keskkonda. Samuti ei saa registreerimata keskkonda kasutades vastata lisaküsimustele. Kui kasutada õpilase keskkonda registreerudes, tuleb õppijal sisestada ees- ja perekonnanimi ning õpetajalt saadud mudelivariandi kood. Kui õppija sisestab õpetajalt saadud koodi, salvestatakse õppija vastused õpetaja keskkonda.

„Rakumaailma“ mudelite ekraanipilt (joonis 2) koosneb kahest põhilisest osast: töölauast ja hoidlast. Lisaks on ekraani allservas kuvatud tööülesanne ning nupud „Edasi“ ja „Algus-“

se“, mille abil saab õpilane mudeliga manipuleerida. Samuti saab mudeli allservast avada teoorialehte ja kasutusjuhendit.



Joonis 2. Pilt glükoosi lagundamise mudeli abilehelt.

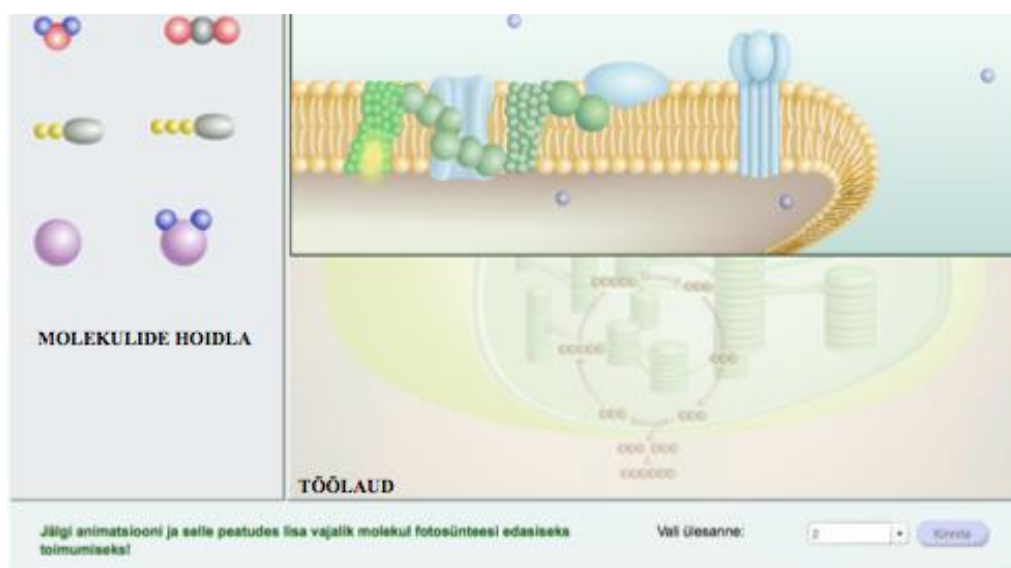
Mudeli hoidlas on erinevad protsessi toimumiseks vajalikud molekulid, mida õpilane saab hiirega liigutada töölaual õigesse kohta nii, et animeeritav protsess õigesti toimuks. Kui õppija on viinud molekuli töölauale, peab ta vajutama nuppu „Edasi“. Kui mudelis kasutatakse lisaküsimusi, ilmub pärast „Edasi“ nupule vajutamist ekraanile lisaküsimus. Juhul kui töölauale viidud molekul oli õige, siis läheb protsess edasi, kui valitud molekul oli vale, ilmub veateade ja õppija peab viima valitud molekuli tagasi hoidlasse ning asendama töölaual vale molekuli õigega. Lisaküsimusi kasutades ilmub küsimus alati ekraanile, olenemata sellest, kas töölauale viidud molekul oli õige või vale.

2.3.1. Fotosünteesi mudel

Fotosünteesi mudeliga modelleeritakse taimede kloroplastides toimuvat biokeemilist protsessi, mille käigus salvestatakse päikeselt tulev energia glükoosi molekulides. Käesolevas uuringus kasutati fotosünteesi mudelivariante 2, 3 ja 4.

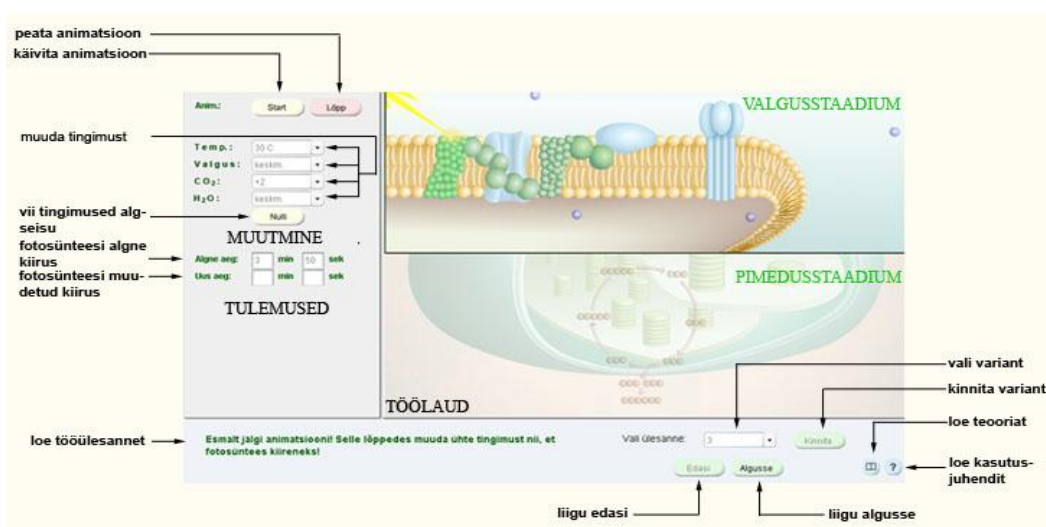
Fotosünteesi mudeli 2. variandis tuleb õppijal lisada puuduvaid molekule nii, et toimuks fotosünteesi protsess (joonis 3). Variandis 2 on hoidlas kuus molekuli (H_2O , CO_2 , ATP, ADP, NADP ja $NADPH_2$), milledest tuleb valida neli õiget. Kõigepealt tuleb töölauale viia

H₂O, siis NADP, ADP ning lõpuks CO₂. Samuti saavad õpilased lugeda fotosünteesi mudeli teoorialehte (lisa 3) ja abilehte (lisa 4).



Joonis 3. Fotosünteesi 2. variandi ekraanipilt.

Fotosünteesi mudeli variantides 3 ja 4 tuleb õppijal kõigepealt jälgida animatsiooni ja seejärel muuta üht tegurit nii, et animeeritav protsess kiireneks (variant 3) või aeglustuks (variant 4) (joonis 4).



Joonis 4. Fotosünteesi 4. variandi ekraanipilt.

Mõlemal fotosünteesi mudelivariandil on vasakpoolses menüüs muudetavateks teguriteks temperatuur, CO₂ kontsentratsioon, valguse intensiivsus ja vee hulk. Korruga saab muuta

vaid üht tegurit. Algselt on kõik tegurid keskmisel tasemel (temperatuur 30°C, CO₂ kontsentratsioon, valguse intensiivsus ja vee hulk tasemel „keskmine“). Kõigi tegurite taset saab tõsta või langetada. Temperatuuri saab tõsta 40 ja 50 kraadini, ülejäänud tegurite taset saab tõsta kas 2 või 5 võrra (vastavalt +2 või +5). Sarnaselt saab tegurite taset ka alandada, temperatuuri saab langetada 10-le või 20-le kraadile. Ülejäänud tegurite taset saab alandada kas 2 või 5 ühiku võrra (vastavalt -2 või -5).

Fotosünteesi mudelivariandis 3 on tööülesandeks muuta üht fotosünteesi aktiivsust mõjutavat tegurit nii, et protsess kiireneks. Analoogiline on ka mudelivariant 4, kus on tööülesandeks muuta ühte tegurit nii, et fotosünteesi protsess aeglustuks (joonis 4). Selleks, et fotosünteesi protsess kiireneks tuleb tõsta temperatuuri 40-le kraadile või tõsta kas valguse intensiivsust, vee hulka või CO₂ kontsentratsiooni 2 või 5 ühiku võrra (+2 või +5). Tõstes temperatuuri 50-le kraadile fotosüntees peatub (tabel 2). Selleks, et fotosünteesi protsess aeglustuks, tuleb langetada temperatuuri 20-le või 10-le kraadile. Samuti aeglustab protsessi kui vähendada valguse intensiivsust, vee hulka või CO₂ kontsentratsiooni 2 ühiku võrra (-2). Kui vähendada CO₂ kontsentratsiooni, valguse intensiivsust või vee hulka 5 ühiku võrra (-5) siis protsess peatub (tabel 2).

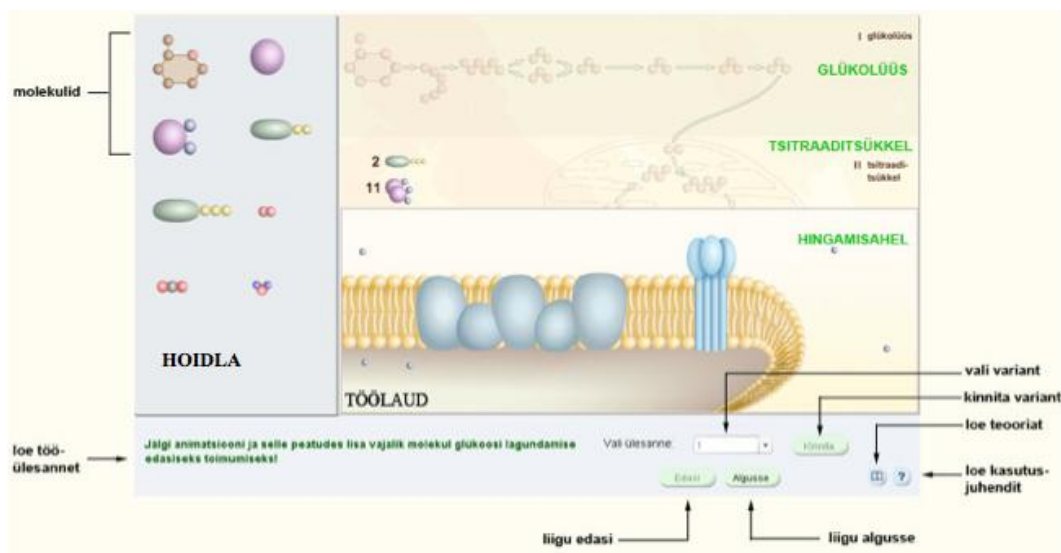
Tabel 2. Fotosünteesi mudeliga muudetavad tegurid.

Fotosünteesi kiirust mõjutav tegur	Teguri algne tase	Teguri tase, mille juures protsess kiireneb	Teguri tase, mille juures protsess aeglustub	Teguri tase, mille juures protsess peatub
Temperatuur	30 °C	40 °C	10 °C ja 20 °C	50 °C
CO ₂ kontsentratsioon	keskmine	+2 ja +5	-2	-5
Valguse intensiivsus	keskmine	+2 ja +5	-2	-5
Vee hulk	keskmine	+2 ja +5	-2	-5

Mudeli lisaküsimused on küsimused, mis sisselülitatuna ilmuvad ekraanile pärast iga mudelioperatsiooni. Lisaküsimustega küsitakse õpilase poolt töölauale viidud komponendi või muudetud teguri ülesannet. Lisaküsimused on esitatud valikvastuselises vormis, kus õppijal tuleb märkida ära kõik õiged vastusevariandid.

2.3.2. Glükoosi lagundamise mudel

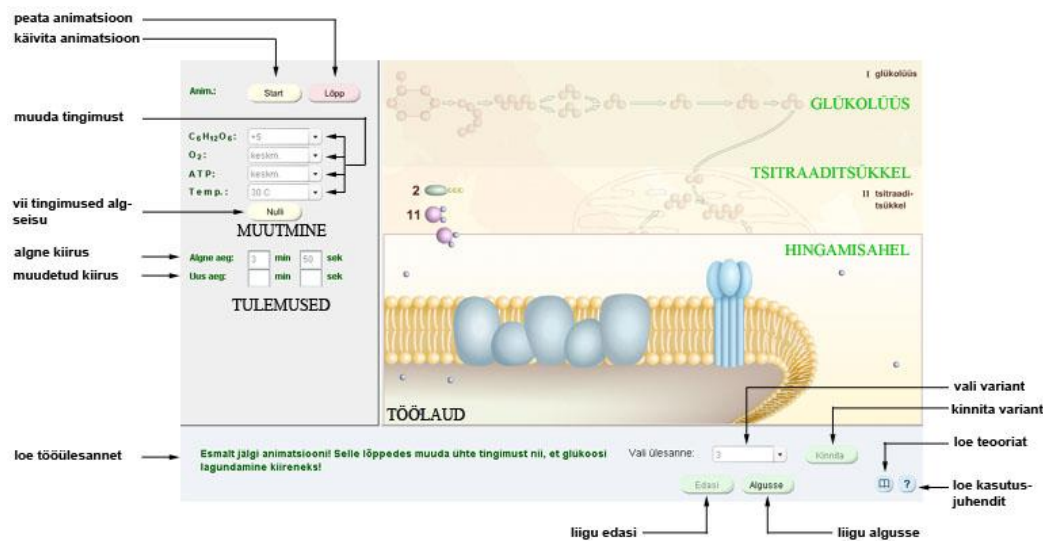
Glükoosi lagundamise mudeliga saab jälgida hingamise protsessi, mille käigus eralduvad ATP molekulid. Käesoleva magistritöö uuringus kasutati glükoosi lagundamise mudeli variante 2, 3 ja 4.



Joonis 5. Glükoosi lagundamise mudeli 2. variandi ekraanipilt.

Glükoosi lagundamise mudelivariandis 2 tuleb kasutajal lisada vajalikke molekule, et protsess toimiks (joonis 5). Algselt on hoidlas kuus molekuli (glükoos, NAD, NADH₂, ADP, ATP, O₂, CO₂, H₂O). Selleks, et protsess õigesti toimiks tuleb töölauale viia neli molekuli: esmalt glükoos, seejärel NAD, pärast mida ADP ja kõige lõpuks O₂. Nii nagu fotosünteesi mudeli puhul saab ka glükoosi lagundamise mudelit kasutades lugeda teoorialehte (lisa 5) ja mudeli abilehte (lisa 6).

Glükoosi lagundamise mudeli variandis 3 tuleb mudeli kasutajal kõigepealt jälgida animatsiooni ja seejärel muuta üht hingamise kiirust mõjutavat tegurit nii, et protsess kiireneks (joonis 6).



Joonis 6. Glükoosi lagundamise mudeli 3. variandi ekraanipilt.

Kolmandas mudelivariandis on muudetavateks teguriteks temperatuur, glükoosi hulk, hapniku kontsentratsioon ja ATP hulk. Algselt on temperatuur 30 °C, glükoosi hulk, hapniku kontsentratsioon ja ATP hulk „keskmisel“ tasemel. Selleks, et protsessi kiirendada võib tõsta temperatuuri 40-le või 50-le kraadile, suurendada glükoosi hulka (tasemele +2 või +5), suurendada hapniku kontsentratsiooni (tasemele +2 või +5) või vähendada ATP hulka (tasemele -2 või -5) (tabel 3). Kui alandada temperatuuri 10-le või 20-le kraadile siis hingamine aeglustub. Glükoosi hulga vähendamisel (tasemele -2) hingamine aeglustub ning glükoosi hulga veel suuremal vähendamisel (tasemele -5) protsess peatub. Hapniku kontsentratsiooni vähendamine (tasemele -2) toob kaasa hingamise aeglustumise ning kontsentratsiooni viimine tasemele -5 toob endaga kaasa anaeroobsuse. Suurendades ATP hulka (tasemele +2), protsess samuti aeglustub ning kui suurendada ATP hulka veelgi (tasemele +5) on piisavalt palju saadust (energiat) ning protsess peatub (tabel 3).

Glükoosi lagundamise mudelivariandis 4 tuleb mudeli kasutajal muuta üht tegurit nii, et toimuks anaeroobne glükolüüs. Selleks, et toimuks anaeroobne glükolüüs, on ainult üks võimalus – tuleb vähendada hapniku kontsentratsiooni miinimumini (tasemele -5) (tabel 3).

Tabel 3. Glükoosi lagundamise mudeliga muudetavad tegurid.

Hingamise kiirust mõjutav tegur	Algne teguri tase	Teguri tase, mille juures protsess kiireneb	Teguri tase, mille juures protsess aeglustub	Teguri tase, mille juures protsess peatub	Teguri tase, mille juures toimub anaeroobne glükolüüs
Temperatuur	30 °C	40 °C ja 50 °C	10 °C ja 20 °C	-	-
Glükoosi hulk	keskmine	+2 ja +5	-2	-5	-
O ₂ kontsentratsioon	keskmine	+2 ja +5	-2	-5	-5
ATP hulk	keskmine	-2 ja -5	+2	+5	-

Sarnaselt fotosünteesi mudeliga, olid ka glükoosi lagundamise mudeli kasutamisel uuringu käigus sisse lülitatud lisaküsimused. Nagu fotosünteesi mudeli puhul, on ka glükoosi lagundamise mudelil lisaküsimusteks neli valikvastuselise küsimust, millega tahetakse teada töölauale viidavate komponentide või muudetavate tegurite ülesandeid.

2.4. Kirjalikud küsimustikud

Haridusalastes uuringutes kasutatakse sageli eel- ja järeltesti meetodikat, et selgitada välja uuringu tulemuslikkust (Boudah, 2011). Käesolevas magistritöös kasutati samuti õpilaste arusaamise arengu väljaselgitamiseks eel- (lisa 1) ja järelküsimustikke (lisa 2). Eelküsimustikuga selgitati välja õpilaste algne tase enne mudelitega töötamist ning järelküsimustikuga õpilaste tase pärast mudelitega töötamist.

Antud magistritöö uuringus olid eel- ja järelküsimustik sarnased, erines vaid küsimuste järjekord (lisa 7).

Esimese uurimisküsimusega sooviti välja selgitada seda, mil määral areneb gümnaasiumi-õpilaste arusaamine fotosünteesi ja hingamise protsessidest. Selle uurimisküsimuse juures vaadeldi kaht aspekti. Esiteks sooviti teada, mil määral areneb arusaamine fotosünteesi ja hingamise protsessides osalevate komponentide ülesannetest. Sellele küsimusele vastuse saamiseks olid eelküsimustikus küsimused 2-9 (fotosünteesi protsessi kohta) ja küsimused 12-18 (hingamise kohta). Teiseks sooviti teada, mil määral areneb arusaamine neid protsesse mõjutavatest keskkonnateguritest. Fotosünteesi kohta olid eelküsimustikus küsimused 10 ja 11 ning hingamise kohta küsimused 19 ja 20.

Teise uurimisküsimusega taheti teada, mil määral erineb õpilaste arusaamine mudeli liigutatavatest ja mitteliigutatavatest komponentidest. Selle uurimisküsimuse jaoks kasutati eelküsimustikus küsimusi 2, 4, 5 ja 7 töölaual liigutatavate komponentide kohta ja küsimusi 3, 6, 8, 9 fotosünteesi mudelis mitteliigutatavate komponentide kohta. Glükoosi lagundamise mudelis olid vastavad küsimused 12-15a (liigutatavad) ja 15b-18 (mitteliigutatavad).

Kolmanda uurimisküsimusega taheti teada, mil määral areneb õpilaste visuaalse kirjaoskuse tase, täpsemalt visuaalse info ülekandmisoskus ühelt jooniselt teisele. Sellele uurimisküsimusele vastuse saamiseks oli eelküsimustikus fotosünteesi kohta küsimus nr 1 ja glükoosi lagundamise kohta küsimus nr 21. Mõlema küsimuse juures oli 2 joonist. Õpilase ülesandeks oli analüüsida etteantud joonist ja analüüsitud info üle kanda teisele joonisele.

2.5. Andmeanalüüs

Eel- ja järelküsimustike vastused kodeeriti ning kanti *MS Excel for Mac 2011* andmetabelisse. Kõik eel- ja järelküsimustikus olnud küsimused eeldasid lünkade täitmist. Kokku oli võimalik saada iga lünga kohta õige vastuse puhul 1 punkt ja osaliselt õige vastuse korral 0,5 punkti. Vale või puuduv vastus andis 0 punkti. Selguse mõttes on analüüsid jagatud 15. küsimus kahte ossa: 15a ja 15b. Erandiks olid küsimused 10 (19), 11 (20) ja 19 (9) (sulgudes küsimuse number järelküsimustikus), kus oli vaja täita vastavalt neli, neli ja kolm lünka. Nende küsimuste puhul oli igast lüngast saadav maksimaalne punktide arv vastavalt 0,25, 0,25 ja 0,33.

Edasiseks andmetöötluseks kasutati IBM SPSS Statistics (*Statistical Package of Social Studies*) versiooni 20. Analüüsideks kasutati nii parameetrilist kui mitteparameetrilist statistikat. Selleks, et saaks kasutada parameetrilist statistikat, peavad andmed vastama normaaljaotusele. Mitteparameetrilise statistika kasutamiseks sellist eeldust pole (Asthana & Bhushan, 2007). Normaaljaotusele vastavust kontrolliti, leides andmete asümmeetria- ja ekstsessikordajad – juhul kui need jäid vahemikku $-2...+2$, vastasid andmed normaaljaotusele (Lewis-Beck jt, 2004) ja otsustati kasutada parameetrilist statistikat. Analüüsid kasutati parameetrilise statistika meetoditest paariliste valimite t-testi. Mitteparameetrilise statistika meetoditest kasutati *Wilcoxon signed ranks* testi. Igale uurimisküsimusele vastuse saamiseks analüüsiti paariliste valimite t-testiga eel- ja järelküsimustiku vastavate küsi-

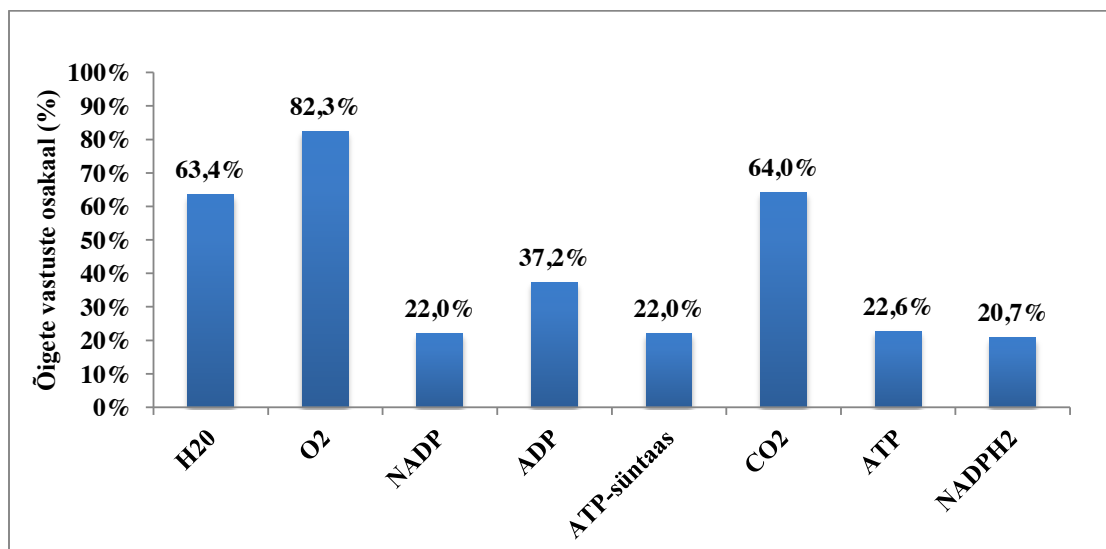
muste vahelist erinevust. *Wilcoxon signed ranks* testiga analüüsi igat eel- ja järelküsimumustiku küsimust eraldi, sõltumatult uurimisküsimusest (lisa 8).

3. Tulemused ja arutelu

Magistritöö uurimisküsimustele vastuste saamiseks kasutati eel- ja järelküsimustikke ning veebipõhiseid glükoosi lagundamise (hingamise) ja fotosünteesi mudeleid. Eel- ja järelküsimustiku andmete võrdlemine võimaldab leida vastuse kolmele uurimisküsimusele. Saadud andmed võimaldasid välja selgitada õpilaste visuaalse kirjaoskuse taseme muutust, bioloogilistest protsessidest arusaamise arengut ning mudelioperatsioonide mõju õpirotsessi tulemuslikkusele.

3.1. Eelküsimustiku tulemused

Selleks, et välja selgitada magistritöö uuringus osalenud 10. ja 11. klassi õpilaste algset arusaamise ja visuaalse kirjaoskuse taset, analüüsiti eelküsimustiku vastuseid. Õpilaste eelteadmised fotosünteesi protsessi komponentide ülesannete kohta on toodud joonisel 7.

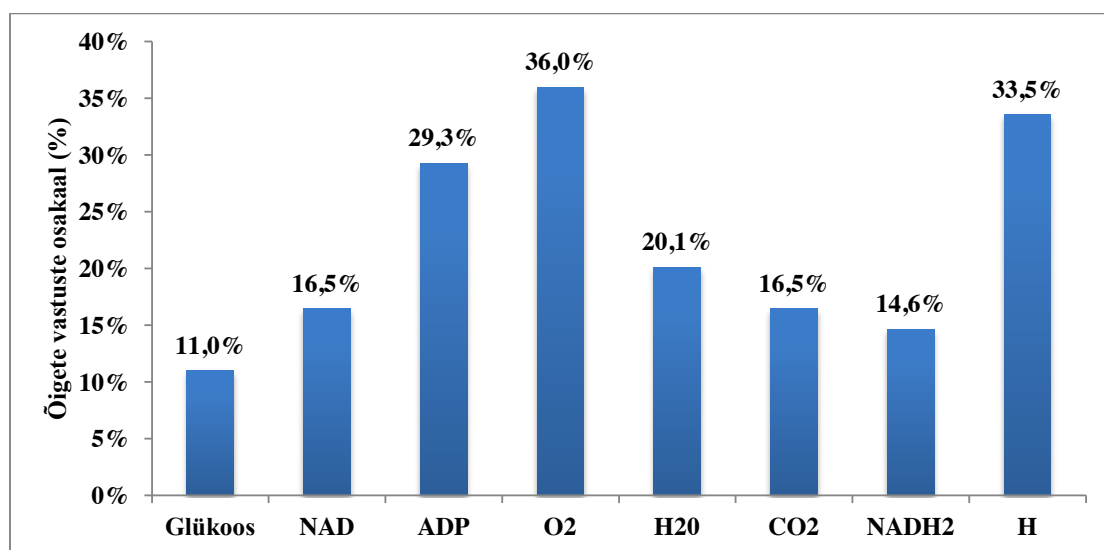


Joonis 7. Õpilaste (n=164) õigete vastuste osakaal eelküsimustikus fotosünteesi komponentide ülesandeid käsitlevates küsimustes.

Joonislt 7 on näha, et eelküsimustikus jäid õigete vastuste protsendid vahemikku 20,7% kuni 82,3%. Fotosünteesi protsessi puhul teadsid õpilased eelküsimustikus kõige paremini hapniku ülesannet (õigeid vastuseid 82,3%). Kõige halvemini oli eelküsimustikus vastatud küsimus NADPH₂ ülesande kohta (20,7%). Kehvasti oli vastatud ka küsimustele NADP ja ATP-süntaasi ülesannete kohta (mõlema puhul 22,0%). Nendele küsimustele kehvasti vas-

tamise üheks põhjuseks võib olla NADPH_2 puhul see, et korduvalt aeti molekuli segi NADH_2 -ga, mis osaleb hingamise protsessis. Teisel puhul võis probleem olla selles, et ATP-süntaasi kompleksist ei räägita eriti kasutusel olevates õpikutes. NADP puhul võis üheks põhjuseks olla nii nagu NADPH_2 puhulgi see, et molekuli aeti segamini hingamise protsessi analoogilise molekuliga.

Teise osana uuriti õpilaste eelteadmisi hingamise protsessis osalevate komponentide ülesannetest. Eelküsimumstiku tulemused on toodud joonisel 8.



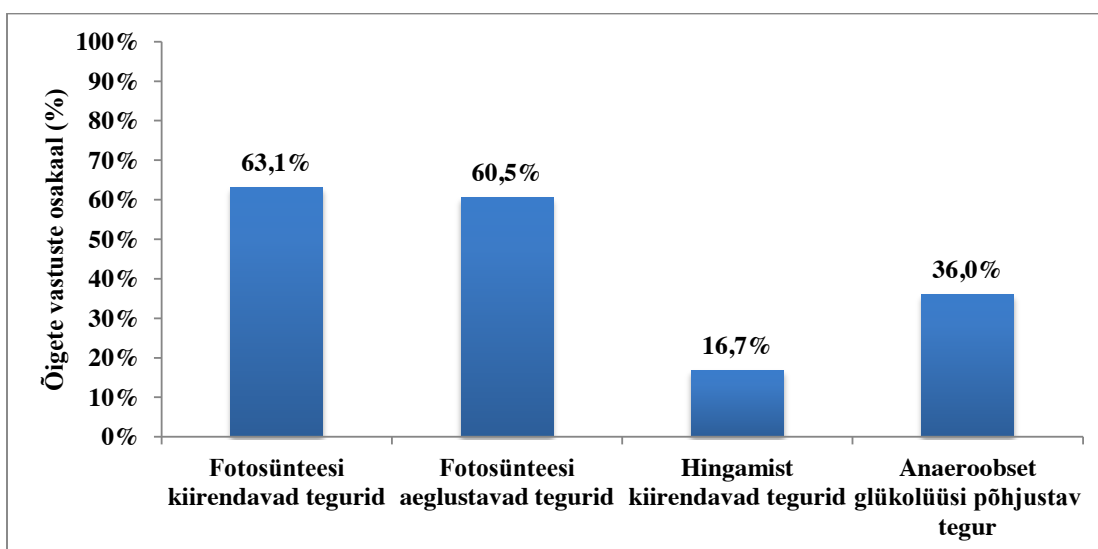
Joonis 8. Õpilaste (n=164) õigete vastuste osakaal eelküsimumstikus hingamise protsessi komponentide ülesandeid käsitlevates küsimustes.

Jooniselt 8 on näha, et eelküsimumstikus on hingamise protsessi kohta käivatest küsimustest kõige paremini vastatud küsimus O_2 ülesande kohta (36,0%). Suhteliselt sarnane on õigete vastuste osakaal ka vesiniku (H) kohta käivas küsimuses (33,5% õigeid vastuseid eelküsimumstikus). Kõige kehvemini on vastatud glükoosi ja NADH_2 kohta käivatele küsimustele (vastavalt 11,0% ja 14,6%). Nii madalate tulemuste üheks põhjuseks võis olla see, et paljud õpilased ajasid glükoosi segamini polüsahhariididega (mitmel korral oli kirjutatud glükoosi asemel tärklis või glükagoon). Neid vastuseid ei saanud õigeaks lugeda. NADH_2 aeti aga korduvalt segamini NADPH_2 molekuliga, mida kasutatakse fotosünteesi protsessis.

Kui võrrelda eelküsimumstiku vastuste õigsust fotosünteesi ja hingamise komponentide osas, siis võib väita, et õpilastel oli algselt parem arusaamine fotosünteesi komponentide ülesan-

netest. Kuigi mõlemad protsessid on sageli õpilastele keerulised (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Tekkaya & Yenilmez, 2006), võib hingamise kohta käivatele küsimustele kehvemini vastamine olla seletatav sellega, et ilmselt pannakse koolides vähem rõhku hingamise kui fotosünteesi õpetamisele.

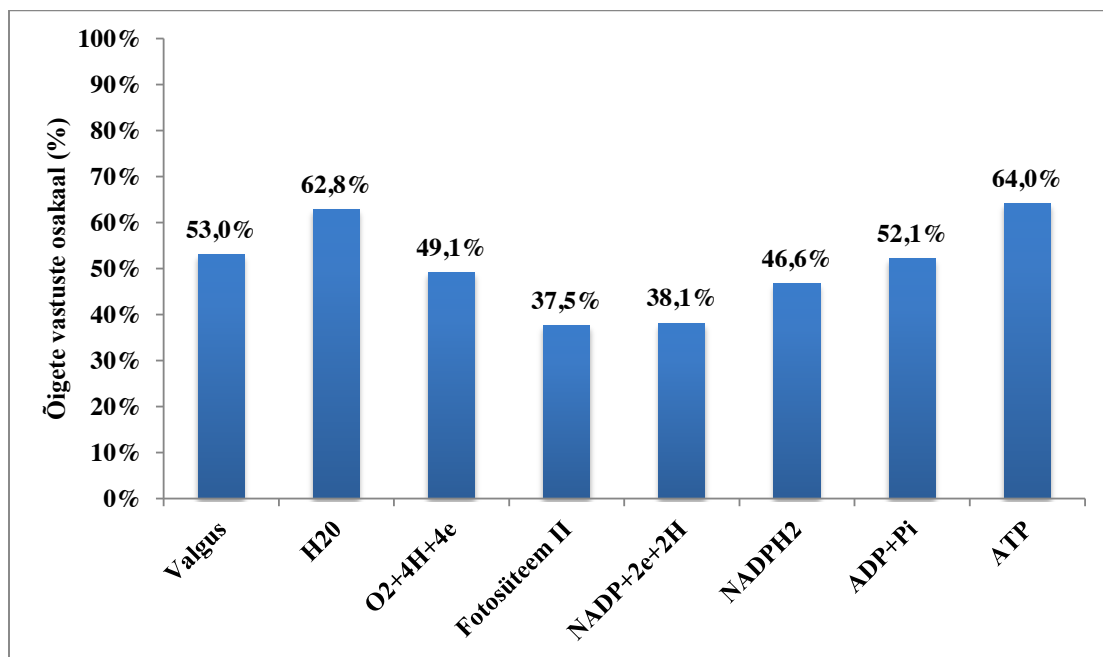
Järgnevalt uuriti õpilaste esialgset arusaamist fotosünteesi ja hingamist mõjutavatest teguritest. Eelküsimumstiku tulemused on toodud joonisel 9.



Joonis 9. Õpilaste (n=164) õigete vastuste osakaal eelküsimumstikus fotosünteesi ja hingamist mõjutavate tegurite kohta käivates küsimustes.

Fotosünteesi mõjutavate tegurite õigete vastuste osakaal on eelküsimumstikus 63,1% ja 60,5% (vastavalt fotosünteesi kiirendavate ja aeglustavate tegurite küsimused) (joonis 9). Hingamist kiirendavaid tegureid nimetati eelküsimumstikus 16,7% õigsusega, samas kui anaeroobset glükolüüsi põhjustavat tegurit teadsid 36,0% õpilastest (joonis 9). Seega oli algne arusaamine fotosünteesi mõjutavatest teguritest parem kui arusaamine hingamist mõjutavatest teguritest.

Viimasena uuriti õpilaste visuaalse kirjaoskuse algset taset. Eelküsimumstiku tulemused visuaalse kirjaoskuse kohta on toodud joonisel 10 (fotosünteesi jooniselt info ülekandmine) ja 11 (hingamise jooniselt info ülekandmine).

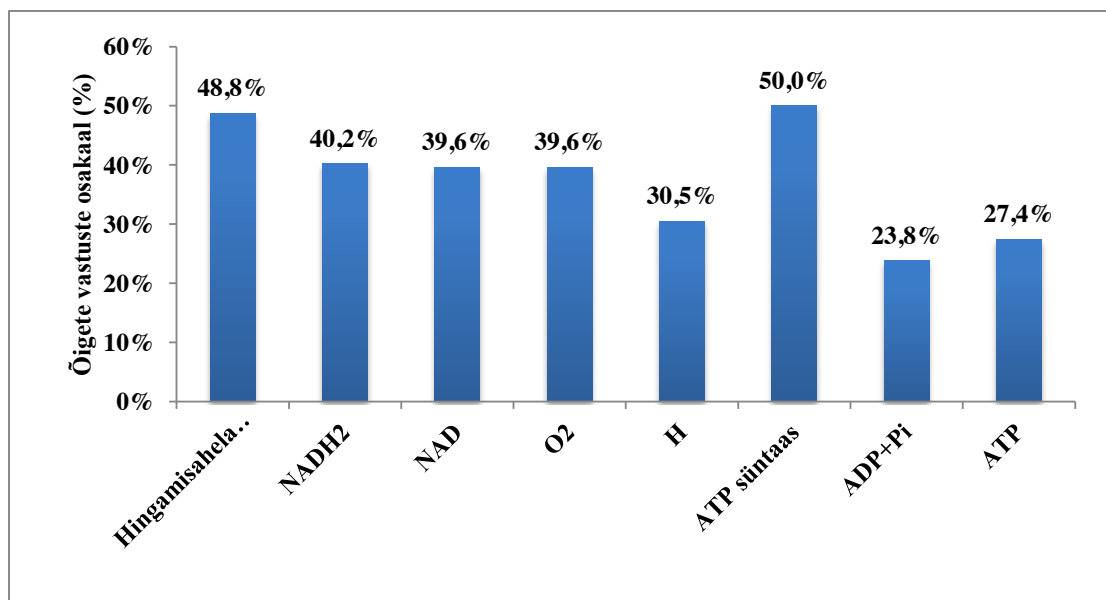


Joonis 10. Õpilaste (n=164) visuaalse kirjaoskuse algne tase fotosünteesi jooniste põhjal.

Jooniselt 10 on näha, et fotosünteesi jooniste puhul on eelküsimumistikus kõige paremini ühelt jooniselt teisele üle kantud info ATP molekuli kohta (õigete vastuste protsent 64,0). Samaselt oli täidetud ka lünk H₂O kohta (õigeid vastuseid 62,8%). Kõige kehvemini oli eelküsimumistikus täidetud lünk, mis käis fotosüsteem II kohta (37,5% õigeid vastuseid). Kehvemini oli täidetud ka lünk NADP kohta (38,1%). Fotosüsteem II puhul on madalate tulemuste üheks põhjuseks see, et õpilased ajasid kompleksi segamini fotosüsteemi I kompleksiga, mida oli algsel joonisel kujutatud fotosüsteem II kõrval. Üks võimalik selektus, miks kehvemini oli vastatud just küsimus NADP kohta, on see, et see lünk oli üks kahest, mille puhul pidid õpilased lünka kirjutama 3 komponenti.

Jooniselt 11 on näha, et hingamise jooniste puhul on eelküsimumistikus kõige paremini täidetud lüngad ATP-süntaasi ja hingamisahela komplekside kohta (vastavalt 50,0% ja 48,8%). Üheks võimalikuks põhjuseks, miks just need kaks lünka olid kõige paremini täidetud, võiks olla see, et neid komplekse ei olnud võimalik millegagi segi ajada. Kuigi algsel joonisel oli ka segavaid faktoreid, olid need kaks kompleksi ainsad, millele oli viidatud kandidaatide sulgudega nii algsel kui ka joonisel, kuhu infot kanda tuli. Samuti oli kahe kompleksi omavaheline segamine ajamine vähetõenäoline, sest kompleksid asusid joonistel üksteisest eemal. Kõige kehvemini oli täidetud lünk ADP kohta (õigeid vastuseid 23,8%). Võimalikuks põhjuseks, miks just ADP lünk oli kõige kehvemini täidetud on see, et lünk oli ainus,

kuhu tuli kirjutada kaks komponenti (maksimaalse ühe punkti saamiseks tuli kirjutada $ADP + P_i$, kui üks kahest komponendist oli puudu, saadi ainult 0,5 punkti).

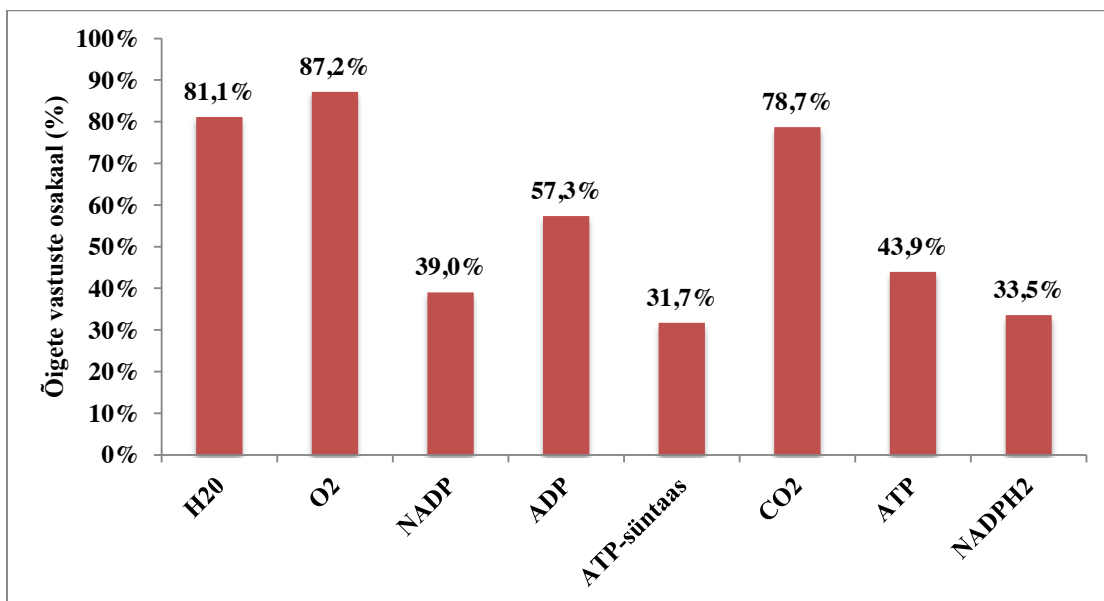


Joonis 11. Õpilaste (n=164) visuaalse kirjaoskuse algne tase hingamise jooniste põhjal.

Tulenevalt eelküsimumstiku õigete vastuste osakaalust võib väita, et õpilaste visuaalse kirjaoskuse algtaase oli kõrgem fotosünteesi jooniste põhjal vastatud küsimustes, kui hingamise jooniste põhjal vastatud küsimustes.

3.2. Järelküsimumstiku tulemused

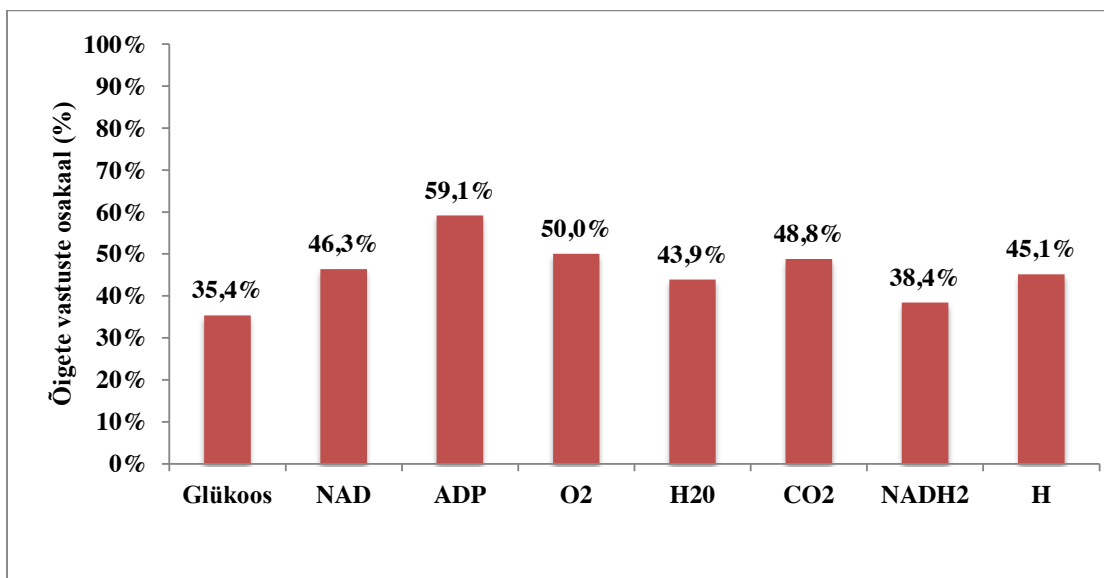
Selleks, et selgitada välja mudelite kasutamise tulemuslikkust fotosünteesi ja hingamise õppimisel, analüüsiti järelküsimumstikke (lisa 2). Õpilaste arusaamine fotosünteesi protsessi komponentidest pärast järelküsimumstiku täitmist on toodud alljärgneval joonisel 12.



Joonis 12. Õpilaste (n=164) õigete vastuste osakaal järelküsimustikus fotosünteesi komponentide ülesandeid käsitlevates küsimustes.

Võrreldes eelküsimustikuga (joonis 7) olid järelküsimustikus kõik küsimused paremini vastatud. Jooniselt 12 on näha, et kõige paremini oli vastatud küsimusele O₂ ülesande kohta (87,2% õigeid vastuseid). Samuti oli väga hästi vastatud küsimusele H₂O funktsiooni kohta (81,1%). Järelküsimustikus oli kõige kehvemini vastatud küsimus ATP-süntaasi kohta (31,7%). Kõige rohkem paranesid protsentuaalselt vastused just ATP molekuli ülesande kohta (eelküsimustiku 22,6%-lt järelküsimustiku 43,9%-le). Selle põhjuseks võis olla asjaolu, et eelküsimustikus oli see küsimus suhteliselt halvasti vastatud, mille tõttu oli kõige rohkem arenguruumi. Kõige vähem paranes protsentuaalselt vastamine O₂ funktsiooni kohta käivale küsimusele (eelküsimustiku 82,3%-lt järelküsimustiku 87,2%-le). Siin on põhjuseks ilmselt see, et sellele küsimusele olid õpilased juba eelküsimustikus väga hästi vastanud ja arenguruumi oli võrreldes teiste küsimustega vähem.

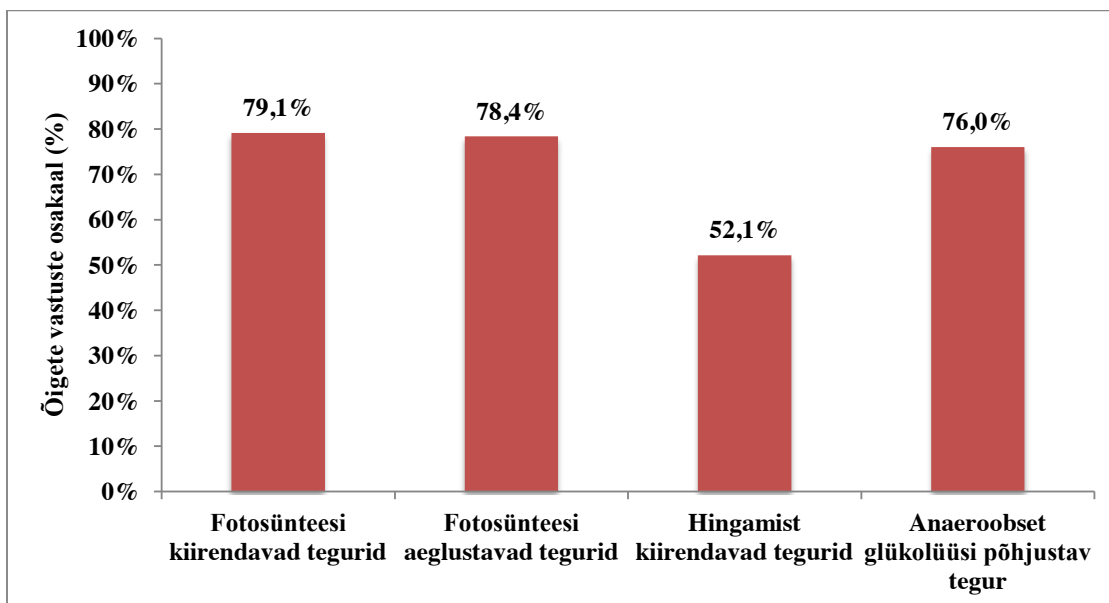
Õpilaste arusaamine hingamise komponentide ülesannetest pärast järelküsimustiku täitmist on toodud joonisel 13.



Joonis 13. Õpilaste (n=164) õigete vastuste osakaal järelküsimumustiku hingamise komponentide ülesannete kohta käivates küsimustes.

Järelküsimumustikus on protsentuaalselt kõigile küsimustele paremini vastatud kui eelküsimumustikus. Joonisel 13 on näha, et hingamise komponentide ülesannete küsimustes on kõige paremini vastatud ADP kohta käivale küsimusele, kus õigete vastuste osakaal on 59,1%. See küsimus oli ka eelküsimumustikus suhteliselt hästi vastatud (õigete vastuste protsent 29,3) (joonis 8). Protsentuaalselt kasvas kõige rohkem vastamine CO₂ ülesande kohta käivale küsimusele (32,3%) (eelküsimumustiku 16,5%-lt järelküsimumustiku 48,8%-ni). Kõige vähem kasvas protsentuaalselt õigete vastuste hulk vesiniku ülesande kohta käivas küsimuses (11,6%). Kõige halvemini oli järelküsimumustikus vastatud küsimus glükoosi ülesande kohta (õigete vastuste protsent 35,4). Selle üheks põhjuseks võib olla see, et õpilased ajasid nii nagu eelküsimumustikuski segamini monosahhariidi ja polüsahhariidi. Küsimuses glükoosi ülesande kohta oli küsitud monosahhariidi, mis on glükoosi lagundamise lähteaineks. Paljudel juhtudel oli glükoosi asemel kirjutatud lünka tärkis, mis on polüsahhariid, ja mida ei saa antud küsimustikus õigeks lugeda.

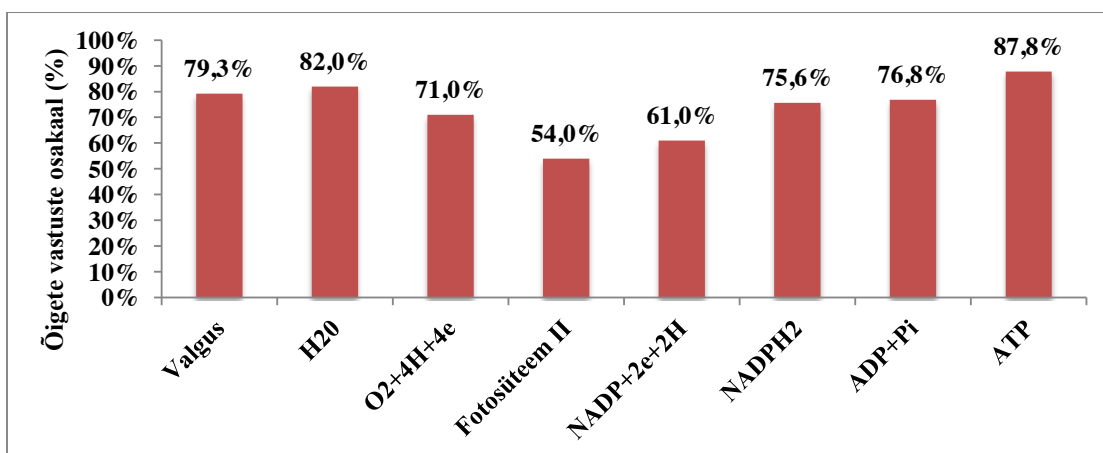
Järgnevalt on joonisel 14 toodud järelküsimumustiku küsimuste õigsus fotosünteesi ja hingamist mõjutavate tegurite kohta.



Joonis 14. Õpilaste (n=164) fotosünteesi ja hingamise protsesse mõjutavate tegurite kohta käivate küsimuste õigete vastuste osakaal järelküsimumstikus.

Kui eelküsimumstikus (joonis 9) olid fotosünteesi tegurite kohta käivad küsimused paremini vastatud kui hingamise tegurite kohta käivad, siis järelküsimumstikus oli arusaamise tase nende kahe protsessi osas ühtlustunud (joonis 14).

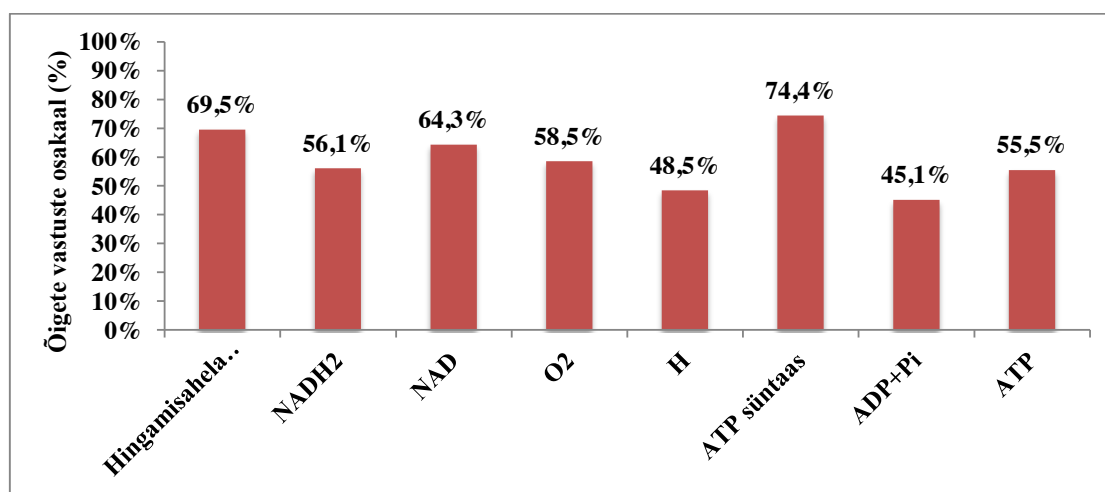
Viimasena analüüsiti visuaalse kirjaoskuse taset pärast mudelite kasutamist. Õpilaste visuaalse info ülekandeoskus fotosünteesi jooniste põhjal järelküsimumstikus on toodud joonisel 15 ja hingamise jooniste põhjal joonisel 16.



Joonis 15. Õpilaste (n=164) visuaalse kirjaoskuse tase fotosünteesi jooniste põhjal järelküsimumstikus.

Võrreldes eelküsimumustiku tulemustega (joonis 10), on protsentuaalselt paranenud kõigi fotosünteesi ülesandes olnud lünkade täitmine (joonis 15). Nagu ka eelküsimumustikus, oli järelküsimumustikus kõige paremini täidetud lünk ATP kohta (87,8%) (joonis 15). Prosentuaalselt oli kõige rohkem paranenud NADPH₂ kohta käiva lünga täitmine (29,0%). Kõige vähem aga oli paranenud fotosüsteem II kohta käiva lünga täitmine (16,5%). Kõige kehvemini oli täidetud lünk fotosüsteem II kohta (54,0%). Selle üheks põhjuseks on nii nagu eelküsimumustikuski asjaolu, et paljud õpilased kirjutasiid lünka fotosüsteem II asemel fotosüsteem I, mis andis neile 0 punkti. Samuti on järelküsimumustikus kehvemini (nii nagu eelküsimumustikuski) täidetud lünk NADP kohta (õigete vastuste osakaal 61,0%). Selle üheks põhjuseks võib jälle olla asjaolu, et maksimaalse ühe punkti saamiseks tuli kirjutada lünka kolm komponenti.

Joonisel 16 on toodud visuaalse kirjaoskuse tase hingamise jooniste põhjal järelküsimumustikus.



Joonis 16. Õpilaste (n=164) visuaalse kirjaoskuse tase hingamise jooniste põhjal järelküsimumustikus.

Sarnaselt eelküsimumustikuga oli ka järelküsimumustikus kõige kehvemini täidetud lünk, kuhu tuli kirjutada ADP + P_i (õigete vastuste osakaal 45,1%). Ilmselt on sarnaselt eelküsimumustikuga ka järelküsimumustikus madalate tulemuste üheks põhjuseks see, et ADP + P_i kohta käivasse lünka tuli kirjutada maksimaalse ühe punkti saamiseks kaks komponenti. Nii nagu eelküsimumustikuski sai ka järelküsimumustikus õpilane 0,5 punkti, kui lünka oli kirjutatud ai-

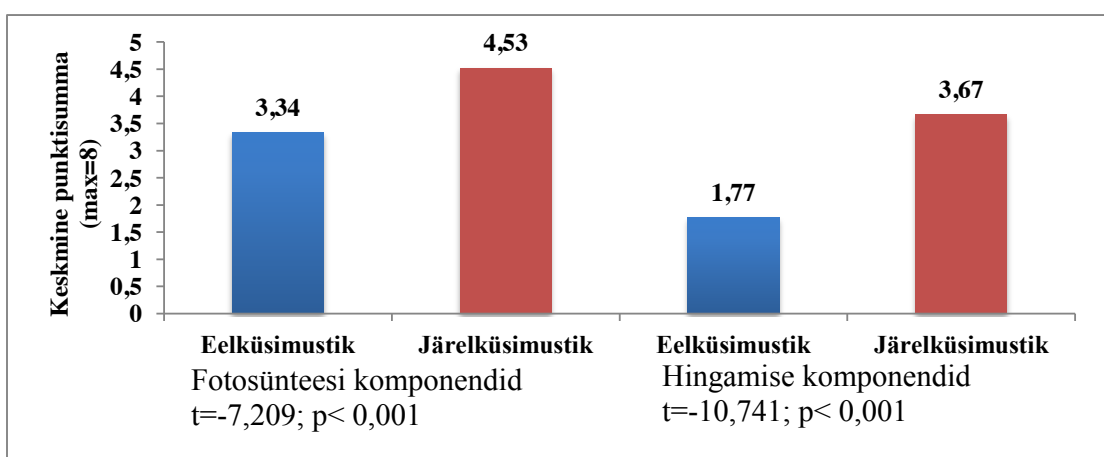
nult üks kahest komponendist. Võrreldes eelküsimumstiku tulemustega (joonis 11), on järelküsimumstikus visuaalse info ülekandeoskused kõrgemad ka hingamise jooniste põhjal.

3.3. Arusaamise areng fotosünteesi ja hingamise protsesside komponentidest ja protsesse mõjutavatest teguritest

Magistritöö esimese uurimisküsimumusega taheti teada, kas ja mil määral areneb gümnaasiumiõpilaste arusaamine ainevahetuslikes protsessides osalevate komponentide ülesannetest ja neid protsesse mõjutavatest teguritest. Uurimisküsimumusele vastuse saamiseks analüüsiti eelküsimumstiku (lisa 1) ja järelküsimumstiku (lisa 2) andmeid õpilaste arusaamist mõõtvate küsimumuste osas.

Arusaamise arengut vaadeldi fotosünteesi ja hingamise protsessi osas eraldi. Uurimisküsimumusele vastamiseks summeeriti õpilaste vastused valdkondade kaupa (lisa 7) ja analüüsiti, kas ja millisel määral olid õpilased järelküsimumstikus paremini vastanud. Arengu statistilise olulisuse selgitamiseks kasutati paariliste valimite t-testi.

Esmalt selgitati välja areng komponentide ülesannetest arusaamises; tulemused on toodud joonisel 17.



Joonis 17. Õpilaste (n=164) arusaamine fotosünteesi ja hingamise komponentidest eel- ja järelküsimumstiku põhjal analüüsituna paariliste valimite t-testiga.

Joonisel 17 on toodud õpilaste keskmised punktisummad eel- ja järelküsimumstikus. Fotosünteesi komponentide puhul oli eelküsimumstikus õpilaste keskmine punktisumma 3,34

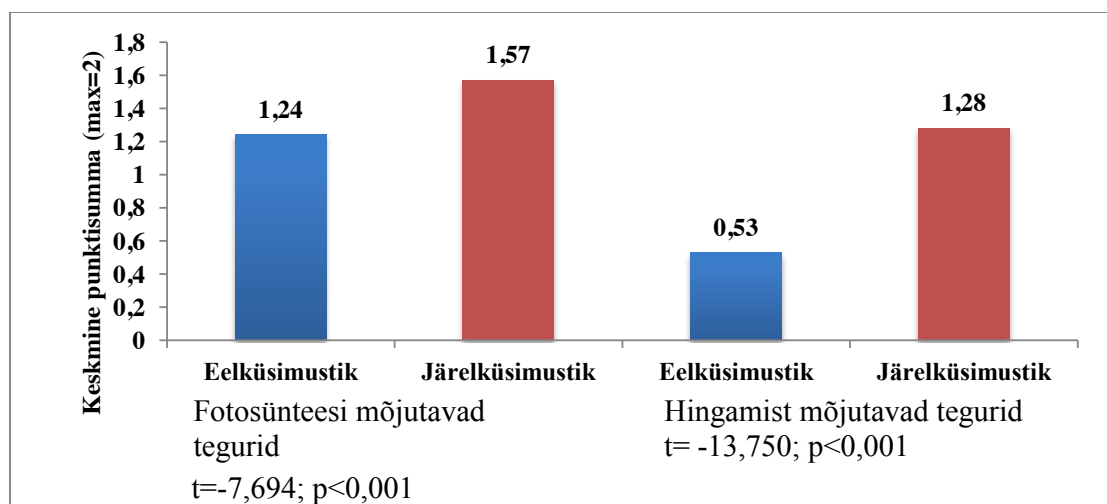
punkti kaheksast võimalikust (41,8%). Järeloküsimustikus oli keskmine punktisumma tõusnud 4,53-ni (56,6%). Paariliste valimite t-testi tulemustest saab järeldada, et järeloküsimustiku tulemused on eelküsümustiku omadest statistiliselt olulisel määral ($t=-7,209$; $p<0,001$) paremad. See tähendab, et õpilaste arusaamine fotosünteesi komponentide ülesannetest tervikuna paranes statistiliselt olulisel määral. Statistiliselt arenes fotosünteesi protsessi puhul kõige rohkem arusaamine ATP ülesandest (*Wilcoxon signed ranks test*: $Z=-4,557$; $p<0,001$) ja kõige vähem hapniku ülesandest ($Z=-1,461$; $p<0,001$) (lisa 8). Fotosünteesi mudeliga töötamise tulemusel paranes kõigist protsessis osalevatest komponentidest arusaamine statistiliselt olulisel määral (lisa 8).

Hingamise protsessi komponentide osas oli eelküsümustikus õpilaste keskmine punktisumma 1,77 punkti kaheksast (22,1%). Järeloküsimustikus oli keskmine punktisumma tõusnud 3,67-ni (45,9%). Hingamise protsessi puhul oia järeloküsimustiku tulemused eelküsümustiku omadest statistiliselt olulisel määral ($t=-10,741$; $p<0,001$) paremad. See tähendab, et õpilaste arusaamine ka hingamise komponentidest paranes statistiliselt olulisel määral. Hingamise protsessi puhul arenes kõige rohkem õpilaste arusaamine CO₂ ülesandest ($Z=-6,290$; $p<0,001$), samas kui kõige vähem arenes arusaamine vesiniku ülesandest ($Z=-2,357$; $p<0,05$) (lisa 8). Kõigi hingamise protsessis osalevate komponentide ülesannetest arusaamine paranes statistiliselt olulisel määral (lisa 8).

Kui võrrelda omavahel fotosünteesi ja hingamise komponentide ülesannetest arusaamise arengut siis eelküsümustiku tulemused olid fotosünteesi protsessi kohta käivates küsimustes kõrgemad kui hingamise kohta käivates (fotosünteesi eelküsümustiku õigete vastuste osakaal 41,8% ja hingamise eelküsümustiku õigete vastuste osakaal 22,1%). Paariliste valimite t-testi tulemuste põhjal arenes arusaamine hingamise protsessi komponentide ülesannetest ($t=-10,741$; $p<0,001$; joonis 17) rohkem kui arusaamine fotosünteesi komponentide ülesannetest ($t=-7,209$; $p<0,001$; joonis 17). Keskmine tulemus tõusis rohkem hingamise komponentide ülesandeid käsitlevates küsimustes, kus keskmine punktisumma tõusis 23,8% võrra. Fotosünteesi komponentide kohta käivates küsimustes tõusis keskmine punktisumma 14,8% võrra. Hingamise komponentidest arusaamise suurem areng võib olla põhjustatud sellest, et võrreldes fotosünteesi küsimustega olid hingamise kohta käivad küsimused eelküsümustikus kehvemini vastatud. Fotosünteesi küsimustele paremini vastamist võib põhjustada ka see, et osades koolides käsitletakse fotosünteesi protsessi põhjalikumalt kui hingamise protsessi.

Järgnevalt uuriti, kas ja mil määral areneb gümnaasiumiõpilaste arusaamine fotosünteesi ja hingamise protsesse mõjutavatest teguritest.

Nii fotosünteesi kui ka hingamist mõjutavate tegurite küsimustes oli maksimaalselt võimalik saada kaks punkti (joonis 18). Jooniselt 18 on näha, et eelküsimustikus saadi fotosünteesi tegurite küsimustes keskmiselt 1,24 punkti (62,0%). Järelküsimustikus oli fotosünteesi tegurite kohta käivate küsimuste keskmine punktisumma kasvanud 0,33 punkti võrra 1,57-le punktile (78,5%). Arusaamine fotosünteesi mõjutavatest teguritest arenes statistiliselt olulisel määral ($t=-7,694$; $p<0,001$). Fotosünteesi tegurite puhul arenes õpilaste arusaamine nii protsessi kiirendavatest ($Z=-6,204$; $p<0,001$) kui aeglustavatest teguritest ($Z=-6,205$; $p<0,001$) sisuliselt võrdsel määral (lisa 8).



Joonis 18. Õpilaste ($n=164$) arusaamine fotosünteesi ja hingamist mõjutavatest teguritest eel- ja järelküsimustiku põhjal analüüsitud paariliste valimite t-testiga.

Jooniselt 18 on näha, et hingamist mõjutavate tegurite küsimustes saadi keskmiselt eelküsimustikus 0,53 punkti kahest (26,5%). Järelküsimustikus oli hingamise kohta käivate küsimuste keskmine punktisumma kasvanud 0,75 punkti võrra 1,28-le punktile (64,0%). Keskmine punktisumma paranes rohkem just hingamist mõjutavate tegurite küsimustes (tulemus paranes 37,5% võrra). Sarnaselt fotosünteesi mõjutavatele teguritele, arenes ka arusaamine hingamist mõjutavatest teguritest statistiliselt olulisel määral ($t=-13,750$; $p<0,001$). Sealjuures arenes arusaamine hingamist mõjutavatest teguritest suuremal määral ($t=-13,750$; $p<0,001$) kui arusaamine fotosünteesi mõjutavatest teguritest ($t=-7,694$; $p<0,001$) (joonis 17). Kui analüüsida hingamise protsessist arusaamist üksikute küsimuste

haaval, siis arenes rohkem arusaamine protsessi kiirendavatest teguritest ($Z=-9,357$; $p<0,001$) kui anaeroobset glükolüüsi põhjustavast tegurist (lisa 8). Üheks põhjuseks, miks areng oli suurem just hingamist mõjutavate tegurite osas, võib olla see, et eelküsimumstikus olid hingamist mõjutavate tegurite küsimused vastatud kehvemini kui fotosünteesi mõjutavate tegurite küsimused.

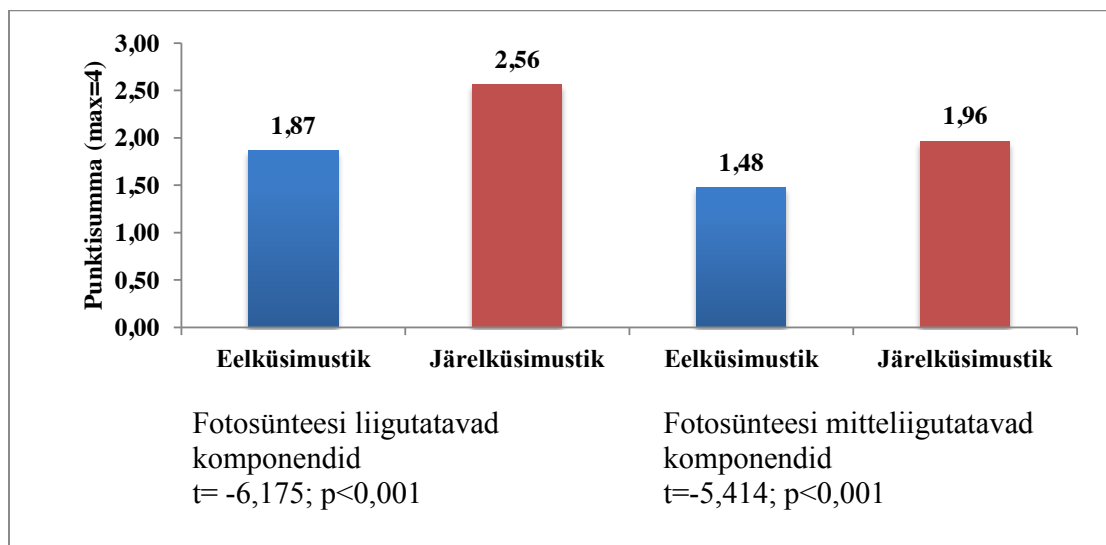
Arvutimudelite tulemuslikkust õpilaste arusaamisele on uurinud ka näiteks Cepni ja teised (2006), kes uurisid mudelite mõju fotosünteesi protsessist arusaamisele ning jõudsid järeldusele, et mudelite kasutamine arendab õpilaste arusaamist modelleeritavast protsessist.

Eelnevalt esitatud tulemuste põhjal saab järeldada, et kasutades veebipõhiseid mudeleid paranes õpilaste arusaamine ainevahetuslikes protsessides osalevate molekulide ülesannetest statistiliselt olulisel määral, kusjuures rohkem arenes arusaamine hingamise protsessis osalevate molekulide ülesannetest. Samuti arenes õpilaste arusaamine protsesse mõjutavatest teguritest statistiliselt olulisel määral. Ka tegurite puhul arenes rohkem arusaamine hingamise protsessi mõjutavatest teguritest.

3.4. Mudelioperatsioonide mõju õpiprotsessi tulemuslikkusele

Teise uurimisküsimusega taheti teada, kas ja mil määral erineb gümnaasiumiõpilaste arusaamine liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudelikomponentidest. Selleks analüüsiti eel- (lisa 1) ja järelküsimumstikus (lisa 2) fotosünteesi ja hingamise protsessi kohta käivaid küsimusi. Küsimused olid nii eel- kui järelküsimumstikus jaotatud mitteliigutatavate ja liigutatavate komponentide kohta käivateks küsimusteks (lisa 7).

Joonisel 19 on toodud erinevused õpilaste arusaamises fotosünteesi liigutatavatest ja mitteliigutatavatest komponentidest. Maksimaalsks punktisummaks oli mõlemal juhul kaheksa punkti.

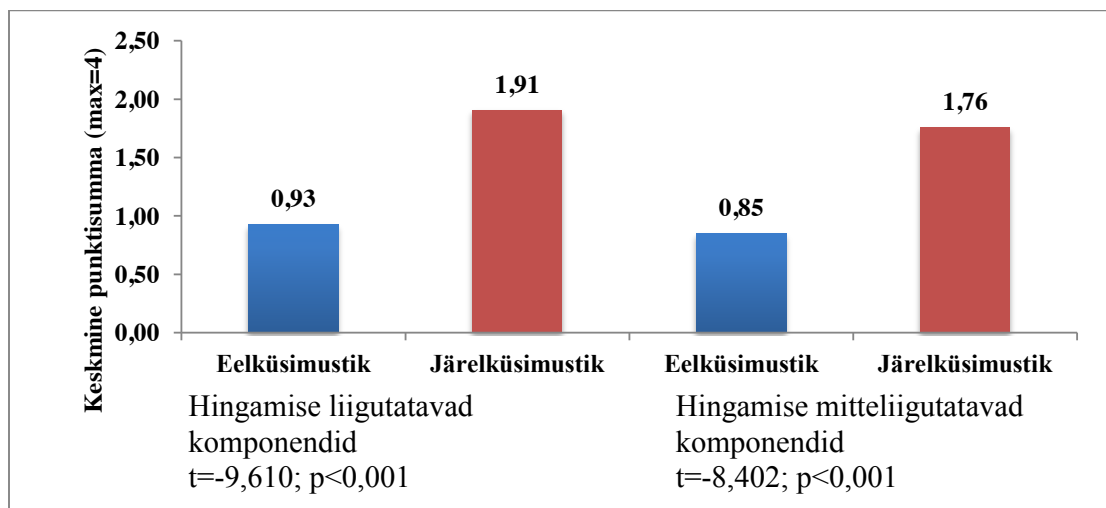


Joonis 19. Õpilaste ($n=164$) arusaamise areng fotosünteesi protsessi liigutatavatest ja mitteliigutatavatest komponentidest eel- ja järelküsimumstiku põhjal analüüsituna paariliste valimite t-testiga.

Jooniselt 19 on näha, et mitteliigutatavate mudelikomponentide küsimustes saadi eelküsimumstikus keskmiselt 1,48 punkti (37,0%) ja järelküsimumstikus 1,96 punkti (49,0%). See tähendab, et keskmine punktisumma oli tõusnud 0,48 punkti (12%) võrra. Mitteliigutatavate komponentide puhul oli eel- ja järelküsimumstiku vaheline erinevus statistiliselt oluline ($t = -5,414$; $p < 0,001$).

Joonise 19 põhjal saab veel järeldada, et fotosünteesi protsessi puhul arenes rohkem arusaamine liigutatavatest mudelikomponentidest. Arusaamine liigutatavatest mudelikomponentidest paranes 17,2% võrra ($t = -6,175$; $p < 0,001$), samas kui arusaamine mitteliigutatavatest komponentidest arenes 12% võrra ($t = -5,414$; $p < 0,001$).

Järgnevalt on analüüsitud arusaamist hingamise protsessis osalevatest liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudelikomponentidest. Tulemused on toodud joonisel 20.



Joonis 20. Õpilaste ($n=164$) arusaamine hingamise liigutatavatest ja mitteliigutatavatest komponentidest eel- ja järelküsimumstiku põhjal analüüsituna paariliste valimite t-testiga.

Sarnaselt fotosünteesi küsimustega oli ka hingamise puhul võimalik saada maksimaalselt neli punkti. Jooniselt 20 on näha, et hingamise protsessi liigutatavate komponentide puhul oli eelküsimumstikus keskmiseks punktisummaks 0,93 punkti (23,3%). Järelküsimumstikus oli keskmine punktisumma tõusnud 0,98 punkti (25,5%) võrra 1,91 punktini (47,8%). Ka mitteliigutatavate komponentide kohta käivatele küsimustele olid õpilased järelküsimumstikus paremini vastanud. Kui eelküsimumstikus said õpilased keskmiselt 0,85 punkti (21,3%) maksimaalsest neljast, siis järelküsimumstikus saadi 1,76 punkti (44,0%). See tähendab, et järelküsimumstikus saadi keskmiselt 0,91 punkti (22,7%) rohkem kui eelküsimumstikus.

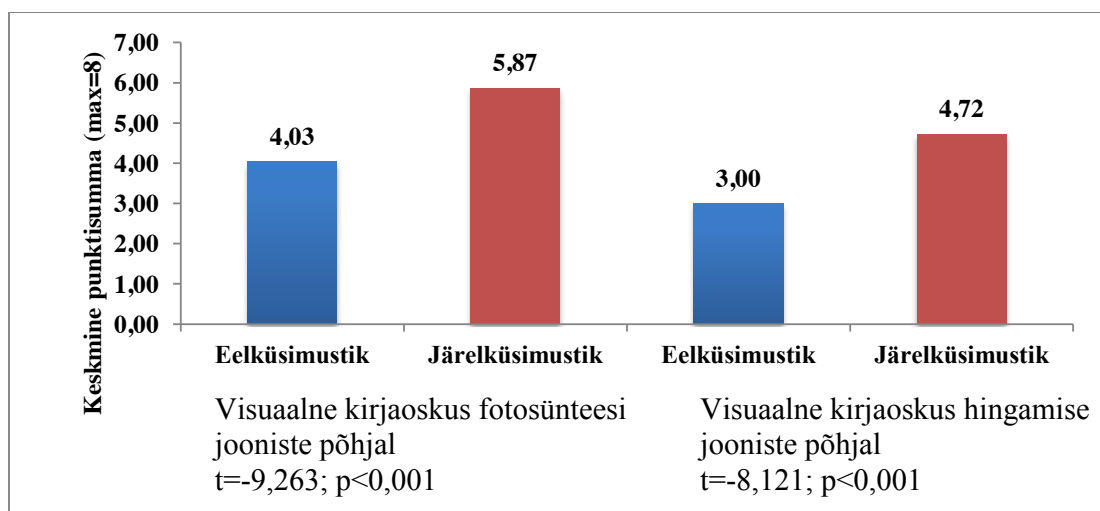
Jooniselt 20 on näha, et arusaamine nii hingamise liigutatavatest ($t=-9,610$; $p<0,001$) kui mitteliigutatavatest ($t=-8,402$; $p<0,001$) komponentidest on arenenud statistiliselt olulisel määral. Kui võrrelda arengut liigutatavate ja mitteliigutatavate komponentide vahel siis keskmine punktisumma paranes rohkem liigutatavate komponentide kohta käivates küsimustes (tulemused on paranenud vastavalt 25,5% võrra liigutatavate komponentide kohta käivates küsimustes ja 22,7% mitteliigutatavate kohta käivates).

Evans ja Gibbons (2007) leidsid oma töös, et õpilased saavad mudelitest paremini aru, kui nad saavad mudeli komponentidega manipuleerida. Sarnasele järeldusele on „Rakumaailma“ mudelite mõju uurimisel jõudnud ka Castera ja teised (2012), kes uurisid valgusünteesi mudeliga töötamisel arusaamise erinevust liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudeli-komponentidest.

Antud uuringu puhul arenes nii fotosünteesi kui hingamise puhul rohkem arusaamine mudeli liigutatavatest komponentidest ehk nendest komponentidest, mida õpilane pidi ise töölauale tõstma. Seega võib väita, et komponendid, millega õpilased ise saavad opereerida, jäävad õpilastele paremini meelde. Üheks põhjuseks võib olla see, et õppijal on manipuleeritavate komponentidega aktiivne side, mille tõttu on õppimine sisukam (Evans & Gibbons, 2007). Manipuleeritavate mudelite kasutamine suurendab õppimise tulemuslikkust (Boucheix & Schneider, 2009).

3.6. Visuaalse kirjaoskuse areng

Viimase, kolmanda uurimisküsimusega sooviti teada saada, kas ja mil määral areneb gümnaasiumiõpilaste visuaalne kirjaoskus, kasutades veebipõhiseid mudeleid. Selleks analüüsiti õpilaste oskust visuaalset infot ühelt jooniselt teisele üle kanda. Eel- ja järelküsimustiku vastuseid analüüsiti paariliste valimite t-testiga. Tulemused fotosünteesi ja hingamise jooniste kohta on kokkuvõtvalt esitatud joonisel 21.



Joonis 21. Õpilaste (n=164) visuaalse kirjaoskuse areng fotosünteesi ja hingamise jooniste põhjal analüüsituna paariliste valimite t-testiga.

Fotosünteesi jooniste puhul oli õpilaste eelküsimustiku keskmine punktisumma 4,03 punkti kaheksast maksimaalsest (50,4%). Järelküsimustikus oli keskmine punktisumma tõusnud 1,84 punkti (23,0%) võrra 5,87-le punktile (73,4%). Analüüsides eel- ja järelküsimustiku tulemusi paariliste valimite t-testiga selgus, et visuaalne kirjaoskus arenes fotosünteesi jooniste puhul statistiliselt olulisel määral ($t = -9,262$; $p < 0,001$) (joonis 21). Kõige rohkem

paranes fotosünteesi jooniste puhul NADPH₂ kohta käiva info ülekandmine ($Z=-5,996$; $p<0,001$), kõige vähem aga fotosüsteem II kohta käiva info ülekandmine ($Z=-3,778$; $p<0,001$) (lisa 8).

Sarnaselt fotosünteesi joonistega, tõusis järelküsimumstikus ka hingamise jooniste keskmine punktisumma. Eelküsimumstikus oli õpilaste keskmine punktisumma 3,00 punkti (maksimum kaheksa) (37,5%). Järelküsimumstikus oli keskmine punktisumma tõusnud 4,72 (59,0%) punktini, mis tähendas, et keskmiselt oli tulemus paranenud 1,72 punkti (21,5%) võrra. Sarnaselt fotosünteesi joonistelt info ülekandmisega arenes statistiliselt olulisel määral ka visuaalne kirjaoskus hingamise jooniste puhul ($t=-8,121$; $p<0,001$) (joonis 21). Kusjuures areng oli suurem just hingamise jooniselt info ülekandmise osas (joonis 21). Hingamise jooniste puhul arenes kõige rohkem ATP kohta käiva info ülekandmine ($Z=-5,547$; $p<0,001$). Kõige vähem arenes aga hapniku kohta käiva info ülekandmine ühelt jooniselt teisele ($Z=-2,562$; $p<0,001$) (lisa 8).

Visuaalse kirjaoskuse arendamist virtuaalse õpikeskkonna abil on uuritud ka varem. Sadik (2009) leidis oma uuringus, et visuaalne kirjaoskus paraneb kui kasutada veebipõhist fotode ja videote hoiustamiskeskonda Flickr (www.flickr.com). Castera ja teised (2012) leidsid, et rakendades õpikeskkonna „Rakumaailm“ valgusünteesi mudeleid, arenes visuaalse kirjaoskuse tase statistiliselt olulisel määral nii Eesti kui Prantsuse gümnaasiumiõpilastel. Sealjuures arenes ka õpilaste oskus visuaalset informatsiooni ühelt representatsioonilt teisele üle kanda. Käesolev uuring kinnitab, et ka „Rakumaailma“ fotosünteesi ja hingamise mudelite kasutamine parandab õpilaste visuaalse info ülekandmise oskusi.

Kokkuvõte

Käesolevas magistritöös uuriti veebipõhise õpikeskkonna „Rakumaailm“ rakendamise (*bio.edu.ee/mudelid*) mõju õpilaste ainevahetuslikest protsessidest arusaamise ja visuaalse kirjaoskuse arengule.

Magistritööle püstitati kolm eesmärki.

1. Uurida gümnaasiumiõpilaste arusaamise arengut ainevahetuslikest protsessidest kasutades veebipõhiseid mudeleid.
2. Uurida mudelioperatsioonide mõju õpilaste bioloogilistest protsessidest arusaamisele.
3. Selgitada välja õpilaste visuaalse kirjaoskuse areng, rakendades selleks veebipõhiseid mudeleid.

Magistritöö andmete kogumiseks koostati eel- ja järelküsimumstik ning viidi läbi uuring. Uuringu andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim, kuhu kuulus 164 õpilast kolme Eesti kooli 10. ja 11. klassidest. Uuring viidi läbi ajavahemikul september 2012 kuni aprill 2013. Erinevuste selgitamiseks eel- ja järelküsimumstiku tulemuste vahel kasutati paariliste valimite t-testi ja *Wilcoxon signed ranks* testi.

Uuring koosnes neljast osast. Esimese osana täitsid õpilased eelküsimumstiku, millega tehti kindlaks õpilaste protsessidest arusaamise ja visuaalse kirjaoskuse algset taset. Teise osana töötasid õpilased ühe arvutitunni fotosünteesi mudeliga ja ühe arvutitunni glükoosi lagundamise mudeliga. Viimase osana täitsid õpilased järelküsimumstiku, millega hinnati mudelite kasutamise tulemuslikkust.

Magistritöö esimese uurimisküsimumusega taheti teada, mil määral areneb õpilaste ainevahetuslikest protsessidest arusaamise areng, kasutades õpikeskkonna „Rakumaailm“ fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid. Arusaamise arengut uuriti kahest aspektist, esiteks, milline on protsessides osalevate komponentide ülesannetest arusaamise areng, ning teiseks, milline on arusaamise areng protsesse mõjutavatest teguritest arusaamisel. Eel- ja järelküsimumstiku võrdluse tulemusena selgus, et arusaamine nii protsessides osalevate komponentide ülesannetest kui ka protsesse mõjutavatest teguritest arenes nii fotosünteesi kui hingamise protsessi puhul statistiliselt olulisel määral.

Teise uurimisküsimusega taheti teada, mil määral erineb õpilaste arusaamine liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudelikomponentidest. Liigutavateks mudelikomponentideks on komponendid, millega mudeli kasutaja saab mudeliga töötades opereerida, mitteliigutatavaid komponente aga mudeli kasutaja juhtida ei saa. Eel- ja järelküsimustiku tulemusi analüüsid selgus, et nii fotosünteesi kui hingamise puhul arenes statistiliselt olulisel määral arusaamine nii liigutatavatest kui mitteliigutatavatest mudelikomponentidest. Ent mõlema protsessi puhul arenes arusaamine enam just liigutatavatest komponentidest, seega saab tulemuste põhjal järeldada, et mudelioperatsioonidel oli protsessidest arusaamisele positiivne mõju.

Magistritöö viimase uurimisküsimusega uuriti gümnaasiumiõpilaste visuaalse kirjaoskuse, täpsemalt selle alaoskuse – visuaalse info ülekandmisoskuse – arengut. Selleks olid eel- ja järelküsimustikus ülesanded, kus õpilased pidid jooniseid analüüsima ning ühelt jooniselt teisele visuaalset infot üle kandma. Mõlema ainevahetusliku protsessi kohta oli küsimustikus kaks joonist – algne, millelt tuli info leida ja joonis, millele tuli saadud info üle kanda. Eel- ja järelküsimustiku andmete analüüs näitas, et mõlema, nii fotosünteesi kui hingamise, protsessi puhul arenes õpilaste visuaalse kirjaoskuse tase statistiliselt olulisel määral.

Kokkuvõtlikult võib väita, et õpikeskkonna „Rakumaailm“ fotosünteesi ja hingamise mudeleid kasutades areneb õpilaste bioloogilistest protsessidest arusaamise ja visuaalse kirjaoskuse tase ning uuringuga täideti edukalt kõik magistritööle püstitatud eesmärgid.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajat Jaanika Piksööti, kelle nõuanded, märkused ja kommentaarid olid suureks abiks töö koostamisel. Soovin tänada ka kõiki õpetajaid, kes aitasid magistritöö andmete kogumisel. Õigekeelsust puudutavate korrektuuride eest võlgnen tänu Targo Pomerantsile.

Kasutatud kirjandus

Ainsworth, S. (2008). How do animations influence learning? D. Robinson, G. Schraw (Toim.), *Recent Innovations in Educational Technology that Facilitate Student Learning*. (lk 37-67). USA: Information Age Publishing Inc.

Arguel, A., Jamet, E. (2009). Using video and static pictures to improve learning of procedural contents. *Computers in Human Behavior*, 25, 2, 354-359.

Asthana, H. S., Bhushan, B. (2007). *Statistics For Social Sciences (With SPSS Application)*. India: Prentice Hall of India.

Avgerinou, M. D., Ericson, J. (1997). A review of the concept of Visual Literacy. *British Journal of Educational Technology*, 28, 4, 280-291.

Avgerinou, M. D. (2009). Re-Viewing Visual Literacy in the „Brain d’Images“ Era. *TechTrends*, 53, 2, 28-34.

Avgerinou, M. D., Pettersson, R. (2011). Toward a Cohesive Theory of Visual Literacy. *Journal of Visual Literacy*, 30, 2, 1-19.

Bajd, B., Praprotnik, L., Matyašek, J. (2010). Students’ ideas about Respiration: A Comparison of Slovene And Czech Students. Evžen Rehulka (Toim.), *School and Health 21, Health Education: Contexts and Inspiration* (lk 245-251). Brno

Boucheix, J. M., Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and Instruction*, 19, 2, 112-127.

Boudah, D. J. (2011). *Conducting Educational Research: Guide to Completing a Major Research*. USA: SAGE Publications inc.

Castera, J., Sarapuu, T., Piksööt, J. (2012). French and Estonian students’ visual literacy skills related to the modelling activities in a web - based environment. *In: Procedia-Information Technology: 3rd World Conference on Information Technology, WCIT, Barcelona, Spain , 14-16 November 2012*.

Cepni, S., Tas, E., Köse, S. (2006). The effects of computer-assisted material on students' cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science. *Computers & Education*, 46, 2, 192-205.

Clark, R. C., Nguyen, F., Sweller, J. (2006). *Efficiency in Learning: Evidence-Based Guidelines to Manage Cognitive Load*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Cobert, J. D., Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 9, 891-894.

Eilam, B., Poyas, Y. (2008). Learning with multiple representations: Extending multimedia learning beyond the lab. *Learning and Instruction*, 18, 4, 368-378.

Evans, C., Gibbons, N. J. (2007). The interactivity effect in multimedia learning. *Computers & Education*, 49, 4, 1147–1160.

Friedman, A. (1993). Designing graphics to support mental models. J.M. Spector, M.C. Polson, D.J. Muraida (Toim.), *Automating instructional design- Concepts and issues* (lk 249-292). New York: Educational Technology Publications.

Greca, I. M., Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22, 1, 1-11.

Höffler, T., Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17, 6, 722-738.

Johnson, B., Christensen, L. (2012). *Educational Research: Quantitative, Qualitative and Mixed Approaches*. USA: SAGE Publications inc.

Lewis-Beck, M. S., Bryman, A., Futing Liao, T. (Toim.) (2004). *The Sage Encyclopedia of Social Science Research Methods*. USA: SAGE Publications, Inc.

Lin, C. Y., Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25, 12, 1529-1544.

Loucas, T. L., Zacharias, C. Z. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64, 4, 471-492.

Marmaroti, P. M., Galanopoulou (2006). Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28, 4, 383-403.

Masing, V. (Koost.) (1992). *Ökoloogialeksikon*. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus.

Meyer, K., Rasch, T., Schnotz, W. (2009). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction*, 20, 2, 136-145.

Oh, P. S., Oh, S. J. (2011). What teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33, 8, 1109-1130.

Ornek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. *International Journal of Environmental & Science Education*, 3, 23-45.

Pettersson, R. (2002). *Information Design: An Introduction*. Holland: John Benjamins Publishing co.

Rasch, T., Schnotz, W. (2009). Interactive and non-interactive pictures in multimedia learning environments: Effects on learning outcomes and learning efficiency. *Learning and Instruction*, 19, 5, 411-422.

Ray, A. M., Beardsley, P. M. (2008). Overcoming Student Misconceptions about Photosynthesis: A Model- and Inquiry-Based Approach Using Aquatic Plants. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 45, 1, 13-22.

Ryoo, K., Linn, C. (2011). Can Dynamic Visualizations Improve Middle School Students' Understanding of Energy in Photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 2, 218-243.

Sadik, A. (2009). Improving pre-service teachers' visual literacy through flickr. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 1, 1, 91–100.

Sarapuu, T. (2012). Visuaalset kirjaoskust arendavad ülesanded. Koppel, L. (Toim.), *Gümnaasiumi valdkonnaraamat loodusained* (lk 66-75). Tallinn: Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus.

Tekkaya, C., Yenilmez, A. (2006). Relationships Among Measures of Learning Orientation, Reasoning Ability, and Conceptual Understanding of Photosynthesis and Respiration in Plants for Grade 8 Males and Females. *Journal of Elementary Science Education*, 18, 1, 1-14.

Thain, M., Hickman, M. (Toim.) (2004). *Dictionary of Biology*. England: Penguin books.

Tversky, B., Morrison, J. B. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 4, 247-262.

Valanides, N., Angeli, C. (2008). Learning and teaching about scientific models with a computer-modeling tool. *Computers in human behaviour*, 24, 2, 220-233.

Vasquez, A., J., Comer, M. W., Troutman, F. (2010). *Developing Visual Literacy in Science, K8*. USA: NSTA press.

Vosniadou, S. (2002). Mental models in conceptual development. L. Magnani, N. J. Nersessian (Toim.), *Model-based reasoning: Science, Technology, Values* (lk 353–368). New York: Kluwer Academic/Plenum Press.

Vabariigi valitsuse määrus nr 2 (2011). “Gümnaasiumi riiklik õppekava”.

Yeh, H-T., Cheng, Y-C. (2010). The influence of the instruction of visual design principles on improving pre-service teachers' visual literacy. *Computers and Education*, 54, 1, 244-252.

Computer-based modelling efficiency on developing students' visual literacy and understanding of biological processes

Rauno Savolainen

Summary

The aim of this study was to investigate how the application of the web-based learning environment „Cell World“ (www.bio.edu.ee/mudelid) affects students' understanding of biological processes (photosynthesis and respiration) and the level of visual literacy.

The objectives of this study were:

1. To investigate secondary school students' development of understanding about metabolic processes using web-based models.
2. To investigate the effect of modelling operations on understanding of biological processes.
3. To clarify the development of the level of visual literacy using web-based models.

In order to collect data for the study, a pre- and post-test were composed. The study was conducted by using the web-based learning environment „Cell World“. 164 students from 10th and 11th grades of 3 secondary schools from Estonia formed convenience sample for the study. The study was carried out between September 2012 and April 2013. To analyze collected data, paired samples t-test and Wilcoxon signed ranks test were used.

The study consisted of four parts. At the beginning of the study, students filled out pre-test. The purpose of pre-test was to analyze students' initial understanding of biological processes and to determine their level of visual literacy. After filling out pre-test, students worked two lessons (two times 45 minutes) in computer-lab with the models of photosynthesis and respiration. As the last part, students filled out post-test, which reflected effectiveness of using „Cell World“ models.

With the first research question, author wanted to know how much students' understanding about metabolic processes develops using the models of photosynthesis and respiration. The first research question consisted of two parts. Firstly, how develops students' understanding about component functions of photosynthesis and respiration, and secondly,

how develops students' understanding about factors that affect photosynthesis and respiration. Comparison of students' pre- and post-test answers showed that understanding about component functions had improved significantly after using computer models. Understanding about factors that affect photosynthesis and respiration also developed to a significantly better level.

The second research question investigated, how differs students' understanding of manipulative and non-manipulative components of the models. Difference between manipulative and non-manipulative molecules is that learner can move manipulative molecule from the store to the animations' area. Analysis of pre- and post-test showed that understanding of manipulative and non-manipulative molecules improved significantly after using photosynthesis and respiration models. Understanding about manipulative molecules, however, developed more than understanding about non-manipulative molecules.

The last research question studied, how students' level of visual literacy develops by using web-based models. To answer that question, there were two pictures about photosynthesis and two pictures about respiration in pre- and post-test. Students's task was to analyze the first picture and transfer visual information to the second picture. The comparison of pre- and post-test showed that the level of visual literacy had improved significantly in both processes.

In summary, it can be said that using web-based learning environment „Cell World“ students' understanding about biological processes and the level of visual literacy increases. Therefore, it can be concluded that the study has fulfilled its purposes.

Lisad

Lisa 1. Magistritöö eelküsimumstik.

Lisa 2. Magistritöö järelküsimumstik.

Lisa 3. Fotosünteesi teoorialeht.

Lisa 4. Fotosünteesi mudeli abileht.

Lisa 5. Glükoosi lagundamise teoorialeht.

Lisa 6. Glükoosi lagundamise mudeli abileht.

Lisa 7. Eel- ja järelküsimumstiku küsimuste jaotus uurimisküsimumste lõikes.

Lisa 8. Eel- ja järelküsimumstiku tulemused küsimuste kaupa.

Lisa 1. Magistritöö eelküsimumstik.

Ees- ja perekonnanimi: Kool:

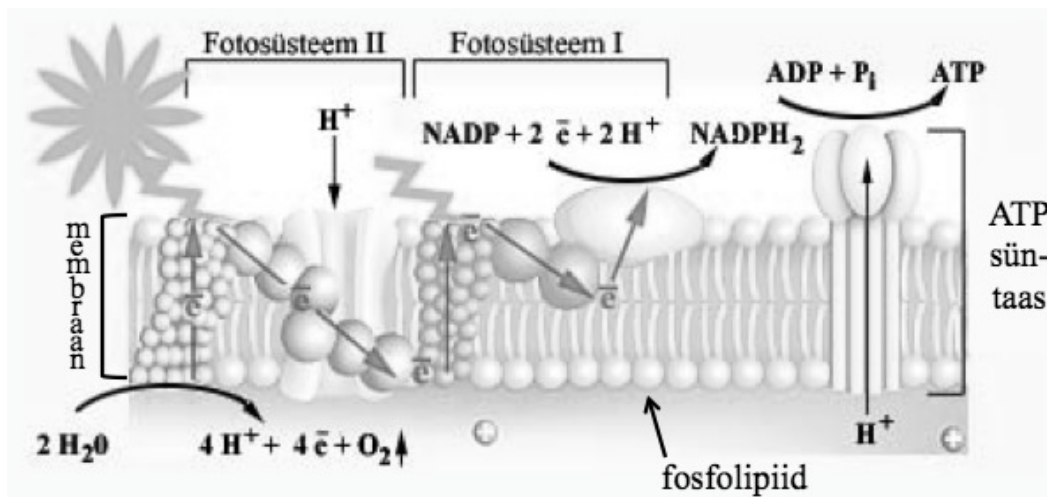
Klass:, Sugu: M/N Kuupäev:

Eelküsimumstik: Fotosüntees ja glükoosi lagundamine

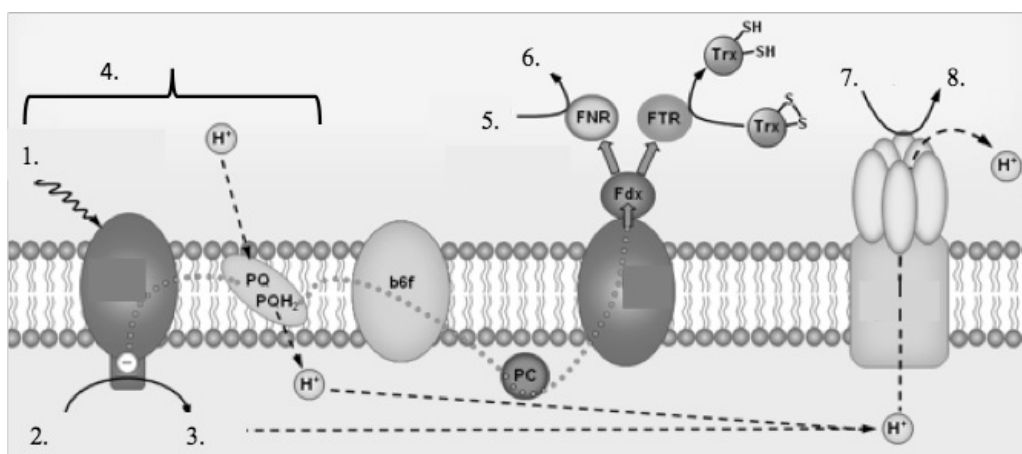
Palun vastake järgnevatele küsimustele. Küsimustik on kahes osas (fotosünteesi osa ja glükoosi lagundamise osa). Küsimustiku täitmiseks on aega 25 minutit.

Fotosüntees

1. Analüüsige jooniseid 1 ja 2. Kirjutage, millistele komponentidele on joonisel 2 numbritega viidatud.



Joonis 1.



Joonis 2.

Kirjutage, millistele komponentidele on numbritega viidatud: 1)

- 2) 3) 4) 5) 6)
..... 7) 8)

Täitke lüngad.

2. Fotosünteesi valgusstaadiumi reaktsioonides on vesinikioonid pärit molekulidest.
3. on fotosünteesi kõrvalprodukt, mis eraldub keskkonda.
4. Fotosünteesi valgusstaadiumi reaktsioonide käigus seob endaga vesinikioone.
5. Fotosünteesi reaktsioonide käigus salvestatakse energia, kui molekuliga liitub fosfaatrühm.
6. Fotosünteesi käigus toimub ATP süntees, kui vesinikioonid läbivad membraanis paikneva kompleksi.
7. Fotosünteesi reaktsioonides kasutatav süsinik on pärit molekulidest.
8. Pimedusstaadiumis kasutatakse molekule, et saada suhkru sünteesiks vajalikku energiat.
9. Pimedusstaadiumis saadakse suhkru sünteesiks vajalikud vesiniku aatomid molekulidest.
10. Nimetage tegurid, mille intensiivsuse või hulga suurendamisel teatud tasemeni fotosünteesi aktiivsus suureneb: 1) 2),
3), 4)
11. Nimetage tegurid, mille intensiivsuse või hulga vähendamisel fotosünteesi aktiivsus langeb: 1) 2) 3)
4)

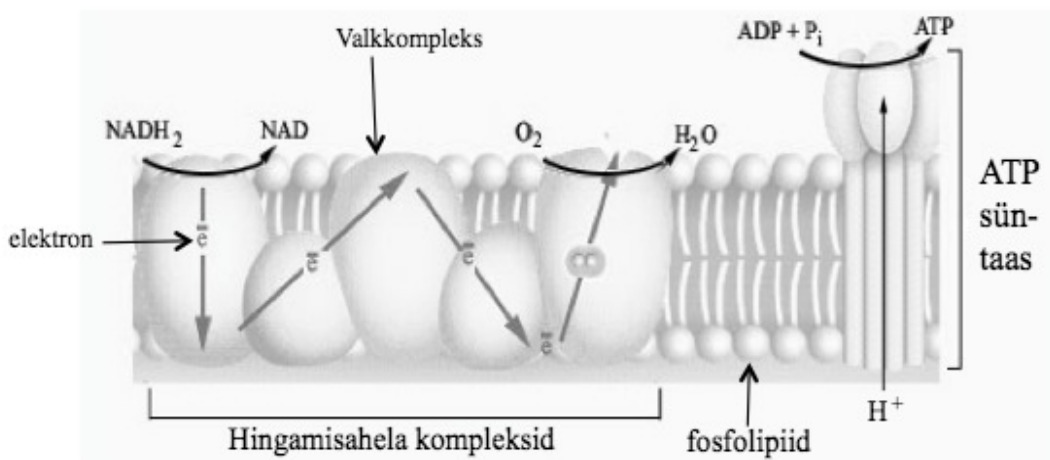
Glükoosi lagundamine

Tööülesanne: Täitke lüngad.

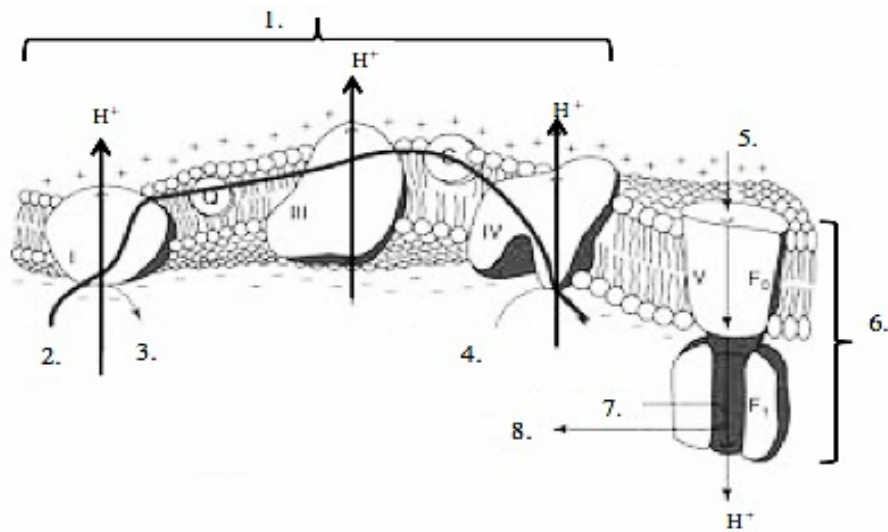
12. on monosahhariid, mille ülesanne on olla glükoosi lagundamisel lähteaineks.
13. Glükoosi lagundamisel glükolüüsi etapis on ülesandeks siduda vesinikku.

14. Glükoosi lagundamisel salvestatakse vajaminev energia, kui
molekuliga liitub fosfaatrühm.
15. Hingamisahelas seotakse molekuliga vesinikioone ja elektrone.
Saaduseks on molekulid, mis on hingamisahelas tekkiv jääkprodukt.
16. Glükoosi lagundamisel on tsitraaditsükli erituv jääkproduktiks.
17. Hingamisahelas kasutatakse 12 molekuli, mille abil sünteesitakse
36 ATP molekuli.
18. Hingamisahelas sünteesitakse ATP-d, kui aatomid läbivad ATP-
süntaasi kompleksi.
19. Nimetage tegurid, mille tõstmisel teatud tasemeni glükoosi lagundamine kiireneb:
1) 2) 3)
20. Anaeroobne glükolüüs toimub, kui rakus
.....

21. Analüüsige jooniseid 3 ja 4. Kirjutage, millistele komponentidele on joonisel 4 numbritega viidatud.



Joonis 3.



Joonis 4.

Kirjutage, millistele komponentidele on numbritega viidatud: 1),
 2) 3) 4) 5)
 6) 7) 8)

Täna! Andke täidetud küsimustik õpetajale!

Lisa 2. Magistritöö järelküsimustik.

Ees- ja perekonnanimi: Kool:

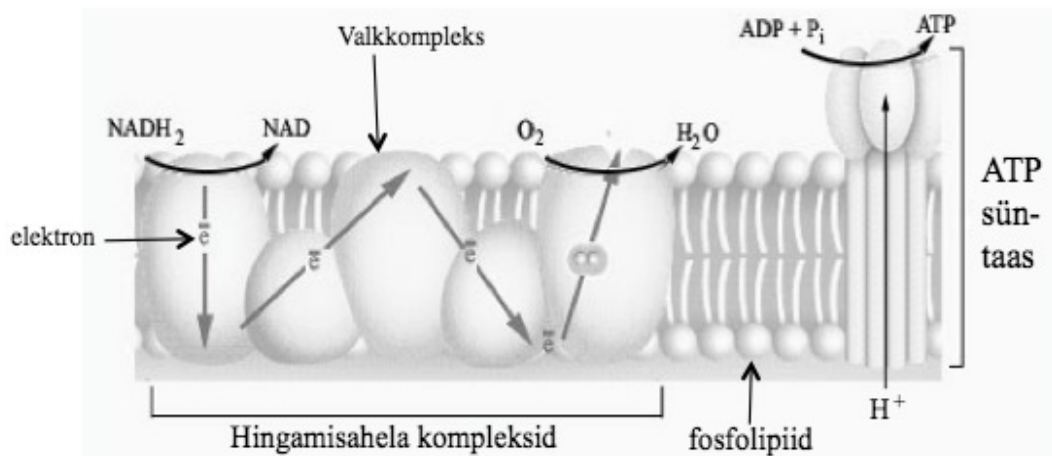
Klass:, Sugu: M/N Kuupäev:

Järelküsimustik: Fotosüntees ja glükoosi lagundamine

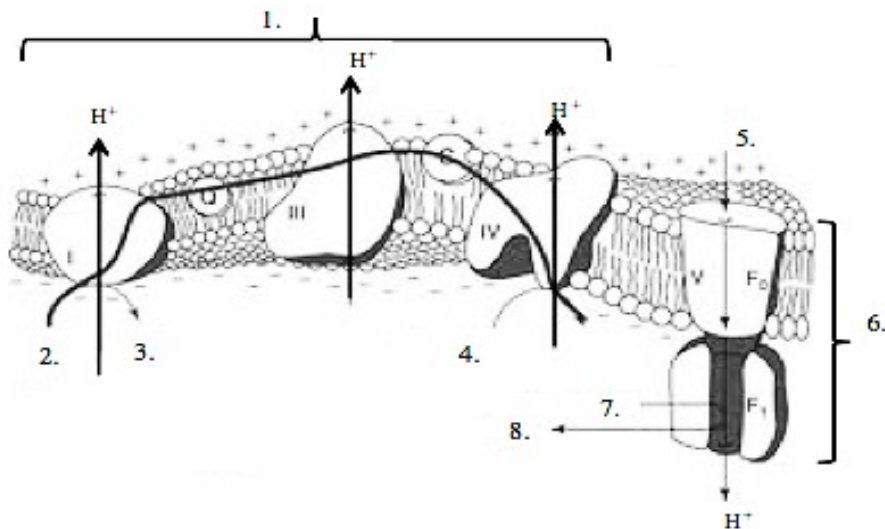
Palun vastake järgnevatele küsimustele. Küsimustik on kahes osas (glükoosi lagundamise osa ja fotosünteesi osa). Küsimustiku täitmiseks on aega 25 minutit.

Glükoosi lagundamine

1. Analüüsige jooniseid 1 ja 2. Kirjutage, millistele komponentidele on joonisel 2 numbritega viidatud.



Joonis 1.



Joonis 2.

Kirjutage, millistele komponentidele on numbritega viidatud: 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)

Tööülesanne: Täitke lüngad.

2. on monosahhariid, mille ülesanne on olla glükoosi lagundamisel lähteaineks.

3. Glükoosi lagundamisel glükolüüsi etapis on ülesandeks siduda vesinikku.

4. Glükoosi lagundamisel salvestatakse vajaminev energia, kui molekuliga liitub fosfaatrühm.

5. Hingamisahelas seotakse molekuliga vesinikioone ja elektrone. Saaduseks on molekulid, mis on hingamisahelas tekkiv jääkprodukt.

6. Glükoosi lagundamisel on tsitraaditsükklis erituv jääkproduktiks.

7. Hingamisahelas kasutatakse 12 molekuli, mille abil sünteesitakse 36 ATP molekuli.

8. Hingamisahelas sünteesitakse ATP-d, kui aatomid läbivad ATP-süntaasi kompleksi.

9. Nimetage tegurid, mille tõstmisel teatud tasemeni glükoosi lagundamine kiireneb: 1), 2), 3)

10. Anaeroobne glükolüüs toimub, kui rakus
.....

Fotosüntees

Täitke lüngad.

11. Fotosünteesi valgusstaadiumi reaktsioonides on vesinikioonid pärit

..... molekulidest.

12. on fotosünteesi kõrvalprodukt, mis eraldub keskkonda.

13. Fotosünteesi valgusstaadiumi reaktsioonide käigus seob endaga vesinikioone.

14. Fotosünteesi reaktsioonide käigus salvestatakse energia, kui

molekuliga liitub fosfaatrühm.

15. Fotosünteesi käigus toimub ATP süntees, kui vesinikioonid läbivad membraanis

paikneva kompleksi.

16. Fotosünteesi reaktsioonides kasutatav süsinik on pärit

molekulidest.

17. Pimedusstaadiumis kasutatakse molekule, et saada suhkru

sünteesiks vajalikku energiat.

18. Pimedusstaadiumis saadakse suhkru sünteesiks vajalikud vesiniku aatomid

..... molekulidest.

19. Nimetage tegurid, mille intensiivsuse või hulga suurendamisel teatud tasemeni

fotosünteesi aktiivsus suureneb: 1) 2), 3)

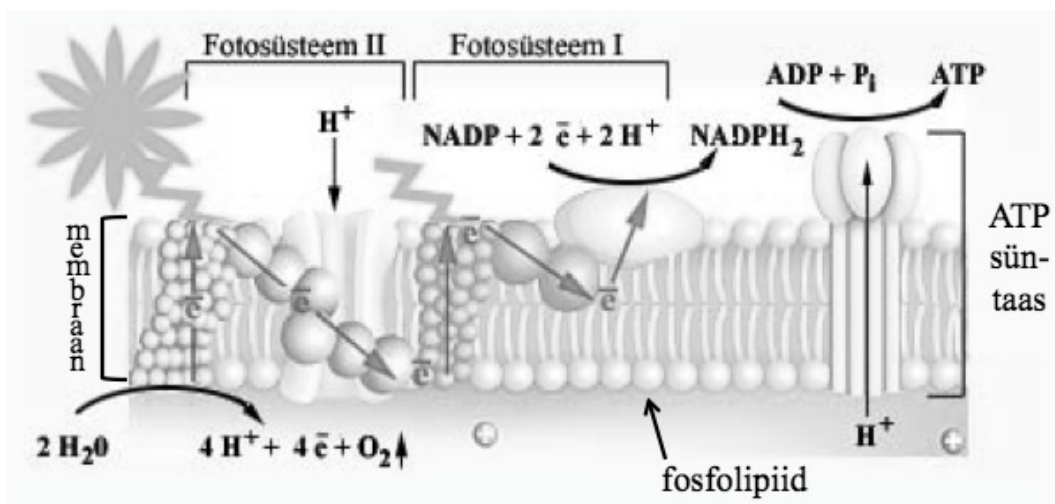
....., 4)

20. Nimetage tegurid, mille intensiivsuse või hulga vähendamisel fotosünteesi

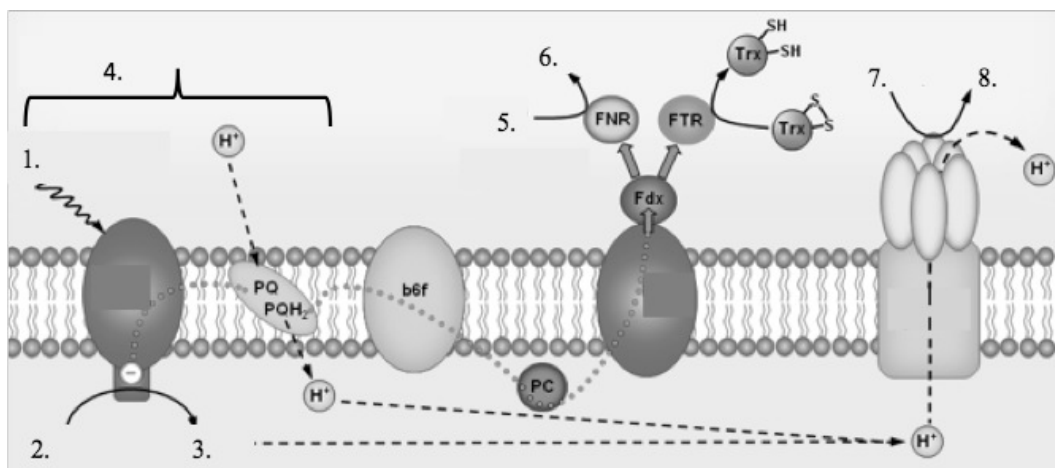
aktiivsus langeb: 1) 2) 3) 4)

.....

21. Analüüsige jooniseid 3 ja 4. Kirjutage, millistele komponentidele on joonisel 4 numbritega viidatud.



Joonis 3.



Joonis 4.

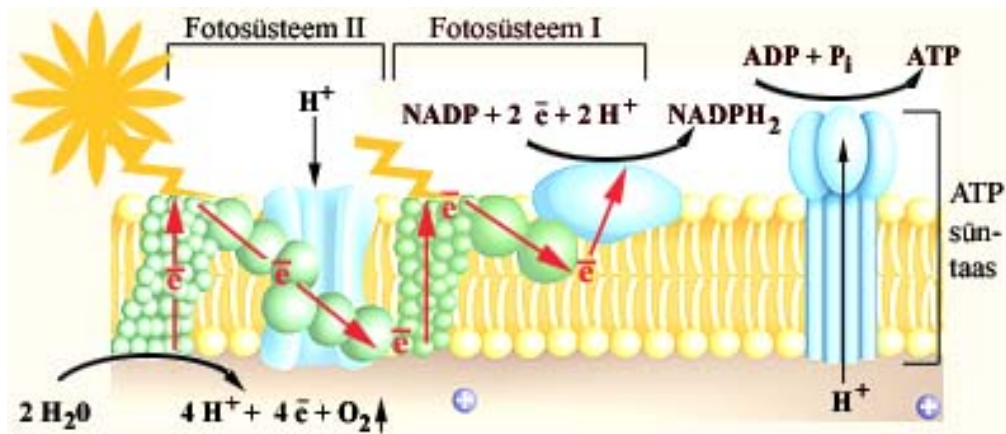
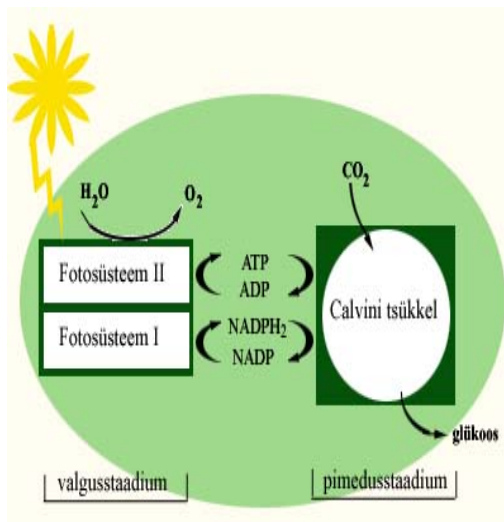
Kirjutage, millistele komponentidele on numbritega viidatud: 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)

Tänan! Andke täidetud küsimustik õpetajale

Lisa 3. Fotosünteesi mudeli teoorialeht.

Fotosüntees

Fotosüntees on taimede kloroplastides toimuv protsess, mille käigus valgusenergia muudetakse glükoosi molekulide keemiliseks energiaks. Kogu protsessi iseloomustab summaarne võrrand: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Fotosünteesi võib jagada valgus- ja pimedusstaadiumiks (vasakpoolne joonis).



Valgusstaadiumi reaktsioonid toimuvad kloroplasti sisemembraanides, kus klorofüllid koos teiste pigmentide ja valkudega moodustavad fotosüsteem I ja fotosüsteem II (parempoolne joonis). Valgusenergia toimel ergastuvad esmalt elektronid fotosüsteem II klorofüllid molekulis. Osa nende energiast kasutatakse vee molekulide lagundamiseks ehk **fotooksüdatsiooniks**. Selle tulemusena moodustub molekulaarne hapnik (O₂) ning eralduvad elektronid ja H⁺-ioonid. Eraldunud elektronid liiguvad edasi fotosüsteem I, H⁺-ioonid jäävad

aga esialgu membraani siseküljele. Ka fotosüsteem I klorofüllü molekuli elektronid ergastavad valgusenergia toimet. Elektronid liiguvad edasi NADP molekuli, mis võtavad juurde H^+ -ioone ning moodustuvad $NADPH_2$ molekulid – need kasutatakse ära pimedusstaadiumi reaktsioonides. Elektronide liikumisega fotosüsteem II-st fotosüsteemi I kaasneb täiendav H^+ -ioonide sisenemine membraani siseküljele, mille tulemusena on nende kontsentratsioon siseküljel suurem kui välisküljel. H^+ -ioonid pääsevad välisküljele tagasi läbi ensüümi – **ATP süntaasi**, mis salvestab nende väljumisega vabaneva energia ATP molekulidesse.

Pimedusstaadiumi reaktsioonid toimuvad kloroplasti sisemuses ja moodustavad **Calvini tsükli**. Kui valgusstaadiumi reaktsioonideks on oluline nähtava valguse olemasolu, siis pimedusstaadiumis pole sel tähtsust. Calvini tsükli kasutatakse väliskeskkonnast saadavat CO_2 ning valgusstaadiumis moodustunud $NADPH_2$ ja ATP molekule ning sünteesitakse glükoosi molekule.

Fotosünteesi tulemuslikkust mõjutavad peamiselt temperatuur ja valgus ning CO_2 kontsentratsioon.

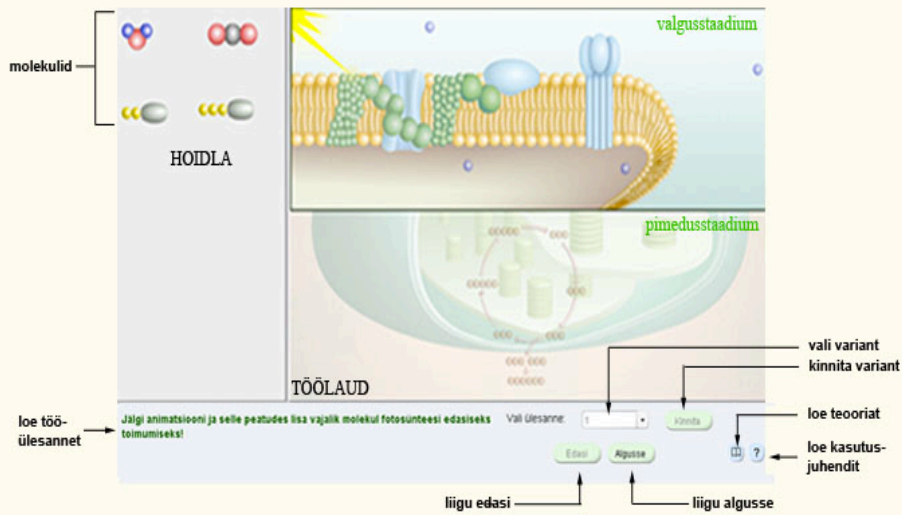
Lisa 4. Fotosünteesi mudeli abileht.

Mudeli kasutamine

Mudelig saad uurida fotosünteesi valgusstaadiumi ja pimedusstaadiumi reaktsioone. Mudeli vasakul pool on hoidla molekulidega ja paremal töölaud animatsiooniga.

Mudeli kasutamine

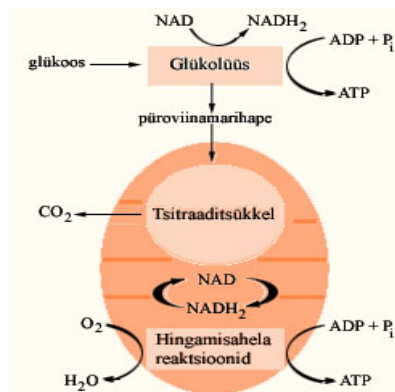
- Vali rippmenüüst ülesande variant ja klõpsa nupul "Kinnita".
- Loe tööülesannet ja jälgi animatsiooni.
- Kui animatsioon peatub, tuleb viia protsessi edasiseks toimimiseks vajalik molekul hoidlast töölauale. Selleks vali hoidlast sobiv molekul ja lohista see hiire vasakut klahvi all hoides mudeli vilkuvasse piirkonda (vilkuvate elektronide, molekuli või noole kohale). Vajadusel saad toodud molekuli hoidlasse tagasi viia ja tuua uue.
- Kui oled molekuli toomise lõpetanud, klõpsa nupul "Edasi".
- Juhul, kui lahendad õpetaja antud kindlat ülesannet, ilmub ekraani alaserva täiendav küsimus. Pärast sellele vastamist klõpsa nupul "Kinnita".
- Sama ülesande uuestilendamiseks klõpsa nupul "Algsusse".



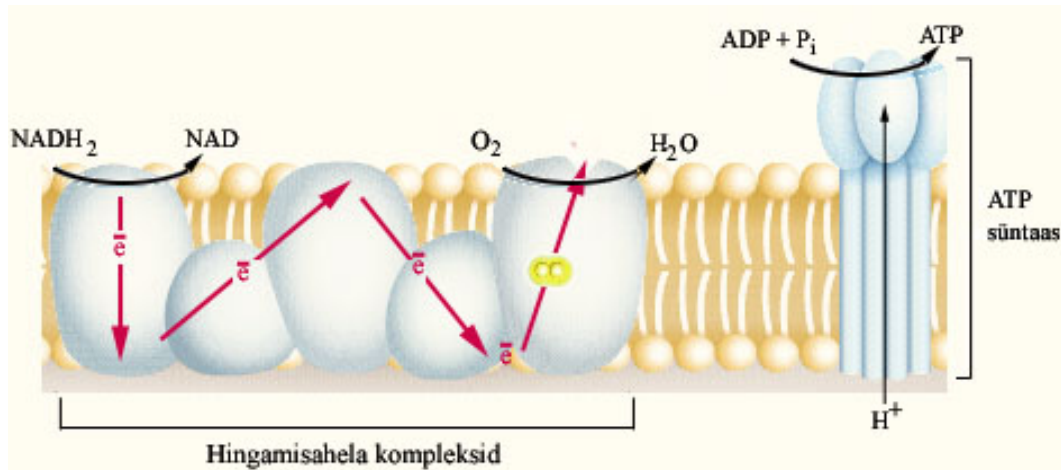
Lisa 5. Glükoosi lagundamise mudeli teoorialeht.

Glükoosi lagundamine

Glükoosi lagundamine on universaalne ainevahetuslik protsess, mille käigus glükoosist vabanev energia salvestatakse ATP molekulidesse. Kogu protsessi iseloomustab summaarne võrrand: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$. Glükoosi lagundamisel eristatakse kolme etappi: glükolüüs, tsitraaditsükkel ja hingamisahela reaktsioonid. Seda protsessi nimetatakse kirjanduses ka aeroobseks hingamiseks.



Glükoosi lagundamise esimene etapp on **glükolüüs**, mis toimub raku tsütoplasmaõrgustikus. Hapniku piisaval juuresolekul toimub **aeroobne glükolüüs**. Glükolüüs koosneb mitmetest reaktsioonidest, mille tulemusena tekib ühest glükoosimolekulist 2 püroviinamarihappe molekuli ja 2 ATP molekuli (vasakpoolne joonis). Eraldunud 4 H⁺-iooni ja 4 elektroni seostuvad vesinikukandjaga NAD ning moodustub 2 NADH₂ molekuli. Glükoosi lagundamise teine etapp on **tsitraaditsükkel**, mis toimub mitokondri sisemuses. Tsitraaditsükkel koosneb reaktsioonidest, mille käigus eralduvad järk-järgult CO₂ molekulid ja H⁺-ioonid. Vabanenud H⁺-ioonid ja elektronid seostuvad vesinikukandjaga NAD ja moodustuvad NADH₂ molekulid. CO₂ on jääkprodukt, mis väljub mitokondrist.



Glükoosi lagundamise kolmas etapp koosneb **hingamisahela reaktsioonidest**, mis toimuvad mitokondri sisemembraanide harjakestes (parempoolne joonis). Hingamisahela reaktsioonides vajatakse O_2 molekule. Üks hingamisahel koosneb 5 valgulisest kompleksist ja ATP molekule sünteesivast ATP süntaasist. NADH_2 molekulidest vabanevad elektronid läbivad 5 kompleksi ja ühinevad O_2 molekulidega – selle tulemusena moodustuvad H_2O molekulid. Elektronide transpordiga kaasneb H^+ -ioonide liikumine membraani siseküljele, mille tulemusena on nende kontsentratsioon siseküljel suurem kui välisküljel. H^+ -ioonid pääsevad välisküljele tagasi läbi ATP süntaasi. Nende väljumisega vabanev energia salvestatakse ATP molekulidesse. 12 NADH_2 kohta moodustub 36 ATP molekuli. Et 2 ATP molekuli saadakse glükolüüsist ja hingamisahela reaktsioonidest lisandub 36, siis saadakse ühe glükoosimolekuli lõplikul lagundamisel 38 ATP molekuli.

Hapniku puudusel hingamisahela reaktsioonid peatuvad ja tsitraaditsükkel seiskub. Sellistes tingimustes toimub **anaeroobne glükolüüs**. Lihasrakkudes saadakse anaeroobsel glükolüüsil ühest glükoosimolekulist 2 piimhappemolekuli. Seejuures saadakse vaid 2 ATP molekuli. Sellist glükoosi lagundamist nimetatakse kirjanduses ka anaeroobseks hingamiseks.

Glükoosi lagundamise tulemuslikkust mõjutavad peamiselt glükoosi, hapniku ja ATP kontsentratsioon ning keskkonna temperatuur.

Lisa 6. Glükoosi lagundamise mudeli abileht.

Mudeli kasutamine

Mudeliga saad uurida glükoosi lagundamise erinevaid etappe: glükolüüsi, tsitraaditsükli ja hingamisahelat. Mudeli vasakul pool on hoidla molekulidega ja paremal töölaud animatsiooniga.

Mudeli kasutamine

- Vali rippmenüüst ülesande variant ja klõpsa nupul "Kinnita".
- Loe tööülesannet ja jälgi animatsiooni.
- Kui animatsioon peatub, tuleb viia protsessi edasiseks toimumiseks vajalik molekul hoidlast töölauale. Selleks vali hoidlast sobiv molekul ja lohista see hiire vasakut klahvi all hoides mudeli vilkuvasse piirkonda (vilkuva noole, molekuli või elektronide kohale). Vajadusel saad toodud molekuli hoidlasse tagasi viia ja tuua uue.
- Kui oled molekuli toomise lõpetanud, klõpsa nupul "Edasi".
- Juhul, kui lahendad õpetaja antud kindlat ülesannet, ilmub ekraani alaserva täiendav küsimus. Pärast sellele vastamist klõpsa nupul "Kinnita".
- Sama ülesande uuestilahendamiseks klõpsa nupul "Algusse".

molekulid

HOIDLA

2

11

I glükolüüs

GLÜKOLÜÜS

II tsitraaditsükkel

TSITRAADITSÜKKEL

HINGAMISAHEL

TÖÖLAUD

vali variant

kinnita variant

loe teooriat

loe kasutusjuhendit

Jälgi animatsiooni ja selle peatudes lisa vajalik molekul glükoosi lagundamise edasiseks toimumiseks!

Vali ülesanne:

Kinnita

Edasi

Algusse

liigu edasi

liigu algusse

Lisa 7. Eel- ja järelküsimustiku küsimuste jaotus uurimisküsimuste lõikes.

Uurimisküsimus	Uurimisküsimuse alaosa	Eelküsimustiku küsimuse järjekorra number (numbrid)	Järelküsimustiku küsimuse järjekorra number (numbrid)
1. Kuidas areneb gümnaasiumiõpilaste arusaamine ainevahetuslikest protsessidest kasutades glükoosi lagundamise ja fotosünteesi mudeleid?	a.) komponentide ülesannetest arusaamine	Fotosüntees: 2-9 Hingamine: 12-18	Fotosüntees: 11-18 Hingamine: 2-8
	b.) protsesse mõjutavatest teguritest arusaamine	Fotosüntees: 10-11 Hingamine: 19-20	Fotosüntees: 19-20 Hingamine: 9-10
2. Mil määral erineb õpilaste arusaamine liigutatavatest ja mitteliigutatavatest mudelikomponentidest?	a.) liigutatavad komponendid	Fotosüntees: 2,4,5,7 Hingamine: 12-15a	Fotosüntees: 11,13, 14,16 Hingamine: 2-5a
	b.) mitteliigutatavad mudelikomponendid	Fotosüntees: 3,6,8,9 Hingamine: 15b-18	Fotosüntees: 12,15,17,18 Hingamine: 5b-8
3. Mil määral areneb gümnaasiumiõpilaste visuaalse info ülekandmisoskus kasutades virtuaalse õpikeskkonna „Rakumaailm“ mudeleid?		Fotosüntees: 1 Hingamine: 21	Fotosüntees: 21 Hingamine: 1

Lisa 8. Eel- ja järelküsimumstiku (n=164) analüüs küsimuste kaupa analüüsituna *Wilcoxon signed ranks* testiga.

Küsimumse number eelküsimumstikus (sulgudes lünga number)	Lünga käiv molekul/tegur(id)	Negatiivne muutus	Positiivne muutus	Muutuseta	Z	p
1 (1)	valgus	4	48	112	-5,955	<0,001
1 (2)	H ₂ O	6	43	115	-4,543	<0,001
1 (3)	4H+4e+ O ₂	14	59	91	-5,032	<0,001
1 (4)	fotosüsteem II	11	49	104	-3,778	<0,001
1 (5)	NADP+2e ⁻ +2H ⁺	12	62	90	-5,497	<0,001
1 (6)	NADPH ₂	9	56	99	-5,996	<0,001
1 (7)	ADP+P _i	17	65	82	-5,749	<0,001
1 (8)	ATP	9	48	107	-5,356	<0,001
2	H ₂ O	10	39	115	-4,143	<0,001
3	O ₂	11	19	134	-1,461	<0,001
4	NADP	11	39	114	-3,960	<0,001
5	ADP	16	49	99	-4,093	<0,001
6	ATP-süntaasi	13	29	122	-2,469	<0,05
7	CO ₂	14	38	112	-3,328	<0,001
8	ATP	12	47	105	-4,557	<0,001
9	NADPH ₂	17	38	109	-2,832	<0,01
10	valgus, H ₂ O,	16	83	65	-6,204	<0,001
11	CO ₂ , temperatuur	20	86	58	-6,205	<0,001
12	glükoos	3	43	118	-5,898	<0,001
13	NAD	7	56	101	-6,173	<0,001
14	ADP	10	59	95	-5,899	<0,001
15a	hapniku	24	47	93	-2,730	<0,01
15b	vee	10	49	105	-5,077	<0,001
16	CO ₂	9	62	93	-6,290	<0,001
17	NADH ₂	4	43	117	-5,689	<0,001
18	vesinik	23	42	99	-2,357	<0,05
19	glükoos, O ₂ , temperatuur	7	124	33	-9,357	<0,001
20	puudub O ₂	8	73	83	-7,376	<0,001
21 (1)	hingamisahe la kompleksid	13	55	96	-4,478	<0,001
21 (2)	NADH ₂	14	45	105	-4,036	<0,001
21 (3)	NAD	7	49	108	-5,533	<0,001
21 (4)	O ₂	18	37	109	-2,562	<0,001
21 (5)	H ⁺	9	42	113	-4,531	<0,001
21 (6)	ATP-süntaas	11	53	100	-5,206	<0,001
21 (7)	ADP+P _i	8	51	105	-4,809	<0,001
21 (8)	ATP	10	56	98	-5,547	<0,001

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rauno Savolainen

(sünnikuupäev: 23.09.1989)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “Arvutipõhise modelleerimise tulemuslikkus õpilaste visuaalse kirjaoskuse ja bioloogilistest protsessidest arusaamise arendamisel”, mille juhendaja on Jaanika Piksööt,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **31.05.2013.**