

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Loodusteadusliku hariduse keskus

Gea Kiudorf

**Õpilaste arusaamise areng ainevahetuslikest
protsessidest rakendades veebipõhiseid mudeleid**

Magistritöö

Juhendaja: prof. Tago Sarapuu

Tartu 2010

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Kirjanduse ülevaade.....	5
1.1. Visuaalne informatsioon	5
1.2. Situatiivne õpe.....	9
2. Materjalid ja metoodika.....	16
2.1. Uuringu ülesehitus	16
2.2. Valim.....	17
2.3. Õpikeskkond	18
2.3.1. Fotosünteesi mudel.....	19
2.3.2. Glükoosi lagundamise mudel	20
2.4. Töölehed.....	22
2.5. Kirjalikud küsimustikud.....	22
2.6. Andmeanalüüs.....	24
3. Tulemused ja arutelu.....	25
3.2. Õpilaste eelteadmised.....	25
3.3. Järelküsimustiku vastused.....	28
3.5. Õpilaste arusaamise areng bioloogilistest protsessidest.....	31
3.6. Situatsioonipõhiste probleemide lahendamisoskuse areng	33
3.7. Õpilaste arusaamise areng õpiobjektidest	34
Järeldused.....	38
Kokkuvõte.....	40
Tänuavaldused	42
Kasutatud kirjandus	43
Summary.....	48

Sissejuhatus

Käesolevas töös uuritakse 11. klassi õpilaste arusaamist fotosünteesi ja glükoosi lagundamise protsessidest. Need teemad valiti, kuna on abstraktsed ning keeruliste mõistete-ga ning seetõttu õpilastele raskesti arusaadavad. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamist käsitletakse õpikus „Bioloogia gümnaasiumile” (Sarapuu, 2003) mis enamikes koolides läbitakse 11. klassis. Seetõttu osalevad käesolevas uuringus 11. klasside õpilased.

Loodusainete õppimisel kasutatakse üha enam arvutimudeleid ja erinevaid animatsioo-ne. Animatsioonid võivad õpilaste arusaamist dünaamilistest protsessidest parandada (Rieber, 1991), halvemaks muuta (Rieber, 1990) või üldse mitte mõjutada (Price, 2002). Käesoleva uuringu käigus viidi läbi eksperiment, kus rakendati veebipõhise õpikesk-konna „Rakumaailm“ (<http://bio.edu.ee/mudelid>) kahte mudelit – fotosünteesi ja glükoo-si lagundamine. Kuna erinevad uuringud on leidnud animatsioonidel nii positiivseid kui negatiivseid külgi, vajavad dünaamilised representatsioonid täiendavat uurimist. Sellega seonduvalt püstitati käesoleva magistritöö esimene eesmärk: uurida 11. klassi õpilaste arusaamise arengut ainevahetuslikest protsessidest kasutades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega. Õpilaste arusaamise arengut analüüsiti lähtuvalt kahest aspektist: (1) bio-loogilistes protsessides osalevate komponentide funktsioonid ja (2) protsesse mõjutavad tegurid.

Animatsioonidega koos kasutatakse ka erinevaid toetusüsteeme. Kombartzky jt. (2010) katsetasid oma uuringus, kuidas mõjub arvutimudelites toetuse rakendamine õpilaste õpitulemustele. Nende uuringus olid toetuseks töölehed, mis aitasid õpilaste tööd mude-litega organiseerida. Tulemustest selgus, et töölehti kasutanud õpilaste õpitulemused olid paremad kui nendel, kes toetust ei saanud. Seetõttu on ka käesolevas uuringus arvu-timudelitele lisaks kasutatud töölehti.

Mitmed uuringud on näidanud, et arvutisimulatsioonidel on positiivne mõju situatiivsete oskuste arenemisele (nt. Kuhn jt., 2000; Abrams jt., 2001). Õpiprotsessis on väga oluli-ne õpilaste huvi, sest selle puudumisel ei ole võimalik tulemuslikult õppida. Reaalsete probleemide kasutamine tõstab õpimotivatsiooni ning ka õpilaste aktiivsust (Zumbach, 2006). Sellega seoses püstitati käesoleva töö teine eesmärk: selgitada mudelite ja töö-lehtede mõju situatsioonipõhiste probleemide lahendamisele 11. klassi õpilastel. Töö-

lehtedel oli õpilastele esitatud igapäevaelulised probleemid, millele oli vaja leida lahendus. Eesmärgi saavutamiseks võrreldi igapäevaelulise probleemi lahendusi enne ja pärast mudelite rakendamist.

Mudelite abil kujutatakse keerulisi objekte või protsesse lihtsustatud kujul ja nii saab õpilase tähelepanu suunata teatud olulistele aspektidele (Gilbert, 1995). Kay ja Knaac (2008) on oma töös leidnud, et arvutimudelites kasutusel olevad komponendid aitavad õpilastel protsessi paremini mõista. Samuti on oluline, et õpilased saaksid protsessi toimimises ise osaleda ning selle käiku suunata. Sellega seonduvalt sõnastati töö kolmas eesmärk: analüüsida õpilaste individuaalset arusaamist õpiobjektidest ja bioloogilistes protsessides osalevate komponentide funktsioonidest. Siinkohal lähtuti mudelis opereeritavatest ja mitteopereeritavatest komponentidest. Opereeritavateks nimetati neid mudeli osasid, mida õpilased said ise mudelis liigutada ning mitteopereeritavateks neid, mida õpilased ise ümber paigutada ei saanud.

Vastavalt magistritöö eesmärkidele püstitati uurimisküsimused:

1. Mil määral paraneb 11. klassi õpilaste arusaamine glükoosi lagundamisel ja fotosünteesil osalevate komponentide funktsioonidest ja protsesse mõjutatavatest teguritest rakendades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega?
2. Kuidas areneb õpilaste fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskus mudelite ja töölehtede kasutamise tulemusena?
3. Mil määral arendab mudelil molekulidega opereerimine õpilaste arusaamist molekulide funktsioonidest bioloogilistes protsessides?

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Visuaalne informatsioon

Väliskeskkonnast on silmadega võimalik vastu võtta kahte tüüpi informatsiooni: verbaalset ja visuaalset, aga kõrvadega ainult verbaalset. Verbaalseks informatsiooniks loetakse sõnalisi esitusi ja visuaalseks informatsiooniks pildilisi esitusi, nagu illustratsioonid, animatsioonid ja videod (Mayer, 1999). Inimese nägemine hõlbustab meie suhtlemist ümbritseva keskkonnaga. Ligi pool meie ajukoorest tegeleb visuaalse informatsiooni töötlemisega (Milner & Goodale, 1998). Biedermanni (1987) teooria kohaselt on visuaalse informatsiooni töötlus kahe võrdelise töötlussuuna vastastikmõju. Üks suund on kontrollimatu, alt-üles suunatud protsess, mis lokaliseerib algse pildilise informatsiooni. Kontrollimatuks nimetatakse seda seetõttu, et väliskeskkonnast saadakse eri meelte abil informatsiooni ilma, et sellele alati väga tähelepanu pöörataks. See informatsioon liigub edasi töömällu. Teine töötlussuund on kontrollitav ülalt-alla suunatud protsess, mis toimetab edasi reeglid ja teadmised, mis aitavad eraldatud informatsiooni osadest moodustada terviklikku pilti. Sel juhul viiakse püsivalt olev informatsioon töömällu, et seda oleks võimalik kasutada. Seal seotakse see uue informatsiooniga ning tänu sellele luuakse terviklik arusaamine. Visuaalse informatsiooni töötlemisel on ka probleeme, sest kui tahta, et madalama astme informatsioon moodustaks kokku tervikliku pildi, siis peab süsteemis olema kõrgema astme teadmised reeglitest, mis sellele kaasa aitavad. Püsivalt peavad olema vajalikud eelteadmised terviku loomiseks (Palmieri & Gauthier, 2004).

Visuaalne informatsioon on õppimisel väga olulisel kohal. Selle kasutamisel teadmiste saamiseks ning arusaamise tekkimiseks on vajalik visuaalne kirjaoskus (*visual literacy*) – selleta ei ole visuaalne õppimine tulemuslik. Christophersoni (1997) järgi suudab visuaalne kirjaoskaja:

- 1) tõlgendada, aru saada ja hinnata visuaalsete sõnumite mõtet;
- 2) suhelda efektiivsemalt kasutades peamisi visuaalse informatsiooni põhikomponente;
- 3) moodustada visuaalseid sõnumeid kasutades arvutit ja teisi tehnoloogiaid;
- 4) kasutada visuaalset mõtlemist, et leida probleemidele lahendusi.

Visuaalset informatsiooni on võimalik käsitleda mitmel moel, kuid üheks võimaluseks on seda jagada staatiliseks ja dünaamiliseks. Staatiliseks informatsiooniks on pildid ja graafikud ning dünaamiliseks informatsiooniks on liikuvad illustratsioonid, videod ja arvutimudelid (Ainsworth, 2004). Dünaamilise ja staatilise informatsiooni üheks erinevuseks on see, et dünaamiline informatsioon annab edasi ajalisi ja positsioonilisi muutusi. Sellise informatsiooni abil on võimalik näha muutusi ajas ja ruumis. Vastavalt sellele võib dünaamilist informatsiooni Lowe (2003) järgi jagada kolmeks tüübiks:

1. Esimese tüübi korral toimub vormi muutus (*transformation*). Muutused tekivad objektide suuruses, kujus ja struktuuris.
2. Teise tüübi korral toimuvad positsioonilised muutused (*translations*). Objekte saab liigutada.
3. Kolmanda tüübi korral toimuvad üleminekulised muutused (*transitions*). Osad, mis on esitatud visuaalselt, võivad kaduda ja uuesti ilmuda.

Dünaamiline visuaalne informatsioon on sageli esitatud koos tõlgendava tekstiga, et toetada õppimist ning muuta õpiprotsess efektiivsemaks. Tulemuslikkust mõjutab ka see, mis tüüpi toetust pakutakse. Staatilistel illustratsioonidel on teatud tingimustel toetav roll teksti kõrval õpitulemuste paranemisel (Rieber, 1994), aga dünaamilised illustratsioonid pakuvad täieliku mudeli, mis genereerib liikumisest vaimse mõttemudeli. Seega vähendades abstraktsioonide taset, peaks tekkima parem arusaamine kui staatilise visuaalse informatsiooni abil. Dünaamiliste illustratsioonide abil luuakse objektide vahel paremad seosed. Kui kasutatakse staatilist visuaalset informatsiooni, siis peavad õppijad ise looma endale mõttemudeli. Dünaamiline visuaalne informatsioon aitab rohkem kaasa õpiprotsessi tulemuslikkusele. See on oluline eriti juhtudel, kus õppematerjali omandamisel on oluline kolmemõõtmeline ruum (Park & Hopkins, 1993). Dünaamiliselt esitatud informatsiooni lihtsus võib aga ka vähendada õpilase vaimset panust ning tahtlikku tähelepanu (Rieber, 1989).

Õpetamisel rakendatakse ka mitmikesisitlusi (*multiple representation*). Nendeks on esitatud, kus kasutatakse eri informatsiooni tüüpe omavahel kombineerituna (Ainsworth & van Labeke, 2004). Ainsworthi (1999) järgi on mitmikesisitlustel kolm üldist funktsiooni. Esiteks toetavad nad õppimist andes täiendavat informatsiooni. Teiseks saab

mitmikesisitlusi kasutada seoste loomiseks. See tähendab, et üks esitus sisaldab teise tõlgendust. Kolmandaks nad toetavad sügavama arusaamise konstrueerimist.

Õppimiseks vajalikku materjali on võimalik erinevalt kombineerida ja esitada. Üheks üha rohkem levivaks võimaluseks traditsiooniliste tekstide ja piltide kombinatsioonide kõrval on arvutimudelid ning animatsioonid. Pildi ja teksti vormis esitatud informatsioon toob kaasa positiivseid tulemusi õppeprotsessis (Mayer, 1999, 2002). Selline kombineerimine on kasulik seetõttu, et suunab õpilasi teema sügavuti õppimisele (nt. Mayer, 2002; Mayer & Moreno, 2002). Ka animatsioonide kasutamine parandab oluliselt õpitulemusi just keerulistest ja abstraktsetest protsessidest arusaamisel (Rieber, 1994). Animatsioonides eristatakse kolme osa (Mayer & Moreno, 2002):

- 1) pilt – animatsioon, kui pildilise esitluse vorm;
- 2) liikumine – animatsioonis näidatakse liikumist;
- 3) simulatsioon – animatsioonis olevad õppeobjektid.

Dünaamilised simulatsioonid võimaldavad õpilastel saada uusi variante keeruliste teemade ettekujutamiseks. Animatsioonid on kõige rohkem uuritud dünaamilise informatsiooni vorm. Ka käesolevas magistritöös on õpilaste õpiprotsessi tulemuslikkust püütud paremaks muuta animatsioonidega õppimise abil. Uuringud on näidanud, et dünaamilise informatsiooni vormide eraldi või koos animatsioonidega rakendamine viib paremate õpitulemusteni (Ainsworth, 1999). Animatsioonidega koos on võimalik kasutada ka erinevaid toetusüsteeme näiteks töölehtede näol. Kombartzky jt. (2010) rakendasid oma uuringus animatsioonidega koos töölehti, mis olid mõeldud õpilaste töö organiseerimiseks. Nende eesmärgiks oli leida, kuidas mõjub arvutimudelites toetuse lisamine õpilaste õpitulemustele. Tulemustest selgus, et töölehti rakendanud õpilased said mudelitega paremini hakkama ning nende õpitulemused olid paremad, kui nendel kes töölehti ei kasutanud. Sellele informatsioonile tuginedes koostati ka magistritöös animatsioonidega opereerimise organiseerimiseks töölehed.

Õpiprogrammides kasutatakse erinevaid illustratsioone. Osad uuringud kinnitavad õpiprogrammides olevate illustratsioonide toetavat funktsiooni (Lewalter, 2003). Ainsworth ja van Labeke (2004) uuringust selgub, et dünaamiliste esitluste kõigil tüüpidel on eelised võrreldes staatilistega. Põhiliselt paranevad nende uuringu järgi illustratsioonide abil faktiteadmised võrreldes tekstilise informatsiooniga. Lewalteri (2003)

uuringu kohaselt paranes arusaamine ja probleemülesannete lahendamine ainult dünaamilist visuaalset informatsiooni kasutades. Illustratsioonid aitasid õpilastel uut informatsiooni püsivalt säilitada. Kui võrreldi staatilise ja dünaamilise informatsiooni rakendamise tulemuslikkust, siis selle uuringu andmed ei näidanud dünaamilise informatsiooni selgeid eeliseid õpitulemuste puhul. Sageli piisab ka ainult staatilisest informatsioonist (Lewalter, 2003). Tversky (2002) järgi parandavad animatsioonid õpitulemusi vaid siis, kui nad sisaldavad rohkem informatsiooni kui staatilised pildid. Mõned uuringud näitavad animatsioonide positiivset efekti keerulistest süsteemidest arusaamisel (Mayer, 2001; Rieber, 1994). Teised samas leiavad, et positiivne tulemus puudub (Palmiter & Elkerton, 1993). Mõnede puhul on leitud isegi negatiivne efekt (Lowe, 1999, 2003). On erinevaid põhjusi miks animatsioonide abil õppimine ei ole alati tulemuslik ning Lowe (2003) on välja toonud neist kaks varianti:

1. Inimese infotöötlusprotsessid on ülekoormatud (*overwhelming*). Keeruliste animatsioonide puhul saadakse korraka liiga palju informatsiooni ja seega on õpilaste infotöötlusprotsessid üle koormatud ning õpe ei ole tulemuslik. Õpilased peavad jälgima väga keerulisi protsesse ning ekraanil on korraka liiga suur kogus informatsiooni. Kõike ei suudeta samaaegselt jälgida ning seetõttu võib protsessist tekkida vale arusaamine.
2. Inimese infotöötlusprotsessid on alakoormatud (*underwhelming*). Animatsioonid, kus on liiga lihtne visuaalne informatsioon, ei nõua õpilastelt piisavalt pingutust ning õpe ei ole tulemuslik. Õpilased teavad seda, mis neile animatsioonis näidatakse juba varem ning nad ei mõtle kaasa.

Dünaamiline visuaalne informatsioon võimaldab muuta arvutipõhist õppimist mitmel viisil, aga eriti siis, kui see on esitatud koos teiste representatsioonidega, võib see olla vaimset väga paljunõudev ning koormata õpilaste mälu. Sel juhul võivad õpilased pöörata enam tähelepanu kõige silmatorkavamatele kujutistele, mis aga ei pruugi olla selle teema õppimisel olulisemaks informatsiooniks. Järelikult õpilased ei seosta informatsiooni struktuurselt ja eesmärgipäraselt ning ei rakenda süstemaatiliselt erinevaid infoalikeid, et tekiks sidus mõttemudel (Bodemer jt., 2004).

Üheks põhjuseks, miks animatsioonid ei pruugi parandada dünaamilistest süsteemidest arusaamist on see, et nad sageli rikuvad arusaamise reeglit. See reegel ütleb, et illustratsioonid peaksid olema täpselt tajutavad ja asjakohaselt kavandatud. Animatsioonid on

tihti liiga keerulised või kiired, et neist täielikult aru saada (Tversky jt, 2002). Õppijad peavad läbi töötama palju informatsiooni, mis on hajutatud laiali üle terve ekraani ning seega on kohustatud oma tähelepanu koondama erinevatele infoallikatele. Kuna etteantud informatsioon muutub jätkuvalt ajas, siis tegelikult saab seda vaadata ainult lühikese aja jooksul. Tihti need piirangud koormavad õppija töömälu üle ning õpitulemused ei parane (Lowe, 1998).

Erinevad inimesed hindavad esituse visuaalset sisu erinevalt. See võib juhtuda ka sama isikuga erinevates olukordades või ajahetkedel. Värvide, tekstuuri, suurust või teisi tunnuseid hinnatakse erinevalt ning seetõttu saadakse ka informatsioonist erinevalt aru (Santini & Jain, 1999). See võib olla ka üheks põhjuseks, miks dünaamiliste esitluste tulemuslikkus on erinevates uuringutes erinev.

1.2. Situatiivne õpe

Situatiivne õpe on konstruktivistliku õpiteooria üheks osaks. Konstruktivistliku teooria kohaselt luuakse uusi teadmisi tuginedes õpilase varasemale informatsioonile ning tema enda tegevuse tulemusena. Situatiivse õppe puhul ei anta õpilasele ette valmisteadmisi, vaid need konstrueeritakse järk-järgult (Pata & Sarapuu, 2006). Sel juhul toimub õppimine igapäevaelulises kontekstis ning tegevused leiavad aset toimumise asukohas (Lave, 1988). Tulemuslik õppimine toimub peamiselt siis, kui informatsiooni esitatakse samas kontekstis, kus seda kasutada saab (McLellan, 1996). See on vajalik seetõttu, et inimesed õpivad sotsiaalselt ning järgivad neid ümbritseva ühiskonna käitumisreegleid. Neid imiteeritakse ka siis, kui tegevused on abstraktsed. Seega on igapäevaelu põhjal õppimine tulemuslikum (Lave & Wenger, 1991).

Vastupidiselt traditsioonilisele haridusteooriale, kus õppimine on arvatud eraldiseisvaks sotsiaalse konteksti mõjust, peaks nüüdisaegne õppimine olema seotud kohaliku sotsiaalse kontekstiga. Traditsiooniline teooria rõhutab, et õpetamine ja hindamine toimub olukordades, kus loomulik sotsiaalne taust on eemaldatud. Situatiivse õppe teooria keskendub praktilise konteksti abil saadavatest teadmistest. See teooria väidab, et õppimine on tihedalt seotud selle omandamise asjaoludega (Billett, 1996). Enamasti on koolis õppimine abstraktne ja kontekstiväline, aga situatiivses õppes on sotsiaalne suhtlemine vä-

ga oluline, sest õppijad saavad selle abil praktilise ühiskonna liikmeteks. Tavaliselt on situatsioonipõhine õppimine pigem tahtmatu kui tahtlik. Õpilased elavad läbi teatud situatsioone ning enesele teadvustamata talletavad neist vajalikku informatsiooni (Lave & Wenger, 1991).

Situatiivses õppes kasutatakse igapäevaelulisi jutukehi, milles on olulisel kohal situatiivne teadmine. Need arendavad õpetatava teema kohta teadmisi, arusaamist ja kriitilist mõtlemist (McLellan, 1996). Situatsioonipõhised teadmised on lahutamatult seotud kontekstiga ja kultuuriga, milles neid kasutatakse (Brown jt. 1989). Situatsioonipõhistes lähenemistes on situatiivne teadmine võrdsustatud kontekstist arusaamisega. Situatiivne teadmine esindab samuti kasutaja religioosset ja kultuurilist tausta ning ka identiteeti. Mõtestatud tegevus ja identiteet on inimese teadmistes kesksel kohal. Situatiivne teadmine osutab rohkemale kui kontseptuaalsele arusaamisele. See esindab õpilase isiklikke arusaamisi, uskumusi ja teadmisi konkreetses olukorras (Lave & Wenger, 1991). Situatsioonipõhist õpet kasutades kindlustatakse õppimine tegelikkusele sarnases olukorras ja tänu sellele saab omandatud teadmisi üle kanda uutesse olukordadesse (Pata & Sarapuu, 2003).

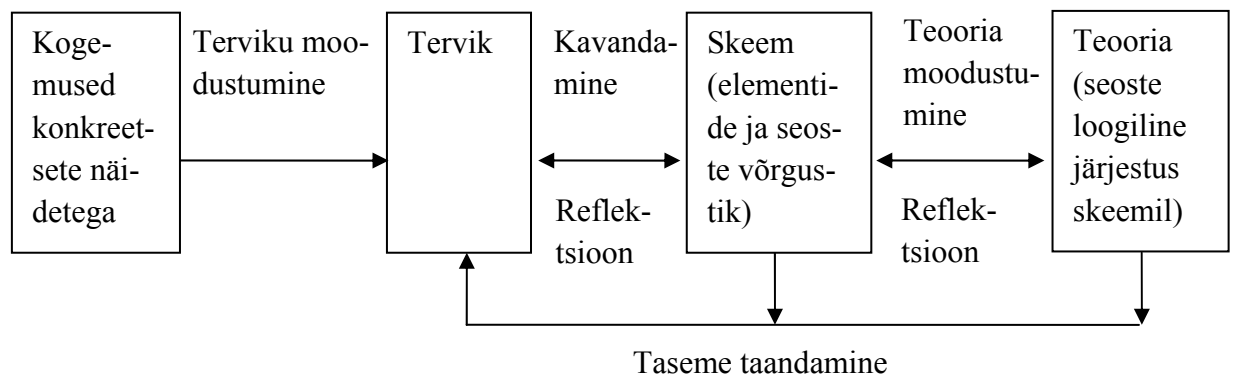
Situatiivsete probleemülesannete puhul on väga oluline see, kuidas need on koostatud. Duch, Groh ja Allen (2001) pakuvad välja juhised, kuidas moodustada igapäevaelulisi probleeme:

1. Probleemid peaksid seostuma reaalse eluga ja olema piisavalt keerulised, et õpilased hakkaksid tegema omavahel koostööd, et lahendada ülesanne.
2. Probleemid peaksid olema huvitavad või piisavalt vastuolulised, et tekitada õpilastes huvi teema vastu. Ideed probleemide kohta võivad tulla videoklippidest, uudistest, reklaamidest, uurimistöödest, ajalehtedest või igapäevaselt ettetulevatest probleemidest ühiskonnas.
3. Õpiobjektid peaksid olema kooskõlas probleemidega ja sisaldama eelteadmisi, et õpilased saaksid varemõpitu igapäevaeluliste probleemide lahendamisel rakendada.

Cobb ja Bowers (1999) väidavad, et situatiivne õpe ja kognitiivne teooria on vasturääkivad, aga see esineb ainult siis, kui nad esitavad erinevaid funktsioone. Situatiivse õppe teooria selgitab sotsiaalse õppimise rolli, aga kognitiivne teooria kirjeldab teadmisi ja

nende arengut. Korthagen ja Lagerwerf (1996) väidavad, et neid kahte on võimalik ühendada. Nad kasutasid oma töös kolmeastmelist mudelit, mis aitab luua parema arusaamise teooria ja praktika vahelisest suhtest. Autorid selgitasid teooria ja praktika seost mudeli (joon. 1) abil. Mudel jaguneb kolmeks tasemeks:

- 1) terviku tase (*gestalt level*);
- 2) skeemi tase (*schema level*);
- 3) teooria tase (*theory level*).



Joonis 1. Kolmeastmeline mudel ja sellega kaasnevad õppeprotsessid.

Korthageni (2009) uuringust selgub, et tihti ei osata traditsiooniliselt õpitud teooriat hiljem praktikas kasutada. Tegevusi ei säilitata mälus konkreetsete käitumistena, mida saaks vajalikul hetkel esitada vastavalt kontekstile. Ta selgitas oma uuringus, et tervikteadmise loomiseks peab õpilasel olema olemas varasemad kogemused koos vastavate konkreetsete näidetega. Samas ei ole see piisav, sest terviku loomiseks on õpilastel vaja osata ka moodustada skeeme ja nende võrgustikke ning samuti peab teooria olema selge. Nende tingimuste täitmisel on võimalik saada terviklik teadmine konkreetsel teemal. Ka Butterworth (1992) selgitab oma töös, et tunnetuslik skeem luuakse järjepidevalt elukogemuste põhjal. Skeemide ja nende võrgustike loomiseks on vaja elukogemust, sest seda ei saa teooriana õpetada.

Situatiivse õppe teooriat on järjest arendatud ning Brown, Collins ja Duguid (1989) rõhutavad kognitiivse õppeprotsessi (*cognitive apprenticeship*) ideed. See toetab teema õppimist, lubades õpilastel omandada, arendada ja kasutada kognitiivseid vahendeid. Õppimine nii koolis kui väljaspool kooli edeneb koostööl põhineval suhtlemisel ja sotsiaalsel teadmiste konstrueerimisel. Samuti leiavad nad, et on vaja uut õpetust teadmistest – sellist, mis rõhutab aktiivset ettekujutust mõistetest ja esitlustest.

Situatsioonipõhiste tekstide kasutamine õpetamisel on üks osa probleemõppes. Probleemõpe (*problem-based learning*) on aktiivõppe meetod, kus teadmised ja oskused omandatakse probleemülesannete lahendamise kaudu. Probleemõppes leitakse ja püstitatakse probleemid, otsitakse informatsiooni, püstitatakse hüpotees, planeeritakse katse ja viiakse see läbi ning tehakse analüüs (Bransford & Stein, 1984). Probleemõpe sarnaneb õpilaste igapäevaeluga, kuna erinevad ülesanded on kas ebapiisavate või liiga paljude andmetega ning neil puudub üks kindel lahendustee (Jonassen, 2000).

Situatiivse õppe üheks osaks on ka juhtumipõhine õpe, mis tähendab seda, et lahendatakse igapäevaelulist probleemi ning selle abil saadakse õpitavast teemast paremini aru kui lihtsalt teoreetilise ülevaate lugemisel. Samuti jääb see, mis nad ise läbi teevad õpilastele paremini meelde. Juhtumipõhises õppes peavad esitatud probleemid olema õpilastele huvitavad ning valmistama neid ette edaspidiseks eluks. Sel juhul esitatakse probleem mingi olukorra kirjeldusena. Olukordi esitavad tavaliselt omavahel suhtlevad tegelased ning alguses esitatakse probleem üldiselt ning siis liigutakse järk-järgult täpsemate andmeteni (Jonassen, 2003).

Õppimisel tõstab reaalsete probleemide kasutamine õpimotivatsiooni ning ka õpilaste aktiivsust (Zumbach, 2006). Jutukeste abil saavad õpilased õppida vajaliku informatsiooni kogumist ja otsuste tegemist läbi probleemide leidmise (Waterman, 1998). Sellist aktiivset õpilasekeskset õpet kasutades tekivad õpilastel kriitiline mõtlemine ja oskus õppida. On tehtud katseid, kuidas mõjub õpilasekeskne õppimine õpitulemustele. Chall (2000) leidis oma uurimuses, et algklassides on tulemused paremad õpetajakeskse õpetamise puhul, sest nooremad õpilased ei suuda veel oma tulemuste eest vastutada. Vanemate õpilaste puhul aga selgus, et õpilasekeskse õppimise puhul saadakse sama palju teadmisi kui õpetajakeskse õppimise puhul, aga saadakse paremini aru ning teadmised püsivad kauem meeles ning tekib ka oskus iseseisvalt õppida (Albanese, 1993; Aspi, 1993; Dods, 1996). Situatsioonipõhised tekstid aitavad neid õpilasi, kellele tekib õppimisest kergesti tüdimus ning kes ei huvitu sellest. Samuti on see kasulik neile, kes ei oska oma teadmisi igapäevaelus rakendada (Southern Illinois University, 1999).

Juhtumipõhine õpe on hästi välja kujunenud õppemeetod. Kui praktiseeritakse juhtumipõhist õpet, siis on kaks olulist probleemi, millele on vaja lahendus leida. (Feltovich jt., 1996): esimeseks probleemiks oleks see, kuidas aidata õpilastel vältida väärarusaamade

tekkimist materjali üleliia lihtsustamata. Õpilased peavad töötama läbi mitmed juhtumid, et arendada sügavamast teemast arusaamist (teemakohased reeglid, mõisted, põhimõtted). Seeläbi oskavad õpilased hiljem kasutada neid teadmisi ka väljaspool läbiõpitud juhtumeid. Teiseks on „teadmiste ülekande probleem”, ehk kuidas toetada õpilasi, et nad oskaksid kasutada oma teadmisi uutes situatsioonides. Õpilased tavaliselt ei mäleta õigeid juhtumeid, millele rajada oma argumendid. Kui teadmine on edukalt üle kantud, siis õpilasi peab toetama, et nad suudaksid meenutada olulisi juhtumeid suutmaks arutleda uutes probleemsituatsioonides. Demetriadis (2008) on õpilaste juhtumite lahendamisel toonud välja kolm astet:

1. Esimene aste on tajuprotsess, kus õpilased peavad tuvastama olulise juhtumipõhise informatsiooni ja leidma lahenduse situatsioonile. Kogu informatsioon ei ole alati oluline ning ei vii lahenduseni. See eeldab õpilastelt tähelepanelikku vaatlust.
2. Teine aste on meenutamisprotsess, kus õpilased peavad seostama esimese astme informatsiooni juba varem õpitud juhtumitest saadava sarnase või olulise informatsiooniga. Õpilased meenutavad juba püsivalt olevat informatsiooni.
3. Kolmas aste on arutlusprotsess, kus õpilased peavad arutlema ja tegema kokkuvõtteid tuginedes eelnevatele läbitud astmetele, soovitatavalt leides lahendus arvestades praktilist väärtust.

Nende astmete abil on võimalik õppijatele suunavaid küsimusi esitada. Esitades õpilastele küsimusi aste-astmelt, siis aktiveeruvad õpilaste kognitiivsed protsessid ning seetõttu on juhtumipõhine õpe efektiivne. Suunavate küsimusteta ei suuda õpilased neid protsesse sama hästi aktiveerida. Õpilasi saab suunata, et nad mõtleksid probleemide üle ja rakendaksid seeläbi kognitiivset aktiivsust, mis on oluline, et saada teemast sügavam arusaamine ning saadavat informatsiooni uutesse olukordadesse üle kanda (Demetriadis jt., 2008).

Huitt (1992) on uurinud õpilaste erinevaid isikuomadusi ning kuidas erinevad inimesed lahendavad probleeme. Huitt (1992) jagab inimesed tunnetuse järgi kaheksaks tüübiks ning on välja toonud ka kõigi tüüpide orientatsiooni, lahenduse efektsuse, tehnika ja tugevused. Õpilaste isikuomadused probleemide lahendamisel on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Õpilase erinevad isikuomadused probleemide lahendamisel (Huitt, 1992).

Õpilase tunnetus	Orientatsioon	Efektsuse üle otsustamine	Tehnikad	Tugevused
Ekstravert	väline maailm	räägib probleemist gruppitöös, töötab reaalses maailmas	ajurünnak, kõvahäälne mõtlemine, psühholoogiline tulem	tegelemine välise reaalsusega, teiste kuulamine
Introvert	sisemine maailm	sisemine loogika, väärtuslikud ideed, tahab probleemi üle mõelda	individuaalne ajurünnak, inkubatsioon	tegelemine sisemiste terviklike lahendustega
Tundlik	faktid ja detailid minevikust ja olevikust	isiklik kogemus, lahenduste praktilisus, põhineb standarditele	jagab personaalseid väärtusi, ideid, fakte, ülekoormus, induktiivne arutlus, juhuslik sõnaoskus	tegelemine detailidega: mis võib minna valesti? konkreetset sammud lahenduseni
Intuiitiivne	mõisted ja seadused, tulevikuvõimalused	faktide ja detailide mõtestatus, lahendused arvestavad üldist situatsiooni, originaalsus	klassifitseerib, kategoriseerib, deduktiivne arutlus, võistlushimu, visuaaliseerimine, sünteesimine	näeb seoseid, loob keerukaid lahendusi, viitab ebasobivatele lahendustele
Mõtlev	objektiivsus, loogika ja arukus	lahendused on mõistlikud, põhinevad faktidel, mudelitel, reeglitel.	klassifitseerib, kategoriseerib, analüüsib, seoseline analüüs, ülesande analüüs	tegeleb sisemiste ja välimiste tervikutega, soovib saavutada efektiivsust
Emotsionaalne	subjektiivne, väärtused ja mõjud	lahendused arvestavad mõju teistele inimestele	jagab personaalseid väärtusi, arvestab teiste väärtusi	hindab mõju teistele, arvestab teiste osalejate väärtusi
Otsustav	organiseeriv struktuur ja kokkuvõte	teeb otsuseid, lahendused on teostatavad, samm-sammuline lahendus	hindamine, tagantjärele planeerimine, valib ainsa lahenduse	leiab võimalikud vead, järgib konkreetseid samme, efektiivsus

Tajuv	informatsiooni kogumine, töötleb lahendusi	lahendused on plastilised ja kohandatavad, nendes on piisavalt informatsiooni, alternatiivsed lahendused	ajurünnak, juhuslik sõnakasutus, provokatsioon, võtab üle teiste vaa- ted	loob keerukaid lahendusi, paindlikkus
--------------	--	--	--	---------------------------------------

Erinevatel inimestel on probleemide lahendamisel erisugused tugevused. Seda on võimalik näha ka kooliõpilaste puhul: mõned kuulavad teisi ja teevad oma otsused kuuldu põhjal, teised aga lülitavad välise maailma välja ning keskenduvad vaid oma ideedele. Samuti on õpilasi, kes tegelevad vaid detailidega või ainult tervikuga, ignoreerides detaile. Paljud leiavad ühe lahenduse ning kriitiliselt üle vaatamata esitavadki selle, kuid mõned pakuvad mitu lahendust ning analüüsivad need läbi. Kui koolis kasutada õppimisel probleemide lahendamist, tuleks arvestada õpilaste tüüpe ja nende tugevaid külgi (Huitt, 1992).

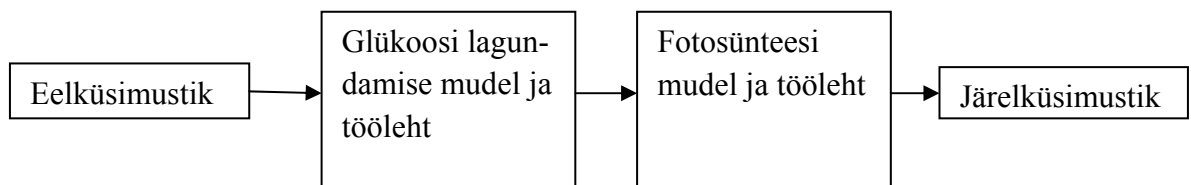
2. Materjalid ja meetodika

Vastavalt töö eesmärkidele moodustati 11. klassi õpilastest koosnev valim ning viidi läbi eksperiment, kus rakendati veebipõhise õpikeskkonna „Rakumaailm“ fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid. Mudelitega koos kasutati töölehti, mis aitasid õpilaste mudelitega tööd organiseerida. Uuringu jaoks vajalike andmete kogumiseks koostati eel- ja järelküsimumstikud.

2.1. Uuringu ülesehitus

2009. aasta lõpus ja 2010. aasta alguses viidi Eesti koolide 11. klassi õpilastega läbi eksperiment, milles rakendati kahte veebipõhist mudelit: fotosünteesi ja glükoosi lagundamine.

Uuring viidi läbi neljas osas (joon. 2): 1) eelküsimumstiku täitmine, 2) tund arvutiklassis fotosünteesi mudeliga, 3) tund arvutiklassis glükoosi lagundamise mudeliga, 4) järelküsimumstikule vastamine. Eksperiment toimus erinevates koolides eri aegadel. Teemad läbiti enne uuringu teostamist ning seetõttu olid mudelid sobivad kordamiseks.



Joonis 2. Uuringu kavand.

Uuringu esimeses osas kontrolliti eelküsimumstiku abil õpilaste esialgset arusaamist fotosünteesist ja glükoosi lagundamisest. Eelküsimumstikule vastasid õpilased individuaalselt ning aega kulus selleks keskmiselt 15-20 minutit.

Uuringu teises osas toimus ainetund arvutiklassis, kus õpilased kasutasid fotosünteesi mudelit ning täitsid samal ajal ka vastavat töölehte. Uuringus osalejad rakendasid mudeleid kolmes variandis – selleks kulus aega ligikaudu 40 minutit.

Uuringu kolmandas osas toimus samuti ainetund arvutiklassis, aga seekord rakendasid õpilased glükoosi lagundamise mudelit koos vastava töölehega. Mudelis kasutati kolme varianti.

Arvutikassi tundidele järgnevas ainetunnis vastasid uuringus osalejad järelküsimumstikule, mis kontrollis fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudelite rakendamise mõju arusaamisele käsitletavatest protsessidest. Järelküsimumstiku täitmiseks kulus uuringus osalejatel keskmiselt 15-20 minutit.

2.2. Valim

Uuringute läbiviimiseks on võimalik kasutada kahte tüüpi valimeid – tõenäosuslikke ning mittetõenäosuslikke. Magistritöö põhjuuringuks vajalike andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim, mis kuulub mittetõenäosuslike hulka (nt. Cohen jt., 2007). Valimisse kuulus esialgselt 300 õpilast Eesti 7 gümnaasiumi 11. klassidest. Andmed koguti 2009. aasta lõpus ja 2010. aasta alguses. Lõplikku valimisse kuulus 194 õpilast (tabel 2), kes olid täitnud nii eel- kui ka järelküsimumstiku ning osalenud mõlemas arvutitunnis.

Tabel 2. Uuringu valimisse kuulunud koolid.

Kooli nimi	Klass	Õpilaste arv
Luunja Keskkool	11	18
Tartu Kivilinna Gümnaasium	11C	18
Põlva Ühisgümnaasium	11A, 11B	39
Tartu Tamme Gümnaasium	11B	23
Ülenurme Ühisgümnaasium	11A, 11B	33
Tartu Descartes'i Lütseum	11A, 11B	33
Tartu Kommertsgümnaasium	11A, 11B	30
Kokku		194

2.3. Õpikeskkond

Veebipõhine õpikeskkond „Rakumaailm” (<http://bio.edu.ee/mudelid>) on loodud Tartu Ülikooli loodusteadusliku hariduse keskuses. Keskkonnas on 10 bioloogilise protsessi mudelit: glükoosi lagundamine, fotosüntees, DNA süntees, geenide avaldumine, RNA süntees, valgu süntees, geneetiline kood, lihasraku kokkutõmbumine ja sünap. Mudelitel näevad õpilased protsessi kulgu, nendes osalevate molekulide ja rakuosade vahelisi seoseid ning nendega toimuvaid muutusi. Kõigil mudelitel on neli erinevat kasutusvarianti. Kahes esimeses on lahendajate ülesandeks protsessi toimumiseks lisada vajalikke molekule või rakuosi. Kahes viimases variandis tuleb protsessil teistsuguse tulemuse saamiseks muuta tingimusi. Variandi valimiseks otsitakse soovitud ülesande number ning klõpsatakse nupul „Kinnita”. Molekule saab hoidlast töölauale lohistada paremat hiireklahvi all hoides. Seejärel tuleb protsessi toimumiseks klikkida ikoonil „Edasi”. Protsessi lõppedes ilmub ekraanile tulemus. Kui õpilane viib töölauale vale molekuli, siis annab arvuti veateate ning palub molekuli tagasi hoidlasse lohistada ning tuua õige.

Mudeliga töötamist abistavad teoorialeht ja kasutusjuhend. Teoorialehte saab lugeda klõpsates ikoonil „Teooria”. Seal on protsessi toimumise kohta informatsioon, mis annab õpilasele vajalikud eelteadmised mudeli kasutamiseks, kuid ei selgita molekulidevahelisi seoseid. Teoorialehel on selgitav tekst ning pilt, mis aitab õpilastel animatsioonis kujutatud objektidest aru saada.

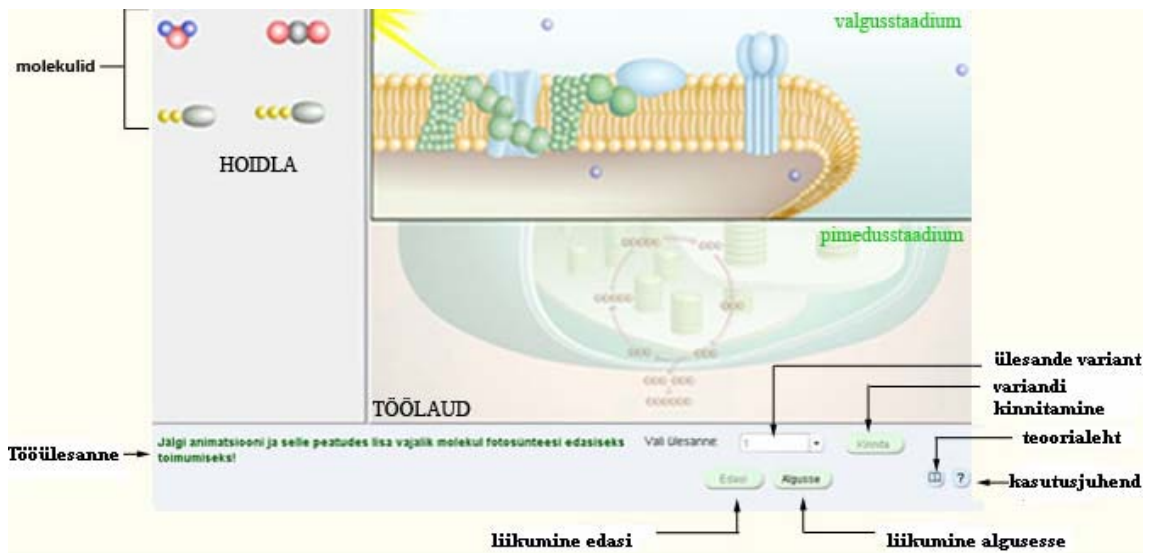
Kasutusjuhend on erinevate mudelite ja variantide jaoks erinev ning seda on võimalik lugeda klõpsates ikoonil „Abi”. See annab täpsed juhised konkreetse mudeli ja variandi kasutamise kohta.

Õpikeskkond „Rakumaailm“ koosneb kolmest osast: õpilase- ja õpetajakeskkonnast ning administraatorikeskkonnast. Õpetaja saab keskkonda registreerides määrata oma õpilastele lahendamiseks kindla ülesande variandi ja -tüübi. Õpilased saavad koodi ning seda sisestades salvestatakse nende mudelitega tehtud operatsioonid ja tulemused. Siis saab õpetaja soovi korral neid hinnata. Õpilastel on võimalik mudeleid täita ka koodi lisamata ning sel juhul nende operatsioonid ei salvestu andmebaasi. Sellist keskkonda kasutatakse ka käesolevas töös. Lisaks on veel administraatorikeskkond, kus haldaja saab läbi viia vajalikke muutusi.

Käesolevas uuringus kasutati õpikeskkonna „Rakumaailm” fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid.

2.3.1. Fotosünteesi mudel

Fotosünteesi mudeliga (joon. 3) saab õpilane uurida, mil viisil salvestavad rohelised taimed valgusenergia suhkru molekulidesse ning millest sõltub protsessi tulemuslikkus. Täpsemalt näidatakse protsessi toimumist ja selles osalevate molekulide liikumist ning erinevate keskkonnatingimuste mõju fotosünteesi intensiivsusele. Animatsioonis on kuvapilt jagatud kaheks. Ekraani vasakul pool on hoidla, kust vajalikud molekulid viiakse ekraani paremal pool asuvale töölauale. Akna alaosas on esitatud töökorraldus.



Joonis 3. Fotosünteesi mudeli kuvapilt.

Uuringus kasutasid õpilased fotosünteesi mudeli 2., 3., ja 4. varianti. Teist varianti kasutati seetõttu, et fotosünteesi teema oli õpilastel eelnevalt läbitud ning selles tuli teha rohkem operatsioone kui esimeses variandis. Kõigepealt on ekraanil kujutatud valgusstaadiumit. Seal näidatakse rakukesta koos klorofüllil molekulidega ning ensüümidega. Molekulide hoidlas on H_2O , CO_2 , ADP, ATP, NAD ja $NADPH_2$. Töölauale tuleb lisada nendest neli molekuli õiges järjekorras. Protsessi alustamiseks on vaja lisada vee molekul ning seejärel klõpsata ikoonil „Edasi“, protsessi seiskudes tuleb lisada NADP molekul. Järgnevalt peavad õpilased protsessi jätkumiseks valida ADP molekul ning pimedusstaadiumi alguses veel CO_2 molekul.

Kolmandas variandis tuleb kõigepealt vaadata läbi animatsioon ning seejärel muuta üht keskkonnatingimust, et fotosünteesi toimumine kiireneks. Kolmandas ja neljandas variandis on mudelil ülal vasakul valikmenüü keskkonnateguritega. Kõik tingimused on algseisus keskmisel tasemel. Temperatuur on algselt 30 °C. Samuti saab muuta vee, valguse ja CO₂ hulka. Esmalt on õpilastel vaja klõpsata nupul „Start”. Seejärel näevad nad animatsiooni toimumist keskmiste tasemetega keskkonnategurite mõjul. Kui animatsioon peatub, peavad õpilased muutma üht tegurit ning klõpsama nupul „Edasi”. Õpilased peavad fotosünteesi kiiremaks muutmisel tõstma vee, valguse, CO₂ või temperatuuri taset. Kui temperatuuri tõstetakse 50 °C, siis animatsioon peatub, sest see temperatuur on fotosünteesi toimumiseks liiga kõrge. Keskkonnategurite all esitatakse algne aeg, mis näitab, kui kiiresti toimub protsess mudeli kõigi tegurite keskmisel tasemel. Algse aja all on näha ka uus aeg. See näitab kiirust, mis oli protsessil pärast ühe tingimuse muutmist.

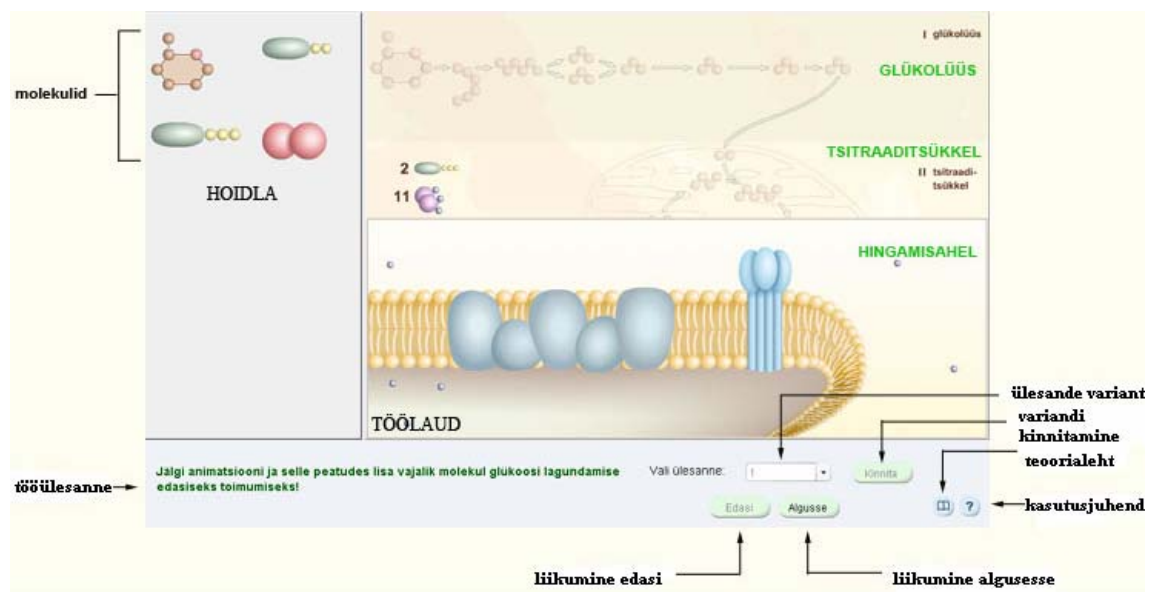
Neljandas variandis tuleb vaadata animatsiooni ja muuta üht keskkonnatingimust, et fotosünteesi toimumine aeglustuks. Selleks peab vähendama vee, valguse, süsihappegaasi või temperatuuri taset.

Mudelis on võimalik protsessis osalevaid komponente eristada selle järgi, kas õpilased neid liigutavad või mitte. Neid, mida õpilane mudelis liigutab nimetatakse opereeritavateks komponentideks ja neid, mida õpilane liigutada ei saa, mitteopereeritavateks. Opereeritavateks komponentideks on fotosünteesi mudelis süsihappegaasi, vee ja ADP molekulid. Mitteopereeritavateks on hapniku, ATP ja NADPH₂ molekulid, elektronid ning suhkru molekulid.

2.3.2. Glükoosi lagundamise mudel

Glükoosi lagundamise mudeliga (joon. 4) saab õpilane uurida, kuidas glükoosi molekulides sisalduv energia salvestatakse ATP molekulidesse ning miks eri tingimustes saadakse sama glükoosi koguse juures kord rohkem, kord vähem ATP molekule. Õpilased näevad ka protsessi toimumist ning selles osalevate molekulide liikumist. Samuti saab leida keskkonnatingimusi, mis muudavad glükoosi lagundamise kiirust.

Uuringus kasutasid õpilased 2., 3. ja 4. varianti. Teises variandis tuleb glükoosi lagunemise toimumiseks lisada töölauale järk-järgult vajalikke molekule. Hoidlas on valida kaheksa eri molekuli vahel: $C_2H_{12}O_6$, ADP ja ATP, O_2 , CO_2 , H_2O , NAD ja $NADH_2$. Protsessi toimumiseks on neist vaja lisada neli molekuli õiges järjekorras. Protsessi alustamiseks peavad õpilastel hoidlast töölauale lohistama glükoosi molekuli. Protsessi peatudes tuleb lisada NAD ning seejärel ADP. Hingamisahela alguses on õpilastel vaja viia töölauale hapniku molekul.



Joonis 4. Glükoosi lagundamise mudeli kuvapilt.

Kolmanda ja neljanda variandi korral asus hoidla asemel valikmenüü nelja teguriga: glükoos, hapnik, ATP ja temperatuur. Kõik tegurid on algselt keskmisel tasemel. Temperatuur on esialgu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teiste korral on kujutatud skaala, kus teguri taset on võimalik tõsta ja langetada. Kolmandas variandis tuleb muuta üht tegurit, et glükoosi lagunemine kiireneks. Õpilased saavad selleks vähendada ATP hulka, lisada glükoosi või tõsta temperatuuri. Glükoosi lagunemise mudelis saavad õpilased opereerida glükoosi, NAD, ADP ja hapniku molekulidega. Mitteopereeritavateks komponentideks on süsihappegaasi ja $NADH_2$ molekulid, erinevad suhkrud ning vesiniku ja süsiniku aatomid.

Neljandas variandis on vaja üht tingimust muuta nii, et toimuks ainult anaeroobne glükolüüs. Selleks peavad õpilastel vähendama hapniku hulka.

2.4. Töölehed

Käesolevas uuringus kasutati mudelitega töötamiseks fotosünteesi (lisa 1) ja glükoosi lagundamise (lisa 2) teemalisi töölehti. Mõlemad töölehed koosnesid viiest osast. Esimene oli õpilasel vaja märkida oma isikuandmed, sellele järgnes sissejuhatus. Edasi olid lehel tööülesanded mudeli rakendamiseks ning nendega seotud sisulised küsimused. Viimases osas pidid õpilased lahendama probleemülesandeid.

Tööleht on vajalik õpilase töö organiseerimiseks. Oluliseks osaks arvutiga õppimisel on korrektsete juhiste andmine (Dalgarno, 2001). Seetõttu on ka käesolevas uuringus kasutatavad töölehed koostatud nii, et õpilased saaksid iseseisvalt töötada. Enne mudelite kasutamist paluti õpilasel läbi lugeda teoorialeht ja mudeli kasutusjuhend.

Mõlemal töölehel oli kokku 37 küsimust, 33 ülesannet oli esitatud lünktekstina ning vastuseid oli võimalik leida mudelit jälgides. Samuti pidid õpilased töölehele märkima, millise molekuli nad mudelis protsessi toimumiseks valisid ning mitmendal korral nad seda õigesti tegid. Kahe küsimuse puhul (9. ja 13. fotosünteesi töölehel ning 7. ja 10. glükoosi lagundamise töölehel) tuli kirjutada ka molekuliga toimunud reaktsioonivõrrand. Mõlemal töölehel oli ülesanne, milles paluti mudelis protsessi kiirendada ning seejärel töölehele märkida protsessi algne aeg ning uus aeg. Fotosünteesi mudelis tuli õpilastel protsessi aeglustada. Töölehele pidid nad kirjutama, milliseid tegureid muudeti ning protsessi toimumise ajad. Glükoosi lagundamise mudelis oli õpilastel vaja muuta aeroobne glükolüüs anaeroobseks. Töölehele tuli neil märkida, mis tegurit nad muutsid ning täita lünktekst anaeroobse glükolüüsi toimumise kohta. Õppimisel tõstab reaalsete probleemide kasutamine õpimotivatsiooni ning ka õpilaste aktiivsust (Zumbach, 2006). Lahendades igapäevaelulist probleemi saadakse õpitavast teemast paremini aru (Jonassen, 2003). Seetõttu olid töölehtede lõpus igapäevaelulised jutukesed koos probleemülesannetega (küsimused 34, 35, 36, 37).

2.5. Kirjalikud küsimustikud

Kirjalikud küsimustikud on sotsiaalteadustes laialdaselt rakendatav instrument uurimuse andmete kogumiseks (nt. Cohen jt., 2007). Käesolevas töös kasutatakse uurimisküsi-

mustele vastuste leidmiseks eel- (lisa 3) ja järelküsimustikke (lisa 4). Eelküsimustikuga selgitati õpilaste esialgset arusaamist käsitletavatest protsessidest, järelküsimustikuga aga uuriti mudelite ja töölehtedega tunni tulemuslikkust.

Eelküsimustik koosnes 21 küsimusest. Selles oli lünktekstina esitatud 17 ülesannet ning 4 igapäevaelulist vabavastuselist küsimust. Lünktekst oli protsesside komponentide funktsioonide ja mõjutegurite kohta.

Järelküsimustikus oli samuti 21 ülesannet, millest 17 olid esitatud lünktekstina ning neli olid vabavastuselised. Küsimustikud olid ülesannete osas identsed, aga järelküsimustikus oli muudetud küsimuste järjekorda ning igapäevaelulistes probleemides situatsiooni kirjeldust. Eel- ja järelküsimustike vastuste võrdlus võimaldas hinnata õpilaste arusaamise arengut veebipõhiste mudelite ja vastavate töölehtede rakendamise tulemusena.

Esimese uurimisküsimusega sooviti leida, mil määral paraneb 11. klassi õpilaste arusaamine glükoosi lagundamisel ja fotosünteesil osalevate komponentide funktsioonidest ja protsesse mõjutatavatest teguritest rakendades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega. Fotosünteesi komponentide funktsioonidest arusaamise kohta andsid vastuse küsimused 3 (1) (sulgudes on märgitud lünkteksti lünga number), 5 (2), 9 (1), 9 (2) ja 12. Fotosünteesi mõjutegureid leiti küsimustega 7 ja 17 ning glükoosi lagundamise komponentide funktsioonidest arusaamist kontrollisid 6 (2), 6 (3), 10 (1), 10 (2) ja 13. Glükoosi lagundamise mõjutegureid uuriti küsimustega 8 ja 16.

Teise uurimisküsimusega taheti leida, kuidas areneb õpilaste fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskus mudelite ja töölehtede kasutamise tulemusena. Fotosünteesi igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskust kontrolliti küsimustega 18 ja 20 ning glükoosi lagundamise puhul küsimustega 19 ja 21.

Kolmanda uurimisküsimusega taheti teada, mil määral arendab mudelil molekulidega opereerimine õpilaste arusaamist molekulide funktsioonidest bioloogilistes protsessides. Sellele leiti vastus uurides töölehtedel ja järelküsimustikus opereeritavaid ja mitteopereeritavaid komponente (vt. ptk. 2.3.1.). Fotosünteesi töölehel uuriti opereeritavaid komponente küsimustega 5, 13 (2), 19 (1) ning glükoosi lagundamise töölehel 7, 10, 20. Mitteopereeritavate komponentide kohta käisid fotosünteesi töölehel küsimused 3, 4, 6

(2), 20, 21, 22 ning glükoosi lagundamise puhul 4, 11, 12 (1), 13, 14. Järelküsimumustikus käsitleti glükoosi lagundamise mudelis opereeritavaid molekule küsimustega 14 (3), 16 (2), 18 ning mitteopereeritavaid 2, 7 (2), 14 (1), 14 (2), 20. Fotosünteesi mudelis opereeritavaid molekule uuriti järelküsimumustikus küsimustega 3 (1), 5 (1), 16 (2) ning mitteopereeritavaid 3 (2), 3 (3), 10, 11 (1), 13 (1), 15.

2.6. Andmeanalüüs

Eel- ja järelküsimumustike vastused ning töölehtede vastused kodeeriti ning kanti *MS Excel* 2009 tabelisse. Eelküsimumustikus olevad ülesanded 1-17 eeldasid lünga täitmist. Nende küsimuste analüüsil kodeeriti vastused järgnevalt: 0 – vastus vale või puudus, 1 – vastus õige. Eelküsimumustiku ülesanded 18-21 olid situatsioonipõhised. Nende puhul tuli nimetada sobivaid tegureid. Nende puhul anti iga õige teguri eest 1 punkt. Töölehtedel kodeeriti operatsiooni õigsuse kohta käivad küsimused vastavalt sellele mitmendal korral õige molekul valiti (nt. 1 – esimesel korral õigesti, 2 – teisel korral õigesti jne.). Töölehtedel olevad lünktekstina esitatud ning igapäevaelulised ülesanded kodeeriti järgnevalt: 0 – vastus vale või puudus, 1 – vastus õige.

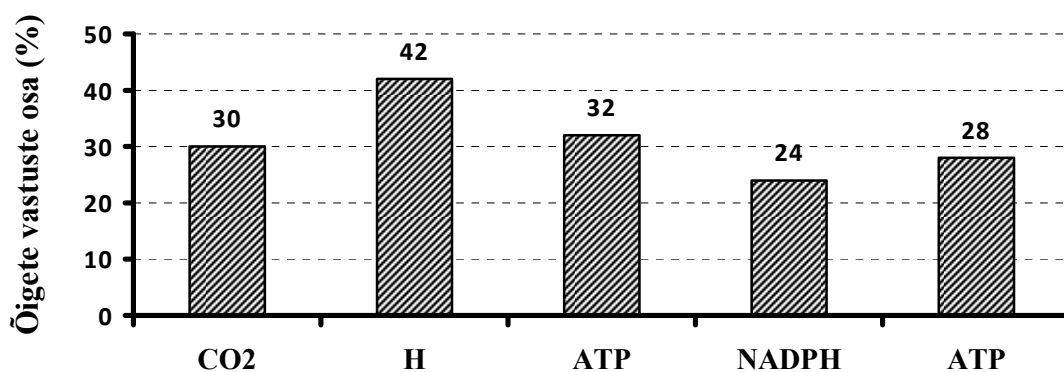
Andmete edasiseks analüüsiks kasutati statistikaprogrammi SPSS 18 (*Statistical Package of Social Studies*) *Wilcoxon signed-ranks* testi ning *Spearman's rho* korrelatsioonianalüüsi. *Wilcoxon signed ranks* testiga sooviti hinnata õpilaste arusaamade arengut arvutimudelite ja töölehtede rakendamise tulemusena. *Wilcoxon signed-rank* test kasutatakse kahe sõltuva valimi võrdlemiseks (SPSS, 2009). *Spearman's rho* korrelatsioonianalüüsiga leiti seoseid opereeritavate ja mitteopereeritavate komponentide vahel töölehtedel ning järelküsimumustikus. Mitteparameetrilist statistikat kasutati seetõttu, et tunnuste väärtused ei vastanud normaaljaotusele (nt. George & Mallery, 2001; Howitt & Cramer, 2005).

3. Tulemused ja arutelu

Käesoleva magistritöö eesmärkide saavutamiseks rakendati kirjalikke eel- (lisa 3) ja järelküsimumustikke (lisa 4) ning veebipõhiseid fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid koos töölehtedega. Saadud andmed võimaldasid selgitada õpilaste arusaamist fotosünteesil ja glükoosi lagundamisel osalevate komponentide funktsioonidest ja mõjuteguritest, hinnata igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskust ning uurida õpilaste arusaamist protsessides osalevatest õpiobjektidest.

3.2. Õpilaste eelteadmised

Selleks, et selgitada uuringus osalenud 11. klassi õpilaste esialgset arusaamist fotosünteesi ja glükoosi lagundamise protsessides osalevate komponentide funktsioonidest ja mõjuteguritest, analüüsiti eelküsimumustiku (lisa 3) vastuseid (vt. ptk. 2.5.). Esmalt vaadeldi õpilaste eelteadmisi fotosünteesis osalevate komponentide funktsioonide osas, tulemused on esitatud joonisel 5.

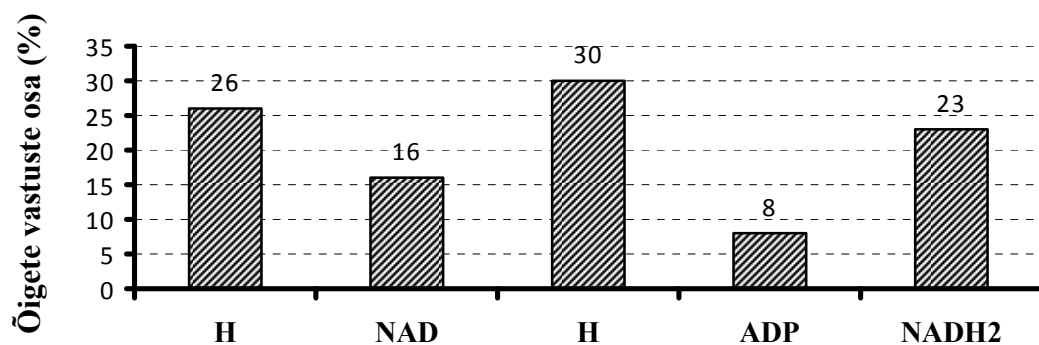


Joonis 5. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa fotosünteesi komponentide funktsioone käsitlevatele küsimustele eelküsimumustikus.

Tulemustest nähtub, et eelküsimumustikus teati algselt kõige paremini fotosünteesi puhul vesiniku funktsiooni (õigesti vastas 42%). Selle põhjuseks võis olla see, et õpikus on vesiniku funktsiooni rõhutatud ning ka keemilise reaktsiooni abil näidatud ning õpilastele oli see hästi meelde jäänud. Samuti vastati hästi ATP kohta käivale küsimusele (õi-

gesti vastas 32%). Kõige halvemini teati NADPH funktsiooni (24%). Siin võis mitte-teadmise põhjuseks olla see, et õpilased ei olnud õppimisel fotosüsteemides toimuvat oluliseks pidanud või oli see neile liialt abstraktne. Kehvemini vastati ka ATP kohta käivale teisele küsimusele (28%), kus oli vaja nimetada fotosünteesi pimedusstaadiumi peamist energiaallikat.

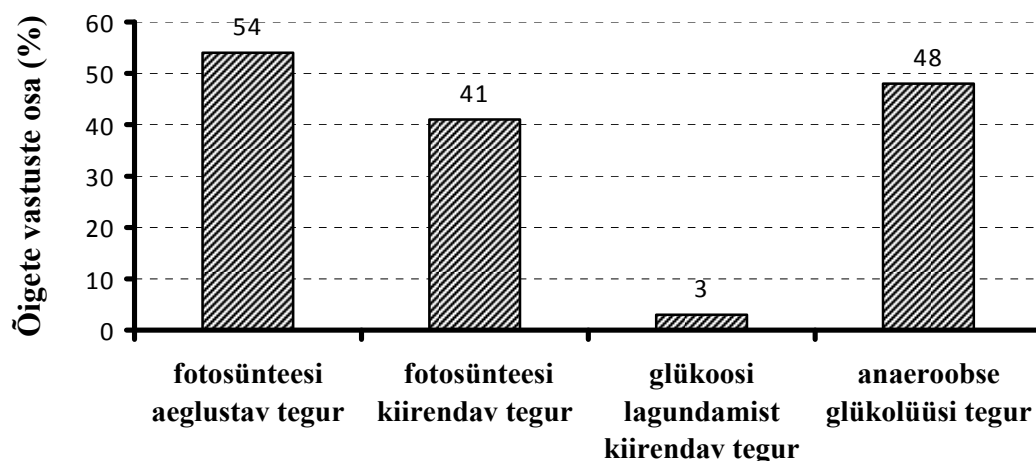
Järgnevalt uuriti algset arusaamist glükoosi lagundamises osalevate komponentide funktsioonidest (joon. 6).



Joonis 6. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa glükoosi lagundamise komponentide funktsioone käsitlevatele küsimustele eelküsimustikus.

Tulemustest selgus, et glükoosi lagundamise komponentide funktsioonidest teati eelküsimustikus kõige halvemini ADP molekuli (õigesti vastas 8%). Õpilaste kehvad teadmised ADP funktsioonist võisid olla põhjustatud sellest, et info ADP kohta on õpikus esitatud lisatekstina, mida ei peeta enamasti oluliseks. Ainult 16% õpilastest vastas õigesti NAD molekuli kohta käivale küsimusele. Vesiniku kohta käivale küsimusele vastas õigesti 30% õpilastest ning see oli ka kõige parem tulemus. Seda, et vesiniku ionide energia salvestub ATP molekulidesse, teadsid õpilased arvatavasti seetõttu, et õpikus on see joonise abil selgitatud.

Seejärel uuriti õpilaste algset arusaamist glükoosi lagundamist ja fotosünteesi mõjutavatest teguritest (joon. 7).



Joonis 7. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa glükoosi lagundamise ja fotosünteesi mõjutegureid käsitlevatele küsimustele eelküsimumustikus.

Kõige paremini osati nimetada eelküsimumustikus fotosünteesi kiirendavaid mõjutegureid (õigesti vastas 54%), glükoosi lagundamist kiirendavat mõjutegurit teadis vaid 3% õpilastest. Fotosünteesi mõjutegureid õpiti algselt juba seitsmendas klassis ning arvatavasti seetõttu olid õpilased nendele küsimustele võimelised paremini vastama kui glükoosi lagundamise puhul.

Eelküsimumustiku 18., 19., 20. ja 21. küsimus olid vabavastuselised ja põhinesid igapäeva-elulistel probleemidel (lisa 3). Nende analüüsil hinnati õpilaste õigete vastuste elementide arvu (vt. ptk. 2.6.). Maksimaalselt oli võimalik 20. küsimuse vastuse eest saada 3 punkti, 18. ja 21. eest 1 punkt ning 19. küsimuse eest 2 punkti. Tulemused on esitatud tabelis 3.

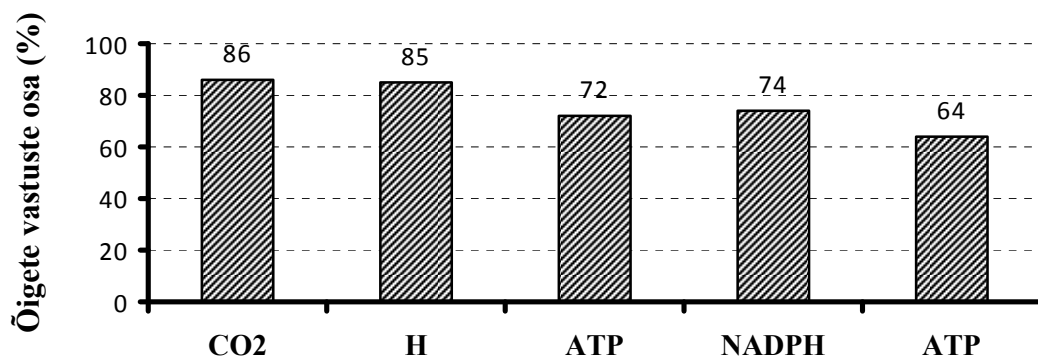
Tabel 3. Bioloogiliste protsesside mõjutegurite loetlemine eelküsimumustiku igapäeva-elulistest probleemülesannetes.

Protsess (küsimuse nr.)	Tegurite maksimaalne arv	Õigete vastuste keskmine	Õigete vastuste %
Fotosüntees (18)	1	0,7	74
Fotosüntees (20)	3	1,0	31
Glükoosi lagundamine (19)	2	0,5	27
Glükoosi lagundamine (21)	1	0,3	28

Tulemustest nähtub, et kõige paremini lahendati fotosünteesiga seotud igapäevaelulist probleemi, kus lahendus seisnes vee lisamises (õigesti vastas 74%). Sellele vastati hästi arvatavasti seetõttu, et uuringus osalejad olid kokku puutunud veepuuduses olevate taimedega ning oskasid seoseid luua. Kõige halvemini lahendati eelküsimumstikus glükoosi lagundamise igapäevaelulist probleemi, kus lahenduseks oli glükoosi sisaldava toidu või vedeliku tarbimine. Sellele küsimusele vastas õigesti vaid 27% õpilastest. Õpilased ei lahendanud seda ülesannet hästi arvatavasti seetõttu, et nad ei loonud seoseid glükoosi ja energiasaamise vahel, vaid arvasid, et spordis heade tulemuste saamisel on oluline ainult treenitus. Fotosünteesi teisele probleemküsimusele vastates oli võimalik saada maksimaalselt kolm punkti. Õpilased tõid selle küsimuse vastuseks keskmiselt 1,0 tegurit. Kõige rohkem pakkusid õpilased lahenduseks vee lisamist – arvatavasti oli see tingitud õpilaste eelnevatest kogemustest.

3.3. Järeلكüsimustiku vastused

Õpilaste kirjalike järeلكüsimustike (lisa 4) vastuste analüüsiga (vt. ptk. 2.5.) sooviti saada ülevaadet veebipõhiste mudelite ja töölehtede rakendamise tulemuslikkusest 11. klassi õpilastel. Esmalt vaadeldi arusaamist fotosünteesil osalevate komponentide funktsioonidest (joon. 8).

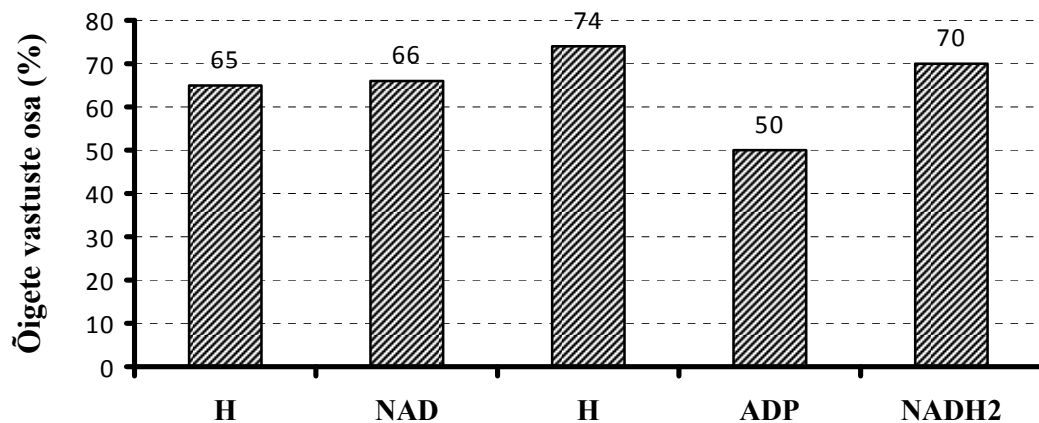


Joonis 8. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa fotosünteesi komponentide funktsioone käsitlevatele küsimustele järeلكüsimustikus.

Kõige paremini vastati fotosünteesi komponentide funktsioonidest CO₂ (õigesti vastati 86%). Mudelis oli võimalik CO₂ molekuli pimedusstaadiumi reaktsioonidesse lisada

ning arvatavasti seeläbi jäi see õpilastele paremini meelde. Hästi osati vastata ka vesiniku ionide lisandumise küsimusele – seda teadis 85% õpilastest. Halvasti leiti lahendus ATP funktsiooni kohta käivale küsimusele (64%). Mudelis ei olnud õpilastel võimalik ise ATP molekuli liigutada ning see võis ka tingida kehva tulemuse.

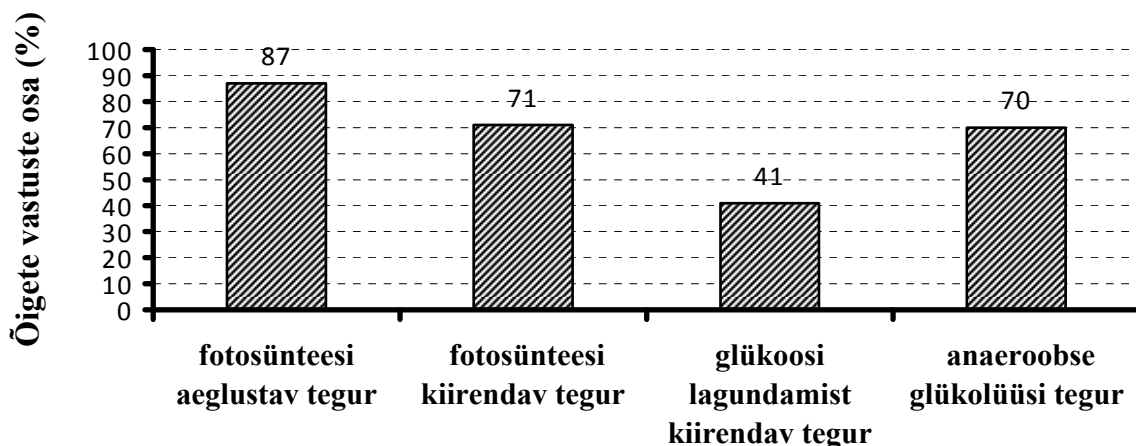
Seejärel uuriti õpilaste arusaamist glükoosi lagundamisel osalevate komponentide funktsioonidest (joon. 9).



Joonis 9. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa glükoosi lagundamise komponentide funktsioone käsitlevatele küsimustele järelküsimustikus.

Uurides glükoosi lagundamise komponentide funktsioone ilmnes, et 74% õpilastest vastas vesiniku lisandumise kohta käivale küsimusele õigesti. 10. küsimuse teist lünka, mis uuris NADH₂ funktsiooni, täideti õigesti 70% juhtudest. Töölehel rõhutati NADH₂ ülesannet küsimuse abil ning see võis olla heade tulemuste põhjuseks. Kehvasti mõistsid õpilased aga ADP molekuli funktsiooni (õigesti vastas 50%). See võis olla tingitud sellest, et ADP molekuli liikumine toimus mudelis lühikest aega ning õpilased ei suutnud kõike jälgida ja meelde jätta.

Järgnevalt uuriti õpilaste arusaamist glükoosi lagundamist ja fotosünteesi mõjutavatest teguritest (joon. 10).



Joonis 10. Õpilaste (n=194) õigete vastuste osa glükoosi lagundamise ja fotosünteesi mõjutegureid käsitlevatele küsimustele järelküsimustikus.

Vastuste analüüsist ilmneb, et õpilased mõistsid fotosünteesi mõjutegureid hästi. Küsimusele fotosünteesi aeglustamist mõjutava teguri kohta vastas 87% õigesti ning fotosünteesi kiirendavat mõjutegurit teadis 71% õpilastest. Kõige halvemini osati järelküsimustikus nimetada glükoosi lagundamise kiirust mõjutavaid tegureid – sellele küsimusele vastas õigesti vaid 41%. Glükoosi lagundamine on õpilaste jaoks abstraktsem ning bioloogias ka vähemkäsitletud ning see võis olla kehvemate vastuste põhjuseks.

Järelküsimustiku igapäevaeluliste probleemide lahendamise tulemused on esitatud tabelis 4.

Tabel 4. 11. klasside õpilaste (n=194) õigete vastuste osa glükoosi lagundamise ja fotosünteesi igapäevaelulisi probleeme käsitlevatele küsimustele järelküsimustikus.

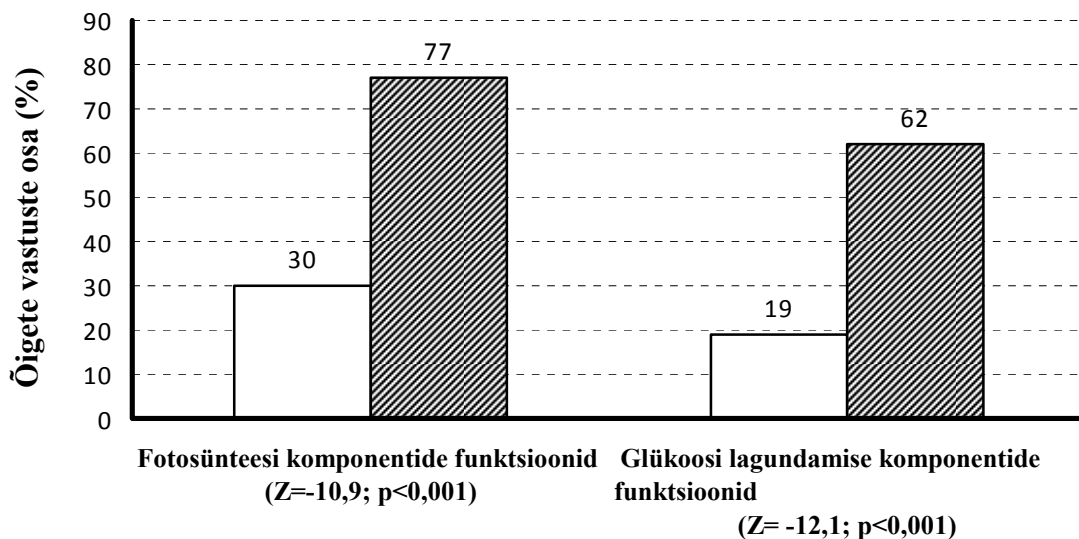
Protsess (küsimuse nr.)	Tegurite maksimaalne arv	Õigete vastuste keskmine	Õigete vastuste %
Fotosüntees (18)	1	0,9	94
Fotosüntees (20)	3	1,8	60
Glükoosi lagundamine (19)	2	1,1	55
Glükoosi lagundamine (21)	1	0,6	60

Vastustest ilmneb, et kõige paremini osati lahendada fotosünteesi toimumist mõjutavat probleemi – seda oskas lahendada 94% õpilastest. Kõige kehvemini lahendasid õpilased glükoosi lagundamise kohta käivat probleemi, kus õigeks vastuseks oli glükoosirikka

toidu ja vedeliku lisamine. Sellele küsimusele toodi vastuseks keskmiselt 1,1 õiget tegurit. Glükoosi lagundamine on õpilastele keerulisem ja abstraktsem kui fotosüntees ning arvatavasti seetõttu lahendasid õpilased fotosünteesi probleeme paremini. Fotosünteesi teise probleemülesande lahenduseks oli võimalik tuua 3 tegurit. Õpilased esitasid selle küsimuse vastuses keskmiselt 1,8 tegurit.

3.5. Õpilaste arusaamise areng bioloogilistest protsessidest

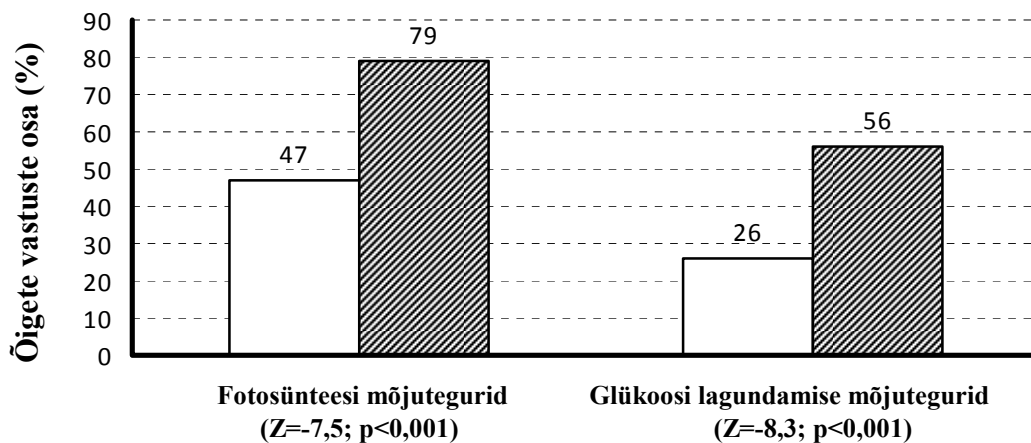
Magistritöö esimese uurimisküsimusega taheti teada, mil määral paraneb 11. klassi õpilaste arusaamine glükoosi lagundamisel ja fotosünteesil osalevate komponentide funktsioonidest ja protsesse mõjutavatest teguritest rakendades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega. Selleks analüüsiti eel- (lisa 3) ja järelküsimustike (lisa 4) vastuseid *Wilcoxon signed-rank* testiga. Õpilaste arengut uuriti lähtudes protsessides osalevate komponentide funktsioonidest ja tegurite mõjust protsessidele. Esmalt vaadeldi õpilaste arusaamise arengut fotosünteesil ja glükoosi lagundamisel osalevate komponentide funktsioonidest (joon. 11). Tulemuste analüüsiks summeeriti protsesside komponentide vastused (lisa 5 ja 6).



Joonis 11. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudelit rakendanud õpilaste ($n=194$) õigete vastuste osa protsessides osalevate komponentide funktsioonidest (CO_2 , vesinikioonid, ATP, NADPH_2 , NAD, ADP, NADH_2) eel- (□) ja järelküsimustikes (▨). Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Analüüsist ilmnes, et õpilastel arenes nii fotosünteesi kui ka glükoosi lagundamise komponentide funktsioonidest arusaamine. Glükoosi lagundamise komponentide funktsioone teadis algself 19% õpilastest ning järelküsimumstikus 62% õpilastest. Seega arenes arusaamine 43% võrra ning oli statistiliselt oluline ($Z=-12,1$; $p<0,001$). Fotosünteesi komponentide funktsioone oskasid õpilased algself paremini. Õigeid vastuseid anti 30% juhtudest ning ka järelküsimumstikus teadsid õpilased fotosünteesi komponentide funktsioone paremini kui glükoosi lagundamisel (õigesti vastas 77%). Õpilaste arusaamine arenes fotosünteesi komponentide funktsioonidest enam kui glükoosi lagundamise puhul. Fotosünteesi korral oli areng 47% ($Z=-10,9$; $p<0,001$). See võis olla põhjustatud sellest, et fotosünteesiga tutvutakse juba põhikoolis, aga glükoosi lagundamisega alles gümnaasiumis.

Esimese uurimisküsimumusega taheti veel teada, kuidas arenes arusaamine protsesside mõjuteguritest. Selleks võrreldi eel- (lisa 3) ja järelküsimumstike (lisa 4) vastuseid *Wilcoxon signed rank* testiga. Tulemused on esitatud joonisel 12. Analüüsimumiseks summeeriti protsesside mõjutegurite vastused (lisa 7)



Joonis 12. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid rakendanud õpilaste ($n=194$) õigete vastuste osa protsesse mõjutavatest teguritest (CO_2 , H_2O , valgus, temperatuur, ATP, O_2) eel- (□) ja järelküsimumstikes (▨). Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed-rank* testiga.

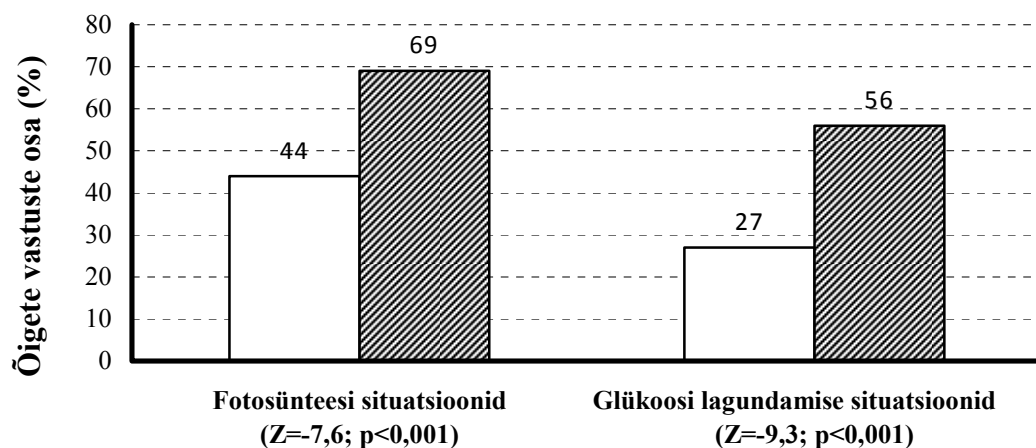
Tulemustest selgub, et eelküsimumstikus teati fotosünteesi mõjutegureid 47% ning järelküsimumstikus vastas õigesti 79% õpilastest õigesti. Fotosünteesi mõjuteguritest paranes õpilaste arusaamine 32% statistiliselt olulisel määral ($Z=-7,5$; $p<0,001$). Glükoosi la-

gundamise mõjutegureid vastas eelküsimumstikus õigesti 26% õpilastest ning järelküsimumstikus 56%. Ka selles osas toimus statistiliselt oluline areng ($Z=-8,3$; $p<0,001$). Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mõjutegurite korral oli õpilaste arengu juurdekasv peaaegu samasugune – erinevus vaid 2%.

Eelnevatest analüüsides saab järeldada, et veebipõhiste mudelite kasutamine aitas õpilaste arusaamist käsitletavatest protsessidest arendada statistiliselt olulisel määral. Sarnaste järeldusteni on jõutud ka mitmetes teadusuuringutes (nt. Ainsworth, 1999; Mayer, 2001; Rieber jt., 2004). Rieber (1994) järgi aitavad animatsioonid õpilastel just keerulistest ja abstraktsetest protsessidest paremini aru saada, sest õppijad saavad nende abil luua uutviisi ettekujutuse. Selliseid järeldusi on võimalik teha ka käesoleva töö põhjal.

3.6. Situatsioonipõhiste probleemide lahendamisoskuse areng

Magistritöö teise uurimusküsimusega sooviti leida, kuidas areneb õpilaste fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskus mudelite ja töölehtede kasutamise tulemusena. Selleks analüüsiti eel- (lisa 3) ja järelküsimumstike (lisa 4) vastuseid *Wilcoxon signed-rank* testiga. Analüüsimiseks summeeriti situatsiooni-põhiste ülesannete vastused (lisa 8) ning tulemused on esitatud joonisel 13.



Joonis 13. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid rakendanud õpilaste ($n=194$) õigete vastuste osa igapäevaeluliste probleemide lahendamisel eel- (□) ja järelküsimumstikes (▨). Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed-rank* testiga.

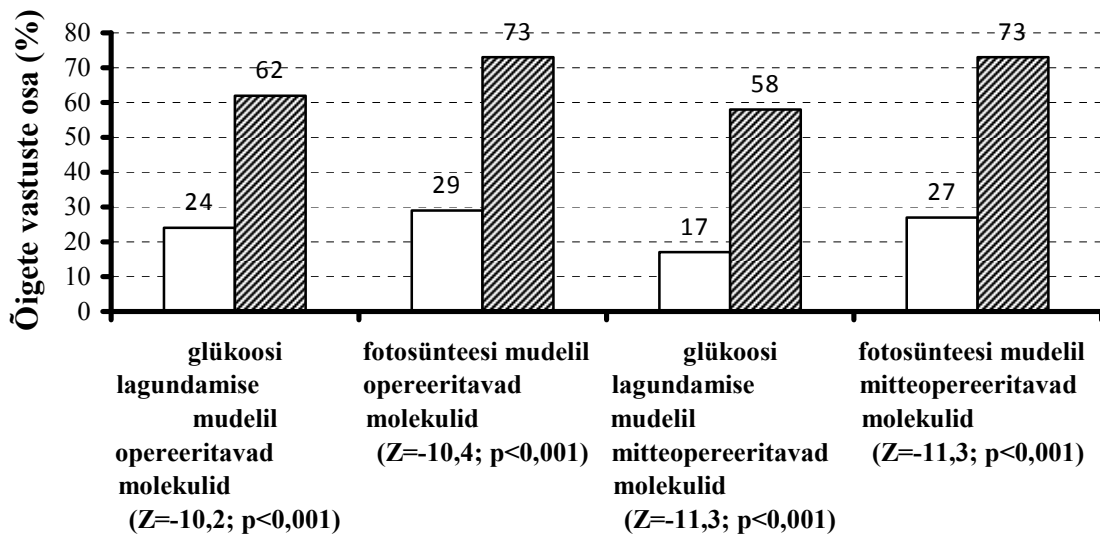
Saadud tulemustest nähtub, et algselt lahendas 44% õpilastest fotosünteesi probleeme õigesti ning järelküsimumustikus pakuti õigeid lahendusi 69%. Fotosünteesi situatsioonipõhiste probleemide lahendamise oskus paranes 25% võrra ning oli statistiliselt oluline ($Z=-7,6$; $p<0,001$). Glükoosi lagundamise probleemülesandeid lahendas algselt õigesti 27% õpilastest ning järelküsimumustikus 56%. Õpilaste oskused – lahendada glükoosi lagundamise probleemülesandeid – paranesid 29% võrra ja tulemus oli ka statistiliselt oluline ($Z=-9,3$; $p<0,001$). Probleemide lahendamise oskus paranes glükoosi lagundamise puhul 4% võrra rohkem kui fotosünteesi korral. Fotosünteesi situatsioonipõhiseid probleeme oskasid õpilased juba algselt paremini lahendada ning seetõttu ei olnud areng nii suur kui glükoosi lagundamise korral.

Teise uurimisküsimuse osas võib eelneva põhjal järeldada, et arvutimudelite ja töölehtede abil õppimine parandab õpilaste igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskust. Sarnasele järeldusele on jõudnud ka Lewalter (2003) oma uuringus, mille kohaselt paranes arusaamine ja probleemülesannete lahendamine dünaamilist visuaalset informatsiooni kasutades. Samast uuringust selgus ühtlasi, et simulatsioonid aitavad õpilastel uut informatsiooni mälus säilitada ning seetõttu on neil lihtsam probleemsituatsioone lahendada. Ka Mayer (2002) on oma töös leidnud, et arvutimudelites olev info kombineerimine aitab õppijatel luua teemadest paremat ja sügavamat arusaamist ning selliseid järeldusi saab teha ka käesoleva uuringu tulemuste põhjal.

3.7. Õpilaste arusaamise areng õpiobjektidest

Kolmanda uurimisküsimusega taheti teada, mil määral arendab mudelil molekulidega opereerimine õpilaste arusaamist molekulide funktsioonidest bioloogilistes protsessides. Selleks analüüsiti eel- (lisa 3) ja järelküsimumustike (lisa 4) vastuseid *Wilcoxon signed-rank* testiga. Õpilaste arusaamise arengut uuriti lähtudes sellest, kas õpilased opereerisid protsessis osalevate komponentidega või ei opereerinud. Opereeritavateks komponentideks on fotosünteesi mudelis CO_2 , H_2O , ADP ja glükoosi lagundamise mudelis NAD, ADP, O_2 . Mitteopereeritavateks komponentideks on fotosünteesi mudelis hapniku, ATP ja NADPH_2 molekulid, elektronid, süsiniku ja vesiniku aatomid ning glükoosi lagundamise mudelis süsihappegaasi ja NADH_2 molekulid, erinevad suhkrud ning vesiniku ja

süsiniku aatomid (vt. ptk. 2.3.1.). Tulemuste analüüsiks summeeriti eraldi opereeritavad ja mitteopereeritavad komponentide kohta käivate küsimuste vastused.



Joonis 14. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudeleid rakendanud õpilaste (n=194) õigete vastuste osa opereeritavatest ja mitteopereeritavatest õpiobjektidest arusaamisel eel- (□) ja järelküsimumustikes (▨). Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Fotosünteesi mudeli korral vastas 29% õpilastest eelküsimumustikus õigesti opereeritavate komponentide kohta käivatele küsimustele ning järelküsimumustikus 73%. Seega õpilaste arusaamine arenes 44%. Fotosünteesi mudelil mitteopereeritavate objektide kohta käivatele küsimustele osati eelküsimumustikus vastata õigesti 27% ning järelküsimumustikus 73%. Mitteopereeritavate komponentide korral oli areng 42%. Glükoosi lagundamise puhul teati järelküsimumustikus paremini opereeritavaid õpiobjekte (62%) ning nende puhul oli areng 38%. Glükoosi lagundamise mitteopereeritavatest komponentidest arenes arusaamine 41% võrra, kuna eelküsimumustikus oli õigeid vastuseid 17% ning järelküsimumustikus 58%. Kõigi komponentide korral oli areng statistiliselt oluline. Seega võib väita, et erinevus opereeritavatest ja mitteopereeritavatest komponentidest arusaamisel oli väga väike.

Protsessides osalevate õpiobjektide arusaamist uuriti ka *Spearman's rho* korrelatsioonianalüüsiga. Selleks analüüsiti opereeritavate komponentide kohta käivate küsimuste vastuseid töölehtedel ning järelküsimumustikes. Tulemused on esitatud tabelis 5.

Tabel 5. Opereeritavate komponentide vastuste (n=194) seos töölehel ja järelküsimumstikus. Statistilised tulemused saadi *Spearman's rho* korrelatsioonanalüüsiga.

Protsess	Õigete vastuste arv töölehel	Õigete vastuste arv järelküsimumstikus	Kordaja ρ	p
Glükoosi lagundamine	137	138	0,998	p<0,001
Fotosüntees	157	156	0,998	p<0,001

Korrelatsioonianalüüsi abil leitud seos oli statistiliselt oluline mõlema protsessi puhul ($\rho=0,998$; $p<0,001$). Sellest saab järeldada, et mida õigemini õpilased oskasid vastata töölehtedel, seda õigemaid vastuseid andsid nad ka opereeritavate molekulide kohta järelküsimumstikus. Põhjus on ilmselt selles, et töölehte koos mudeli kasutamisega täites püsisid opereeritavate molekulide funktsioonid õpilastel hästi meeles, kuna nad said objektide ise liigutada. Õpilastes võis komponentide liigutamine tekitada huvi molekulide funktsioonide vastu, sest nendega opereerides said nad mõjutada protsessi kulgu. Seetõttu osati neile ka järelküsimumstikus õigesti vastata.

Järgnevalt uuriti mitteopereeritavate komponentide seost korrelatsioonianalüüsiga töölehtede ja järelküsimumstike vastustes (tabel 6).

Tabel 6. Mitteopereeritavate komponentide vastuste (n=194) seos töölehel ja järelküsimumstikus. Statistilised tulemused saadi *Spearman's rho* korrelatsioonanalüüsiga.

Protsess	Õigete vastuste arv töölehel	Õigete vastuste arv järelküsimumstikus	Kordaja ρ	p
Glükoosi lagundamine	114	90	0,119	n.s
Fotosüntees	144	120	0,332	p<0,001

Tulemustest selgus, et glükoosi lagundamise mitteopereeritavate objektide korral oli seos töölehtede ja järelküsimumstike vastuste vahel nõrk ning statistiliselt mitteoluline ($\rho=0,119$; $p=n.s.$). Selline tulemus võis olla põhjustatud sellest, et õpilased ei opereerinud mudelis nende komponentidega ning seetõttu ei jäänud need ka nii hästi meelde. Need objektid küll liikusid ekraanil, kuid õpilased arvatavasti ei suutnud neid kõiki jäl-

gida. Fotosünteesi mitteopereeritavate komponentide kohta käivatele küsimustele vastas töölehel õigesti 144 õpilast ning järelküsimustikus 120. Seos oli keskmise tugevusega ning statistiliselt oluline ($\rho=0,332$; $p<0,001$). Fotosünteesi protsessiga olid õpilased rohkem kokku puutunud ning seetõttu suutsid mudelil toimuvat paremini jälgida ja komponente eristada. Selle tulemusel oskasid nad ka mitteopereerivate komponentide kohta käivatele küsimustele järelküsimustikus õigesti vastata.

Viimaks võrreldi fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudelites teostatud operatsioonide õigsust. Analüüsist selgus, et fotosünteesi mudelis tehti vähem valesid operatsioone (keskmine operatsioonide teostamise arv on 1,4) (lisa 9) kui glükoosi lagundamise mudelis (keskmine operatsioonide teostamise arv on 1,5) (lisa 10). Fotosünteesi mudelis tegid õpilased rohkem õigeid operatsioone kui glükoosi lagundamise mudelis.

Uuringu tulemustest selgus, et õpilaste oskused – vastata mitteopereeritavate ja opereeritavate komponentide kohta käivatele küsimustele arenesid kasutades mudeleid koos töölehtedega. Ka Kay ja Knaaci (2008) töös on leitud, et arvutimudelites opereeritavad komponendid aitavad õpilastel protsessi paremini mõista. Gilbert (1995) järeldas oma uuringu tulemuste põhjal, et mudelite abil on võimalik kujutada keerulisi objekte või protsesse lihtsustatult ja nii saab õpilase tähelepanu suunata teatud olulistele aspektidele. Käesolevas magistritöös kasutusel olevates mudelites oli samuti opereeritavate molekulide abil juhitud õpilase tähelepanu protsessi toimumiseks olulistele komponentidele. Töös võis näha, et mida õigemini vastati opereeritavate molekulide kohta käivatele küsimustele töölehel, seda õigemaid vastuseid anti neile järelküsimustikus. Mitteopereeritavate komponentide kohta käivate küsimuste puhul ei olnud seosed tugevad. Sellest võib järeldada, et kui õpilased mudelites opereerisid konkreetsete molekulidega, siis jäid need neile paremini meelde kui need komponendid, millega õpilased mudelites ei opereerinud. Sarnastele järeldustele jõudis ka oma magistritöös Pikksööt (2008). Tema uuringust selgus, et mudelitega teostatud operatsioonide õigsusel on seos õpiprotsessi tulemuslikkusega.

Järeldused

Käesolevas magistritöös uuriti 11. klassi õpilaste arusaamist kahe protsessi osas – fotosüntees ja glükoosi lagundamine. Tulemustest selgus, et veebipõhiste mudelite ja töölehtede rakendamine aitab õpilaste arusaamist protsessides osalevate komponentide funktsioonidest ja mõjuteguritest arendada statistiliselt olulisel määral. Samuti leiti, et õpilaste fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskus paranes. Õpilaste teadmised arenesid mudelite ja töölehtede kasutamise tulemusel ka opereeritavate ja mitteopereeritavate komponentide puhul statistiliselt olulisel määral. Töö tulemusi saab piiratud valimi tõttu üldistada vaid mõne Tartu kooli 11. klassi õpilastele. Kõigi Tartu koolidele üldistuste tegemiseks peaks uuringus kasutama juhuvalimit. Kuigi magistritöös kasutati vaid kaht veebipõhist mudelit võiks sarnast lähenemist rakendada ka teiste keeruliste teemade õpetamisel, mille jaoks on loodud veebipõhised mudelid. Käesolevas uuringus osalesid ainult 11. klassi õpilased, aga teoreetilist käsitlust saaks rakendada ka teistes klassides.

Veebipõhiste mudelite rakendamine õppetöös vajab veel edasist uurimist. Seeläbi oleks võimalik arvuti kasutamist õpingute läbiviimiseks tulemuslikumaks muuta. Edasistes uuringutes võiks võrrelda eraldi poiste ja tüdrukute arusaamise arengut bioloogilistest protsessidest rakendades veebipõhiseid mudeleid. Selle abil saab välja selgitada, kas tüdrukutel ja poistel on mudelite abil õppimisel erinevad tulemused. Samuti tuleks leida põhilised väärarusaamad, mis võivad arvutipõhisel õppel tekkida. Uurida võib veel õpilaste arusaamise arengut bioloogilistest protsessidest kasutades veebipõhiseid mudeleid koos erineva toetusega. Toetuseks võivad olla töölehed ning ka erinevad selgitused mudelites.

Töö tulemustest selgus, et mudelid koos töölehtedega aitasid õpilastel saada teemadest sügavam arusaamist ning seetõttu oleks tehtud analüüside põhjal võimalik anda mõned soovitusel õpetajatele.

1. Õpetajad võiksid nende ning ka teiste bioloogiliste protsesside õpetamisel kasutada veebipõhiseid mudeleid. Kindlasti on tulemuslikum koostada õpilastele mudelite rakendamiseks ka vastavad töölehed, mis aitavad tööd organiseerida. See võimaldab õpetajatel rõhutada mudelis olulisi komponente.

2. Protsesside õpetamisel tuleks kasutada igapäevaelulisi probleemülesandeid, mis tekitavad õpilastes huvi käsitletava teema suhtes ning aitavad uut informatsiooni siduda eelnevate teadmistega, et tekiks teemast sügavam arusaamine.

3. Käesolevas töös rakendatud õpikeskkonnas on õpetajatel võimalik kontrollida õpilaste operatsioonide teostamise õigsust. Seetõttu saab soovitada kasutada neid mudeleid senisest rohkem õpilaste teadmiste hindamisel.

Kokkuvõte

Käesoleva magistritööga sooviti uurida veebipõhise õpikeskkonna „Rakumaailm“ (<http://bio.edu.ee/mudelid>) fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mudelite ning töölehtede rakendamise mõju õpiprotsessi tulemuslikkusele. Uuringule püstitati järgmised eesmärgid:

1. Uurida 11. klassi õpilaste arusaamise arengut ainevahetuslikest protsessidest kasutades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega.
2. Selgitada mudelite ja töölehtede mõju situatsioonipõhiste probleemide lahendamisele 11. klassi õpilastel.
3. Analüüsida õpilaste individuaalset arusaamist õpiobjektidest ja bioloogilistes protsessides osalevate komponentide funktsioonidest.

Uuringu instrumentidena kasutati kirjalikke eel- ja järelküsimustikke. Ühtlasi koostati mudelitega tööks fotosünteesi ja glükoosi lagundamise töölehed. Magistritööks vajalike andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim, kuhu kuulus 194 õpilast Eesti 7 gümnaasiumi 11. klassidest. Uuring viidi läbi 2009. aasta lõpus ning 2010. aasta alguses.

Uuringu esimeses osas täitsid õpilased eelküsimustiku, millega uuriti nende esialgset arusaamist fotosünteesi ja glükoosi lagundamise protsessidest. Järgmisena toimus arvutitund, milles õpilased kasutasid fotosünteesi veebipõhist mudelit koos töölehega. Teises arvutitunnis rakendasid õpilased glükoosi lagundamise mudelit ning täitsid vastavat töölehte. Uuringu viimase osana vastasid õpilased järelküsimustikule, millega hinnati mudelite ja töölehtede rakendamise mõju käsitletavatest protsessidest arusaamisele.

Magistritöö esimese uurimisküsimusega sooviti leida, mil määral paraneb 11. klassi õpilaste arusaamine glükoosi lagundamisel ja fotosünteesil osalevate komponentide funktsioonidest ja protsesse mõjutatavatest teguritest, rakendades veebipõhiseid mudeleid töölehtedega. Õpilaste eel- ja järelküsimustike vastuste analüüsist selgus, et arusaamine fotosünteesil ja glükoosi lagundamisel osalevate komponentide funktsioonidest arenes statistiliselt olulisel määral. Samuti paranes statistiliselt olulisel määral uuringus osalejate arusaamine fotosünteesi ja glükoosi lagundamise mõjuteguritest.

Teise uurimisküsimusega sooviti teada, kuidas areneb õpilaste fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahendamise oskus mudelite ja töölehtede kasutamise tulemusena. Õpilaste eel- ja järelküsimustike igapäevaeluliste probleemide vastuseid analüüsid selgus, et mudelite ja töölehtede rakendamise tulemusel anti järelküsimustikus probleemidele õigemad vastused.

Käesoleva magistr töö viimase uurimisküsimusega taheti teada, mil määral arendab mudelil molekulidega opereerimine õpilaste arusaamist molekulide funktsioonidest bioloogilistes protsessides? Eel- ja järelküsimustikes opereeritavate ja mitteopereeritavate komponentide kohta käivate küsimuste vastuseid analüüsid leiti, et arusaamine nendest paranes statistiliselt olulisel määral. Statistiline analüüs näitas, et õpilaste töölehtede ja järelküsimustiku nende vastuste vahel, mis käsitlesid opereeritavaid objekte mudelil, esines tugev korrelatsioon. Sellest järeldus, et mida õigemini õpilased vastasid opereeritavate komponentide kohta käivatele küsimustele töölehtedel, seda õigemini vastati neile ka järelküsimustikus.

Käesolevas töös leiti, et fotosünteesi ja glükoosi lagundamise töölehti ja veebipõhiseid mudeleid kasutanud õpilaste arusaamine protsessidest arenes ning õpilased oskasid ka igapäevaelulisi probleeme paremini lahendada. Seega võib tulemustele tuginedes väita, et magistr töö on oma eesmärgid täitnud.

Tänuavaldused

Käesolevas magistritöös tahan avaldada suurt tänu oma juhendajale Tago Sarapuule. Samuti sooviksin tänada kõiki bioloogiaõpetajaid, kes olid nõus osalema oma õpilastega selles uuringus.

Kasutatud kirjandus

- Abrams, E., Southerland, S., & Cummins, C. (2001).** The how's and why's of biological change: how learners neglect physical mechanisms in their search of meaning. *International Journal of Science Education*, 23, 1271-1281.
- Ainsworth, S. (1999).** The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33, 131-152.
- Ainsworth, S., & van Labeke, N. (2004).** Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14, 241-255.
- Albanese, M. A., & Mitchell, S. (1993).** Problem-based learning: a review of the literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68, 52-81.
- Aspy, D. N., Aspy, C. B., & Quinby, P. M. (1993).** What doctors can teach teachers about problem-based learning. *Educational Leadership*, 50, 22-24.
- Biederman, I. (1987).** Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147.
- Billett, S. (1996).** Situated Learning: Bridging sociocultural and cognitive theorising. *Learning and Instruction*, 6, 263-280.
- Bodemer, M., R., Ploetzner, R., I., Feuerlein, I., & H. Spada, H. (2004).** The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14, 325-341.
- Bransford, J., & Stein, B. (1984).** *The IDEAL problem solver*. NY: W.H. Freeman.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, S. (1989).** Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32-42.
- Butterworth, G. (1992).** *Context and cognition in models of cognitive growth*. Harvester NY: Wheatsheaf, 1-13.
- Chall, J. S. (2000).** *The academic achievement challenge: what really works in the classroom?* NY: Guilford Press.
- Christopherson, J. T. (1997).** *The growing need for visual literacy at the university*. 28th Annual Conference of the International Visual Literacy Association WY: Cheyenne.

- Cobb, P., & Bowers, J. (1999).** Cognitive and situated learning perspectives in theory and practice. *Educational Researcher*, 28, 4-15.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007).** *Reasearch methods in education*. NY: Routledge.
- Dalgarno, B. (2001).** interpretations of constructivism and consequences for computer assisted learning. *British Journal of Educational Technology*, 32, 183-194.
- Demetriadis, S. N., Papadopoulus, P. M., Stamelos, I. G., & Fischer, F. (2008).** The effect of scaffolding students' context-generating cognitive activity in technology-enhanced case-based learning. *Computers & Education*, 51, 939-954.
- Dods, R. (1996).** A problem-based learning design for teaching biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 73, 225-228.
- Duch, B. J., Groh, S. E., & Allen, D. E. (2001).** *The power of problem-based learning: a practical "how to" for teaching undergraduate courses in any discipline*. VA: Stylus, Sterling.
- Feltovich, P. J., Spiro, R. J., & Coulson, R. L. (1996).** *Collaboration within and among minds: Mastering complexity, individuality in groups*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 25-44.
- George, D., & Mallery, P. (2001).** *SPSS for Windows. Step by step. A simple guide and reference 10.0 Update*. Boston: Allyn & Bacon.
- Gilbert, J. K. (1995).** *The role of models and modelling in some narratives in science learning*. Proceedings of the annual meeting of the American Educational Research Association CA, April 18-22.
- Howitt, D., & Cramer, D. (2003).** *A guide to computing statistics with SPSS 11 for Windows*. Harlow: Pearson.
- Huitt, W. (1992).** Problem solving and decision making: Consideration of individual differences using the Myers-Briggs Type Indicator. *Journal of Psychological Type*, 24, 33-44.
- Jonassen, D. H. (2000).** Toward a design theory of problem solving. *Education Tehnology Research and Development*, 48, 63-85.

- Jonassen, D. H. (2003).** Learning to solve problems. *An instructional design guide*. CA: Pfeiffer, Wiley and Sons, Inc.
- Kay, R. H., & Knaac, L. (2008).** A formative analysis of individual differences in the effectiveness of learning objects in secondary school. *Computers & Education*, 51, 1304-1320.
- Kombartzky, U., Ploetzner, R., Schlag, S., & Metz, B. (2010).** Developing and evaluating a strategy for learning from animations. *Learning and Instruction*, 20, 424-433.
- Korthagen, A. J. F. (2009).** Situated learning theory and the pedagogy of teacher education: towards an integrative view of teacher behavior and teacher learning. *Teaching and Teacher Education*, 26, 98-106.
- Korthagen, F. A. J., & Lagerwerf, B. (1996).** Reframing the relationship between teacher thinking and teacher behaviour: levels in learning about teaching. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 2, 161-190.
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000).** The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and instruction*, 18, 495-523.
- Lave, J. (1988).** *Cognition in practice: mind, mathematics, and culture in everyday life*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991).** *Situated learning: legitimate peripheral participation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lewalter, D. (2003).** Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189.
- Lowe, R. K. (1998).** Processing challenges on understanding complex animated pictures. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 125-134.
- Lowe, R. K. (1999).** Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 225-244.
- Lowe, R. K. (2003).** Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.
- Mayer, R. M. (1999).** Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31, 611-623.

- Mayer, R. M. (2002).** The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125-139.
- Mayer, R. M., & Moreno, R. (2001).** Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107-119.
- Mayer, R. M., & Moreno, R. (2002).** Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14, 107-119.
- McLellan, H. (1996).** *Situated learning perspectives*. Englewood Cliffs, NY: Educational Technology.
- Milner, D., & Goodale, M. (1998).** The visual brain in action. *Oxford Psychology Series*, 27.
- Palmiter, S., & Elkerton, J. (1993).** Animated demonstrations for learning procedural computer-based tasks. *Human-Computer Interaction*, 8, 193-216.
- Palmieri, T. J., Wong, A. C.-N., & Gauthier, I. (2004).** Computational approaches to the development of perceptual expertise. *Trends Cognitive Science*, 8, 378-386.
- Park, O. C., & Hopkins, R. (1993).** Instructional conditions for using dynamic visual displays: a review. *Instructional Science*, 21, 427-449.
- Pata, K., & Sarapuu, T. (2003).** Framework for scaffolding the development of problem representations by collaborative design. In B. Wasson, S. Ludvigsen & U. Hoppe (Eds.), *Designing for change in network learning environments. Proceedings of CSCLE 2003 conference*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 189-198.
- Pata, K., & Sarapuu, T. (2006).** A comparison of reasoning processes in a collaborative modeling environment: learning about genetics problems using virtual chat. *International Journal of Science Education*, 28, 1347-1368.
- Pikksööt, J. (2008).** *Mudelipõhise õppe mõju gümnaasiumi õpilaste arusaamise muutumisele geneetilise info realiseerumisest*. Magistritöö. Tartu Ülikool.
- Price, S. J. (2002).** *Diagram representation: the cognitive basis for understanding animation in education* (Technical Report 553): School of Computing and Cognitive Sciences, University of Sussex.
- Rieber, L. P. (1990).** Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82, 135-140.

- Rieber, L. P. (1991).** Animation, incidental learning and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83, 318-328.
- Rieber, L. P. (1994).** *Computers, graphics & learning*. WI: Brown & Benchmark.
- Santini, S., & Jain, R. (1999).** Similarity measures. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21, 871-883.
- Sarapuu, T. (2003).** *Bioloogia gümnaasiumile I* (2003). Tartu: Eesti Loodusfoto.
- Southern Illinois University (1999).** *Generic problem-based learning essentials*. Retrieved February 25, 2000.
- Zumbach, J., Schmitt, S., Reimann, P., & Starkloff, P. (2006).** Learning life sciences: design and development of a virtual molecular biology learning lab. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 25, 281-300.
- Tvesky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002).** Animation: can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
- Waterman, M. A. (1998).** Investigative case study approach for biology learning. *Bioscience*, 24, 3-10.

Students' development of understanding about metabolic processes using web-based models.

Summary

Gea Kiudorf

The objective of the present study was to investigate how the application of computer-based models and worksheets affect the outcomes of learning process. The models used in this study were parts of a web-based environment „Cell World” (<http://bio.edu.ee/mudelid>). This study used the models of photosynthesis and respiration.

The objects of this study were:

1. To investigate the 11th grade students' development about understanding of metabolic processes using the web-based models and worksheets.
2. To clarify the influence of web-based models and worksheets on the 11th grade students' capability of solving photosynthesis and respiration problems.
3. To study the students' individual understanding of learning objects and functions of components which take part in biological processes.

In order to find answers to the research questions formulated in the beginning of the study, the pre- and post-questionnaires were composed. To have a better overview of the students' use of models, photosynthesis and mitochondrial respiration worksheets were also composed.

194 students from the 11th grade of 7 different secondary schools from Estonia formed a sample of the present study. The study was carried out in the end of 2009 and at the beginning of 2010.

The study consisted of four parts. Before the work in a computer-lab, the students filled out a pre-questionnaire for analyzing the students' initial understanding. The next lesson

was carried out in a computer-lab where the participants applied the model of photosynthesis. Another lesson took place in a computer-lab and students used the model of respiration. At the last part of the study, the students filled out a post-questionnaire which reflected the effectiveness of the application of the computerized models and worksheets on the students' comprehension.

The first research question studied, how the 11th grade students' understanding about component functions and environmental factors of photosynthesis and respiration develop as a result of using the web-based models and worksheets. The analysis of the students' answers in the pre- and post-questionnaires revealed that their understanding about the component functions were significantly better after the application of the models and worksheets. Their understandings about the environmental factors of photosynthesis and respiration processes also developed to a significantly better level.

The second research question investigated how the application of computer-based models and worksheets affect the students' competence to solve everyday problems. To find the answer, we analyzed the solutions of every-day problems in the pre- and post-questionnaires. The findings indicated that as a result of the model application the usage of worksheets the students gave more correct solutions in the post-test compared to the solutions in the pre-tests.

The last research question studied, how operating with molecules in web-based models develop the students' understanding about the functions of molecules taking part in biological processes. When comparing and analyzing the answers from the worksheets and post-questionnaires of students, it emerged that when the students gave correct answers to the questions regarding the operable components in their worksheets, they were also successful in answering the questions correctly in the post-questionnaires – the relation being statistically significant. With respect to the questions about non-operable components, the relation was not statistically significant regarding some of the components. After having analyzed the operable and non-operable components in the pre- and post-questionnaires, it was found that understanding of these components improved at a statistically significant level.

The application of the web-based models and worksheets helped to develop the students' understanding about the biological processes. Students' competence to solve every-day problems was also higher. Therefore, it can be concluded that the study has fulfilled its objectives.

Lisad

Lisa 1. Fotosünteesi tööleht.

Lisa 2. Glükoosi lagundamise tööleht.

Lisa 3. Eelküsimustik.

Lisa 4 Järeلكüsimustik.

Lisa 5. Glükoosi lagundamise komponentide funktsioonidest arusaamise areng.

Lisa 6. Fotosünteesi komponentide funktsioonidest arusaamise areng.

Lisa 7. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamist mõjutavad tegurid.

Lisa 8. Fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahenduste areng.

Lisa 9. Fotosünteesi mudelis teostatud keskmine operatsioonide arv.

Lisa 10. Glükoosi lagundamise mudelis teostatud keskmine operatsioonide arv.

LISA 1. Fotosünteesi tööleht.



Nimi: _____ Kool: _____ Klass: _____

Sissejuhatus

Tänases tunnis tutvute Te fotosünteesiga. Selleks tuleb kasutada veebilehel paiknevat mudelit ja vastata küsimustele. Töölehe täitmiseks on aega 40 minutit.

Töö mudeliga

► Avage mudel, mille leiate internetiaadressilt: <http://bio.edu.ee/mudelid/>

Kõigepealt klikkige hiirega fotosünteesi pildil. Nüüd valige 2. ülesanne, kuid ärge „Kinnita“ nupul klikkige! Seejärel avage mudeli kasutusjuhend klikkides ikoonil . Järgnevalt lugege teoorialehte, mis avaneb ikoonilt . Nüüd vaadake uuesti mudelit ja klikkige „Kinnita“.

► Kõigepealt tutvuge hoidlas olevate molekulidega. Vaadake, kuidas need selles mudelis kujutatud on. Nüüd viige animatsiooni alustamiseks sobiv molekul töölauale ja klikkige “Edasi”. Jälgige animatsiooni, kuid selle peatudes ärge enne küsimustele vastamist uut molekuli töölauale viige!

1. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

2. Õige molekuli valisin _____ korral.

3. Mida tähistatakse molekulist eraldunud siniste keradega?

Sinise keraga tähistatakse _____ aatomit.

4. Mida tähistavad kollased vilkuvad kerad?

Kollased vilkuvad kerad tähistavad _____

5. Mis molekulidest on pärit keskkonda eralduv hapnik?

Keskkonda eralduv hapnik on pärit _____ molekulidest.

6. Mis eraldub veel hapniku moodustumisel?

Hapniku moodustumisel eralduvad _____ ioonid ja _____

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige “Edasi”. Jälgige animatsiooni ja enne uue molekuli lisamist vastake küsimustele!

7. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

8. Õige molekuli valisin _____ korral.

9. Kirjuta selle molekuliga toimunud reaktsioonivõrrand: _____

10. Mida on NADPH₂ moodustumisel veel vaja? NADPH₂ moodustumisel on vaja valgusenergia poolt ergastunud _____.

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige "Edasi". Jälgige animatsiooni ja enne uue molekuli lisamist vastake küsimustele!

11. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

12. Õige molekuli valisin _____ korral.

13. Kirjuta selle molekuliga toimunud reaktsioonivõrrand: _____

14. Mis fotosünteesi etapis animatsioon peatus?

Fotosüntees peatus enne _____ reaktsioone.

15. Mida tähistatakse pruuni keraga?

Pruuni keraga tähistatakse _____ aatomit

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige "Edasi". Jälgige animatsiooni ja vastake küsimustele!

16. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

17. Õige molekuli valisin _____ korral.

18. Mis eelnevates etappides moodustunud molekule selles etapis kasutatakse?

Selles etapis kasutatakse _____ ja _____ molekule.

19. Mis on sahhariidide sünteesil süsiniku allikaks?

Süsiniku allikaks on _____ molekulid, mis sisenevad _____ reaktsioonidesse.

20. Mis molekulist on pärit glükoosi molekulis olev vesinik?

Vesinik on pärit _____ molekulist.

21. Mis molekule kasutatakse selles etapis peamise energiaallikana?

Peamise energiaallikana kasutatakse _____ molekule.

22. Mis ühendid väljuvad Calvini tsüklist?

Calvini tsüklist väljub kaks _____ ühendit, mis ühinedes moodustavad glükoosi molekuli.

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil "OK".

► Nüüd valige 3. ülesanne ja lugege uuesti mudeli kasutusjuhendit – see on eelmisest erinev! Seejärel klikkige „Kinnita” ning “Start” ja jälgige animatsiooni. Selle lõppedes ilmub fotosünteesi toimumise algne aeg. Nüüd muutke ühte neljast tingimusest nii, et fotosüntees kiireneks. Seejärel klikkige ikoonil “Edasi”.

23. Mis tingimust muutsite fotosünteesi kiirendamiseks?

Fotosünteesi kiirendamiseks valisin _____

24. Õige tingimuse valisin _____ korral.

25. Uus aeg oli: _____

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil “OK”.

► Nüüd klikkige uuesti „Kinnita” ning muutke ühte tingimust, mis veel võiks kiirendada fotosünteesi toimumist. Nüüd klikkige ikoonil „Edasi”.

26. Mis tingimust muutsite fotosünteesi kiirendamiseks?

Fotosünteesi kiirendamiseks valisin _____

27. Õige tingimuse valisin _____ korral.

28. Uus aeg oli: _____

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil “OK”.

► Nüüd valige 4. ülesanne. Kasutusjuhend ja teoorialeht on samad, mis eelmises ülesandes, kuid vajadusel võite neid lugeda uuesti. Seejärel klikkige „Kinnita“ ja “Start” ning jälgige animatsiooni. Selle lõppedes muutke ühte neljast tingimusest nii, et fotosünteesi toimumine aeglustuks ning klikkige ikoonil “Edasi”.

29. Mis tingimust muutsite fotosünteesi aeglustamiseks?

Fotosünteesi aeglustamiseks valisin _____

30. Õige tingimuse valisin _____ korral.

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil “OK”.

► Nüüd klikkige uuesti „Kinnita” ning muutke ühte neljast tingimusest, mis veel võiks fotosünteesi toimumist aeglustada. Nüüd klikkige ikoonil „Edasi”.

31. Mis tingimust muutsite fotosünteesi aeglustamiseks?

Fotosünteesi aeglustamiseks valisin _____

32. Õige tingimuse valisin _____ korral.

33. Mis juhtub taimega, kui fotosüntees on aeglustunud?

Taim _____

► Nüüd lugege läbi järgnevad jutud ning vastake küsimustele!

Õpiprojekt bioloogias

Anule ja Marile anti bioloogiatus koduseks tööks õpiprojekt läbi viia. Nad otsustasid kasvatada lillherneid ning jälgida nende arengut. Tüdrukud tõid koti mulda ja pärast istutustööd asetasid oma potid rõdule, kus olid head valgustingimused. Anu kastis oma lillhernest hoolikalt, aga Maril ei olnud tihti seda meeles teha. Varsti avastasid tüdrukud, et Anu taim oli suuremaks ja lopsakamaks kasvanud, aga Mari oma oli väike ning kidur.

34. Miks Mari lillhernes ei kasvanud sama suureks kui Anu oma?

35. Mis juhtus sel ajal fotosünteesi staadiumitega?

Tomatitaimed kasvuhoones

Aednik kasvatas kahes kasvuhoones tomateid. Taimed istutas ta maha juba varakevadel, kui ilmad veel jahedad olid. Seetõttu pidi ta kasvuhooneid kütma. Ühes kasvuhoones ei läinud küttesüsteem tööle ja seda ei saanud ka parandada ning kasvuhoone jäi kütmata. Teises kasvuhoones töötas süsteem korralikult. Suur oli aga aedniku üllatus, kui suve keskpaigaks olid kütmata kasvuhoone taimed märksa lopsakamad, kui teises.

36 Miks olid kütmata kasvuhoones tomatitaimed lopsakamad kui köetud kasvuhoones?

37. Kuidas mõjutas kütmine fotosünteesi staadiume?

Andke täidetud tööleht õpetajale!

Täname vastamast!

LISA 2. Glükoosi lagundamise tööleht.



Nimi: _____ Kool: _____ Klass: _____

Sissejuhatus

Tänases tunnis tutvute Te glükoosi lagundamisega. Selleks tuleb kasutada veebilehel paiknevat mudelit ja vastata küsimustele. Töölehe täitmiseks on aega 40 minutit.

Töö mudelitega

► Avage mudel, mille leiate internetiaadressilt: <http://bio.edu.ee/mudelid/>

Kõigepealt klikkige hiirega glükoosi lagundamise pildil. Nüüd valige 2. ülesanne, kuid ärge „Kinnita” nupul klikkige! Seejärel avage mudeli kasutusjuhend klikkides ikoonil . Järgnevalt lugege teoorialehte, mis avaneb ikoonilt . Nüüd vaadake uuesti mudelit ja klikkige „Kinnita”.

► Kõigepealt tutvuge hoidlas olevate molekulidega. Vaadake, kuidas need selles mudelis kujutatud on. Nüüd viige animatsiooni alustamiseks sobiv molekul töölauale ja klikkige “Edasi”. Jälgige animatsiooni, kuid selle peatudes ärge enne küsimustele vastamist uut molekuli töölauale viige!

1. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

2. Õige molekuli valisin _____ korral.

3. Mida tähistatakse pruuni keraga? Pruuni keraga tähistatakse _____ aatomit.

4. Animatsiooni peatudes tekkisid kaks sinist kera.

Sinise keraga tähistatakse _____ aatomit.

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige “Edasi”. Jälgige animatsiooni ja enne uue molekuli lisamist vastake küsimustele!

5. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

6. Õige molekuli valisin _____ korral.

7. Kirjuta selle molekuliga toimunud reaktsioonivõrrand: _____

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige “Edasi”. Jälgige animatsiooni ja enne uue molekuli lisamist vastake küsimustele!

8. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

9. Õige molekuli valisin _____ korral.

10. Kirjuta selle molekuliga toimunud reaktsioonivõrrand: _____

11. Mis ühend siseneb tsitraaditsükklisse.

Tsitraaditsükklisse siseneb _____ ühend.

12. Mis eraldub püroviinamarihappest enne tsitraaditsükklisse sisenemist?
Püroviinamarihappest eraldub _____ molekul ja kaks
_____ aatomit.

13. Mis molekulidest pärineb tsitraaditsükklis eralduva CO₂ süsinik?

Süsinik pärineb _____ molekulidest.

14. Mis molekulid veel tsitraaditsükli käigus eralduvad?

Tsitraaditsükklis eralduvad _____ molekulid.

15. Mis glükoosi lagundamise etapis animatsioon peatus?

Animatsioon peatus _____

16. Mida tähistavad kollased vilkuvad kerad?

Kollased vilkuvad kerad tähistavad _____

17. Mis molekulist nad eralduvad? Nad eralduvad _____ molekulist.

► Viige animatsiooni jätkamiseks sobiv molekul töölauale ning klikkige "Edasi". Jälgige animatsiooni ja enne uue molekuli lisamist vastake küsimustele!

18. Mis molekul oli õige? Õige oli _____ molekul.

19. Õige molekuli valisin _____ korral.

20. Mis molekulid osalevad vee moodustumisel?

Vee moodustumisel osalevad _____ molekulid

21. Mis ioone selle ühendi moodustamiseks vaja on? Vaja on _____ ioone.

22. Mis eelnevates etappides moodustunud molekule selles etapis kasutatakse?

Selles etapis kasutatakse _____ molekule.

23. Mis molekulid on glükoosi lagundamisel vesiniku allikaks?

Vesiniku allikaks on _____ molekulid

24. Kust saab ensüüm ATP – süntaas ATP sünteesiks vajamineva energia. ATP sünteesiks vajaminev energia saadakse _____ ioonidest.

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil "OK".

► Nüüd valige 3. ülesanne ja lugege uuesti mudeli kasutusjuhendit – see on eelmisest erinev! Nüüd klikkige „Kinnita” ja seejärel “Start” ning jälgige animatsiooni. Selle lõppedes ilmub glükoosi lagundamise algne aeg. Nüüd muutke ühte neljast tingimusest nii, et glükoosi lagundamine kiireneks. Seejärel klikkige ikoonil “Edasi”.

25. Millise tingimuse muutmise kiirendas glükoosi lagundamist?

Glükoosi lagundamise kiirendamiseks valisin _____

26. Õige tingimuse valisin _____ korral.

27. Uus aeg oli: _____

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil “OK”.

► Nüüd klikkige uuesti „Kinnita” ning muutke ühte neljast tingimusest, mis veel võiks glükoosi lagundamist kiirendada. Seejärel klikkige „Edasi”.

28. Millise tingimuse muutmise kiirendas glükoosi lagundamist?

Glükoosi lagundamise kiirendamiseks valisin _____

29. Õige tingimuse valisin _____ korral.

30. Uus aeg oli: _____

Animatsiooni lõppedes näete ekraanil oma tulemust. Seejärel klikkige ikoonil “OK”

► Nüüd valige 4. ülesanne. Kasutusjuhend ja teoorialeht on samad, mis eelmises ülesandes, kuid vajadusel võite neid lugeda uuesti. Seejärel klikkige „Kinnita“ ja “Start” ning jälgige animatsiooni. Selle lõppedes muutke ühte neljast tingimusest nii, et toimuks üksnes anaeroobne glükolüüs ning klikkige ikoonil “Edasi”.

31. Millist tingimust muutsite anaeroobse glükolüüsi toimumiseks?

Anaeroobse glükolüüsi toimumiseks muutsin _____

32. Õige tingimuse valisin _____ korral.

33. Mille poolest erineb anaeroobne glükolüüs aeroobsest glükolüüsist?

Anaeroobsel glükolüüsi lõpp – produktideks on kaks _____ - süsinikulist ühendit ja _____ ATP molekuli. Aeroobse glükolüüsi puhul jätkub glükoosi lagundamine _____ reaktsioonides.

Treening jõusaalis

Mati ja Karl plaanisid koos jõusaali minna. Seda nad tegidki ning seal avastasid poisid palju uusi ja huvitavaid jõumasinaid. Samuti nägid nad hulga musklites mehi ning soovisid ka kiirelt sellisesse vormi saada. Selle nimel hakkasid poisid aktiivselt masinaid kasutama. Pärast esimest intensiivset treeningut olid poistel järgmisel päeval lihased valusad.

34. Miks jäid poistel lihased valusaks?

35. Millised glükoosi lagundamise etapid jäid sel juhul välja?

Kevadine matk

Võrdse tasemega spordipoisid Mati ja Karl olid parimad sõbrad. Sel kevadel toimus huvitav matk looduses ning poisid otsustasid sellest osa võtta. Matka algus läks neil hästi, kuid lõpupoole, kui läbitud oli juba 15 kilomeetrit, poisid väsisid. Nad ei jõudnud enam endises tempos kõndida ning jäid teistest maha. Mati ja Karl jõudsid viimasesse puhkepunktis, kus pakuti rosinakisselli. Mati otsustas puhkepunktist mööduda kisselli joomata. Ta lootis nii aega kokku hoida ja teistele järele jõuda. Karl otsustas aga rosinakisselli kasuks. Karl tegi matka lõpuni kuid Mati seda teha ei jõudnud ning jättis pooleli.

36. Miks Karl jõudis matka lõpuni kõndida?

37. Kuidas muutis kisselli joomine glükoosi lagundamise etappe?

Andke täidetud tööleht õpetajale!

Täname vastamast!

LISA 3. Eelküsimumstik.

Nimi: _____ Kool: _____ Klass: _____

Kuupäev: _____

Eelküsimumstik

Fotosüntees ja glükoosi lagundamine

Kirjutage lünka sobiv sõna!

1. Fotosünteesi valgusstaadiumis lagundatakse _____ molekule. Selle tulemusena eralduvad _____ molekulid, _____ ioonid ja elektronid.
2. Väljahingatavas õhus sisalduv CO_2 tuleb glükoosi lagundamise _____ reaktsioonidest.
3. Fotosünteesi süsiniku allikaks on _____ molekulid, mis sisenevad pimedusstaadiumi _____ reaktsioonidesse.
4. Glükoosi lagundamise tsitraaditsükli _____ aatomite arv _____ molekulides muutub. Seejuures eralduvad _____ molekulid.
5. Fotosünteesi valgusstaadiumis liiguvad ergastunud _____ NADP molekulidele, mis seejärel seovad _____ ioone.
6. Enne glükoosi lagundamise tsitraaditsükli sisenemist eraldub püroviinamarihappest _____ molekul ja kaks _____ aatomit, mis seotakse _____ molekulidega.
7. Fotosünteesi toimumise kiirus väheneb, kui _____ kontsentratsioon langeb.
8. Glükoosi lagundamine kiireneb, kui _____ kontsentratsioon langeb.
9. Fotosünteesi valgusstaadiumis moodustunud _____ ja _____ molekule kasutatakse _____ pimedusstaadiumi _____ reaktsioonides.
10. ATP-süntaasi abil salvestatakse _____ ionide liikumise energia ATP molekulidesse, mis moodustuvad fosfaatrühma lisandumisel _____ molekulidele.
11. Kui CO_2 kontsentratsiooni tõsta, siis fotosünteesi toimumine muutub _____.
12. Glükoosi lagundamise tsitraaditsükli siseneb _____ ühend.
13. Fotosünteesi pimedusstaadiumis on peamisteks energiaallikateks _____ molekulid.

14. Glükoosi lagundamise hingamisahela reaktsioonide lõpp-produktiks on vesi, mille koostisse kuuluvad vesiniku aatomid saadakse _____ molekulidest

15. Fotosünteesi Calvini tsüklist väljub kaks _____ ühendit.

16. Glükoosi lagundamise hingamisahela reaktsioonides kasutatakse eelmistes etappides moodustunud _____ molekule.

17. Langetades _____ kontsentratsiooni, muutub aeroobne glükolüüs anaeroobseks glükolüüsiks.

18. Sel aastal oli ilus päikesepaisteline suvi. Mari läks mitmenädalasele reisile. Reisilt naastes avastas ta, et kodus olevad taimed olid närbunud. Millised tegurid võisid seda põhjustada?

19. Siim osaleb suusamaratonil, lõpuni on veel mõni kilomeeter, aga tal on jõud otsas. Mida peaks Siim maratonil selleks tegema, et võistlus edukalt lõpetada?

20. Kahes kasvuhoones kasvavad sama liiki taimed. Ühes kasvuhoones kasvavad taimed paremini kui teises. Millest võib nende parem kasv olla tingitud?

21. Pärast intensiivset kehalise kasvutunde olid Maril lihased valusad, mis oli tingitud piimhappe moodustumisest. Millised tegurid mõjutavad piimhappe kuhjumist lihastesse?

Täname vastamast!

LISA 4. Järeloküsimustik.

Nimi: _____ Kool: _____ Klass: _____

Kuupäev: _____

Järeloküsimustik

Fotosüntees ja glükoosi lagundamine

Kirjutage lünka sobiv sõna!

1. Fotosünteesi pimedusstaadiumis on peamiseks energiaallikateks _____ molekulid.

2. Glükoosi lagundamise hingamisahela reaktsioonides kasutatakse eelmistes etappides moodustunud _____ molekule.

3. Fotosünteesi valgusstaadiumis lagundatakse _____ molekule. Selle tulemusena eralduvad _____ molekulid, _____ ioonid ja elektronid.

4. Glükoosi lagundamise hingamisahela reaktsioonide lõpp-produktiks on vesi, mille koostisse kuuluvad vesiniku aatomid saadakse _____ molekulidest.

5. Fotosünteesi süsiniku allikaks on _____ molekulid, mis sisenevad pimedusstaadiumi _____ reaktsioonidesse.

6. Sel aastal oli ilus päikesepaisteline suvi. Kristel läks mitmeks nädalaks vanaema juurde maale puhkama. Puhkuselt naastes avastas ta, et kodus olevad taimed olid närbumud. Millised tegurid võisid seda põhjustada?

7. Glükoosi lagundamise tsitraaditsükli _____ aatomite arv _____ molekulides muutub. Seejuures eralduvad _____ molekulid.

8. Fotosünteesi toimumise kiirus väheneb, kui _____ kontsentratsioon langeb.

9. Martin osaleb koolidevahelisel pikamaajooksu võistlusel, lõpuni on veel mõni kilomeeter, aga tal on jõud otsas. Mida peaks Martin võistlusel selleks tegema, et pikamaajooks edukalt lõpetada?

10. Glükoosi lagundamine kiireneb, kui _____ kontsentratsioon langeb.

11. Fotosünteesi valgusstaadiumis liiguvad ergastunud _____ NADP molekulidele, mis seejärel seovad _____ ioone.

12. Väljahingatavas õhus sisalduv CO_2 tuleb glükoosi lagundamise reaktsioonidest.

13. Fotosünteesi valgusstaadiumis moodustunud _____ ja _____ molekule kasutatakse pimedusstaadiumi reaktsioonides.

14. Enne glükoosi lagundamise tsitraaditsükli sisenemist eraldub püroviinamarihappest _____ molekul ja kaks _____ aatomit, mis seotakse _____ molekulidega.

15. Fotosünteesi Calvini tsüklist väljub kaks _____ ühendit.

16. ATP-süntaasi abil salvestatakse _____ ioonide liikumise energia ATP molekulidesse, mis moodustuvad fosfaatrühma lisandumisel _____ molekulidele.

17. Pärast intensiivset treeningut olid Anul lihased valusad, mis oli tingitud piimhappe moodustumisest. Millised tegurid mõjutavad piimhappe kuhjumist lihastesse?

18. Langetades _____ kontsentratsiooni, muutub aeroobne glükolüüs anaeroobseks glükolüüsiks.

19. Kui CO_2 kontsentratsiooni tõsta, siis fotosünteesi toimumine muutub _____.

20. Glükoosi lagundamise tsitraaditsükli sisenemise ühend _____.

21. Kahes kasvuhuones kasvavad sama liiki taimed. Ühes kasvuhuones kasvavad taimed paremini kui teises. Millest võib nende parem kasv olla tingitud?

Täname vastamast!

LISA 5. Õpilaste (n=194) arusaamise areng glükoosi lagundamise komponentide funktsioonidest eel- ja järelküsimustiku vastuste põhjal. Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed rank* testiga.

Küsimuse nr. (komponent)	Õigete vastuste arv eelküsimustikus	Õigete vastuste % eelküsimustikus	Õigete vastuste arv järelküsimustikus	Õigete vastuste % järelküsimustikus	Z	p
6b (H)	52	26	127	65	-7,7	<0,001
6c (NAD)	32	16	128	66	-9,1	<0,001
10a (H)	59	30	145	74	-8,5	<0,001
10b (ADP)	17	8	97	50	-8,2	<0,001
13 (NADH ₂)	45	23	136	70	-9,1	<0,001

LISA 6. Õpilaste (n=194) arusaamise areng fotosünteesi komponentide funktsioonidest eel- ja järelküsimustiku vastuste põhjal. Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed rank* testiga.

Komponent.	Õigete vastuste arv eelküsimustikus	Õigete vastuste % eelküsimustikus	Õigete vastuste arv järelküsimustikus	Õigete vastuste % järelküsimustikus	Z	p
CO ₂	59	30	168	86	-9,9	<0,001
H	82	42	166	85	-8,7	<0,001
ATP	64	32	140	72	-7,4	<0,001
NADPH ₂	48	24	145	54	-9,1	<0,001
ATP	45	23	136	70	-7,4	<0,001

LISA 7. Õpilaste (n=194) arusaamise areng fotosünteesi ja glükoosi lagundamist mõjutavatest teguritest eel- ja järelküsimumstiku vastuste põhjal. Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed rank* testiga.

Küsimumse nr. (protsess)	Õigete vastuste arv eelküsimum.	Õigete vastuste % eelküsimum.	Õigete vastuste arv järelküsimum.	Õigete vastuste % järelküsimum.	Z	p
7 (fotosüntees aeglustus)	105	54	170	87	-6,7	<0,001
17 (fotosüntees kiirenes)	81	41	138	71	-5,7	<0,001
8 (glükoosi lagundamine kiirenes)	6	3	81	41	-8,2	<0,001
16 (anaeroobne glükolüüs)	95	48	137	70	-5,4	<0,001

LISA 8. Õpilaste (n=194) fotosünteesi ja glükoosi lagundamise igapäevaeluliste probleemide lahenduste areng eel- ja järelküsimumstiku vastuste põhjal. Statistilised tulemused saadi *Wilcoxon signed rank* testiga.

Küsimumse nr. (protsess)	Õigete vastuste arv eelküsimum.	Õigete vastuste % eelküsimum.	Õigete vastuste arv järelküsimum.	Õigete vastuste % järelküsimum.	Z	p
18 (fotosüntees)	158	40	184	94	-3,1	<0,001
20 (fotosüntees)	185	31	352	60	-7,9	<0,001
19 (glükoosi lagundamine)	106	27	216	55	-8,1	<0,001
21 (glükoosi lagundamine)	56	28	115	59	-6,8	<0,001

LISA 9. Fotosünteesi mudeliga õpilaste (n=194) poolt teostatud keskmine operatsioonide arv ühe molekuli kohta.

Teostatud operatsioon	Keskmine operatsioonide arv
H ₂ O	1,3
NADP	1,6
ADP	1,4
CO ₂	1,4

LISA 10. Glükoosi lagundamise mudeliga õpilaste (n=194) poolt teostatud keskmine operatsioonide arv ühe molekuli kohta.

Teostatud operatsioon	Keskmine operatsioonide arv
glükoos	1,2
NAD	1,6
ADP	1,6
O ₂	1,6