

Tartu ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Loodusteadusliku hariduse keskus

Tauri Moones

**Gümnaasiumi õpilaste arusaamise areng  
elektrokeemilistest protsessidest rakendades  
veebipõhiseid animatsioone**

Juhendaja Maksim Zinakov

Tartu 2013

## Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1. Kirjanduse ülevaade .....	5
1.1. Õpilaste raskused ja väärarusaamad elektrokeemias.....	5
1.2. Animatsioonide olemus ning nende efektiivsust õpetamisel mõjutavad tegurid .....	7
1.3. Animatsioonide loomise meetodika .....	10
1.4. Gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded elektrolüüsi ja keemilise vooluallika õpetamiseks .....	11
2. Meetodika .....	13
2.1 Keemiaõpetajate ja -õppejõudude küsitlus õpilaste väärarusaamade väljaselgitamiseks .....	13
2.2 Pilootturing.....	13
2.3 Põhiuuringu ülesehitus .....	14
2.4 Valim.....	15
2.5 Õpikeskkond .....	15
2.5.1 Elektrolüüsi animatsioon.....	16
2.5.2 Keemilise vooluallika animatsioon.....	17
2.6 Töölehed.....	19
2.7 Eelküsimustik ja järelküsimustikud .....	20
2.8 Andmeanalüüs.....	20
3. Tulemused ja arutelu .....	21
3.1 Keemiaõpetajate ja -õppejõudude küsitlus vajaduste väljaselgitamiseks .....	21
3.2 Õpilaste arusaamise areng elektrokeemilistest protsessidest .....	22
3.3 Video ja animatsiooni integreerimise mõju arusaamise arengule.....	24
3.4 Õpilaste arusaamise areng mikrotasandil toimuvatest protsessidest.....	25
3.6. Animatsioonide mõju uute teadmiste salvestumisele pikaajalisse mällu.....	26
Järeldused ja soovitused .....	29
Kokkuvõte .....	31
Tänuavaldused.....	33
Kasutatud kirjandus.....	34
Summary .....	40
Lisad.....	42

## Sissejuhatus

Käesolevas töös uuritakse gümnaasiumi õpilaste arusaamise arengut elektrolüüsi ja keemilise vooluallika protsessidest rakendades veebipõhiseid animatsioone. Teemad valiti seetõttu, kuna need on abstraktsed ja nõuavad õpilastelt protsesside arusaamist mikrotasandil ning on seetõttu raskesti arusaadavad.

Viimasel paaril aastakümnel on üha rohkem hakatud kasutama animatsioone loodusteaduste õpetamisel. Animatsioonide eeliseks staatiliste piltide ees on võime näidata protsesse dünaamilisena nagu nad ka looduses esinevad (Appling ja Peake, 2004). Nende kaudu on võimalik õpetada abstraktseid teemasid, mis nõuavad arusaamist mikrotasandist. See oli ka üheks magistritöö teema valiku põhjuseks.

Magistritöö raames viidi läbi eksperiment kasutades kahte veebipõhist animatsiooni: „Elektrolüüs“ ([www.keemikud.eu/elektroluus.php](http://www.keemikud.eu/elektroluus.php)) ja „Keemiline vooluallikas“ ([www.keemikud.eu/vooluallikas.php](http://www.keemikud.eu/vooluallikas.php)). Erinevad uuringud on näidanud animatsioonide erinevat mõju õpilaste arusaamise arengule (Barnea ja Dori, 1999; Betrancourt, 2005; Boucheix ja Schneider, 2009). Sellest tulenevalt valiti üheks töö eesmärgiks uurida gümnaasiumi õpilaste arusaamise arengut elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast rakendades veebipõhiseid animatsioone.

Kontseptuaalne arusaamine keemias tuleneb sümbol-, mikro- ja makrotasandist (Johnstone, 1993). Sümboltasandil õpetamine-õppimine toetub sümbolitele, valemitele ja graafikutele. Mikrotasandil õppimisel-õpetamisel käsitletakse protsesse aatomite, molekulide ja ionide tasandil. Makrotasandi all mõeldakse tavaliselt seda, mida näeme ja saame kompida ning mille lõhna me tunneme (Johnstone, 2000). Antud töös pöörati erilist tähelepanu mikro- ja makrotasandile, kuna vastavalt Johnstone (2000) uuringule üle 70% keemiaõppesst niikuinii toimub sümboltasandil. Makrotasandil õpetamiseks kasutati videosid, millest tulenevalt sõnastati teine uurimiseesmärk: uurida arusaamist elektrokeemilistest protsessidest video integreerimisel animatsiooni. Mikrotasandi õpetamiseks loodi animatsioon, et uurida õpilaste arusaamise arengut elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil veebipõhiste animatsioonide rakendamisel, mis oli kolmandaks uurimiseesmärgiks.

Vastavalt magistritöö eesmärkidele püstitati uurimisküsimused:

1. Mil määral areneb õpilaste arusaamine elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast veebipõhiste animatsioonide rakendamisel?
2. Mil määral areneb õpilaste arusaamine elektrokeemilistest protsessidest mikrotasandil video integreerimisel animatsiooni?
3. Mil määral areneb õpilaste arusaamine elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil veebipõhiste animatsioonide rakendamisel?

# 1. Kirjanduse ülevaade

## 1.1. Õpilaste raskused ja väärarusaamad elektrokeemias

Gümnaasiumi õpilased leiavad, et elektrolüüs ja keemiline vooluallikas on väga raskesti mõistetavad, sest mõlemad on seotud elektrivoolu ja redoksreaktsioonidega. Elektrokeemiat on peetud üheks kõige keerulisemaks teemaks nii õpilaste kui ka õpetajate poolt (Roger, 2000).

Üheks raskuse põhjuseks elektrokeemias on mikrotasandil toimuvatest protsessidest mitteamine. Opereerimine sellel tasandil on paljudele õpilastele üle jõu käiv (Kozma ja Russell, 1997), kuna me ei näe osakeste liikumist ning nendega toimuvaid muutuseid. Seetõttu on õppimine formaalne ning õpilased õpivad teema tähtsamad punktid pähe neist aru saamata (Kozma ja Russell, 1997).

Uuringud on näidanud, et õpilased alustavad keemiaõpinguid teatud eelteadmistega, kuidas loodus toimib, aga need ei pruugi olla teaduslikult põhjendatud – neid nimetatakse väärarusaamadeks (Garnett ja Treagust, 1992). Need võivad olla äärmiselt püsivad ja raskendada arusaamist järgnevatest teemadest. Mitmed keemiahariduse uurijad on üritanud leida vastust küsimustele (Ebenezer ja Erickson, 1996):

1. Mis on peamised väärarusaamad?
2. Mis on nende väärarusaamade allikad?
3. Mis põhjustab nende väärarusaamade püsimist õppuri pikaajalises mälus?
4. Mida õpetaja saab teha, et aidata õpilasel väärarusaamu asendada teaduslikult põhjendatud ettekujutustega?

Mitmeid väärarusaamu seoses keemilise vooluallikaga on toonud välja Garnett ja Treagust oma uuringus (1992). Tavalisemad neist, mida õpilased usuvad:

- elektronid liiguvad läbi lahuse olles kord seotud ühe iooni, siis teisega;
- elektronid seonduvad katoodil ionidega ning need kantakse edasi anoodile;
- elektronid sisenevad lahusesse katoodilt, liiguvad läbi lahuse ning soolasilla anoodile;

- anioonid soolasillal ning elektrolüüdilahuses kannavad elektrone katoodilt anoodile;
- anood on positiivselt laetud, kuna ta annab elektrone ära.

Kaks täiendavat väärarusaama leidsid Sanger ja Greenbowe (1997a):

- elektronid saavad lahust läbida ilma ionide abita;
- ainult negatiivselt laetud ionid on vajalikud elektrivoolu tekkimiseks.

Põhilised väärarusaamad seoses elektrolüüsiga tõid välja Sanger ja Greenbowe oma teises uuringus (1997b) ning Acar ja Tarhan (2007):

- identsete elektrodide kasutamise korral mõlemal toimub sama reaktsioon
- vooluallika polaarsus ei oma mõju elektrodidele;
- vesi ei osale elektrolüüsiprotsessis;
- saadused elektrolüüdilahuse ning sulatatud elektrolüüdi korral on samad;
- lahuses on elektronid elektrivoolukandjateks;
- anioonid liiguvad lahuses katoodi ning katioonid anoodi suunas.

Väärarusaamade allikaid võib olla mitmeid. Sanger ja Greenbowe (1992) leidsid, et õpilased, kes õppisid elektrokeemiat gümnaasiumis ja ülikoolis õpikute abil omasid mitmeid väärarusaamu. Õppimine staatiliste piltide ja diagrammide abil ei pruugi olla alati tulemuslik, kuna paljud protsessid looduses on dünaamilised. Õpilased püüavad luua staatiliste piltide abil isiklike mentaalseid mõttemudeleid, aga need ei pruugi kokku langeda teaduses valitsevate arusaamadega.

Mitmed uuringud on näidanud animatsioonide kasulikku mõju omandamiseks loodusteaduslikku haridust (Williamson ja Abraham, 1995; Rosen, 2009), aga on leitud ka vastupidist efekti. Mitmed uurijad väidavad, et animatsioonid on lihtsustatud versioonid protsessidest ning võivad takistada õpilastel loomaks enda mentaalseid mudeleid kasutades kujutlusvõimet (Schnotz ja Rasch, 2005) ja on potentsiaalsed väärarusaamade allikad (Mayer jt, 2001). Animatsioonides tihti jäetakse kõrvalised protsessid näitamata ning õpilastel võib tekkida ettekujutus, et loodus toimibki sama lihtsalt.

Olles teadlik õpilastel esinevatest väärarusaamadest saab õpetaja üles ehitada õppeprotsessi nii, et oleks võimalik neid vältida. Kuid alati see ei õnnestu, kuna õpilased on individuaalselt erinevad ning kasutatud õppemeetod ei pruukinud olla kõige efektiivsem. Sellisel juhul tuleb teada, kuidas tekitada olukord, et õpilased asendaksid väärarusaamad teaduslikult põhjendatud vaadetega. Strike ja Posner (1992) tõstsid esile neli seisundit, mis peavad olema täidetud enne, kui leiab aset muutus õpilase mõtlemises. Seisundid on järgmised:

- õpilane peab olema rahulolematu olemasolevate kontseptsioonidega;
- alternatiivne kontseptsioon peab olema arusaadav;
- alternatiivne kontseptsioon peab olema vastuvõetav;
- alternatiivne kontseptsioon peab olema kasulik.

Väärarusaamade kindlaks tegemine on küllaltki oluline. Väärarusaamad, mis esinevad õpilastel gümnaasiumi astmes, esinevad suure tõenäosusega ka ülikooli tudengitel. Teine oluline põhjus – tihti on need kontseptsioonid tugevalt integreerunud õpilaste kognitiivsete struktuuridega ning neid on keeruline muuta (Duit ja Treagust, 1998; Tytler, 2002). Kui õpetajal puudub ülevaade võimalikest esinevatest väärarusaamadest, siis on keeruline valida õppemeetodit, mis annaks parima võimaliku tulemuse käsitletavas teemas.

## **1.2. Animatsioonide olemus ning nende efektiivsust õpetamisel mõjutavad tegurid**

Lowe (2003) defineerib animatsiooni kui illustratsiooni ekraanil, mis võib muuta oma struktuuri või muid atribuute ajas ning mida tajutakse lakkamatu muutusteahelana. Lühemad animatsioonid on kestusega mõned sekundid ning õpilastel on võimalus järgnevatel vaatamiskordadel tähelepanu pöörata erinevatele aspektidele. Sanger jt (2000) väidavad, et korratavus ongi animatsioonide suureks eeliseks. Pikemate animatsioonide korral pole alati otstarbekas oodata animatsiooni lõppu ning seetõttu animatsioonide loojad lisavad erinevaid võimalusi, et õpilastel oleks võimalik korrata teatud segmente animatsioonide sees.

Struktuurilt keerulisemad on animatsioonid, mis lisaks sisaldavad videosid. Videote abil on võimalik näidata reaalsete objektide liikumisi, nagu nad looduses esinevad. Animatsioone seevastu kasutatakse simuleeritud objektide liikumise näitamiseks (Mayer ja Moreno, 2002). Näiteks esitatakse värviliste molekulide või aatomite liikumist, aga looduses see nii ei ole. Videosid kasutatakse tavaliselt siis, kui on oluline näidata protsesse neile loomulikus keskkonnas ilma lihtsustusteta.

Oluline teooria, mis aitab seletada animatsioonide kasulikkust staatiliste piltide ees, on kognitiivse koormuse teooria (*cognitive load theory*). Kognitiivse koormuse teoorias (Sweller, 1994) pööratakse erilist tähelepanu viisile, kuidas mäluressursse kasutatakse õppimisel ning kuidas seda rakendatakse õppides animatsioonidega. Kognitiivse koormuse teooria toob välja kolm kognitiivse koormuse kategooriat:

- Seesmine kognitiivne koormus (*intrinsic cognitive load*) sõltub kogemusest ning seda ei ole võimalik mõjutada õppematerjalidega ning tööjuhenditega.
- Väline kognitiivne koormus (*extraneous cognitive load*) on mõjutatud materjali esitamise viisist. Kui väline koormus on liiga suur, saab takistuseks töömälu mahtuvus. Animatsioonide efektiivsus langeb, kui väline koormus on liiga suur.
- Ülesandespetsiifiline koormus (*germane cognitive load*) viitab töömälu ressurssidele, et omandada uut informatsiooni.

Animatsioonid aitavad mentaalselt visualiseerida protsesse ja protseduure ning sel teel vähendatakse kognitiivset koormust. Sama protsessi kirjeldamine staatiliste piltide seeriana võib tekitada töömälus ülekoormust. Kuna staatilisi pilte ei saa pidevalt korrata tuues väheseid muudatusi sisse, siis üritatakse vajalik informatsioon mahutada ühele pildile, mis võib vähendada arusaamist (Lewalter, 1997). Teisest küljest vaadatuna – animatsioonis ei ole informatsioon permanentselt ees (Hegarty, 2004). See tähendab, et õpilased peavad kogu aeg meenutama eelnevat võttes samal ajal vastu uut informatsiooni. Vastavalt kognitiivse koormuse teooriale (Sweller, 1994) – töömälul on piiratud mahtuvus.

Schnotz ja Rasch (2005) leidsid kaks viisi, kuidas animatsioon hõlbustab kognitiivseid protsesse. Esimest nad nimetasid animatsiooni lubavaks funktsiooniks (*enabling function*). Animatsioon saab kanda endas lisainformatsiooni, mida ei saa



näidata piltidega. See lisainformatsioon lubab täiendavat kognitiivset töötlust. Teist nimetatakse hõlbustavaks funktsiooniks (*facilitating function*). Animatsioon võib aidata ehitada dünaamilisi mentaalseid mudeleid andes välist (*external*) toetust. Sel viisil animatsioon muudab kognitiivsete protsesside töötluste lihtsamaks. Betrancourt (2005) identifitseeris täiendava kognitiivse funktsiooni – animatsioonid aitavad luua õpilastes kognitiivset konflikti. Õppeprotsessi käigus üritatakse õpilases tekitada rahulolematust enda olemasolevate teadmiste suhtes. Näiteks õpilased arvavad, et elektronid on võimelised liikuma vabal kujul läbi lahuse. Animatsioonid on head vahendid näitamaks läbi liikumise, et see nii ei ole. Selle käigus õpilase kognitiivsed struktuurid muutuvad ja väärarusaam asendatakse teaduslikult põhjendatud nägemusega.

Olulise panuse seletamiseks animatsioonide kasutamist õppeprotsessis andis Richard E. Mayer oma paljudes uurimistöodes (Mayer ja Anderson, 1991; Mayer ja Challini, 1990; Mayer ja Chandler, 2001;). Ta tegi kindlaks mitmeid printsiipe, mida on võimalik kasutada loomaks vajalikke tingimusi õppimiseks nii animatsioonidega kui ka staatilise multimeediaga. Olulisemad neist on järgmised:

- Multimeedia printsiip (*multimedia principle*) – õpilased õpivad paremini sõnade ja piltidega kui ainult sõnadega;
- Ruumilise läheduse printsiip (*spatial contiguity principle*) – õpilased õpivad paremini, kui ekraanil kuvatud tekst on nende objektide lähedal, mida need kirjeldavad. Õpilased on võimelised paremini looma mentaalset ühendust sõnade ja piltide vahel, kui need on kõrvuti ekraanil. Kui need asuvad üksteisest kaugel, õpilased peavad koormama piiratud mahtuvusega töömälu;
- Ajalise läheduse printsiip (*temporal contiguity principle*) – õpilased õpivad paremini, kui sõnad ja pildid jõuavad ekraanile samal ajal;
- Sidususe printsiip (*coherence principle*) – õpilased õpivad paremini, kui kõrvalised sõnad, helid ja videod on eemaldatud. Õpilased võivad tähelepanu pöörata irrelevantsele materjalile ning pole võimelised mentaalset mudelit üles ehitama olulisest materjalist;
- Eelteadmiste printsiip (*pre-training principle*) – õpilased õpivad paremini, kui nad teavad eelnevalt tähtsamate mõistete nimetusi. Enne animatsiooniga töötamist peaksid õpilased olema teema läbinud traditsioonilisel viisil.

Üha enam uuringuid näitab, et animatsioonide abil on võimalik saada paremaid õpitulemusi kui traditsioonilistega (Roth, 1996; Burke jt, 1998; Barnea ja Dori, 1999; Sanger ja Greenbowe, 2000; Wu jt, 2001). Vähem uuringuid näitab animatsioonide negatiivset (Schnotz jt, 1999) või neutraalset (Prixe, 2002) mõju. Lisaks erinevatele teooriatele ja printsiipidele on oluliseks faktoriks teema valik. Kõiki teemasid pole mõtet õpetada animatsioonide vahendusel, kuna õpilased on võimelised ise looma mentaalseid mudeleid teatud teemadest. Tavaliselt on need teemad seotud igapäeva eluga ning õpilased võivad neid protsesse oma meeltega tajuda.

Animatsioon on kasulik meetod õpetamiseks erinevate loodusteaduste mõisteid ja protsesse, mis muidu võivad jääda liiga abstraktseks. Aatomid, molekulid ja ioonid ei ole staatilised – nad liiguvad, võnguvad, pörkuvad ja mõjutavad üksteist vastastikku. Neid dünaamilisi protsesse on parem esitada animatsioonis kui staatiliste piltidena. Animatsiooni saab konstrueerida nii, et dünaamilised visuaalsed pildid annaksid edasi abstraktset mõtet või kontseptsiooni (Burke jt, 1998; Appling ja Peake, 2004; Ardac ja Akaygun, 2004).

### 1.3 Animatsioonide loomise metoodika

*Java*, *Flash*'i ja teiste veebirakenduste areng võimaldab õpetajal kasutada õppetöös kompleksseid animatsioone. Loodusteaduste õpetajate, Tartu ülikooli, loodusteaduste didaktika lektoraadi ning 5D Vision OÜ koostöös valminud „Põhikooli loodusainete uurimusliku õppe mudelid“ on võimalik kasutada bioloogia, keemia ja füüsika õpetamisel (Adojaan ja Villako, 2005). Ühtlasi on võimalik kasutada ka mitmeid võõrkeelseid mudeleid või animatsioone. Alati ei ole vastava teema jaoks vajalikku eesti keelset animatsiooni ning võõrkeelne ei pruugi sobida koolitunnis õpetamiseks, kuna tekib keelebarjäär ja need võivad olla loodud vastava riigi õppekava silmas pidades (Väärtnõu, 2010). Lihtsamad animatsioonid saab valmis teha kasutades *Microsoft Office* tootekomplekti kuuluvat *Powerpoint*'i. Keerulisemaid animatsioone saab luua kasutades *Java*'l ja *Flash*'il põhinevaid programme. Kuid õppetarkvara ise luues tuleb arvestada, et see on mitmeetapiline protsess.

Kõige esimeses etapis tuleb identifitseerida teema, mis on animatsiooni loomise aluseks (Burke jt, 1998). Teema valik aitab tööd piiritleda, kuna siis hoidutakse animatsiooni koormamisest üleliigsete terminitega. Kindlasti peab arvestama järgmiste punktidega:

- valitav teema peab kätkeva endas ruumilisi struktuure ja dünaamilisi protsesse (Barak ja Dori, 2005);
- animatsioon peab olema kooskõlas õppekavaga (Hoffler ja Leuner, 2007);
- õpilased pole iseseisvalt võimelised vaadeldavat fenomeni või protsessi ette kujutama (Schnotz ja Rasch, 2005).

Teises etapis hakatakse looma animatsiooni. Siin tuleb järgida kindlasti teatud punkte (Burke jt 1998):

- täpne keemiamõistete kasutamine;
- võimalus saada tekstilist seletust;
- paneel „Edasi“, „Tagasi“, „Paus“ ja „Välja“ nuppudega;
- võimalus anda tagasisidet;
- internetipõhisuse võimalus;
- võimalus kasutada erinevates operatsioonisüsteemides või veebilehitsejates.

Mayer ja Chandler (2001) leidsid, et õpilased, kelle õppeprotsess oli segmentideks jaotatud ja omasid kontrolli animatsiooni üle, näitasid paremaid teadmisi kui need, kes vaatasid animatsiooni ühe pika jadana. Seega on küllaltki oluline õpilaste poolne kontroll (Ayres ja Paas, 2007). Segmentatsioon ja interaktiivsus on spetsiifilised tehnilised võtted võimaldamaks õpilasel omandada kontrolli õpikeskkonna üle (Mayer ja Moreno, 2002). Sangar jt (2000) väidavad, et animatsioonide korratavus laseb õpilastel fookuseerida tähelepanu erinevatele aspektidele.

#### **1.4 Gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded elektrolüüsi ja keemilise vooluallika õpetamiseks**

Kohustuslike gümnaasiumi keemiakursuste arv 2010. aastal jõustunud riiklikus õppekavas on vähenenud ühe kursuse võrra (RÕK, 2010). Võrreldes varasemaga (RÕK, 2002) on üldise ja anorgaanilise keemia õpetamiseks kahe kursuse asemel üks kursus. See kärbe tõi kaasa vajaduse oluliselt lihtsustada muude teemade käsitlust.

Suuremat tähelepanu on pööratud IKT kasutamisele keemiatunnis. Välja on toodud IKT rakendused erinevate teemade puhul. See muutus peaks võimaldama paremaid tulemusi õpilaste loodusteaduste- ja tehnoloogiaalase kirjaoskuse kujundamisel.

Erinevate mõistete arv on vähenenud. Allesjäänud mõisted on eraldi välja toodud, mida õpilased peavad teadma teema lõpuks. Faktipõhilisuselt on üritatud liikuda õpitava seostamisele igapäevaelu probleemidega.

Õppesisus ja õpitulemustes on toodud seoses elektrokeemiaga välja järgmised punktid:

- elektrolüüsi põhimõte ja kasutusala (tutvustavalt);
- selgitab keemiliste vooluallikate tööpõhimõtet ja tähtsust ning toob näiteid nende kasutamise kohta igapäevaelus.

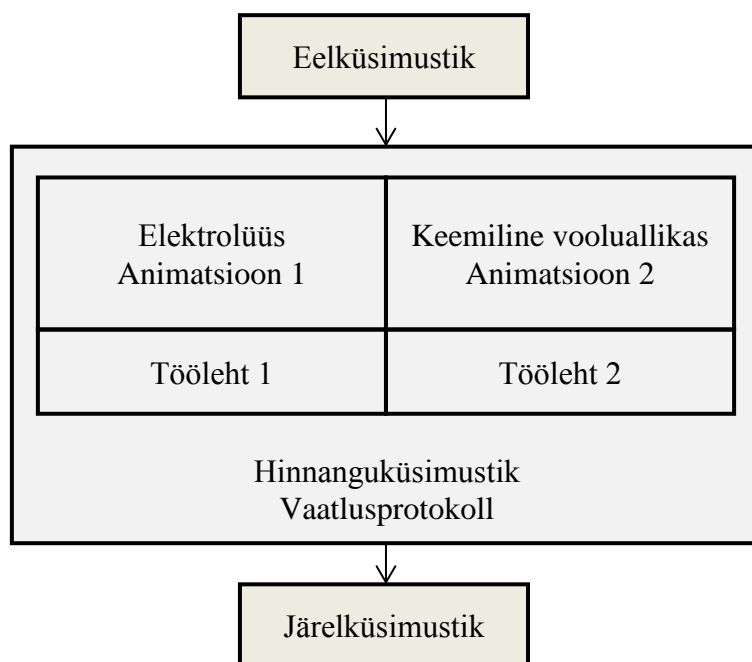
## 2. Metoodika

### 2.1 Keemiaõpetajate ja -õppejõudude küsitlus õpilaste väärarusaamade väljaselgitamiseks

2011. aasta novembrist kuni 2012. aasta jaanuarini viidi läbi keemiaõpetajate ja õppejõudude küsitlus e-maili teel (Lisa 1). Küsimustiku täitis kokku 19 õpetajat ja 2 õppejõudu. Eesmärk oli teada saada, millised väärarusaamad esinevad õpilastel seoses elektrokeemiaga. Vastuste analüüsil selgus, et keemiaõpetajad käsitlesid elektrolüüsi ja keemilist vooluallikat koos ning seletasid õpilaste väärarusaamu läbi nende kahe protsessi. Seetõttu lisaks eelnevalt plaanitud elektrolüüsi animatsioonile loodi ka keemilise vooluallika animatsioon.

### 2.2 Pilootuuring

Enne põhiuuringut viidi läbi pilootuuring (Joonis 1), mille lõplikku valimisse kuulus 31 õpilast Jaan Poska gümnaasiumi 10. klassist.



**Joonis 1.** Pilootuuringu kava.

Pilootuuringule seati mitmeid eesmärke:

1. Kontrollida eel- ja järelküsimustiku valiidsust.
2. Hinnata töölehtede rakendatavust.
3. Selgitada välja, kas animatsioonidega töötamiseks jäi piisavalt aega.

Vastavalt uurimiseesmärkidele sõnastati uurimisküsimused:

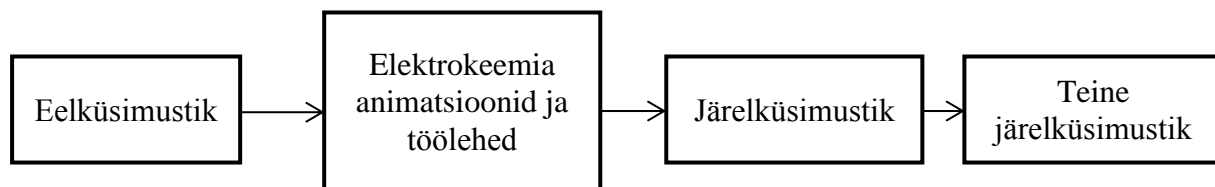
1. Kas eel- ja järelküsimustik on valiidsed?
2. Kas töölehed on rakendatavad arvutitunnis animatsioonidega töötades?
3. Kas animatsioonidega töötamiseks jäi piisavalt aega?

Tuginedes õpilastelt saadud tagasisidele (Lisa 2), vaatlusandmetele (Lisa 3) ning töölehtede analüüsile, viidi sisse mõningaid muudatusi. Muudeti animatsiooni ülesehitust ning mitmete protsesside näitamine muudeti detailsemaks, et ei tekiks kaheti arusaamise võimalust. Tagasisides toodi välja, et videosid oli halb juhtida (puudusid edasi-tagasi kerimise võimalused). Ühtlasi tuli vaatluse käigus välja, et video vaatamine võttis kõige rohkem aega, kuna teatud protsessi uuesti vaatamiseks pidi kordama tervet videot. Seetõttu põhiuuringuks animatsiooni lisati kerimisnupud.

### 2.3 Põhiuuringu ülesehitus

2013. aasta veebruarist kuni mai kuuni viidi kahes koolis 10. ja 11. klassi õpilastega läbi eksperiment, milles rakendati kahte veebipõhist mudelit: üks elektrolüüsi ja teine keemilise vooluallika kohta.

Uuring viidi läbi neljas osas (Joonis 2): 1) eelküsimustiku täitmine, 2) tund arvutiklassis elektrolüüsi ja keemilise vooluallika animatsioonidega, 3) esimese järelküsimustiku täitmine, 4) teise järelküsimustiku täitmine. Mõlemas koolis oldi teemaga lõpetatud kaks nädalat enne eelküsimustiku täitmist ning nende teemade õpetamisel ei kasutatud arvutit.



**Joonis 2.** Põhiuuringu kava.

Eelküsimumstiku abil kontrolliti õpilaste arusaamist elektrolüüsi ja keemilisest vooluallikast. Eelküsimumstiku täitsid õpilased kõrvalist abi kasutamata. Keskmiselt kulus eelküsimumstiku täitmiseks 25-35 minutit.

Uuringu teises osas töötasid õpilased animatsioonide ja töölehtedega arvutiklassis. Elektrolüüsi ja keemilise vooluallika animatsiooni vaatamise ajal täitsid õpilased töölehti. Keskmiselt kulus tööks arvutiklassis 40-45 minutit.

Arvutitunni ja esimese järelküsimumstiku vahele jäi üks nädal aega. Järelküsimumstiku ülesandeks oli kontrollida, kui palju õpilased mäletavad arvutiklassis õpitut ja kas nende arusaamine oli paranenud võrreldes eelküsimumstikuga. Küsimumstiku täitmiseks kulus 25-30 minutit.

Esimese järelküsimumstiku ja teise järelküsimumstiku vahele jäi üks kuu aega. See pidi andma kindlama vastuse, kas elektrolüüsi ja keemilise vooluallika animatsioonidega töö tulemusena omandatud teadmised on salvestunud pikaajalisse mällu. Küsimumstiku täitmiseks kulus 25-30 minutit.

## 2.4 Valim

Magistritöö põhüuringuks vajalike andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim. Valimisse kuulus esialgselt 65 õpilast Tartu Kommertsgümnaasiumi 10. klassist ja 30 õpilast Miina Härma gümnaasiumi 11. klassist. Pärast esimest järelküsimumstikku jäi valimisse 39 õpilast Tartu Kommertsgümnaasiumist ja 16 õpilast Miina Härma gümnaasiumist, kes olid osalenud kõigis kolmes uurimisetapis. Tartu Kommertsgümnaasiumis viidi läbi ka teine järelküsimumstik (*delayed post-test*) 39 õpilasega, kes olid kaasa teinud kõik neli uurimisetappi.

## 2.5 Õpikeskkond

Veebipõhiste animatsioonide loomist alustati kohe, kui oli lõppenud keemiaõpetajate küsitlus. Põhiline programm, mida kasutati, oli *Adobe Flash Professional CS5*. Selle abil loodi nii elektrolüüsi kui ka keemilise vooluallika animatsioon. Videote töötlemiseks oli kasutada *Microsoft Movie Maker* ja *Cinelerra*. Veebipõhisuse

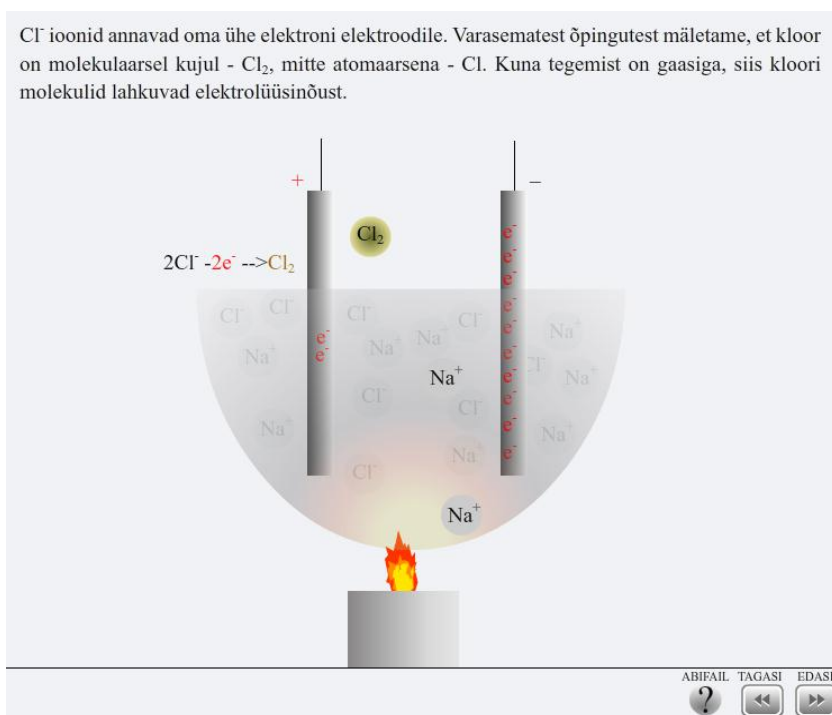
loomiseks kasutati *Phpbb* tarkvara. *Phpbb* tarkvara kasutamine võimaldas lihtsamini luua abilehtesid ning võimaldas töölehed ühe paberi peale mahutada.

Mõlemal animatsioonil oli sama kasutajaliides (*user interface*), mis lubas animatsioonis edasi liikuda või samme tagasi võtta. Videote puhul oli kasutada lisaks nupud „Mängi“, „Paus“, „Video suurendamine üle kogu ekraani“ ja „Video kerimise riba“.

Kasutusjuhend mõlema animatsiooni jaoks oli sama ning seda oli võimalik lugeda klõpsates nupul „Abifail“. See andis täpsemaid juhiseid animatsiooni kasutamise kohta.

### 2.5.1 Elektrolüüsi animatsioon

Elektrolüüsi animatsiooniga (Joonis 3) töötades saab õpilane näha, kuidas toimuvad protsessid makro- ja mikrotasandil. Esmalt alustatakse sissejuhatava videoga, kus tuuakse ülevaade, milliseid aineid on võimalik elektrolüüsi teel toota. Videos üritatakse läbi huvitavate ajalooliste protsesside näidata, kui oluline oli elektrolüüsi avastamine ning milline metall muutus kohe pärast seda üldkasutatavaks.



**Joonis 3.** Elektrolüüsi animatsiooni kuvapilt.



Animatsioon jätkub videoga, milles näidatakse ette katset, kuidas väga lihtsatest vahenditest on võimalik kokku panna elektrolüüsiseadet. See peaks ühtlasi kummutama arusaama, et alati ei ole elektrolüüsiprotsess keeruline. Videos näidatud katses kasutati 9V patareid, kahte juhet, vett, naatriumkloriidi ja ühte nõud.

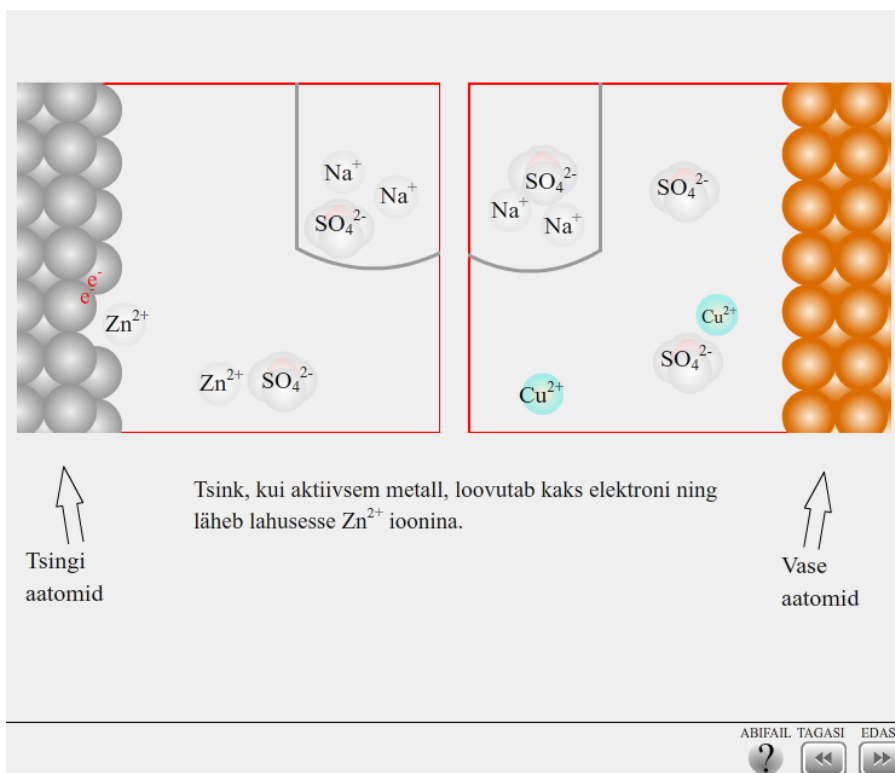
Pärast videot näidatakse animatsioonis, millistest osadest elektrolüüsiseade koosneb ning kuidas neid nimetatakse. Iga osa juures tuuakse detailne seletus, milleks vastav detail on vajalik. Abistav efekt peaks olema videol, kus reaalses oludes näidatakse elektrolüüsi erinevaid osasid. Näiteks tavaline pliiatsisüsi võib olla väga hästi antud protsessis elektrodiks.

Järgmisena näidatakse elektrolüüsiprotsessi sulatatud naatriumkloriidis mikrotasandil. Läbi visualiseerimise rõhutatakse, et antud protsessis osalevad ainult  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Cl}^-$  ioonid ning saadustena tekivad kloori molekulid ning metalliline naatrium.

Viimasena näidatakse mikroskoopilisel tasandil, miks elektrolüüsi ei ole võimalik läbi viia tahkes naatriumkloriidis. Sulatatud naatriumkloriidis said  $\text{Na}^+$  ja  $\text{Cl}^-$  ioonid vabalt liikuda, aga tahkes naatriumkloriidis ioonid võnguvad oma tasakaaluasendi ümber.

### **2.5.2 Keemilise vooluallika animatsioon**

Keemilise vooluallika (Joonis 4) animatsiooni ülesehitus sarnaneb olemuselt elektrolüüsi animatsioonile.



**Joonis 4.** Keemilise vooluallika animatsiooni kuvapilt.

Sissejuhatavas videos näidatakse keemiliste vooluallikate varieeruvust ning nende olulisust meie igapäeva elus. Videos näeb erinevaid patareisisid lõpetades sülearvutites kasutatavate akudega.

Teises videos näidatakse makroskoopilisel tasandil, kuidas käepärastest vahenditest on võimalik vooluallikat ehitada. Selleks võetakse üks sidrun, mis lõigatakse neljaks osaks. Iga osa sisse pannakse vasktraat ning tsingitud nael. Multimeetri abil on võimalik näidata pinge olemasolu. Sidrunipatareisisid hakatakse omavahel jadamisi ühendama ning iga uue osa lisamisel näidatakse pinge suurenemist. Neljanda sidruni tüki lisamise järgselt ühendatakse ahelasse LED, mis hakkab põlema. Pärast seda katset peaksid õpilased aru saama, et keemilise reaktsiooni teel on võimalik tekitada elektrivoolu.

Pärast videoid näidatakse, millistest osadest koosneb keemiline vooluallikas. Iga osa juures on seletus. Peamised komponendid on elektroodid ja elektrolüüdilahus. Eraldi

on välja toodud soolasild, mille juures on seletus ning märge, et seda kasutatakse ainult teatud juhtudel.

Järgmisena esitatakse probleemsituatsioon, kus tsinksulfaadiga täidetud nõus on tsinkelektrood ja vask(II)sulfaadiga täidetud nõus on vaskelektrood. Elektroodidega on ühendatud multimeeter, et pinget mõõta, kuid antud juhul reaktsiooni ei toimu. Selle käigus vihjatakse, et ühte nõusse ei saa koguneda positiivsed ning teise negatiivsed ioonid. See on sissejuhatus, et seletada soolasilla ülesannet antud katse puhul. Parema arusaamise soodustamiseks näidatakse seda protsessi mikrotasandil.

Vaskulfaadi nõus näidatakse tsinkvarrast ning soovitakse juhtida tähelepanu asjaolule, et sellisel teel ei ole võimalik tekitada elektrivoolu. Mikrotasandil näidatakse, et elektronid liiguvad otse tsingi aatomilt vase ioonile. Vask-tsink vooluallika korral need elektronid liiguvad läbi juhtmete tarbijani ning siis alles vase ioonile.

Vooluallika animatsioon lõpeb seletusega, miks mingi aja möödudes keemilised vooluallikad tuleb välja vahetada uute vastu. Peamiseks põhjuseks on keemilise reaktsiooni lähteainete otsa saamine. Kuna antud protsessi visualiseerimine oleks nõudnud palju tööd, piirduti elektronide liikumise näitamisega ning selle kõrval oli vastav seletus.

## 2.6 Töölehed

Animatsioonidega töötamiseks oli kasutada kaks töölehte, mis olid mahutatud ühe A4 lehe peale (Lisa 4 ja 5). Töölehtede eesmärk oli õpilaste tööd organiseerida ning juhtida tähelepanu olulistele aspektidele (Dalgarno, 2001). Esmalt oli õpilasel vaja märkida oma isikuandmed, sellele järgnes animatsiooni aadress. Ühtlasi soovitati lugeda abifaili. Selleks tuli klõpsata animatsioonis nupul „Abifail“.

Kokku oli töölehtedel 12 küsimust. Iga teema kohta 6. Küsimuste järjekord oli kooskõlas animatsiooni ülesehitusega, aga osade küsimuste puhul oli võimalik saada vastust mitmest kohast.

## 2.7 Eelküsimustik ja järelküsimustikud

Eelküsimustik ja mõlemad järelküsimustikud koosnesid identselt samadest küsimustest (Lisa 6). Elektrokeemiat puudutavaid küsimusi oli kokku 12. Valdkonnniti olid küsimused võrselt jagunenud – nii elektrolüüsi kui ka keemilise vooluallika kohta oli kuus küsimust. Eel- ja järelküsimustike vastuste võrdlus võimaldas hinnata õpilaste arusaamise arengut veebipõhiste animatsioonide ja vastavate töölehtede rakendamise tulemusena.

## 2.8 Andmeanalüüs

Eelküsimustiku ja mõlema järelküsimustiku vastused kodeeriti ning kanti *MS Excel* tabelisse. Kõik kolm küsimustikku koosnesid samadest küsimustest, mis võimaldas kasutada sama kodeerimist. Olenevalt küsimusest andis õige vastus ühe, kaks või kolm punkti.

Tabelisse kantud andmete põhjal koostati diagrammid, kus oli valimi keskmine tulemus protsentides. Sellisel viisil on kõige paremini võimalik saada visuaalne ülevaade, kui palju erinevad tulemused eel- kui ka järelküsimustikus ning üksiküsimuste kaupa protsentides.

Andmete edasiseks analüüsiks kasutati statistikaprogrammi *SPSS 17 (Statistical Package of Social Studies)* *Wilcoxon signed-ranks* testi. *Wilcoxon signed-ranks* testiga hinnati õpilaste arusaamise arengut elektrokeemia animatsioonide ja töölehtede rakendamise tulemusena. *Wilcoxon signed-rank* testi kasutatakse kahe sõltuva valimi võrdlemiseks. Mitteparameetrilist statistikat kasutati seetõttu, kuna valim on väike ning väärtused ei vastanud normaaljaotusele.

### 3. Tulemused ja arutelu

Käesoleva magistr töö eesmärkide saavutamiseks viidi esmalt läbi keemiaõpetajate ja õppejõudude küsitlus tegemaks kindlaks õpilaste raskusi ja väärarusaamu elektrokeemias. Need tulemused olid vajalikud animatsioonide loomiseks. Teiseks rakendati koolitundides kirjalikke eel- ja järelküsimumustikke ning veebipõhiseid animatsioone koos töölehtedega. Põhiuuring viidi läbi Tartu Kommertsgümnaasiumis ja Miina Härma gümnaasiumis. Lisaks viidi Tartu Kommertsgümnaasiumis läbi ka teine järelküsimumustik (*delayed post-test*). Saadud andmed võimaldasid selgitada õpilaste arusaamise arengut elektrokeemias rakendades veebipõhiseid animatsioone.

#### 3.1 Keemiaõpetajate ja -õppejõudude küsitlus vajaduste väljaselgitamiseks

2011. aasta novembrist kuni 2012. aasta jaanuarini viidi läbi keemiaõpetajate ja -õppejõudude küsitlus. Eesmärgiks oli teada saada, millised väärarusaamad ning raskused esinevad õpilastel seoses elektrolüüsiga. Küsimustik saadeti e-maili teel 45 õpetajale ja kahele õppejõule. Tagasi saadeti täidetult 21 küsimustikku: 19 keemiaõpetajate ja 2 õppejõudude poolt.

Vastustest analüüsist tuli välja, et kuna elektrolüüsi ja keemilise vooluallika teemasid käsitletakse lähestikku, siis võivad õpilastel need kaks teemat segamini minna. Näiteks pannakse elektrolüüsi puhul elektrodid erinevatesse nõudesse. Vähem levinud on viga, et kaks nõud veel omakorda ühendatakse soolasillaga. Isegi, kui kasutatakse ühte nõud, siis mõnikord unustatakse, et on vaja kahte elektroodi, mis on ühenduses vooluallikaga. Proovitakse kaks juhet ühendada ühe elektroodiga. Kui selliseid vigu tehakse praktilise katse käigus, siis õpilased saavad küllaltki kiiresti aru, et midagi on valesti tehtud, sest patarei läheb soojaks

Õpilased füüsikas on õppinud, et elektrivool on suunatud elektronide liikumine, aga keemias tekitab see teadmine palju segadust elektrolüüsi ja keemilise vooluallika teema läbimisel. Kui küsida õpilaste käest, kuidas elektrivool lahuses liigub, siis arvatakse sageli, et lahuses liiguvad vabad elektronid. Jooniste ja graafikute teel on

neid teemasid küllaltki raske õpetada, kuna isegi mitmekordsel seletamisel võib see jääda ikkagi abstraktseks.

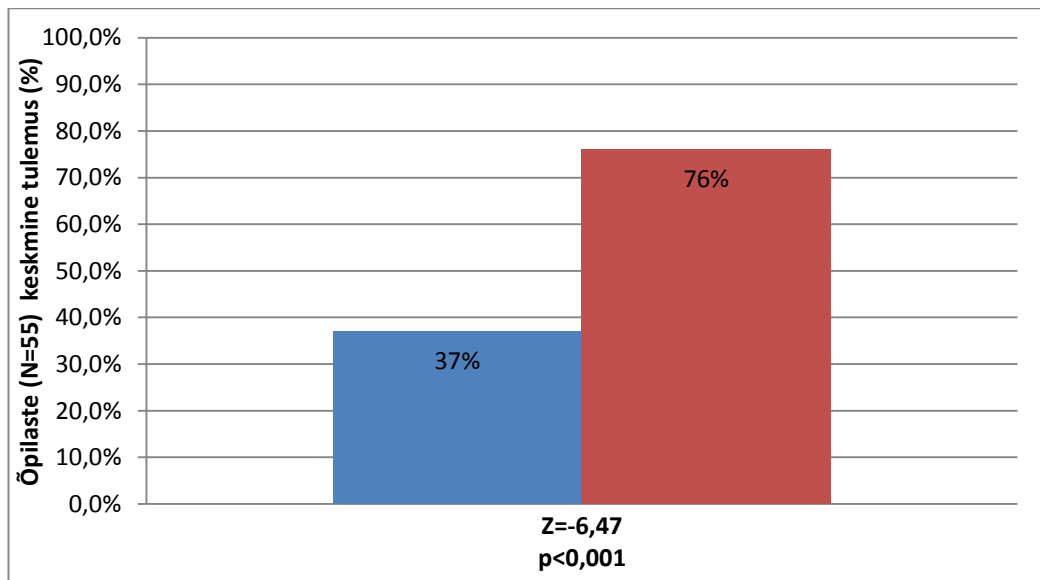
Probleemiks on mõningatel õpilastel terminid, mida kasutatakse elektrolüüsi ja keemilise vooluallika kirjeldamiseks. Ilmselt on probleemiks asjaolu, et mitmed sõnad on sarnased. Näiteks *elektroodi* asemel kasutatakse sõna *elektroon*. Teine termin on *sula elektrolüüdi lahus*, mis asendatakse väljendiga *sula elektrolüüsi lahus*.

Väga tihti ei saada aru, mis vahe on sulatatud elektrolüüdi ja elektrolüüdi lahuse elektrolüüsil. Sulatatud elektrolüüdi korral õpilased tahavad pakkuda, et tekib naatriumhüdroksiid, eraldub vesinik ja/või hapnik. Selle protsessi olemus jääb tihti arusaamatuks, olgugi et seda on tunnisi eraldi rõhutatud. Eraldi probleemiks on aktiivsete metallide soolade lahuste elektrolüüs. Pakutakse, et ühel elektroodil eraldub metalliline naatrium. Kui lasta õpilastel meenutada, mis katset tehti esimestes keemiatundides, siis õpilased saavad aru, et naatrium reageerib aktiivselt veega, aga seda teadmist ei osata kasutada teistes situatsioonides. Analoogiline küsimus on olnud riigieksamil ning sealgi on tehtud sarnaseid vigu, olgugi et riigieksami valivad tavaliselt õpilased, kes tunnevad ennast keemias kindlalt.

Alati ei ole võimalik katseid teha. Probleemiks on tavaliselt aja puudus. Sellest tulenevalt võib teema lõpus olla osadel õpilastel ikka arvamus, et elektrolüüs on midagi sellist, mida on võimalik läbi viia ainult spetsiaalses laboris või tehases. Võib üle rääkida, et nii see pole, aga seda arvamust ilma katseid tegemata või videosid näitamata on raske muuta.

### **3.2 Õpilaste arusaamise areng elektrokeemilistest protsessidest**

Esimese uurimisküsimusega sooviti teada saada, mil määral paraneb gümnaasiumi õpilaste arusaamine elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast rakendades veebipõhiseid animatsioone (Joonis 5). Selleks analüüsiti eel- ja järelküsimustiku vastuseid *Wilcoxon signed-rank* testiga.



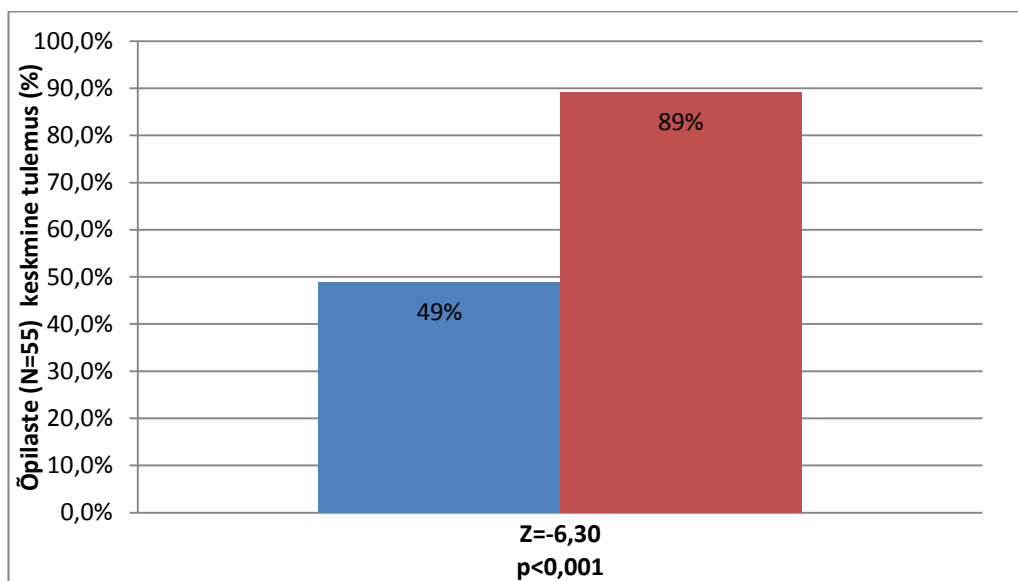
**Joonis 5.** Õpilaste (N=55) arusaamise areng elektrolüüsi ja keemilise vooluallika teemadest eel- (■) ja järelküsimumustiku (■) tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Analüüsist ilmnest, et õpilastel statistiliselt oluliselt ( $p < 0,001$ ) arenes arusaamine elektrokeemilistest protsessidest rakendades veebipõhiseid animatsioone. Jooniselt 5 on näha, et järelküsimumustikus paranes tulemus tunduvalt. Kui eelküsimumustikus oli grupi keskmine tulemus 37%, siis järelküsimumustikus oli õigeid vastuseid 76%. Tulemused selles valdkonnas on kooskõlas varasemate uuringutega (Roth, 1996; Burke jt, 1998; Barnea ja Dori, 1999; Sanger ja Greenbowe, 2000; Wu jt, 2001). Järjekordselt leidis kinnitust asjaolu, et animatsioonid on suureks abiks dünaamilistest nähtustest arusaamisel.

Elektrokeemia küsimuste eraldi võrdlemisel oli näha, et tulemused paranesid kõikide küsimuste puhul (Lisa 7). Üheteistkümnes küsimuses oli grupi keskmine tulemus järelküsimumustikus vähemalt 50% või rohkem. Erandiks oli keemilise vooluallika kolmas küsimus, kus sooviti teada, mis on vooluallika põhilised osad ning nende ülesanne. Selle küsimuse puhul saadi 45% punktidest, mis oli mõnevõrra parem kui eelküsimumustikus. Sellele eelnes küsimus, kus õpilased pidid ise kokku panema ühe keemilise vooluallika. Siin saadi 91% võimalikest punktidest. Põhjus võib olla asjaolu, et puhtalt faktiteadmiste õpetamiseks animatsioonid ei sobi (Betrancourt, 2005).

### 3.3 Video ja animatsiooni integreerimise mõju arusaamise arengule

Teise uurimisküsimusega sooviti teada saada, milline on mõju õpilaste arusaamise arengule elektrokeemia nähtustest makrotasandil, kui animatsiooni on lisatud videod, milles kirjeldatakse protsesse makrotasandil (Joonis 6). Sellele andsid vastuse neli küsimust testis: elektrolüüsi esimene, teine ja kolmas küsimus ning vooluallika teine küsimus.



**Joonis 6.** Õpilaste (N=55) arusaamise areng elektrokeemilistest protsessidest makrotasandil video integreerimisel animatsiooni eel- (■) ja järelküsimumstiku (■) tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Videoga seotud küsimused olid võrreldes teistega kõige paremini vastatud. Eelküsimumstikus said õpilased 49% punktidest. Järelküsimumstikus oli tulemuseks 89% võimalikest punktidest.

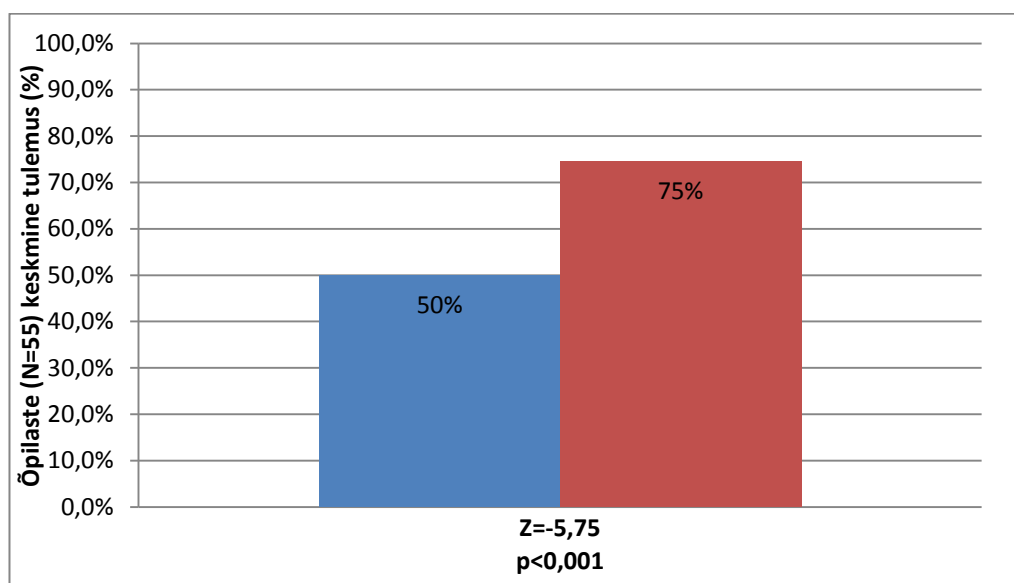
Enne uuringut õpilased tegid elektrokeemias ka praktilisi töid, mis oleks pidanud parema tulemuse andma kui pelgalt video vaatamine. Ilmselt seisnes antud juhul video eelis praktilise töö ees selles, et õpilased said ise valida töö tempo (Mayer ja Moreno, 2002). Videotel olid nupud, mille abil oli võimalik video mängima või pausi peale panna, edasi ning tagasi kerida ja soovi korral vaadata üle kogu ekraani. Kui mingi koht jäi nägemata või ei saadud kohe aru, siis oli võimalik vastavaid nuppe



kasutada ning soovitud kohta minna. Kuna need klassid, kus praktilisi töid tehti, olid suured, siis keemiaõpetajate sõnul pidid õpilased töötama gruppides. Need grupi liikmed, kes ei saanud täpselt aru ei avaldanud soovi katset uuesti teha, vaid lihtsalt kirjutasid maha, kui positiivne lõpptulemus oli olemas ning vähemalt üks õpilane oskas töölehte täita. Kuna tavaliselt ei ole võimalik kõigil õpilastel individuaalselt katseid teha, sobivad videod väga hästi teadmiste ühtlustamiseks.

### 3.4 Õpilaste arusaamise areng mikrotasandil toimuvatest protsessidest

Kolmanda uurimisküsimusega sooviti teada saada, milline on mõju õpilaste arusaamise arengule, kui protsesse visualiseeritakse mikrotasandil (Joonis 7). Sellele uurimisküsimusele andsid vastuse kolm küsimust: elektrolüüsi neljas ning kuues küsimus ja keemilise vooluallika kuues küsimus (Lisa 6).



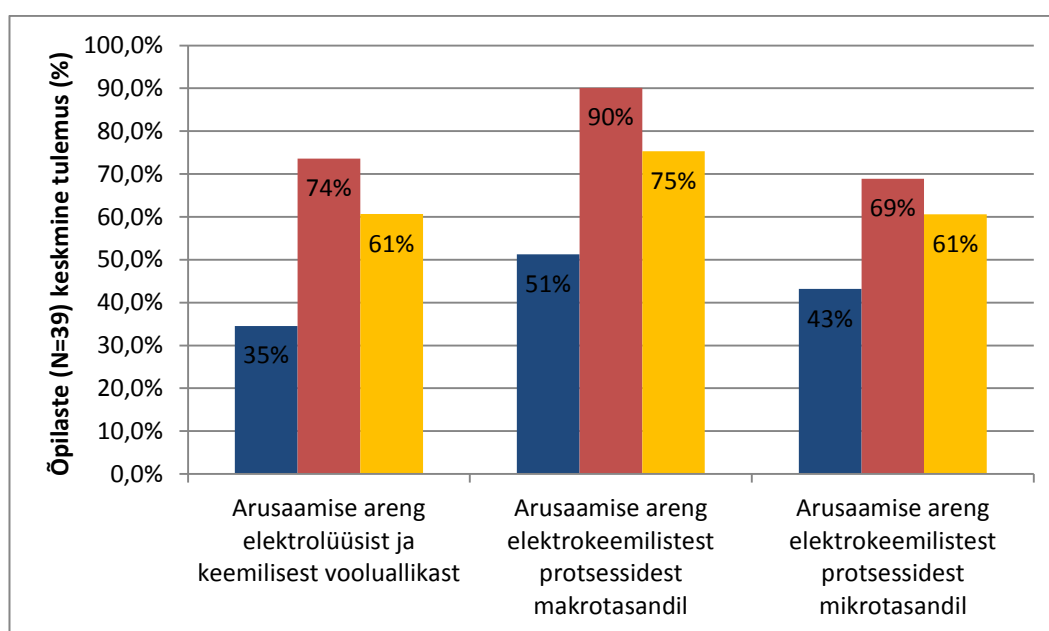
**Joonis 7.** Õpilaste (N=55) arusaamise areng elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil eel- (■) ja järelküsimustiku (■) tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Eelküsimustikus saadi pooled võimalikest punktidest. Järelküsimustikus oli tulemus 25% võrra parem. Teaduslikust kirjandusest tuleneb (Burke et al. 1998; Appling ja Peake, 2004; Ardac ja Akaygun, 2004), et animatsioonide kasulikkus tuleb kõige

paremini esile mikrotasandi visualiseerimisel (võrreles makrotasandiga), kuna kõik õpilased pole võimelised dünaamilisi protsesse sellel tasandil ette kujutama. Makrotasandi puhul peaks olema teadmiste areng väiksem (Schnotz ja Rasch, 2005), aga käesoleva uurigu andmetest saab teha vastupidise järelduse. Põhjuseks on ilmselt asjaolu, et mikrotasandit tuleb visualiseerida veelgi suurema detailsusega.

### 3.6. Animatsioonide mõju uute teadmiste salvestumisele pikaajalisse mälu

Esimene järelküsimumstik sai tehtud nädala möödudes arvutitunnist. Seega selline meetod ei ole kõige kindlam uurimaks, kas animatsiooni teel saadud teadmised on salvestunud õpilaste pikaajalisse mälu (Haynie, 1997). Seetõttu Tartu Kommertsgümnaasiumis viidi läbi teine järelküsimumstik analüüsimumstik saadud andmete põhjal loodud animatsioonide mõju õpilaste teadmistele pikema aja vältel. Teise järelküsimumstiku ja esimese järelküsimumstiku vahele jäi üks kuu aega.



**Joonis 8.** Õpilaste (N=39) arusaamise areng elektrokeemia valdkonnas eelküsimumstiku (■), esimese järelküsimumstiku (■) ja teise järelküsimumstiku (■) tulemuste põhjal.

Esimese uurimisküsimusega uuriti, kuidas areneb gümnaasiumi õpilaste arusaamine elektrokeemilistest protsessidest veebipõhiste animatsioonide rakendamisel. Eelküsimustikus said õpilased 35% punktidest. Esimeses järelküsimustikus paranes tulemus 39% võrra. Teises järelküsimustikus saadi 26% parem tulemus võrreldes eelküsimustikuga. Eelküsimustiku ja järelküsimustike analüüsimisel *Wilcoxon* testiga olid tulemused statistiliselt olulised (Tabel 1).

**Tabel 1.** Õpilaste (N=39) arusaamise areng elektrokeemiast eelküsimustiku ja esimese järelküsimustiku ning teise järelküsimustiku tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Võrdluspaar	Z	p
eelküsimustik-esimene järelküsimustik	-5,46	<0,001
eelküsimustik-teine järelküsimustik	-5,05	

Teise uurimisküsimusega uuriti, kuidas areneb gümnaasiumi õpilaste arusaamine makrotasandil veebipõhiste animatsioonide rakendamisel. Eelküsimustikus saadi 51% punktidest. Esimeses järelküsimustikus oli see paranenud 39% võrra. Teises järelküsimustikus saadi 24% rohkem punkte kui eelküsimustikus. Saadud tulemused olid statistiliselt olulised (Tabel 2).

**Tabel 2.** Õpilaste (N=39) arusaamise areng elektrokeemiast makrotasandil eelküsimustiku ja esimese järelküsimustiku ning teise järelküsimustiku tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Võrdluspaar	Z	p
eelküsimustik-esimene järelküsimustik	-5,27	<0,001
eelküsimustik-teine järelküsimustik	-4,41	

Kolmas uurimisküsimus tegeles õpilaste arusaamise arenguga elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil. Eelküsimustikus saadi 43% punktidest. Esimeses järelküsimustikus paranes tulemus 26% võrra. Kuu aja pärast saadi teises järelküsimustikus 18% parem tulemus kui eelküsimustikus. Nii eelküsimustiku ja esimese järelküsimustiku kui ka eelküsimustiku ja teise järelküsimustiku tulemuste

võrdlemisel ilmnes statistiliselt oluline ( $p < 0,001$ ) arusaamise areng vaadeldud elektrokeemia teemade mikrotasandist (Tabel 3).

**Tabel 3.** Õpilaste (N=39) arusaamise areng elektrokeemiast mikrotasandil eelküsimumstiku ja esimese järelküsimumstiku ning teise järelküsimumstiku tulemuste võrdluse alusel *Wilcoxon signed-rank* testiga.

Võrdluspaar	Z	p
eelküsimumstik-esimene järelküsimumstik	-4,73	<0,001
eelküsimumstik-teine järelküsimumstik	-4,50	

Andmeanalüüsile tuginedes võib väita, et uuringus kasutatud animatsioonide abil saadud teadmised olid salvestunud õpilaste pikaajalisse mällu ka enam kui ühe kuu möödudes nende õppimisest arvutiklassis. See on hea tulemus võrreldes traditsioonilise õppega, mille korral oli eelküsimumstiku ja teema lõpu vahele jäänud vaid kaks nädalat.

## Järeldused ja soovitused

Käesolevas magistritöös uuriti 10. ja 11. klassi õpilaste arusaamise arengut kahes elektrokeemia valdkonnas: elektrolüüs ja keemiline vooluallikas. Tulemustest selgus, et veebipõhiste animatsioonide rakendamine koos töölehtedega aitas õpilaste arusaamist elektrokeemias arendada statistiliselt olulisel määral.

Lisaks oli kaks kitsamat eesmärki. Esimene neist: uurida videote mõju õpilaste arusaamise arengule visualiseerides makrotasandil toimuvaid protsesse. Õpilased olid samu või analoogilisi praktilisi töid ise keemiatunnis teinud, seega ei tohiks eelküsimumstiku ja järelküsimumstike tulemused statistiliselt erinema. Kuna koolidel pole tavaliselt nii palju katsevahendeid, ruumi ja aega, et kõik õpilased saaksid iseseisvalt töötada, peavad õpilased töötama gruppides. Sellise töökorralduse miinuseks võib olla asjaolu, et vähemaktiivsemad õpilased ei küsi täpsustavaid küsimusi õpetaja ja oma rühmaliikmete käest ning teadmised võivad jääda abstraktseks ning ununevad kiiresti. Seejuures pole alati võimalik katset uuesti teha, et neid protsesse detailsemalt jälgida. Videote puhul on reeglina olemas selle kontrollimise võimalused: mängi, paus, kerimine edasi ja tagasi. Siiski videod ei sobi praktiliste katsete asendamiseks, kuna nende käigus ei saada praktilisi kogemusi. Küll aga sobivad videod teadmiste ühtlustamiseks.

Teiseks kitsamaks eesmärgis oli uurida arusaamise arengut elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil rakendades veebipõhiseid animatsioone. Teaduslikust kirjandusest ilmnnes, et animatsioonide kõige suurem eelis on võime näidata abstraktseid ning dünaamilisi protsesse liikuvana, nagu need looduses ka esinevad. Samas on võimalik kõrvale jätta segavad kõrvalprotsessid. Andmeid analüüsides ilmnnes, et võrreldes eelküsimumstikuga olid tulemused paremad nii esimeses kui ka teises järelküsimumstikus ning arusaamise areng oli statistiliselt oluline. Samas ilmnnes ka mitmeid probleeme, mis said kindlaks tehtud õpilastelt saadud tagasiside ning tunnivaatluse abil. Mikrotasandi protsessid elektrokeemias on küllaltki abstraktsed, mistõttu nõuavad küllaltki täpset visualiseerimist. Need küsimused, mille puhul kasutati animatsioonis põhjalikumalt visualiseerimist, said ka parema vastuse. Kokkuvõttes võib öelda, et animatsioonid koos töölehtedega aitasid

õpilastel saada teemadest sügavamalt arusaamist ning seetõttu on võimalik analüüside põhjal anda mõningaid soovitusi keemiaõpetajatele:

1. Õpetajad võiksid elektrokeemia ja keemilise vooluallika õpetamisel kasutada veebipõhiseid animatsioone. Nendega koos tuleks kasutada töölehti, kuna need aitavad tööd organiseerida. Töölehtede abil on võimalik rõhutada olulisi protsesse animatsioonis;

2. Animatsioonid sobivad teadmiste ühtlustamiseks. Kuna klassis ei jõua õpetaja osutada tunni ajal kõigile õpilastele võrdväärselt tähelepanu. Tavaliselt vähemaktiivsemad õpilased ei küsi täpsustavaid küsimusi, et omandada terviklik pilt käsitlevast temast. Animatsioonidega õppides saavad õpilased ise valida töötempo. Vajadusel saavad õpilased ühe protsessi mitmeid kordi vaadata, et selle erinevatele aspektidele tähelepanu pöörata;

3. Tööd animatsioonidega on võimalik hinnata, kui kasutatakse töölehti. Animatsioonidega töötades arenevad õpilaste IKT ja info otsimise oskused, mille arendamise olulisust on mainitud ka põhikooli ja gümnaasiumi riiklikus õppekavas.

Magistritöös ei kasutatud valmis animatsioone – mõlemad animatsioonid loodi autori poolt uuringu tarbeks. Sellest tulenevalt on võimalik anda mõningaid soovitusi haridusliku eesmärgiga animatsioonide loojatele:

1. Animatsioone peaks olema võimalik mitmekülgsest juhtida, kuna nii on võimalik õpilastel aega kokku hoida. Kindlasti peaks animatsioonid sisaldama järgmiseid võimalusi: mängi, paus. Videote puhul lisanduvad veel edasi ja tagasi kerimise võimalus. Kasulikuks peetakse võimalust videot vaadata üle kogu ekraani, kuna nii on võimalik väiksemaid detaile paremini jälgida;

2. Mikrotasandi protsessid peavad olema võimalikult detailselt visualiseeritud, kuna käsitletavat protsessi on tavaliselt küllaltki abstraktsed. Vastasel juhul võivad õpilased käsitletavat protsessi valesti mõista.

## Kokkuvõte

Käesolevas magistritöös uuriti veebipõhiste animatsioonide, elektrolüüs (<http://www.keemikud.eu/elektroluus.php>) ja keemiline vooluallikas (<http://www.keemikud.eu/vooluallikas.php>), mõju gümnaasiumi õpilaste arusaamise arengule elektrokeemiast. Uuringule püstitati järgmised eesmärgid:

1. Uurida õpilaste kontseptuaalse arusaamise arengut elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast rakendades veebipõhiseid animatsioone;
2. Uurida arusaamise arengut elektrokeemilistest protsessidest makrotasandil video integreerimisel animatsiooni;
3. Uurida õpilaste arusaamise arengut elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil veebipõhiste mudelite rakendamisel.

Esmalt koostati küsimustik, mille abil uuriti keemiaõpetajate ja õppejõudude käest õpilastel esinevaid väärarusaamu elektrokeemias. Tuginedes saadud andmetele ja teaduslikule kirjandusele loodi veebipõhised animatsioonid, millega töötamiseks koostati töölehed. Animatsioonide mõju uurimiseks kasutati eel- ja järelküsimustikke.

Magistritööks vajalike andmete kogumiseks moodustati mugavusvalim, kuhu kuulus 55 õpilast Tartu Kommertsgümnaasiumist ja Miina Härma gümnaasiumist. Lisaks viidi Tartu Kommertsgümnaasiumis läbi teine järelküsimustik (*delayed post-test*) 39 õpilasega. Uuring viidi läbi 2013. aasta veebruarist maini.

Uuringu esimeses osas õpilased täitsid eelküsimustikku, millega uuriti nende esialgset arusaamist elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast. Järgmisena toimus arvutitund, milles õpilased kasutasid veebipõhiseid animatsioone koos töölehtedega. Nädala pärast toimus esimene järelküsimustik, millega kontrolliti õpilaste arusaamise arengut. Kuu aja pärast toimus teine järelküsimustik, millega kontrolliti, kas teadmised on salvestunud õpilaste pikaajalisse mällu.

Magistritöö esimese uurimisküsimusega sooviti leida, mil määral paraneb 10. ja 11. klassi õpilaste arusaamine elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast rakendades

veebipõhiseid animatsioone töölehtedega. Õpilaste eel- ja järelküsimumstike vastuste analüüsis selgus, et arusaamine elektrolüüsis ja keemilisest vooluallikast arenes statistiliselt olulisel määral ( $p < 0,001$ ). Eelküsimumstiku ja teise järelküsimumstiku analüüsile tuginedes võib väita, et saadud teadmised animatsiooniga töötades olid salvestunud õpilaste pikaajalisse mällu.

Teise uurimisküsimumusega sooviti teada saada, mil määral mõjutab video ja animatsiooni integreerimine arusaamise arengut elektrokeemilistest protsessidest makrotasandil. Selleks oli animatsiooni lisatud videod, kus näidati katseid, mida on võimalik kokku panna käepärastest vahenditest. Õpilaste eelküsimumstiku ja esimese järelküsimumstiku vastuste analüüsil leiti, et animatsioonide ja töölehtede rakendamise tulemusena anti õigemaid vastuseid. Eelküsimumstiku ja teise järelküsimumstiku tulemuste põhjal võib väita, et õpilaste arusaamine makrotasandist arenes statistiliselt olulisel määral.

Viimase uurimisküsimumusega taheti teada saada, mil määral paraneb õpilaste arusaamise areng elektrolüüsis ja keemilisest vooluallikast mikrotasandil veebipõhiste animatsioonide rakendamisel. Sarnaselt teaduslikus kirjanduses pakutule, paranesid õpilaste tulemused eelküsimumstiku ja esimese järelküsimumstiku ning teise järelküsimumstiku võrdluse alusel statistiliselt olulisel määral.

Magistritöö analüüsi tulemustele tuginedes saab öelda, et gümnaasiumi õpilaste arusaamine arenes statistiliselt olulisel määral nii elektrolüüsi kui ka keemilise vooluallika teemades nii mikro- kui makrotasandil. Seega võib väita, et magistritöö on oma eesmärgid täitnud.



## **Tänuavaldused**

Käesoleva töö autor tänab oma juhendajat Maksim Zinakovi, kelle nõuanded ja soovitusel olid magistritöö koostamisel suureks abiks ja toeks. Samuti on autor tänulik Jaan Poska gümnaasiumi keemiaõpetajale Alo Kivilole, Kommertsgümnaasiumi direktorile ja keemiaõpetajale Liina Karolin-Salule ja Miina Härma gümnaasiumi keemiaõpetajale Erkki Templile.

## Kasutatud kirjandus

- Acar, B. & Tarhan, L. (2007).** Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 349–373.
- Adojaan, K. ja Villako, H.-A. (2005).** Arvutimudelite kasutamine põhikooli loodusainete õppes. I. Henno (toim.) kogumikus *Loodusainete õpetamisest koolis I osa*. Riiklik eksami- ja kvalifikatsioonikeskus, Tallinn, 76 – 84.
- Appling, J. R., & Peake, L. C. (2004).** Instructional technology and molecular visualization. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 361–365.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004).** Effectiveness of multimedia based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317–337.
- Ayres, P., & Paas, F. (2007).** Making instructional animations more effective: a cognitive load approach. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 695–700.
- Barak, M., & Dori, Y. J. (2005).** Enhancing undergraduate students' chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*, 89(1), 117–139.
- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1999).** High-school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271.
- Betrancourt, M. ( 2005).** The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.

**Betrancourt, M., & Tversky, B. (2000).** Effect of computer animation on users' performance: a review. *Le Travail Humain*, 63(4), 311-329.

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

**Burke, K. A., Greenbowe, T. J., & Windschitl, M. A. (1998).** Developing and using conceptual computer animations for chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, 75(12), 1658-1661.

**Dalgarno, B. (2001).** Interpretations of constructivism and consequences for computer assisted learning. *British Journal of Educational Technology*, 32, 183-194.

**Duit, R. & Treagust, D. F. (2003).** Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Teaching*, 25(6), 671-688.

**Ebenezer, J., & Erickson, G. (1996).** Chemistry students' conceptions of solubility: Aphenomenography. *Science Education*, 80, 181-201.

**Elektrolüüsi animatsioon.** Keemia foorum. Aadressil  
<http://www.keemikud.eu/elektroluus.php/>. (vaadatud 24.05.2013).

**Garnett P.J, Treagust D.F (1992).** Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 1079-1099

**Haynie, W. J. (1997).** Effects of Anticipation of Test on Delayed Retention Learning. *Journal of Technology Education*, 9 (1), 20-30.

**Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003).** The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and Instruction*, 21, 325-360.

**Johnstone, A. H. (1993).** The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-704.

**Johnstone, A. H. (2000).** Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 9-15.

**Kozma, R. B., & Russell, J. (1997).** Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.

**Keemilise vooluallika animatsioon.** Keemia foorum.

Aadressil <http://www.keemikud.eu/elektroluus.php/>. (vaadatud 24.05.2013).

**Lewalter, D. (2003).** Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189.

**Lowe, R. K. (2003).** Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.

**Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991).** Animations need narrations: an experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484-490.

**Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992).** The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.

**Mayer, R. E., & Chandler, P. (2001).** When learning is just a click away: does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390–397.

**Mayer, R. E. and Gallini, J. K. (1990).** When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715-726.

**Mayer, R. E., Heiser, J., & Lonn, S. (2001).** Cognitive constraints on multimedia learning: when presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93,187–198.

**Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002).** Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87-99.

**Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982).** Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

**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.

**Roger, F. (2000).** Using a Teaching Model to Correct Known Misconception in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77, (1), 104-110

**Rosen, Y. (2009).** The effects of an animation-based on-line learning environment on transfer of knowledge and on motivation for science and technology learning. *Journal of Educational Computing Research*, 40(4), 451–467.

**Roth, W.-M. (1996).** Affordances and constraints of computers in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 995-1017.

**RÕK 2002 = Gümnaasiumi riiklik õppekava. (2002).** Riigi Teataja. Aadressil <https://www.riigiteataja.ee/akt/174787/>. (vaadatud 12.05.2013).

**RÕK 2010 = Gümnaasiumi riiklik õppekava. (2010).** Riigi Teataja. Aadressil <https://www.riigiteataja.ee/akt/13272925/>. (vaadatud 12.05.2013).

**Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1992).** An analysis of college Chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry, *Journal of Chemical Education*, 76, (6), 853-860.

**Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997a).** Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377–398.

**Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997b).** Students' misconceptions in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education*, 74, 819–823.

**Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (2000).** Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, 22(5), 521-537.

**Sanger, M. J., Phelps, A. J., & Fienhold, J. (2000).** Using a computer animation to improve students' conceptual understanding of a can-crushing demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1517-1520.

**Schnotz, W., Böckheler, J., & Grzondziel, H. (1999).** Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14(2), 245-265.

**Schnotz, W., & Rasch, T. (2005).** Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: why reduction of cognitive load can have negative results on learning. *Educational Technology: Research and Development*, 53(3), 47–58.

**Sweller, J. (1994).** Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.

**Tytler, R. (2002).** Teaching for understanding in science: Student conceptions research, and changing views of learning. *Australian Science Teachers Journal*, 48(3), 14–21.

**Väärtnõu-Järv, H. (2010).** IKT keemia õpetamisest põhikoolis, *Põhikooli valdkonnaraamat LOODUSAINED 2010*. Aadressil <http://www.oppekava.ee/>. (vaadatud 14.05.2013).

**Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995).** The effect of computer animation on particulate mental models of college chemistry student. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521–534.

**Wu, H.-K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001).** Promoting conceptual understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.

# Developing high school students' understanding of electrochemical processes using web-based animations

## Summary

Tauri Moones

The aim of this master's study was to examine the effect of using web-based animations such as electrolysis (<http://www.keemikud.eu/elektroluus.php>) and chemical battery (<http://www.keemikud.eu/vooluallikas.php>) on the development of student's understanding of electrochemical processes. The research had three goals:

1. To study the development of students' conceptual understanding of the electrolysis and the principles of a chemical battery using web-based animations.
2. To study the development of students' understanding of the electrochemical processes at a macroscopic level when integrating a video into the animation.
3. To study the development of students' understanding of the electrolysis and the principles of a chemical battery on a microscopic level using web-based animations.

A questionnaire was composed to obtain information from chemistry teachers and lecturers about students' misconceptions about electrochemistry. Based on data gathered, a set of web-based animations were created along with worksheets. The effect of the animations was screened using a pre- and two post-tests. To gather necessary data a convenience sample was formed, which included 55 students from two local high schools: Tartu Kommertsgümnaasium and Miina Härma gümnaasium. In addition, a delayed post-test was conducted in Tartu Kommertsgümnaasium and it involved 39 students who had participated in all four steps of the study, which ran from February through May 2013.

In the first step of the study, students were to fill in the pre-test, which established their initial understanding of the process of electrolysis and the principles of a chemical battery. Following the pre-test, students had a lesson in the computer lab, in which they used animations and worksheets to explain. The first post-test was conducted a week after the lesson in the computer lab. Comparing the pre- and post-



test results allowed us to see the development of students' understanding of the subject matter. The delayed post-test took place a month after the first post-test. It allowed us to see whether the treatment had a long-term effect.

The first goal of this master's study was to see the development of the 10th and the 11th graders' conceptual understanding of electrolysis with the help of web-based animations and worksheets. Analysis of the students' pre- and post-test results proved that their knowledge of the electrolysis and the principles of the chemical battery had statistically significantly developed and the knowledge proved to be stored in the long-term memory of students.

The second goal was to see what effect did integrating videos and animations have on the development of understanding of electrochemical processes at the macroscopic level. For that purpose a video that presented experiments, which can be assembled from simple household items was embedded in the animation. Analysis of the students' answers in the pre- and post-tests proved that their knowledge of electrochemistry at the macroscopic level had increased in a statistically significant manner.

The third goal was to evaluate the effect of web-based animations on learning the electrolysis and the chemical battery. The results in both the first and the delayed post-test increased statistically significantly, as scientific literature stated.

It can be concluded, that the conceptual understanding of the electrolysis and the chemical battery among high school students developed statistically significantly with the use of animations in the learning process. Therefore this master's study has achieved its aims.

## **Lisad**

Lisa 1. Küsimustik keemiaõpetajatele ja õppejõududele.

Lisa 2. Tagasiside ankeet.

Lisa 3. Vaatlusprotokoll.

Lisa 4. Elektrolüüsi tööleht.

Lisa 5. Keemilise vooluallika tööleht.

Lisa 6. Eel- ja järelküsimustik.

Lisa 7. Analüüs üksikküsimuse kaupa.

**Lisa 1.** Küsimustik keemiaõpetajatele ja -õppejõududele.

**Küsimustik**  
**Elektrokeemia**

Küsimustiku eesmärk on uurida, millised probleemid esinevad õpilastel elektrokeemias ja seda lähedalt puudutavates teemades. Saadud tulemusi kasutatakse üldistavalt, et luua antud teemat käsitlevad veebipõhised animatsioonid, mis aitaksid õpilastel seda teemat paremini mõista.

**Palun vastake järgnevale küsimusele vabas vormis**

1. Millised raskused ja väärarusaamad esinevad õpilastel elektrolüüsi arusaamisel?

**Lisa 2.** Tagasiside ankeet.

**Ankeet**

Palun vasta järgmistele küsimustele

**Kas õppematerjal meeldis?**

- kindlasti jah    • pigem jah    • ei oska öelda    • pigem ei    • kindlasti ei

**Mis täpsemalt meeldis või ei meeldinud?**

**Kas õppematerjal oli arusaadav?**

- kindlasti jah    • pigem jah    • ei oska öelda    • pigem ei    • kindlasti ei

**Kui õppematerjal ei olnud arusaadav, siis mis tekitas raskusi?**

**Kas õppematerjal aitas paremini mõista teemasid elektrolüüs ja keemiline vooluallikas?**

- kindlasti jah    • pigem jah    • ei oska öelda    • pigem ei    • kindlasti ei

**Lisa 3.** Vaatlusprotokoll.

### **Tunni vaatlusprotokoll**

**Klass:** 10. klass

**Aeg (kuupäev ja kellaaeg):** 01.11.2012 kell 11:00-11:45; 02.11.2012 kell 10:05-10:50

**Tunni/tegevuse teema:** Iseseisev töö arvutiklassis elektrolüüsi ja keemilise vooluallika animatsioonidega

#### **1. Kui kaua läks aega tunni algusest kuni animatsioonidega töötamiseni?**

Keskmiselt võttis see aega seitse minutit. Mõned õpilased ei saanud kohe animatsiooni lahti, kuna kirjutasid aadressi valesti. Seda esines kahel korral. Animatsioonid ei tööta kõikides veebilehitsejates. *Google Chrom*'is ei olnud võimalik animatsioone avada. Selle oleks ära hoidnud, kui töölehel oleks kirjas olnud, et animatsioone saab vaadata kas *Internet Explorer*'i või *Mozilla Firefox*'iga.

#### **2. Millised probleemid esinesid animatsioonidega töötamisel?**

Animatsioonis olevate videote vaatamisel ei saanud neid kerida ja slaidid olid liiga kaua ees. Videotes ei olnud kõik detailid hästi jälgitavad. Video lõpp ei olnud koheselt arusaadav. Üksikud õpilased ei töötanud pidevalt animatsioonidega ja käisid muudel veebilehtedel vaatamata õpetaja märkustele.

#### **3. Kui kaua kulus töölehtede täitmiseks aega?**

Töölehtede täitmiseks kulus keskmiselt 60 minutit.

#### **Kokkuvõte**

1. Töölehtedele tuleb märkida, mis veebilehitsejat tuleks kasutada animatsioonide vaatamiseks.
2. Videote tegemisel tuleks kasutada paremat valgustust. Vajadusel osasid detaile lähemalt näidata.
3. Videotele lisada kerimisnupp. Ühtlasi õpilastel näeks, kui pikk on video.
4. Animatsioon kriitilise pilguga üle vaadata eesmärgiga leida, kust on võimalik animatsioonidega töötades aega kokku hoida.

## Lisa 4. Elektrolüüsi tööleht

### Elektrolüüsi tööleht

Nimi: \_\_\_\_\_ Kool: \_\_\_\_\_ Klass: \_\_\_\_\_

Animatsiooni leiate aadressilt [www.keemikud.eu/elektroluus.php](http://www.keemikud.eu/elektroluus.php)

Enne animatsiooniga töötamist lugege abifaili klikates nupul „Abi“.

#### Animatsiooniga töötades vasta järgnevatele küsimustele:

1. Milliseid aineid toodetakse elektrolüüsi teel?.....  
.....
2. Joonista elektrolüüsiseade, kus oleks kasutatud 9V patareid, juhtmeid, pliiatsisütt, lauasoola (NaCl) ja vett.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
3. Millisest peamisest kolmest osast koosneb elektrolüüsiseade? Kirjuta nende ülesanne.  
.....-.....  
.....  
.....-.....  
.....  
.....-.....  
.....
4. Miks tahke sool ei juhi elektrivoolu?.....  
.....
5. Mis ained tekivad sulatatud NaCl elektrolüüsil?  
.....
6. Positiivselt laetud elektroodil redutseerub kaks  $\text{Na}^+$ iooni. Mitu  $\text{Cl}^-$ iooni samal ajal oksüdeerub negatiivselt laetud elektroodil? .....

**Lisa 5.** Keemilise vooluallika tööleht.

**Keemilise vooluallika tööleht**

Animatsiooni leiate aadressilt [www.keemikud.eu/vooluallikas.php](http://www.keemikud.eu/vooluallikas.php)

1. Põhjendage keemiast lähtudes, mida mõistetakse selle all, et aku või patareid on tühi?  
.....  
.....  
.....
2. Joonistage keemiline vooluallikas, kui teil on kasutada sidruneid, juhtmeid, kolme voldist LED-lampi, vaskplekki ja tsinkplekki.
3. Nimeta vooluallika kaks põhilist osa ja nende ülesanne?  
.....-.....  
.....  
.....-.....  
.....
4. Milliste omadustega lahused tuleb valida, milles asuvad keemilise vooluallika elektroodid? .....  
.....  
.....
5. Mille abil tagatakse lahuste elektroneutraalsus, kui elektroodid asuvad erinevates nõudes ning vooluallikas töötab? .....
6. Võrrelge elektronide ülekannet Zn/Cu vooluallikas ja elektronide ülekannet vasksulfaadi lahuses oleva tsingi puhul. Milles on erinevus?  
.....  
.....  
.....

**Lisa 6.** Eel- ja järelküsimumstik.

**Test I**

Nimi: \_\_\_\_\_ Kool: \_\_\_\_\_ Kuupäev: \_\_\_\_\_

**Elektrolüüs**

7. Milliseid aineid toodetakse elektrolüüsi teel? Nimeta vähemalt kaks. 2p.....
8. Joonista elektrolüüsiseade, kus oleks kasutatud 9V patareid, juhtmeid, pliiatsisütt (grafiitvardaid), lauasoola (NaCl) ja vett. 1p
  
9. Millisest peamisest kolmest osast koosneb elektrolüüsiseade? 3p  
.....  
.....
10. Miks tahke sool ei juhi elektrivoolu ning sellest tulenevalt ei ole võimalik selles elektrolüüsi läbi viia? 1p  
.....  
.....
11. Mis ained tekivad sulatatud NaCl elektrolüüsil? 1p  
.....  
.....
12. Positiivselt laetud elektroodil oksüdeerub neli I<sup>-</sup> iooni. Mitu Ca<sup>2+</sup> iooni samal ajal redutseerub negatiivselt laetud elektroodil? 1p  
.....



## Keemiline vooluallikas

1. Põhjendage keemiast lähtudes, mida mõistetakse selle all, et aku või patarei on tühi? 1p

.....  
.....  
.....

2. Teie ülesandeks on 3 voldine LED-lamp põlema saada. Selleks on kasutada sidruneid, tsinknaelu, vasknaelu, juhtmeid ja ühte LED-lampi. Ühe sidrunipatareiga on võimalik saada ühe voldine pinge. Tehke joonis. 1p

3. Nimeta vooluallika kaks põhilist osa ja nende ülesanded? 2p

.....  
.....  
.....  
.....

4. Milliste omadustega lahused tuleb valida, milles asuvad keemilise vooluallika elektrodid? 1p.....

.....  
.....

5. Mille abil tagatakse lahuste elektroneutraalsus, kui elektrodid asuvad erinevates nõudes? 1p

.....  
.....

6. Võrrelge elektronide ülekannet Zn/Cu vooluallikas ja elektronide ülekannet vasksulfaadi lahuses oleva tsingi puhul. Milles on erinevus? 1p.....

.....  
.....





## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina \_\_\_\_\_ Tauri Moones \_\_\_\_\_  
(sünnikuupäev: \_\_\_\_\_ 10.07.1987 \_\_\_\_\_)  
(*autori nimi*)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Gümnaasiumi õpilaste arusaamise areng elektrokeemilistest protsessidest“  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on \_\_\_\_\_ Maksim Zinakov \_\_\_\_\_,  
(*juhendaja nimi*)

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

Tartus, **26.05.2013**