

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

**Helery Hindriksoo**  
**Digitaalne ja praktiline õppematerjal keemilise tasakaalu**  
**teemal: koostamine ja tagasiside keemiaõpetajatelt**  
**Magistritöö**  
**Gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja**

**Juhendaja: Joana Jõgela (MSc, MA)**

**Tartu 2026**

## **Digitaalne ja praktiline õppematerjal keemilise tasakaalu teemal: koostamine ja tagasiside keemiaõpetajatelt**

Magistritöö eesmärk on välja töötada digitaalne ja praktiline õppematerjal keemilise tasakaalu teema õpetamiseks gümnaasiumis. Õppematerjali kohta küsitakse tagasisidet keemiaõpetajatelt. Töö käigus luuakse visuaalsed plakatid, praktilised katsed ja interaktiivne põgenemistuba. Koostatud õppematerjalile andsid tagasisidet 28 keemiaõpetajat, kes valdavalt hindasid õppematerjali positiivselt ja leidsid, et see toetab õpitulemuste saavutamist ning on sobiv õppetöös kasutamiseks. Olulisemate tugevustena toodi esile materjali loogiline ülesehitus, õppijate kaasamine ning teooria ja praktika sidumine. Arendusettepanekud tehti peamiselt kasutusmugavuse ja materjali mahu kohta. Tulemuste põhjal võib järeldada, et loodud õppematerjal sobib keemilise tasakaalu õpetamiseks gümnaasiumis.

**Märksõnad:** Le Chatelier' printsiip, keemiline tasakaal, digitaalne õppematerjal, põgenemistuba

**CERCS: S272 Õpetajakoolitus**

## **A digital and practical learning material on chemical equilibrium: development and feedback from chemistry teachers**

The aim of the master's thesis is to develop digital and practical learning material for teaching chemical equilibrium in upper secondary school. Feedback on the learning material is collected from chemistry teachers. As part of the thesis, visual posters, practical experiments, and an interactive escape room are created. The developed learning material was evaluated by 28 chemistry teachers, who mostly rated it positively and found it supportive of learning outcomes and suitable for use in teaching. The main strengths highlighted were the logical structure of the material, learner engagement, and the connection between theory and practice. Suggestions for improvement mainly concerned usability and the volume of the material. Based on the results, it can be concluded that the developed learning material is suitable for teaching chemical equilibrium in upper secondary school.

**Keywords:** Le Chatelier's principle, chemical equilibrium, digital learning material, escape room

**CERCS: S272 Teacher education**

## Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Kirjanduse ülevaade.....	5
1.1 Õppematerjal ja selle koostamise põhimõtted nüüdisaegses õpikäsituses.....	5
1.1.1 Digitaalsed õpikeskkonnad ja nende roll.....	5
1.1.2 Eksperimentaalne õpe keemiaõppes.....	6
1.1.3 Visuaalsed õppematerjalid keemia mõistmisel.....	7
1.2 Praktilised ja mängulised õppemeetodid keemiaõppes.....	7
1.2.1 Põgenemistuba mängupõhise õppe vormina.....	7
1.3 Le Chatelier' printsiip ja keemiline tasakaal gümnaasiumi õppekavas.....	8
1.3.1 Teoreetiline raamistik ja riiklik õppekava.....	8
1.3.2 Õpilaste väärarusaamad ja väljakutsed teema omandamisel.....	9
2. Metoodika.....	10
2.1 Õppematerjali koostamine.....	10
2.2 Uuringu disain.....	11
2.3 Valim.....	12
2.4 Instrument.....	13
2.5 Andmekogumine ja -analüüs.....	14
3. Tulemused.....	15
3.1 Õpetajate hinnangud materjali ülesehituse ja jõukohasuse kohta.....	15
3.2 Õpetajate arendusettepanekud.....	16
3.3 Õpetajate hinnang loodud õppematerjali toetavusele õpitulemuste saavutamisel gümnaasiumi keemias.....	20
3.4 Õpetajate valmisolek kasutada õppematerjali ja selle põhjendused.....	20
4. Arutelu.....	21
4.1 Keemiaõpetajate hinnangud õppematerjali arusaadavuse, kasutatavuse ja sobivuse kohta õppetöös.....	22
4.2 Keemiaõpetajate ettepanekud õppematerjali arendamiseks ja kvaliteedi tõstmiseks...	24
4.3 Magistritöö piirangud ja väärtus.....	26
Kokkuvõte.....	27
Kasutatud kirjandus.....	28
Summary.....	35
Lisad.....	

## Sissejuhatus

Õpilaste jaoks kujutab keemia endast sageli suurt väljakutset, kuna õppeaine eeldab paljude silmale nähtamatute mikrotasandi nähtuste ja konkreetsete näideteta tajutavate abstraktsete kontseptsioonide omandamist (Ollino *et al.*, 2018). Eriti keeruliseks peetakse seejuures keemilist tasakaalu ja selle nihkumise seaduspärasuste prognoosimist. Seetõttu kujunevad õpilastel tihti väärarusaamad, mis takistavad teema sügavamalt mõistmist, uute teadmiste kujunemist ja rakendamist. (Peris, 2022; Lo Fan Hin & Riddle, 2023)

Väärarusaamade kujunemise peamiseks põhjuseks on liialt teoreetiline ja faktipõhine õpetamine, kus puudub praktiline ja aktiivne õppevorm, mis aitaks abstraktsetest mõistetest ja teemadest õpilastel paremini aru saada (Ippoliti *et al.*, 2022; Iyamuremye *et al.*, 2023).

Õppeprotsessi mängustamine ja digitaalsete lahenduste kasutamine muudab keemia õpilaste jaoks huvitavamaks ning aitab neil uusi teadmisi paremini omandada (Lutfi *et al.*, 2021; Lutfi *et al.*, 2023). Uuringud kinnitavad, et interaktiivsed ja praktilised õppemeetodid suurendavad õppijate kaasatust ning parandavad õpitulemusi (Okeke, 2019; Riza *et al.*, 2023). Sellise õpikeskkonna loomiseks kasutatakse digitaalseid õppematerjale, mida Nokelainen (2005) määratleb spetsiaalselt digitaalses vormis avaldatud õppesisuna. Kuna tegemist on interaktiivse lahendusega, tekib olukord, kus õppija ja keskkonna tegevused on vastastikku seotud, võimaldades õpilasel ise mõjutada oma õppeprotsessi kulgu, sisu või tempot (Renkl & Atkinson, 2007). Digitaalset tuge täiendab keemiaõppes praktiline õpe, mis tähendab eelkõige katsete ja laboritööde rakendamist, eesmärgiga aidata õppijal siduda teoreetilised teadmised reaalsete nähtustega (Chen *et al.*, 2024; Hofstein & Lunetta, 2004).

Tulenevalt eelmainitust seati magistritöö eesmärgiks uue digitaalse ja praktilise õppematerjali väljatöötamine gümnaasiumiõpilastele ning selle potentsiaali hindamine keemiaõpetajate tagasiside põhjal.

Magistritöö eesmärgist lähtudes püstitati järgmised uurimisküsimused:

1. Kuidas hindavad keemiaõpetajad loodud õppematerjali arusaadavust, kasutatavust ja sobivust õppetööks?
2. Millised on keemiaõpetajate ettepanekud õppematerjali arendamiseks ja kvaliteedi tõstmiseks?

## 1. Kirjanduse ülevaade

### 1.1 Õppematerjal ja selle koostamise põhimõtted nüüdisaegses õpikäsituses

Õppematerjal on didaktiliselt kavandatud ja kohandatud vahend, mida kasutatakse õpetamise ja õppimise protsessis õpieesmärkide saavutamiseks. See toetab nii õpetaja tegevust õppeprotsessi planeerimisel ja läbiviimisel kui ka õppija iseseisvat õppimist, aidates teadmisi omandada, mõtestada ja rakendada. (Kapur, 2019; Sbaragli & Panero, 2024) Nüüdisaegses õpikäsituses on seejuures kesksel kohal õppijakeskne lähenemine, mis rõhutab aktiivset teadmiste omandamist ja õpitu seostamist päriseluga (Pedaste, s.a.).

Õppematerjali tõhusust ja kvaliteeti määravad mitmed omavahel põimunud tegurid, millest üks olulisemaid on materjali jõukohasus. Jõukohasuse puhul on oluline nii selle arusaadavus kui ka õpitavus ehk kui kerge on materjalis orienteeruda, seda kasutada ja selle abil õppida. (Nokelainen, 2005) Arusaadavus seejuures viitab materjali selgusele ja mõistmise lihtsusele, kasutatavus praktilisele rakendatavusele õppetöös ning sobivus vastavusele sihtrühma, õpitava teema ja õpieesmärkidega (Bugler *et al.*, 2017). Sellest tulenevalt peab kvaliteetne õppematerjal olema sisuliselt täpne, visuaalselt arusaadav, hõlpsasti kasutatav, õppijat kaasav ning õpieesmärkide ja õppijate vajadustega kooskõlas (Sbaragli & Panero, 2024).

Eelnevast lähtudes ei ole õppematerjal ainult teadmiste edastamise vahend, vaid see peaks toetama õppija aktiivset osalemist ja uute teadmiste kujunemist (Lampropoulos, 2024). Keemiaõppes tuleb seda eriti arvestada, kuna silmaga nähtamatute protsesside tõttu võivad õppijatel tekkida raskused keerulistest mõistetest arusaamisel (Câmara Olim *et al.*, 2024).

Keemiaõppe abstraktsuse leevendamiseks pakuvad tõhusat tuge erinevad digitaalsed ja mängulised õpikeskkonnad, mis toetavad õppimist ning uute teadmiste omandamist (Riza *et al.*, 2023). Digivahendite sihipärane ja lõimitud kasutamine aitab kaasa eesmärgistamise, enesekontrolli ja koostööoskuste arengule (Saadati *et al.*, 2023). Samuti on leitud, et mitmekülgsed digitaalsed õpikeskkonnad ja -materjalid soodustavad kriitilise mõtlemise kujunemist (Hamilton *et al.*, 2021).

#### 1.1.1 Digitaalsed õpikeskkonnad ja nende roll

Digitaalne õpikeskkond moodustab füüsilise õppega lõimunud terviku, kus õpikeskkonnad toimivad avatud ökosüsteemina, mille moodustavad erinevad platvormid ja osapooled. (Dillenbourg, 2016). Digitaalne haridus tähendab tehnoloogia kasutamist digitaalsete

õppematerjalide loomiseks, õppetöö kavandamiseks ja läbiviimiseks ning õppijate kaasamist õppesse digitaal tehnoloogia vahendusel (Hromada, 2020).

Tänapäeval on digivahenditel oluline roll nii meie igapäevaelus kui ka hariduses. See omakorda nõuab uusi lähenemisi õppetöö korraldamisel. (Meirbekov *et al.*, 2022)

Digivahendite kasutamine õppetöös eeldab läbimõeldud valikuid, et need looksid uusi õppimisvõimalusi ja toetaksid õpitulemuste parandamist (Riza *et al.*, 2023). Õpetajal võiks olla mitmekesine metoodikate valik ja arusaam, kuidas toetada keerukate teadmiste ning oskuste omandamist erinevates õpikeskkondades. Õppetöös saab kasutada erinevaid digivahendeid ja -teenuseid, mis võimaldavad luua õppematerjale ja teste, salvestada heli- ja videoklippe ning koostada veebipõhiseid ülesandeid. Kaasaegses õppeprotsessis võimaldavad digivahendid luua õppematerjale, mis muudavad õppimise õpilaste jaoks huvitavamaks ja kaasahaaravamaks. (Panyukova, 2020; Riza *et al.*, 2023)

Digivahendite igapäevane kasutamine seab hariduse üheks oluliseks eesmärgiks arendada autonoomiat ja kriitilist mõtlemist, et õppijad suudaksid teha põhjendatud otsuseid. Multimeedia- ja kommunikatsioonitehnoloogiate kasutamine õppetöös võib toetada aktiivõpet ning arendada õppijate iseseisvat ja kriitilist mõtlemist. (Pegov & Pyanykh, 2010) Oluline on, et veebipõhist õpet toetaks traditsiooniline õpetamine, kus õpetaja juhendab ja suunab vastavalt vajadusele (Xu, 2017; Park *et al.*, 2019; Riza *et al.*, 2023). Lisaks on leitud, et õpetaja poolt antud vahetu tagasiside on tõhusam kui automaatne selgitus, sest õpetaja saab kohandada selgitusi vastavalt õppija arusaamadele (Ajogbeje, 2023).

### **1.1.2 Eksperimentaalne õpe keemiaõppes**

Keemia õpetamisel ja õppimisel on olulisel kohal keemialabor ja praktilised katsed, sest need võimaldavad õppijatel aktiivselt õppeprotsessis osaleda. Samas on piiranguteks aja- ja ressursipuudus ning ohutusnõuded, mistõttu kasutatakse üha enam ka virtuaallaboreid. (Chen *et al.*, 2024) Kuid liigne lihtsustatus ja reaalse kogemuse puudumine võivad raskendada teadusliku eksperimenteerimise keerukuse mõistmist, sealhulgas tekkinud vigade märkamist ja ohutusnõuete olulisuse tajumist (Chen, 2010; Toth, 2016; Mantziou *et al.*, 2018).

Eksperimentaalne õpe võimaldab õppijatel kujundada teaduslikke arusaamu isiklike kogemuste kaudu, kuna ise läbi tehes on õppimine aktiivne ja kogemuslik protsess. See loob võimaluse õppijal siduda teoreetilised teadmised reaalse nähtustega, aidates paremini mõista seoseid teaduslike mõistete ja süsteemide vahel. (Hofstein & Lunetta, 2004) Samuti on uuringud näidanud, et praktiline katsetamine suurendab õppijate motivatsiooni ja õppimise tõhusust (*America's Lab Report*, 2005; Ramadani *et al.*, 2026).

### **1.1.3 Visuaalsed õppematerjalid keemia mõistmisel**

Keemia abstraktsus muudab visuaalsed materjalid õppeprotsessis asendamatuks, kuid nende tõhusus ei sõltu ainult visuaali olemasolust, vaid ka sellest, kuidas õppijat suunatakse visuaalset informatsiooni õppimisel kasutama (Kelly & Akaygun, 2019). Keemias kasutatakse lisaks tavakeelele näiteks keemilisi sümboloid ja võrrandeid, mis aitavad kirjeldada ja tõlgendada keemilisi protsesse. Erinevad mitteverbaalsed esitlused on õppimisel olulised, sest visuaalne ja sõnaline informatsioon täiendavad teineteist ning aitavad õppijal nähtut ja loetut paremini siduda. (Taber, 2018) Täiendavalt toovad Lin ja Wu (2021) välja, et erinevad staatilised visualiseeringud toetavad õppimist, kuna need vähendavad kognitiivset koormust, suunavad õppija tähelepanu olulisele ning aitavad muuta keerukaid keemilisi nähtusi paremini mõistetavaks. Visuaalsed materjalid aitavad toetada keemia õppimisel ka makro-, mikro- ja sümbolse tasandi seostamist (Ardac & Akaygun, 2005).

## **1.2 Praktilised ja mängulised õppemeetodid keemiaõppes**

Mängustamine on erinevate mänguliste elementide kasutamine mittemängulistes kontekstides ja seda kasutatakse laialdaselt, sealhulgas hariduses (Sanchez-Mena & Marti-Parreño, 2017). Praktilise tegevuse ja interaktiivse digikeskkonna kombineerimine, kus arendatakse praktilisi oskusi ja lisaks süvendatakse arusaamist virtuaalses keskkonnas, pakub mitmekesisemat ja terviklikumat õpikogemust, toetades sügavamalt arusaamist keemiast (Chen *et al.*, 2024). Li ja Tsai (2013) toovad välja, et digimängudega saab siduda õppimist reaalse ja virtuaalse maailma vahel, näiteks keemiaõppes digikeskkond toetab mõistete mõtestamist, samal ajal kui praktiline katse aitab õppijal seostada õpitud nähtava muutusega.

Uuringud viitavad, et erinevad arvutipõhised mängud ja simulatsioonid saavutavad suurima mõju siis, kui neid kasutada koos praktilise laboritööga (*America's Lab Report*, 2005). Õppemänge saab kasutada eri vanuses õppijatega ja hästi kavandatud õppemängud võivad toetada õppijate aktiivset kaasatust õppetöös (Costa, 2007; Naumoska *et al.*, 2023). Üheks võimalikuks õppemängu vormiks on hariduslikud põgenemistoad, mis on loodud konkreetsele sihtrühmale selgelt määratletud õpieesmärkidega (Veldkamp *et al.*, 2020).

### **1.2.1 Põgenemistuba mängupõhise õppe vormina**

Mängupõhist õpet saab käsitada mängulise tegevusena, millel on selgelt määratletud õpitulemused. Seetõttu peab õppemängu kavandamisel hoidma tasakaalu õppesisu ja mängulise tegevuse vahel. (Plass *et al.*, 2015) Õppetöös kasutatakse üha enam põgenemistoa formaati, kuna see kaasab aktiivselt õppijaid ja arendab mõtlemis-, probleemilahendus- ning

koostööoskusi, kujundades samal ajal positiivset hoiakut õppeaine suhtes (Sanchez & Plumettaz-Sieber, 2019; Veldkamp *et al.*, 2021; Naumoska *et al.*, 2023). Hariduslikud põgenemistoad sarnanevad suuresti mängupõhise õppega, mistõttu saab nende teoreetilise aluse loomisel lähtuda samadest põhimõtetest. Mängupõhise õppe teooriate kohaselt toetab selline lähenemisviis tõhusalt teadmiste omandamist, ainepädevuste arengut ning õppijate sisemist motivatsiooni. (Connolly *et al.*, 2012; Subhash & Cudney, 2018)

Engstler ja Marohn (2025) rõhutavad, et õpieesmärk ja mängu eesmärk peaksid olema omavahel seotud nii, et mängus edasi liikumine sõltuks õpitava teadmise kasutamisest, sest sellisel juhul ei ole mõistatused üksnes mängulised lisad, vaid need muutuvad õppeprotsessi osaks, kus mänguline tegevus ei jää õppesisust eraldi. Lisaks tuleb õppemängu rakendamine klassis hoolikalt läbi mõelda – mäng tuleb ette valmistada enne tunni algust ja ülesandeid eelnevalt testida. Samuti peab arvestama tunni ajapiiranguga, et kõik põgenemistoa ülesanded saaksid läbitud. (Stojanovska *et al.*, 2020; Naumoska *et al.*, 2023)

Põgenemistubades käsitletakse kõiki tegevusi ülesannetena, mis toimivad lihtsa loogika alusel: osalejale esitatakse väljakutse, millele tuleb leida lahendus ja vastutasuks saab ta edasi liikuda (Veldkamp *et al.*, 2020). Ülesandeid on üldjuhul kolme eri liiki: kognitiivsed ülesanded, mis põhinevad loogikal ja mõtlemisel; füüsilised ülesanded, mis nõuavad esemete kasutamist või tegutsemist lahenduse saavutamiseks; metaülesanded, mis koondavad varasemate ülesannete tulemused ja viivad mängu lõpliku lahenduseni (Wiemker *et al.*, 2015).

Põgenemistoaas toetavad õppimist selge tagasiside, kohene eduelamus ja järk-järgult kasvav keerukus. Lisaks on oluline, et pärast põgenemistoa tegevuse lõppu korraldaks õpetaja arutelu, sest see aitab õpilastel kogetut mõtestada ja õpitut teadvustada. (Veldkamp *et al.*, 2020) Samuti peavad õppijad arutelu õppimisprotsessi oluliseks osaks, kuna see aitab neil paremini mõista õpitu sisu (Friedrich *et al.*, 2019).

## **1.3 Le Chatelier' printsiip ja keemiline tasakaal gümnaasiumi õppekavas**

### **1.3.1 Teoreetiline raamistik ja riiklik õppekava**

Gümnaasiumi riikliku õppekava kohaselt on üheks õpitulemuseks, et õpilane mõistab pöörduvate reaktsioonide puhul tekkivat tasakaalu, uurib keemilise tasakaalu asendi nihutamise võimalusi ning toob sellekohaseid näiteid argielust ja tehnoloogiast (Haridus- ja Teadusministeerium, 2026).

Eelmainitud õpitulemuste saavutamiseks on oluline mõista Le Chatelier' printsiipi, mille põhimõte seisneb selles, et kui tasakaalusüsteemi mõjutada mingi välise teguriga

(kontsentratsioon, rõhk (gaaside korral) või temperatuur), siis süsteem püüab minimeerida välist mõju ja taastada tasakaalu (Tyson *et al.*, 1999). Kontsentratsiooni puhul soosib lähteainete sisalduse tõstmine saaduste moodustamist ja vastupidi – saaduste kontsentratsiooni tõstmine soosib omakorda lähteainete moodustumist. Rõhu tõstmine nihutab tasakaalu sellesse suunda, kus on vähem gaasimolekule ja rõhu alandamine nihutab tasakaalu sellesse suunda, kus on rohkem gaasimolekule. Temperatuuri alandamine nihutab tasakaalu eksotermilise reaktsiooni suunas ja temperatuuri tõstmine nihutab tasakaalu endotermilise reaktsiooni suunas. (Chemistry LibreTexts, 2023)

### **1.3.2 Õpilaste väärarusaamad ja väljakutsed teema omandamisel**

Keemilist tasakaalu peetakse üheks raskemaks teemaks, mida õppida ja õpetada (Kumar, 2016; Novak, 2018; Ollino *et al.*, 2018). Seetõttu esinevad nii keemilise tasakaalu kui ka Le Chatelier' printsiibi kohta õpilastel mitmed levinud väärarusaamad, mis takistavad sügavamalt arusaamist (Quílez-Pardo & Solaz-Portolés, 1995; Peris, 2022). Näiteks arvatakse, et tasakaaluolekus keemiline reaktsioon seiskub täielikult, kuigi tegelikult toimub pöörduv reaktsioon edasi mõlemas suunas (Lo Fan Hin & Riddle, 2023). Lisaks arvatakse, et kui keemiline reaktsioon on tasakaalus, on lähteainete ja saaduste kontsentratsioonid võrdsed, kuigi tegelikult on võrdsed reaktsioonide kiirused (Kumar, 2016). Levinud on ka mehaaniline Le Chatelier' printsiibi rakendamine mõistmata, millal ja miks see tegelikult kehtib. Samuti on täheldatud, et õpilastel esineb raskusi erinevate tegurite mõju eristamisel keemilisele tasakaalule. (Quílez, 2021) Seejuures proovitakse multimeedia ja digivahendite kasutamisega kummutada tekkinud väärarusaamu ja parandada õppimise kvaliteeti (Riza *et al.*, 2023). Üce ja Ceyhan (2019) kirjanduse ülevaade toob välja, et väärarusaamade ennetamisel ja vähendamisel on traditsioonilise õpetamise asemel sobivamad õppijakesksed ja aktiivõppel põhinevad meetodid, mis toetavad õppija aktiivset osalemist teadmiste kujundamisel.

## 2. Metoodika

### 2.1 Õppematerjali koostamine

Magistritöö raames koostati digitaalne ja praktiline õppematerjal keemilise tasakaalu ja Le Chatelier' printsiibi õpetamiseks ja õppimiseks gümnaasiumi keemiatunnis. Antud teemavalik tulenes selle keerukusest õpilaste jaoks (Kumar, 2016). Õppematerjali koostamisel võeti aluseks gümnaasiumi keemia riiklik õppekava (Haridus- ja Teadusministeerium, 2026).

Õppematerjali loomisel seati eesmärgiks ühendada teooria ja praktilised katsed ühte digitaalsesse õppematerjali, et õppija saaks siduda teoreetilised teadmised praktilise kogemusega ning kasutada saadud tulemusi järelduste tegemiseks (Adaayah & Aznam, 2024). Digitaalse õppematerjali loomiseks koostati visuaalsed plakatid (Lisa 1), töötati välja eksperimentaalne osa ning loodi interaktiivne põgenemistuba Genially keskkonnas ([genially.com](https://genially.com)) (Lisa 2). (Joonis 1)

#### Joonis 1

*Õppematerjali ülesehitus*

## Õppematerjali ülesehitus

PLAKATID JA PRAKTILISED KATSED PÕGENEMISTOAS



Plakatid loodi tasulises Canva keskkonnas ([canva.com](https://canva.com)) ja need käsitlesid keemilise tasakaalu nihkumist mõjutavaid tegureid (kontsentratsiooni, temperatuuri ja rõhku) ning olid üles ehitatud toetamaks õpilaste arusaamist visuaalsete skeemide ja lihtsustatud selgituste kaudu. Virtuaalses põgenemistoas kasutatud praktilised katsed võimaldasid õpilastel endil jälgida keemilise reaktsiooni tasakaalu nihkumist, mis omakorda aitas siduda nii teoreetilisi teadmisi kui ka põgenemistoas edasi liikuda. Plakatite koostamisel pöörati tähelepanu ka sellele, et visuaalne info oleks võimalikult hästi jälgitav. Seetõttu kontrollis autor plakatite

värvieristust värvipimeduse simulaatoriga. Iga plakati originaalversiooni võrreldi seitsme simulatsiooniga: protanoopia, deuteranoopia, tritanoopia, protanomaalia, deuteranomaalia, tritanomaalia ja akromatopsia. Kontrolli eesmärk oli hinnata, kas plakatitel kasutatud värvid, tähised ja tekst jäävad arusaadavaks ka erinevate värvitaju eripärade korral. Plakatite sisu jäi enamiku simulatsioonide korral jälgitavaks, kuid mõnes vaates vähenes värvide eristatavus. Loodud plakatitele andsid oma eksperthinnangu tegevkeemiaõpetajad ja Tartu Ülikooli Keemia instituudi keemiahariduse õppetooli töötajad, kes samuti tegelevad õppematerjalide loomise ja õppetöö läbiviimisega. Plakatite visuaalset poolt hindas haridusliku iduettevõtte graafiline disainer.

Katse kavandamisel tugineti Flinn Scientificu (2016) laborijuhendile, mis valiti alusmaterjaliks, kuna see on koostatud õppetööks mõeldud laborijuhendina ning toetab katse kasutamist selgelt struktureeritud õpitegevusena. Käesolevas töös kohandati juhendit, kasutades kloriidioonide asemel tiotsüanaatioone. Põgenemistoas esimesele lehele lisati õpetajatele mõeldud lahuste valmistamise juhend (Lisa 2).

Põgenemistoas on sissejuhatuse, Le Chatelier' printsiibi ja keemilise tasakaalu reeglid, tööjuhend ning kuus erinevat mõistatuste tuba – kontsentratsiooni teadmistepank, kontsentratsiooni katsekoda, temperatuuri teadmistepank, temperatuuri katsekoda, rõhu teadmistepank ja rõhu katsekoda. Teadmiste pankades on vastava teguri ja keemilise tasakaalu nihutamise plakat, kust edasi liikumiseks tuleb õpilasel valida õige vastus. Katsekojas tuleb õpilasel läbi teha praktilised katsed ja nende tulemuste põhjal jälgida keemilise tasakaalu nihkumist ning valida õige vastus. Kõige viimases toas tuleb õpilasel vastata kümnele teadmisi kordavale ja kinnistavale küsimusele ning kui õpilane on ka nendele õigesti vastanud, pääseb ta põgenemistoast välja (Lisa 2).

## **2.2 Uuringu disain**

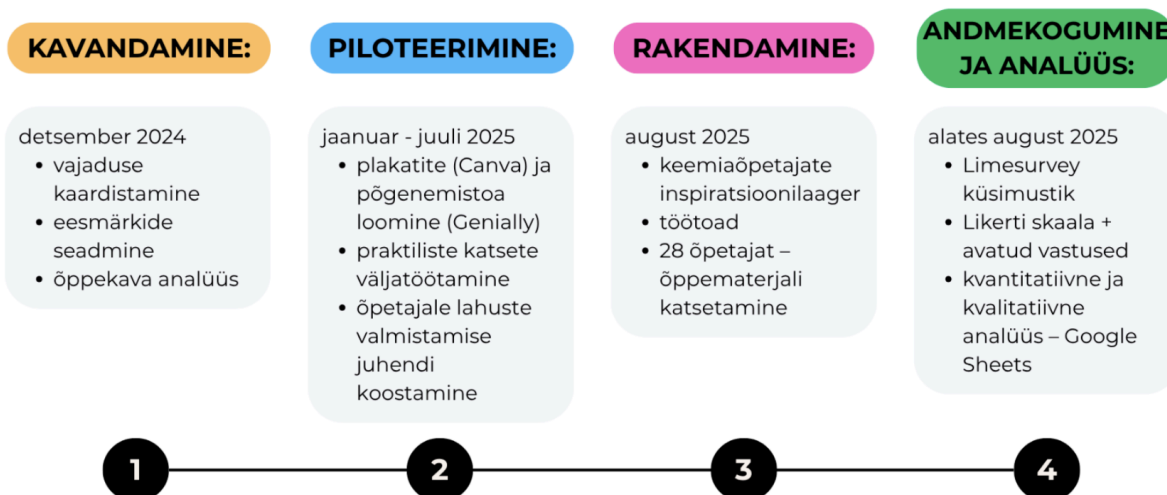
Magistritöö uuringu disain, mis hõlmas õppematerjali kavandamist, arendamist, rakendamist ning õpetajate tagasiside põhjal tehtud andmete kogumist ja analüüsi, on esitatud joonisel 2.

## Joonis 2

### Magistritöö uuringu disain

# Uuringu disain

ÕPPEMATERJALI ARENDAMISE, RAKENDAMISE JA HINDAMISE ETAPID



Kavandamisfaas viidi läbi 2024. aasta detsembris, mille käigus kaardistati vajadus uue materjali järele ja seejärel sõnastati õppematerjali eesmärk, sisulised lähtekohad ja koostamise põhimõtted. Jaanuaris 2025 alustati rõhu, temperatuuri ja kontsentratsiooni mõjude käsitlemiseks keemilise tasakaalu plakatite koostamist, mida kasutati hiljem põgenemistoa ülesannetes. Juunis 2025 valiti põgenemistoa keskkonnaks Genially. Seejärel tegeleti juunis ja juulis digitaalse põgenemistoa ja lahuste valmistamise juhendi loomisega ning praktiliste katsete väljatöötamisega.

Rakendamise etapp toimus 12.–14. augustil 2025 keemiaõpetajate inspiratsioonilaagris (<https://sisu.ut.ee/keemiasuvi/tootubade-tutvustus/>).

## 2.3 Valim

Uurimistöö valim kujunes vabatahtlikkuse alusel mugavusvalimina (Õunapuu, 2014). Õppematerjali katsetasid ja tagasisidestasid anonüümselt keemiaõpetajad, kes osalesid keemiaõpetajate 2025. aasta inspiratsioonilaagris ja otsustasid end registreerida “Keemiline tasakaal põgenemistoa: kas leiad väljapääsu?” töötuppa. Õppematerjali katsetas ja tagasisidestas 28 õpetajat: 18 põhikooliõpetajat, 9 nii põhikooli kui gümnaasiumi õpetajat ning 1 gümnaasiumiõpetaja. Osalejate vanus jäi vahemikku 20–63 aastat (keskmine vanus 43 eluaastat). Tööstaaž oli 1–39 aastat, keskmiselt 11,5 aastat (mediaanväärtus 6 aastat).

## 2.4 Instrument

Uuringus kasutatud küsimustik (Lisa 3) põhineb varasemalt välja töötatud ja magistritöös rakendatud õpetajate tagasiside küsimustikul, mille koostamisel tugines autor küsimustiku koostamise reeglitele ja korraldustele ning mida on kohandatud vastavalt magistritöö eesmärgile ja sisule (Õunapuu, 2014; Solovjova, 2022). Kohandamise käigus eemaldati järgmised taustaandmete küsimused: kas õpetajad õpetavad ka teisi õppeaineid, millises maakonnas nad töötavad ning mis on nende sugu, kuna need andmed ei olnud antud uuringu kontekstis olulised. Samuti kohandati väiteid õppematerjali ülesehituse ja jõukohasuse kohta. Ei muudetud väiteid „on õpilastele arusaadav ja jõukohane“ ja „toetab iseseisvat õppimist,“ kuid ülejäänud väited sõnastati ümber vastavalt õppematerjali eesmärgile. Väide „eristuvad traditsioonilistest töölehtedest“ asendati väitega „toetab keemilise tasakaalu teemast arusaamist,“ „aitavad loovust rakendada“ muudeti väiteks „lisab keemilise tasakaalu teema õppimisele praktilisust,“ „toetavad loomingulist mõtteviisi“ asendati väitega „suunab praktiliste ja uurimuslike tegevuste läbiviimist“ ning „aitavad seostada õpitud igapäevaeluga“ muudeti väiteks „võimaldab õpilastel siduda teooriat katsetulemustega“. Küsimus „Millistes olukordades te annaksite oma õpilastele selliseid tööjuhendeid?“ asendati küsimusega „Kas kasutaksite õppematerjali oma tunni keemilise reaktsiooni tasakaalu teema õpetamisel?“ ja lisati avatud küsimus, et õpetajad saaksid oma vastust põhjendada. Veel täiendati küsimustikku avatud küsimustega, et koguda õpetajatelt arendusettepanekuid ja hinnanguid õppematerjali kasutatavusele ning lahuste valmistamise juhendi selguse ja rakendatavuse kohta.

Põgenemistuba ja küsimustikku tagasisidestasid kaks Tartu Ülikooli Keemia instituudi keemiahariduse õppetooli töötajat. Õpetajatelt õppematerjali kohta tagasiside ja arendusettepanekute kogumiseks koostati elektroonne küsimustik kasutades Tartu Ülikooli LimeSurvey keskkonda (LimeSurvey GmbH, s.a.). Küsimustik koosnes kolmest osast: taustaandmed; materjali ülesehitus ja jõukohasus; arendusettepanekud (Lisa 3).

Taustaandmete osas küsiti õpetajatelt nende vanust, millises kooliastmes nad töötavad ja kui kaua on nad koolis keemiat õpetanud. Õppematerjali ülesehituse ja jõukohasuse hindamiseks esitati kuus väidet, millele pidi vastama viiepallisel Likerti skaalal, kus 1 – ei ole nõus, 2 – pigem ei ole nõus, 3 – neutraalne, 4 – pigem nõus, 5 – täiesti nõus. Väited puudutasid õppematerjali arusaadavust, keemilise tasakaalu teema mõistmise toetamist, õppimisele praktilisuse lisamist, iseseisva õppimise toetamist, praktiliste ja uurimuslike tegevuste suunamist ning teooria seostamist katsetulemustega. Likerti skaala valiti, kuna see on haridusuuringutes laialdaselt kasutatav ja võimaldab hinnata vastajate hoiakuid ning

arvamusi selgel ja võrreldaval viisil (Joshi *et al.*, 2015). Neutraalse vastusevariandi kasutamine aitab vältida sunnitud valikuid olukorras, kus vastajal puudub kindel arvamus (Krosnick & Presser, 2010).

Küsimustiku teises jaotises paluti õpetajatel hinnata, mil määral toetab loodud õppematerjal gümnaasiumi keemia õpitulemuste saavutamist, kus vastusevariandid olid: ei toeta üldse, pigem ei toeta, ei oska öelda, pigem toetab ja kindlasti toetab. Samuti küsiti, kas õpetajad kasutaksid loodud õppematerjali oma tundides keemilise tasakaalu teema õpetamisel ja lisaks paluti oma valikut põhjendada.

Küsimustiku avatud küsimustega koguti õpetajatelt ettepanekuid õppematerjali sisu, ülesehituse ja kasutusmugavuse arendamiseks. Samuti uuriti, kuidas nad hindavad lahuste valmistamise juhendi arusaadavust ja praktilist rakendatavust.

## **2.5 Andmekogumine ja -analüüs**

Küsimustikule vastasid õpetajad kohe pärast õppematerjali katsetamist töötubades 12. ja 13. augustil 2025. Küsimustiku vastuste analüüsimiseks ja töötlemiseks kasutati *Google Sheets* programmi. Andmeid analüüsiti kvantitatiivsel ja kvalitatiivsel meetodil.

Kvantitatiivsete andmete analüüsimisel kasutati kirjeldavat statistikat (sagedused ja protsendid), kuna eesmärk oli anda ülevaade õpetajate hinnangutest õppematerjali eri aspektidele ning kirjeldada vastustes ilmnenuid üldisi suundumusi. Analüüsi eesmärk ei olnud teha valimi põhjal üldistavaid statistilisi järeldusi, vaid kirjeldada osalejate hinnanguid konkreetse õppematerjali testimisel.

Avatud vastuste analüüsimisel kasutati kvalitatiivset temaatilist lähenemist, lähtudes induktiivse sisuanalüüsi põhimõtetest (Elo & Kyngäs, 2008). Esmalt loeti õpetajate vastused korduvalt läbi ning märgiti ära sisuliselt olulised kommentaarid ja arendusettepanekud. Sarnase sisuga ettepanekud koondati koodideks. Seejärel rühmitati koodid sisulise sarnasuse alusel alamkategoriasse ja laiematesse kategoriasse. Koodide sagedusena esitati õpetajate arv, kes vastavat ettepanekut mainisid. Kategoriad ei olnud eelnevalt määratud, vaid kujunesid analüüsi käigus andmete põhjal. Analüüsi usaldusvääruse suurendamiseks kodeeris avatud vastuseid lisaks autorile ka Tartu Ülikooli Keemia instituudi keemiahariduse õppetooli töötaja. Seejärel võrreldi moodustatud koode ja kategoriaid ning arutati läbi võimalikud erinevused. Vajadusel täpsustati koodide sõnastust ja kategooriate piiritlemist. Analüüsi tulemusel koondusid ettepanekud kolme põhisuunda: õppematerjali kasutusmugavus, praktilise osa selgus ja läbiviimine ning sisu täpsus ja arusaadavus. Kodeerimise tulemusel koostati kategooriate, alamkategoriate, koodide ja nende sageduse

tabel (Lisa 4). Lisaks esitati arendusettepanekute tabel, kus on välja toodud õpetajate arendusettepanekud, autori otsus ettepaneku rakendamise kohta ning otsuse põhjendus (Tabel 1).

### 3. Tulemused

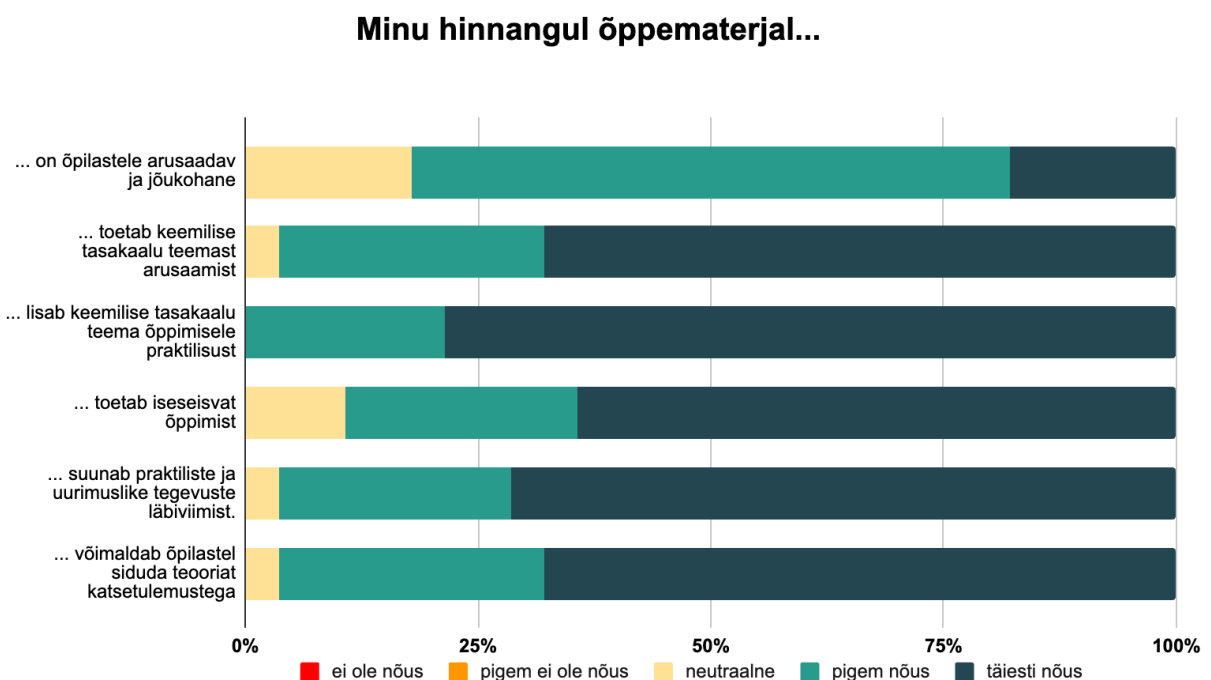
Magistritöö eesmärk oli välja töötada digitaalne ja praktiline õppematerjal ning hinnata õpetajate tagasiside põhjal, kas loodud materjal on sobilik Le Chatelier' printsiibi, keemilise tasakaalu ja selle nihkumist mõjutavate tegurite õpetamiseks gümnaasiumis.

#### 3.1 Õpetajate hinnangud materjali ülesehituse ja jõukohasuse kohta

Küsimustele vastamisel hindasid õpetajad õppematerjali ülesehitust ja jõukohasust. Ükski püstitatud väide ei saanud õpetajate poolt negatiivset tagasisidet (Likerti skaalal punktid 1 ja 2). Tulemused on toodud joonisel 3.

#### Joonis 3

Õpetajate hinnangud õppematerjalile ( $N = 28$ )



Väitele „Minu hinnangul on õppematerjal õpilastele arusaadav ja jõukohane“ andsid õpetajad valdavalt positiivse hinnangu. Suurim osa õpetajatest ehk 18 õpetajat (64,3%) märkis vastusevariandiks „pigem nõustun“, millele järgnes 5 õpetajat (17,9%) „täiesti nõustun“. Neutraalse hinnangu andsid 5 vastajat (17,9%).

Väitele „Minu hinnangul õppematerjal toetab keemilise tasakaalu teemast arusaamist“ andsid õpetajad taas valdavalt positiivse hinnangu. Suurim osa õpetajatest ehk 18 õpetajat (64,3%) märkis vastusevariandiks „täiesti nõustun“, millele järgnes 9 õpetajat (32,1%) „pigem nõustun“. Neutraalse hinnangu andis 1 vastaja (3,6%).

Väidet „Õppematerjal lisab keemilise tasakaalu teema õppimisele praktilisust“ hinnati samuti positiivselt: 21 õpetajat (75,0%) nõustusid sellega täielikult ning ülejäänud 7 vastajat (25,0%) pigem nõustusid. Neutraalseid hinnanguid antud väite puhul ei esinenud.

Õppematerjali sobivust iseseisvaks õppeks hindasid positiivselt 25 õpetajat (89,3%), kellest 18 (64,3%) nõustus väitega täielikult ja 7 (25,0%) pigem nõustus. Neutraalsele seisukohale jäid 3 õpetajat (10,7%).

Väitega „Õppematerjal suunab praktiliste ja uurimuslike tegevuste läbiviimist“ nõustusid täielikult 20 õpetajat (71,4%) ja pigem nõustus 7 õpetajat (25,0%). Neutraalse hinnangu andis 1 õpetaja (3,6%).

Õppematerjali võimet seostada teooriat katsetulemustega hindas positiivselt 27 õpetajat (96,4%), kellest 19 (67,9%) nõustusid väitega täielikult ja 8 (28,6%) pigem nõustusid. Neutraalsele seisukohale jäi 1 õpetaja (3,6%).

### **3.2 Õpetajate arendusettepanekud**

Likerti skaalal antud hinnangute selgitamiseks ja täpsustamiseks koguti õpetajatelt ka avatud vastuseid, kus toodi esile nii õppematerjali tugevusi kui ka arendusettepanekuid (Tabel 1). Avatud vastuste kvalitatiivse rühmitamise tulemusel moodustusid kolm peamist kategooriat: õppematerjali kasutusmugavus, praktilise osa selgus ja läbiviimine ning sisu täpsus ja arusaadavus. Kategooriate, alamkategooriate, koodide ja nende sageduste ülevaade on esitatud lisa 4.

Tugevustest rõhutati eelkõige õppematerjali loogilist ülesehitust ja arusaadavust ning seda, et teooria ja praktilised tegevused on omavahel hästi seotud. Mitme õpetaja hinnangul toetab õppematerjal keemilise tasakaalu teema mõistmist just tänu praktilistele katsetele ja visuaalsetele lahendustele. Näiteks kommenteeris õpetaja nr 17: „*Seob väga hästi teooria praktikaga*“, ja õpetaja nr 6: „*Väga ülevaatlik ning piisava põhjalikkusega materjal, mille sisu omandamist aitasid värvilised skeemid*“. Samuti toodi välja, et materjal soodustab õpilaste kaasa mõtlemist ja sobib nii õppimise toetamiseks kui ka enesekontrolliks. Samas leiti, et õppematerjali jõukohasus võib sõltuda õpilaste varasematest teadmistest ja kokkupuutest antud teemaga. Ühe õpetaja hinnangul ei pruugi õppematerjal sobida täielikult iseseisvaks õppeks ja ta pidas oluliseks õpetaja toetavat rolli.

Arendusettepanekutes eristus kolm peamist suunda: kasutusmugavus, praktilise osa selgus ning sisu täpsus ja arusaadavus. Tugevusena toodi välja materjali mitmekesisus, kuid samas täheldati, et õppematerjal on mahukas ja seetõttu võib ühe ainetunni raames tekkida ajapuudus, kuna koolides on erineva pikkusega tunnid. Eelnev kommentaar on seotud asjaoluga, et mõnes üldhariduskoolis on gümnaasiumi osas veel säilinud 45-minutilised ainetunnid. Toodi ka välja, et õppematerjalis võiks olla tagasi liikumise võimalus. Samuti mainiti, et ekraanipaigutus ja teksti suurus võivad mõjutada õppematerjali kasutusmugavust, eriti väiksema suurusega ekraanidel. Praktilise osa selguse puhul pidasid õpetajad lahuste valmistamise juhendit arusaadavaks ja sobivaks, kuid arendusettepanekutes nimetati ka praktilise osa juhiste täpsustamist, katsevahendite lisamist ning jäätmete käitlemist. Sisu täpsuse ja arusaadavuse puhul puudutasid ettepanekud keemiliste ainete nimetuste korrigeerimist, värvimuutuste ja rõhu seose selgemat esitamist, sõnastuse lihtsustamist ning tagasiside ja heli kasutamist. Lisaks puudutasid arendusettepanekud põgenemistoa visuaalset ja tehnilist kasutusmugavust. Tabelis 1 on esitatud koondülevaade kogutud andmetest ja tulemustest, kajastades õpetajate arendusettepanekuid koos autori otsuste ja põhjendustega. Ettepanekud on järjestatud avatud vastuste analüüsis moodustunud põhikategooriate alusel: kasutusmugavus, praktilise osa selgus ning sisu täpsus ja arusaadavus.

**Tabel 1**

*Õpetajate arendusettepanekud õppematerjalile, autori otsus ja põhjendused*

Tagasisidestaja	Kategooria	Ettepanek	Autori otsus (jah/ei)	Põhjendus
Õpetaja nr 11 Õpetaja nr 12 Õpetaja nr 21 Õpetaja nr 24 Õpetaja nr 27 Õpetaja nr 28	Kasutusmugavus	Võimalus tagasi liikuda eelmiste lehtede juurde.	Jah	Autor lisas igale lehele nupu, millega on võimalik vajadusel materjalis tagasi liikuda.
Õpetaja nr 14 Õpetaja nr 19 Õpetaja nr 21 Õpetaja nr 22 Õpetaja nr 23	Kasutusmugavus	Materjali võiks olla võimalik läbida mitmes osas.	Jah	Autor koostas lisaks tervele põgenemistoaale veel 1. osa ja 2. osa, et õppematerjali oleks võimalik läbida kahes osas.

Õpetaja nr 4 Õpetaja nr 6 Õpetaja nr 7 Õpetaja nr 19	Kasutusmugavus	Tekst liiga väike.	Jah	Autor muutis plakatitel oleva teksti nii suureks kui võimalik.
Õpetaja nr 15 Õpetaja nr 21	Kasutusmugavus	Lisada praktilise osa juurde selgemad visuaalsed vihjed, kui tööülesanne muutub.	Jah	Autor tegi vastavad muudatused katsekodades.
Õpetaja nr 5 Õpetaja nr 9	Kasutusmugavus	Vale vastuse korral ei peaks olema heli.	Jah	Autor eemaldas vale vastuse korral heli.
Õpetaja nr 16	Kasutusmugavus	Vähem küsimusi.	Ei	Oleks olnud vaja täpsustust, millise küsimuse võiks eemaldada, siis oleks autor saanud seda kaaluda.
Õpetaja nr 5 Õpetaja nr 6 Õpetaja nr 14 Õpetaja nr 20 Õpetaja nr 21 Õpetaja nr 23	Praktilise osa selgus ja läbiviimine	Katsevahendites võiks olla ka pipetid.	Jah	Autor lisas tilgapipetid lahuste valmistamise juhendisse.
Õpetaja nr 1	Praktilise osa selgus ja läbiviimine	<i>„Jäävanni asemel jää-veevann – jahutab kiiremini“.</i>	Jah	Autor tegi muudatuse lahuste valmistamise juhendis ja põgenemistoas.
Õpetaja nr 25	Praktilise osa selgus ja läbiviimine	Kui ühel korral on juba antud juhis lisada katseklaasi vastavat lahust, ei peaks sama juhis järgmisel korral korduma, sest õpilased võivad reagente ekslikult uuesti lisada.	Jah	Autor jättis esimesel korral “lisa” ja “pane”, ülejäänud kordadel muutis sõnad “liskasid” ja “panid”, et õpilased rohkem ainet juurde ei lisaks või vahepeal jääveevannist või kuumast veest välja ei võtaks.
Töötoas kohapeal öeldud ettepanek	Praktilise osa selgus ja läbiviimine	Võrdluslahused: esimest katseklaasi ära muuda, teise lisa 1 ml	Jah	Autor tegi vastava paranduse, sest teise katseklaasi

		vett.		kohta jäi algselt kirjutamata.
Õpetaja nr 21	Praktilise osa selgus ja läbiviimine	<i>„Lisada juurde, kuidas tunnis tekkivaid jäätmeid käidelda“.</i>	Jah	Autor lisas selle lahuste valmistamise juhendisse.
Õpetaja nr 4 Õpetaja nr 5 Õpetaja nr 6 Õpetaja nr 7	Sisu täpsus ja arusaadavus	Lisada värvimuutuste hindamiseks värviskaala, sest punakas ja violetne tekitasid segadust ühes katses.	Ei	Autor eemaldas katse, mis segadust tekitas, sest seal tekkis kõrvalefekt, mis muutis omakorda värvi ja ei olnud kooskõlas tasakaalu nihkumisega.
Õpetaja nr 21 Õpetaja nr 25	Sisu täpsus ja arusaadavus	Video rõhu muutuse kohta ei lähe teooriaga hetkel kokku (ilmselt hakkab mängima mingi kõrvalefekt).	Jah	Autor eemaldas videod ja asendas need reaktsioonivõrrandiga, mille põhjal tuleb õpilastel lahenduseni jõuda.
Õpetaja nr 7 Õpetaja nr 20	Sisu täpsus ja arusaadavus	Täpsustada $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ lahuse kasutamist ja märgistust.	Jah	Autor muutis põgenemistoas oleva teksti $\text{CoCl}_2$ -ks.
Õpetaja nr 6 Õpetaja nr 11 Õpetaja nr 15	Sisu täpsus ja arusaadavus	Trükivead – mõned tähed puudu või valesti.	Jah	Autor parandas välja toodud vead.
Õpetaja nr 21	Sisu täpsus ja arusaadavus	<i>„Kui oli tegemist katsega, kus lisati <math>\text{AgNO}_3</math>, siis seal võiks olla võrrand selgituseks juures, et mis seal siis ikkagi täpselt toimub“.</i>	Ei	Autor ei lisa võrrandit, sest õige vastusevariant ütleb ära, mis reaktsioon katseklaasis toimub.
Õpetaja nr 8	Sisu täpsus ja arusaadavus	<i>„Võib-olla vähendada ekso- ja endotermiliste reaktsioonide osa“.</i>	Ei	Autor ei vähendanud, kuna keemilise tasakaalu nihkumine temperatuuri muutumisel sõltub otseselt sellest, kas

				reaktsioon on eksotermiline või endotermiline.
Õpetaja nr 4 Õpetaja nr 20 Õpetaja nr 21	Sisu täpsus ja arusaadavus	Vale vastuse korral selgitus.	Ei	Õppematerjal oli sisse ehitatud automaatne tagasiside, mis võimaldas õppijal kohe oma vastust kontrollida ja vajadusel parandada. Kui midagi jäi segaseks, on võimalus õpetajalt üle küsida.
Õpetaja nr 25 Õpetaja nr 27 Õpetaja nr 28	Sisu täpsus ja arusaadavus	Täpsustada või lihtsustada vastusevariantide, Le Chatelier' printsiibi ja temperatuuri mõju sõnastust.	Ei	Ettepanekud olid üldised ja konkreetseid parandatavaid kohti ei nimetatud.

### 3.3 Õpetajate hinnang loodud õppematerjali toetavusele õpitulemuste saavutamisel gümnaasiumi keemias

Õpetajatel paluti viiepallisel Likerti skaalal hinnata, mil määral toetab loodud õppematerjal gümnaasiumi keemia õpitulemuse seda osa, mille kohaselt peab õpilane mõistma pöörduvate reaktsioonide puhul tekkivat tasakaalu ning uurima keemilise tasakaalu asendi nihutamise võimalusi (Haridus- ja Teadusministeerium, 2026). 24 õpetajat (85,7%) hindas õppematerjali pigem või kindlasti toetavaks. Neist 18 õpetajat (64,3%) leidis, et õppematerjal kindlasti toetab õpitulemuste saavutamist. Koguvalimist 4 õpetajat (14,3%) jäid neutraalsele seisukohale, mis viitab sellele, et väike osa õpetajatest ei olnud oma hinnangus täielikult kindlad.

### 3.4 Õpetajate valmisolek kasutada õppematerjali ja selle põhjendused

Vastanud õpetajatest 25 (89,3%) kasutaksid loodud õppematerjali oma tunnis ja 3 õpetajat (10,7%) ei kasutaks. Mittekasutamise põhjendusteks toodi kahel korral asjaolu, et õpetajad ei õpeta gümnaasiumis. Üks „Ei“ vastanud õpetajatest põhjendas, et „*Ei olnud kursis, et nii suurepärase õppematerjal on olemas juba*“. Võib arvata, et õpetaja luges küsimust valesti.

Õppematerjali tugevustena toodi välja selle praktilisus, selge ülesehitus ning õpilaste kaasatus. Mitmed õpetajad rõhutasid, et materjal toetab avastusõpet ning võimaldab õpilastel aktiivselt teadmisi omandada. Õpetaja nr 6 kommenteeris: „*Väga põhjalik materjal, millega saab kenasti ühe õppetunni ära sisustada nii, et õpilased saavad kogu aeg ise midagi teha*“. Samuti andis oma positiivse hinnangu õpetaja nr 7: „*Kui õpetaksin, siis kasutaksin kindlalt. Annab võimaluse õpilastel ise uurida ja katsetada*“.

Veel toodi esile õppematerjali mitmekülgsus ja loogiline ülesehitus, näiteks põhjendas õpetaja nr 20: „*Ma kasutaksin seda õppematerjali keemilise reaktsiooni tasakaalu õpetamisel, kuna see on loogiliselt üles ehitatud, selgete seletustega ja mitmekesiste ülesandetüüpidega, mis toetavad erinevate õpistiilidega õpilasi*“. Õpetajad pidasid oluliseks ka seda, et materjal on praktiline ja kaasav, näiteks märkis õpetaja nr 28, et see on „*kõitev ja mõistmist toetav materjal*“ ning õpetaja nr 26: „*annab parema võimaluse aru saada*“. Õpetaja nr 19 lisas: „*Überpööratud klassiruumi meetod toetab õpilaste iseseisvat õppimist*“. Põgenemistoa puhul ei ole tegemist überpööratud klassiruumi meetodiga, sest õpilased omandavad uusi teadmisi tunnis iseseisvalt, vajadusel õpetaja toega, mitte enne tundi.

Lisaks rõhutasid õpetajad nr 8 ja 16 õppematerjali kaasaegsust ja mitmekülgsust, tuues välja digiteemade lõimimise ning praktilise vaatenurga lisandumise: „*Lõiming digiteemaga. Lisab teise ja praktilise vaatenurga teema mõistmiseks*“. Samuti tõi õpetaja nr 18 välja, et antud materjal võimaldab saada õppeprotsessis kohest tagasisidet: „*Kindlasti kasutan, kuna see oli endalegi põnev ja õpilastele on ka huvitav, kuna saavad töö käigus ka selgitusi ning kohest tagasisidet*“.

Õpetaja nr 15 arvas, et „*Tegelt see on väga huvitav ja ilusasti mahub 45 min kui ka 80 min tunni sisse*“. Samas tõi õpetaja nr 21 välja: „*Kindlasti kasutaksin, aga sooviksin, et seda saaks mitmes osas teha (ilmselt ei jõua kõike ühe tunniga mõttega läbi töötada, vaid soodustab huupi klõpsimist, kui nad poole pealt juba liiga väsinud on)*“.

#### **4. Arutelu**

Selles peatükis analüüsitakse magistritöö tulemusi vastavalt püstitatud uurimisküsimustele. Arutelu koosneb kahest peatükist: esimeses alapeatükis (4.1) käsitletakse keemiaõpetajate hinnanguid loodud õppematerjali arusaadavuse, kasutatavuse ja sobivuse kohta õppetöös ja teises (4.2) käsitletakse keemiaõpetajate ettepanekuid õppematerjali arendamiseks ja kvaliteedi tõstmiseks. Mõlemas alapeatükis seotakse saadud tulemused varasema teaduskirjandusega ja tuuakse välja järeldused.

Küsimustiku esimeses osas koguti andmeid õpetajate vanuse ja tööstaaži kohta, et võrrelda tulemusi varasemate uuringutega ja hinnata nende võimalikku mõju õppematerjali vastuvõtlikkusele. Kuna aga enamik õpetajaid vastas valmisolekuga õppematerjali kasutada ja valim oli väike, ei ilmnenud käesolevas uuringus piisavalt erinevusi, et nende tegurite mõju analüüsida.

#### **4.1 Keemiaõpetajate hinnangud õppematerjali arusaadavuse, kasutatavuse ja sobivuse kohta õppetöös**

Esimene uurimisküsimus keskendus õpetajate hinnangutele õppematerjali arusaadavuse, kasutatavuse ja sobivuse kohta õppetöös. Esimese uurimisküsimuse tulemused näitasid, et õpetajad hindasid õppematerjali üldiselt arusaadavaks, jõukohaseks ja õppetöös kasutatavaks ning leidsid, et see toetab nii iseseisvat õppimist kui ka õpitulemuste saavutamist. Samas jäi osa vastajatest mitme väite puhul neutraalsele seisukohale, mis on mõistetav, kuna keemilise tasakaalu teemat on kirjandusallikate põhjal peetud üheks keerulisemaks nii õppimise kui ka õpetamise seisukohalt, sest õpilasel tuleb mõista tasakaalu dünaamilist olemust ning eristada, kuidas kontsentratsiooni, rõhu ja temperatuuri muutmine mõjutab tasakaaluasendit (Novak, 2018; Ollino *et al.*, 2018). Negatiivsete hinnangute puudumist võib osaliselt selgitada see, et tegemist oli motiveeritud mugavusvalimiga: vastajad olid vabatahtlikult inspiratsioonilaagris osalenud keemiaõpetajad.

Sellega, et õppematerjal lisab keemilise tasakaalu teema õppimisele praktilisust, olid kõik uuringus osalenud õpetajad nõus. Sellest nähtub, et materjal aitab siduda abstraktset teooriat nähtavate katsetulemustega ja selline tulemus on kooskõlas varasemate uuringutega, mille järgi kujunevad väärarusaamad sageli siis, kui õpetus jääb liialt teoreetiliseks ja õppijal puudub võimalus siduda abstraktseid mõisteid praktilise kogemusega (Ippoliti *et al.*, 2022; Iyamuremye *et al.*, 2023). Antud tulemus oli ka ootuspärane, kuna õppematerjali läbimiseks on vaja sooritada praktilisi katseid ja saadud tulemusi analüüsida.

Peaaegu kõik õpetajad leidsid, et õppematerjal suunab õppijaid praktilistele ja uurimuslikele tegevustele ning aitab siduda teooriat katsetulemustega. Tulemus on kooskõlas varasemate uuringutega, mille järgi praktilised tegevused küll toetavad õppimist, kuid ei taga iseenesest sügavamat arusaamist, kui neid ei seota teoreetiliste teadmiste ja selgitustega (Hofstein & Lunetta, 2004; Chen *et al.*, 2024). Kumar (2016) rõhutab, et kuigi laboratoorsed tegevused pakuvad õppijatele vahetut kogemust, on neil sageli raskusi makroskoopiliste vaatluste sidumisel mikroskoopilise ja sümboltasandiga. Käesolevas töös pidasid õpetajad

õppematerjali tugevuseks just praktiliste tegevuste ja teoreetiliste teadmiste sidumist, mida väljendab tugevalt õpetaja nr 4 tagasiside: „*Teooria ja praktiline osa olid omavahel hästi seotud*“. See haakub Engstler ja Marohn (2025) järeldusega, et haridusliku põgenemistoa tugevus seisneb õppimise ja mängulise tegevuse sidumises: mängus edasi liikumine peaks sõltuma sellest, kas õppija oskab kasutada ülesande lahendamiseks vajalikke teadmisi.

Magistritöö eesmärk oli välja töötada õppematerjal, mis aitaks gümnaasiumi keemiatunnis keemilise tasakaalu teemat õpetada ja õpilastele arusaadavamaks teha. Õpetajate tagasiside põhjal saab väita, et see eesmärk täideti, kuna peaaegu kõik õpetajad leidsid, et õppematerjal toetab keemilise tasakaalu teemast arusaamist ning vaid üks õpetaja jäi neutraalsele seisukohale. Ka varasematest uuringutes on leitud, et teemapõhised põgenemistoad võivad aidata õpilastel keerulistest teemadest paremini aru saada ja suurendada õpilaste kaasatust ning motivatsiooni (Naumoska *et al.*, 2023). Oluline on aga märkida, et õppematerjali katsetasid õpetajad, mitte õpilased. Seetõttu peegeldavad tulemused õpetaja kogemust õppija rollis ning nende professionaalset hinnangut materjali rakendatavusele.

Valdav osa õpetajatest vastas, et kasutaksid loodud õppematerjali oma tunnis. Kui lugeda põhjendusi, miks seda mitte teha, siis kolmest õpetajast üks luges ilmselt küsimust valesti ja tahtis vastata, et kasutaks. Kaks õpetajat, kes “ei” vastasid, põhjendasid seda põhikoolis töötamisega. Kui võrrelda saadud tulemusi varasemate uuringutega, siis on näha sarnast tendentsi, kus põgenemistool põhinevaid õppemeetodeid hinnatakse positiivselt ja neid peetakse sobivaks õppetöös kasutamisel (Stojanovska *et al.*, 2020). Sellist hinnangut võib seostada asjaoluga, et põgenemistool põhinev õppimine toetab praktilist ja aktiivset osalemist, mis on keemiaõppes oluline, kuna aitab õppijatel siduda teoreetilisi teadmisi praktikas nähtavaga ning muuta seeläbi abstraktsed mõisted paremini arusaadavaks (Hofstein & Lunetta, 2004; Kumar, 2016; Naumoska *et al.*, 2023).

Õpetajate hinnangutes toodi visuaalse tugevusena esile materjali värvilised skeemid, selge ülesehitus ja lihtne jälgitavus. See näitab, et visuaalid toetasid õppesisu mõistmist, aidates struktureerida abstraktset infot ning suunata tähelepanu keemilise tasakaalu seisukohalt olulistele seostele (Kelly & Akaygun, 2019; Lin & Wu, 2021).

Õpetajate poolt välja toodud tugevused on kooskõlas kirjanduse ülevaates käsitletud õppematerjali kvaliteedi põhimõtetega. Loogiline ülesehitus, visuaalne tugi, praktilised katsed ja mänguline keskkond toetavad õppimist eri tasanditel: muudavad abstraktse teema nähtavaks, seovad teooria praktilise kogemusega ning suurendavad õppijate kaasatust

(Hofstein & Lunetta, 2004; Nokelainen, 2005; Kelly & Akaygun, 2019; Veldkamp *et al.*, 2021).

Õpetajad hindasid õppematerjali üldiselt arusaadavaks ja õppetöös kasutatavaks. Nende hinnangul olid materjali peamised tugevused praktilisus, selge ülesehitus, visuaalne tugi ning teooria ja katsete sidumine.

## **4.2 Keemiaõpetajate ettepanekud õppematerjali arendamiseks ja kvaliteedi tõstmiseks**

Õpetajate tagasiside viitab õppematerjali heale kvaliteedile, kuid tehtud ettepanekud annavad võimaluse muuta seda veel paremaks ja kasutajasõbralikumaks. Õpetajate ettepanekuid analüüsisides tuli välja kolm peamist arendussuunda: õppematerjali kasutusmugavus, praktilise osa selgus ning sisu täpsus ja arusaadavus.

Õpetajate tagasisides tõusis esile õppematerjali kasutusmugavus, mille osas töid mitmed õpetajad välja vajaduse lisada materjalis tagasi liikumise võimalus, visuaalsed vihjed katse muutuste märkimiseks ja plakatitel suurendada teksti suurust. See näitab, et digitaalse õppematerjali puhul mõjutab õppimist peale sisu ka see, kuidas materjal on esitatud ja kui lihtsalt õppija selles orienteerub (Riza *et al.*, 2023). Materjali põhjalikkus oli õpetajate jaoks tugevus, kuid osa õpetajaid tõi välja, et materjal võib olla liiga mahukas ja kuna koolides on erineva pikkusega tunnid, sooviksid nad põgenemistoa läbimise võimalust kahes osas. Õppematerjali parema ajakasutuse huvides liigendas autor põgenemistoa kaheks, võimaldades ülesannete lahendamist mitmes osas. Varasemates uuringutes on samuti rõhutatud, et põgenemistoa rakendamisel tuleb arvestada tunni ajapiiranguga (Stojanovska *et al.*, 2020; Naumoska *et al.*, 2023).

Praktilise osa ja sisu täpsuse osas soovitasid õpetajad tilgapipettide lisamist juhendisse ja jäävanni asendamist jääveevanniga ning autor leidis, et need muudatused oleksid mõistlikud. Lisaks parandas autor õpetajate poolt välja toodud kirjavead. Samuti asendas autor põgenemistoa  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $\text{CoCl}_2$ -ga. Üks õpetaja tegi ettepaneku, et  $\text{AgNO}_3$  lisamise katse korral võiks olla võrrand selgituseks juures, et mis seal täpselt toimub. Autor ei lisanud eraldi võrrandit, sest õppematerjalis olev õige vastusevariant selgitab, mis katseklaasis toimub. Täpsem arutelu saab vajadusel toimuda pärast põgenemistoa läbimist õpetaja juhendamisel. Sisutäpsuse ja arusaadavuse osas tuli ka ettepanek lihtsustada vastusevariantide, Le Chatelier' printsiibi ja temperatuuri mõju sõnastust. Autor ei rakendanud ettepanekut, sest tagasisides ei olnud välja toodud konkreetseid sõnastusi ega

kohti, mida tuleks muuta. Seetõttu ei olnud võimalik teha sihipärast parandust ilma õppematerjali sisu muutmata. Üks õpetaja lisas, et lisaselgitus „võib ka õpetajale jääda“, millega autor nõustub.

Mitmed õpetajad tõid välja, et vale vastuse korral võiks õppematerjalis olla selgitus. Autor ei rakendanud ettepanekut lisada iga vale vastuse juurde pikem selgitus, sest õppematerjal sisaldas juba automaatset tagasisidet, mis võimaldas õppijal oma vastust kohe kontrollida ja uuesti proovida. Kirjanduses on leitud, et tõhusama õppimise toetamiseks võiks põgenemistoa läbimisele järgneda õpetajapoolne arutelu, mis aitab õpilastel oma valikuid põhjendada, eksimusi mõtestada ja õpitud teadlikumalt kinnistada (Friedrich *et al.*, 2019; Veldkamp *et al.*, 2021). Lisaks võib keerukama teema puhul olla õpetajapoolne arutelu ja selgitamine paindlikum kui automaatne tagasiside, sest õpetaja saab käsitleda just neid arusaamatusi, mis õppijatel tegevuse käigus esile tulevad ning kohandada selgitusi vastavalt õpilaste vajadustele (Ajogbeje, 2023). Kuigi enamik õpetajaid hindasid õppematerjali iseseisvat õppimist toetavaks, viitas osa vastajatest sellele, et keerukama teema puhul on õpetaja juhendav roll siiski vajalik. Sellest võib järeldada, et materjal toetab iseseisvat tegutsemist, aga mitte tingimata täielikult iseseisvalt teema mõtestamist. Ka kirjanduses on välja toodud, et tõhus veebipõhine õpe eeldab siiski õpetaja juhendavat ja suunavat rolli (Xu, 2017; Park *et al.*, 2019).

Nii kontsentratsiooni kui ka rõhu katsekojas hakkasid katsetes värvimuutust segama kõrvalefektid, millest tulenevalt ei saanud tuletada keemilise tasakaalu nihkumise suunda. Kontsentratsiooni katsekojas eemaldas autor  $\text{CoCl}_2$  lisamise katsed, sest selle lisamisel muutus lahus vastupidiselt punasemaks mitte violetsemaks. Lisaks olid algses õppematerjalis rõhu katsekojas videod lämmastikdioksiidi ja dilämmastiktetraoksiidi vahelisest tasakaalureaktsioonist. Kuna ka selle katse puhul ei läinud värvimuutus kokku rõhu tõstmisel ja alandamisel keemilise tasakaalu nihkumisega, jättis autor alles ainult reaktsioonivõrrandi, kus ainete valemite kirjutamisel kasutati vastavate gaaside värvuseid. Eelnev näitab, et praktiliste katsete kasutamisel tuleb arvestada ka katse piirangutega, sest füüsiline katsetamine toetab õppimist vaid siis, kui vaadeldav tulemus on õpitava mõistega selgelt seotud (Hofstein & Lunetta, 2004; Chen *et al.*, 2024).

Samuti puudutasid arendusettepanekud ka heli, küsimuste hulka, jäätmete käitlemist ja tööjuhendite täpsust. Autor eemaldas vale vastuse korral kõlanud heli. Ekso- ja endotermiliste reaktsioonide osa ei vähendatud, kuna temperatuuri mõju keemilisele tasakaalule sõltub otseselt sellest, kas reaktsioon on ekso- või endotermiline (Chemistry LibreTexts, 2023). Küll aga täiendati lahuste valmistamise juhendit jäätmete käitlemise infoga ja täpsustati

katsejuhises sõnastust, et õpilased ei lisaks aineid korduvalt juurde. Samuti täiendati põgenemistoas võrdluslahuste valmistamise juhist.

Õpetajate ettepanekud keskendusid peamiselt kasutusmugavuse, sisu selguse ja praktilise osa täpsustamisele. Olulisemateks arendussuundadeks olid digikeskkonna kasutajamugavuse parandamine, materjali mahukuse ja tunni ajapiirangute tõttu mitmeks osaks jaotamine ning katsete juhiste ja keemilise sisu täpsustamine.

### **4.3 Magistritöö piirangud ja väärtus**

Uuringu piiranguks võib pidada kasutatud mugavusvalimit. Kuna töötuppa registreerisid õpetajad vabatahtlikkuse alusel, siis tulemused kirjeldavad just selles töötoas osalenud õpetajate hinnanguid ega ole üldistatavad kõigile Eesti keemiaõpetajatele. Lisaks, kuna õppematerjali katsetasid ja tagasisidestasid õpetajad, siis näitavad tulemused õpetajate hinnangut õppematerjali potentsiaalile, kuid ei tõesta otseselt õpilaste arusaamise või õpitulemuste paranemist. Üheks piiranguks võib pidada ka asjaolu, et õppematerjal ei toeta otseselt seoste loomist argielu ja tehnoloogiliste protsessidega, vaid vajab õpetajapoolset täiendavat selgitust.

Järgmise sammuna saaks edasi uurida, kas loodud õppematerjal aitab õpilastel keemilise tasakaalu teemast paremini aru saada, katsetades seda õppematerjali gümnaasiumiõpilastega ning kasutades eel- ja järeltesti, koguda õpilastelt tagasisidet ning kaasata kontrollrühma(d), kes õpivad sama teemat tavapäraste õppematerjalide abil.

Õpetajate hinnangute põhjal võib järeldada, et loodud materjali praktiline väärtus seisneb selle süstemaatilises ülesehituses, kus teooria, digitaalsed lahendused ja praktilised tegevused on lõimitud sidusaks ja kasutatavaks õppematerjaliks. Selline ülesehitus võib toetada õpetajat nii tunni planeerimisel kui ka läbiviimisel, sest õppematerjal sisaldab valmis digitaalset põgenemistuba, kus on nii teooria kui katsed koos juhendiga. Materjali väärtust suurendab ka selle paindlikkus, kuna seda on võimalik kasutada nii terviklikult kui ka kaheks osaks jagatuna vastavalt tunni pikkusele ja õpperühma vajadusele.

## Kokkuvõte

Magistritöö eesmärk oli välja töötada digitaalne ja praktiline õppematerjal ning hinnata õpetajate tagasiside põhjal selle sobivust Le Chatelier' printsiibi, keemilise tasakaalu ja selle nihkumist mõjutavate tegurite õpetamiseks gümnaasiumis. Teema valik tulenes asjaolust, et keemilist tasakaalu peetakse õpilaste jaoks keeruliseks ning selle mõistmine vajab teooria, visuaalse toe ja praktiliste tegevuste sidumist. Töös lähtuti kahest uurimisküsimusest: kuidas hindavad keemiaõpetajad loodud õppematerjali arusaadavust, kasutatavust ja sobivust õppetöös ning milliseid ettepanekuid teevad keemiaõpetajad õppematerjali arendamiseks ja kvaliteedi tõstmiseks.

Magistritöö käigus koostati õppematerjal, mis koosnes visuaalsetest plakatitest, praktilistest katsetest ja Genially keskkonnas loodud interaktiivsest põgenemistoast. Plakatid käsitlesid kontsentratsiooni, temperatuuri ja rõhu mõju keemilisele tasakaalule. Praktilised katsed võimaldasid jälgida keemilise tasakaalu nihkumist reaalses ning põgenemistoas said õppijad omandada uusi teadmisi ning neid koheselt ülesannete lahendamisel rakendada.

Empiirilise osa andmed koguti veebipõhise küsimustikuga, millele vastas 28 keemiaõpetajat, kes katsetasid õppematerjali 2025. aasta augustis keemiaõpetajate inspiratsioonilaagris. Tulemused näitasid, et õpetajad hindasid õppematerjali valdavalt positiivselt. Õppematerjali peeti arusaadavaks, praktiliseks ja õppetöös kasutatavaks. Kõige tugevamalt hinnati seda, et materjal lisab keemilise tasakaalu teema õppimisele praktilisust ning aitab siduda teooriat katsetulemustega. Samuti leidis enamik õpetajaid, et õppematerjal toetab antud teema õpitulemuste saavutamist ning nad kasutaksid seda oma tundides.

Õppematerjali tugevustena toodi välja loogilist ülesehitust, visuaalset tuge, praktilisi katseid, õpilaste kaasamist ning teooria ja praktika sidumist. Õpetajate hinnangul aitab loodud materjal muuta keerulise teema paremini jälgitavaks ja toetab õpilaste aktiivset tegutsemist. Arendusettepanekud puudutasid peamiselt materjali mahtu ning kasutusmugavust, praktilise osa juhiseid ja tehnilisi lahendusi. Ettepanekute põhjal lisati õppematerjali tagasi liikumise võimalus, täpsustati katsete juhendeid, täiendati lahuste valmistamise juhendit ning jagati põgenemistuba kaheks osaks, et seda oleks lihtsam kasutada eri pikkusega tundides.

Kokkuvõttes võib õpetajate tagasiside põhjal järeldada, et loodud õppematerjal sobib keemilise tasakaalu ja Le Chatelier' printsiibi õpetamise toetamiseks gümnaasiumis.

## Kasutatud kirjandus

- Adauyah, R., & Aznam, N. (2024). Guided Inquiry Learning Model in Chemistry Education: A Systematic Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *10*, 77–87.  
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.6373>
- Ajogbeje, O. J. (2023). Enhancing Classroom Learning Outcomes: The Power of Immediate Feedback Strategy. *International Journal of Disabilities Sports and Health Sciences*, *6*(3), 453–465. <https://doi.org/10.33438/ijdshs.1323080>
- America's Lab Report: Investigations in High School Science*. (2005). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11311>
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using Static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level. *International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC*, *27*, 1269–1298. <https://doi.org/10.1080/09500690500102284>
- Bugler, D., Marple, S., Burr, E., Chen-Gaddini, M., & Finkelstein, N. (2017). *How Teachers Judge the Quality of Instructional Materials*. WestEd.  
<https://cdn.edreports.org/legacy/files/teachers-judge-quality-of-instructional-materials-brief.pdf>
- Câmara Olim, S., Nisi, V., & Romão, T. (2024). Periodic table discovery: An augmented reality serious game to introduce and motivate young children towards chemistry. *Multimedia Tools and Applications*, *83*(17), 52593–52619.  
<https://doi.org/10.1007/s11042-023-17526-9>
- Chemistry LibreTexts. (2023). *Le Chatelier's Principle*. LibreTexts.  
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Equilibria/Le\\_Chateliers\\_Principle](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Equilibria/Le_Chateliers_Principle)
- Chen, S. (2010). The view of scientific inquiry conveyed by simulation-based virtual laboratories. *Computers & Education*, *55*(3), 1123–1130.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.009>
- Chen, S., Xue, S., Yang, D., Zhu, L., & Ye, M. (2024). Exploring Differences in Student Learning and Inquiry Skills Between Hands-On and Virtual Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, *101*(10), 4102–4113.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00557>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games.

- Computers & Education*, 59(2), 661–686.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Costa, M. J. (2007). CARBOHYDECK: A Card Game To Teach the Stereochemistry of Carbohydrates. *Journal of Chemical Education*, 84(6), 977.  
<https://doi.org/10.1021/ed084p977>
- Dillenbourg, P. (2016). The Evolution of Research on Digital Education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 544–560.  
<https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z>
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>
- Engstler, V. L., & Marohn, A. (2025). Designing Effective Educational Escape Games: Results from the Design-Based Research Project chemical [esc]ape. *Journal of Chemical Education*, 102(10), 4498–4507.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00761>
- Flinn Scientific. (2016). *Cobalt Complex Ions: Le Châtelier's Principle* (No. 91838; ChemFax). Flinn Scientific.  
<https://www.flinnsci.ca/resource/chemistry/student-lab-activities/cobalt-complex-ions/>
- Friedrich, C., Teaford, H., Taubenheim, A., Boland, P., & Sick, B. (2019). Escaping the professional silo: An escape room implemented in an interprofessional education curriculum. *Journal of interprofessional care*, 33(5), 573–575.  
<https://doi.org/10.1080/13561820.2018.1538941>
- Hamilton, F., Skelley, D., Roller, S., Lampley, S., Young, E., & Appalachian State University. (2021). Exploring students' perceptions of collaboration and critical thinking skills following an escape room experience. *Journal of Campus Activities Practice and Scholarship*, 3(1), 5–16. <https://doi.org/10.52499/2021011>
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2026). *Gümnaasiumi riiklik õppekava*. Haridus- ja Teadusministeerium. <https://www.riigiteataja.ee/akt/123122025008>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.  
<https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hromada, D. D. (2020). Digital education: "education-with"/"education-about" distinction and the teleological definition. *On digital education*, 1–10.  
<https://doi.org/10.25624/kuenste-1326>

- Ippoliti, F. M., Chari, J. V., & Garg, N. K. (2022). Advancing global chemical education through interactive teaching tools. *Chem. Sci.*, *13*(20), 5790–5796.  
<https://doi.org/10.1039/D2SC01881K>
- Iyamuremye, A., Nsabayeze, E., Ngendabanga, C., & Hagenimana, F. (2023). Effectiveness of hands-on practical activities in teaching and learning chemistry: An exploration of students' engagement, experience, and academic performance. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, *19*(1), 97–107.  
<https://doi.org/10.4314/ajesms.v19i1.6>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. (2015). Likert Scale: Explored and Explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, *7*, 396–403.  
<https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- Kapur, R. (2019). *Development of Teaching-Learning Materials*.  
[https://www.researchgate.net/publication/334083571\\_Development\\_of\\_Teaching-Learning\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/334083571_Development_of_Teaching-Learning_Materials)
- Kelly, R., & Akaygun, S. (2019). Visualizations and representations in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *20*(4), 657–658.  
<https://doi.org/10.1039/C9RP90009H>
- Krosnick, J. A., & Presser, S. (2010). Question and questionnaire design. In P. V. Marsden & J. D. Wright (Eds.), *Handbook of survey research* (2nd ed., pp. 263–313). Emerald Group Publishing Limited.
- Kumar, B. S. (2016). *EVALUATING ROLE OF INTERACTIVE VISUALIZATION TOOL IN IMPROVING STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING OF CHEMICAL EQUILIBRIUM* [University of Kentucky; PDF].  
<https://doi.org/10.13023/ETD.2016.403>
- Lampropoulos, G. (2024). Teaching and learning natural sciences using augmented reality in preschool and primary education: A literature review. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, *4*(1). <https://doi.org/10.25082/AMLER.2024.01.013>
- Li, M.-C., & Tsai, C.-C. (2013). Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research. *Journal of Science Education and Technology*, *22*(6), 877–898. JSTOR. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9436-x>
- LimeSurvey GmbH. (s.a.). *LimeSurvey: An open source survey tool*.  
<https://www.limesurvey.org/>
- Lin, C.-Y., & Wu, H.-K. (2021). Effects of different ways of using visualizations on high school students' electrochemistry conceptual understanding and motivation towards

- chemistry learning. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 22(3), 786–801.  
<https://doi.org/10.1039/D0RP00308E>
- Lo Fan Hin, S., & Riddle, H. (2023). Students' Misconceptions in Chemical Equilibria and Suggestions for Improved Instruction. *New Directions in the Teaching of Natural Sciences*, 18(1). <https://doi.org/10.29311/ndtns.v18i1.3900>
- Lutfi, A., Aftinia, F., & Permani, B. (2023). Gamification: Game as a medium for learning chemistry to motivate and increase retention of student learning outcomes. *Journal of Technology and Science Education*, 13, 193. <https://doi.org/10.3926/jotse.1842>
- Lutfi, A., Suyono, & Hidayah, R. (2021). Applying gamification to improve the quality of teaching and learning of Chemistry in high schools: A case study of Indonesia. *Asia - Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 20(2), 1–17. Publicly Available Content Database (2620028826).  
[https://www.eduhk.hk/apfslt/download/v20\\_issue2\\_files/lutfi.pdf](https://www.eduhk.hk/apfslt/download/v20_issue2_files/lutfi.pdf)
- Mantziou, O., Papachristos, N. M., & Mikropoulos, T. A. (2018). Learning activities as enactments of learning affordances in MUVES: A review-based classification. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1737–1765.  
<https://doi.org/10.1007/s10639-018-9690-x>
- Meirbekov, A., Maslova, I., & Gallyamova, Z. (2022). Digital education tools for critical thinking development. *Thinking Skills and Creativity*, 44, 101023.  
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101023>
- Naumoska, A., Dimeski, H., & Stojanovska, M. (2023). Using the Escape Room game-based approach in chemistry teaching. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 88, 563–575. <https://doi.org/10.2298/JSC211228088N>
- Nokelainen, P. (2005). *The Technical and Pedagogical Usability Criteria for Digital Learning Material*.  
[https://www.researchgate.net/publication/235329276\\_The\\_Technical\\_and\\_Pedagogical\\_Usability\\_Criteria\\_for\\_Digital\\_Learning\\_Material](https://www.researchgate.net/publication/235329276_The_Technical_and_Pedagogical_Usability_Criteria_for_Digital_Learning_Material)
- Novak, I. (2018). Geometrical Description of Chemical Equilibrium and Le Châtelier's Principle: Two-Component Systems. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 84–87.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00665>
- Okeke, O. (2019). *Influence of chemistry practical on students' interest and academic achievement in senior secondary school's chemistry*.  
[https://www.researchgate.net/publication/333651774\\_INFLUENCE\\_OF\\_CHEMISTR](https://www.researchgate.net/publication/333651774_INFLUENCE_OF_CHEMISTR)

Y\_PRACTICAL\_ON\_STUDENTS'\_INTEREST\_AND\_ACADEMIC\_ACHIEVEMENT\_IN\_SENIOR\_SECONDARY\_SCHOOL'S\_CHEMISTRY

- Ollino, M., Aldoney, J., Domínguez, A. M., & Merino, C. (2018). A new multimedia application for teaching and learning chemical equilibrium. *Chem. Educ. Res. Pract.*, *19*(1), 364–374. <https://doi.org/10.1039/C7RP00113D>
- Panyukova, S. V. (2020). Digital tools and services in the work of a teacher. *M.: Pro-Press Publishing House*.
- Park, C., Kim, D., Cho, S., & Han, H.-J. (2019). Adoption of multimedia technology for learning and gender difference. *Computers in Human Behavior*, *92*, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.11.029>
- Pedaste, M. (s.a.). *Nüüdisaegse õpikäsituse mudel*. Tartu Ülikool. Nüüdisaegne õpikäsitus. <https://sisu.ut.ee/opikasitus/5-nuudisaegse-opikasituse-mudel/>
- Pegov, A. A., & Pyanykh, E. G. (2010). The use of modern information and communication technologies in the educational process (A short course of lectures). URL: <https://docplayer.ru/26076175-Ispolzovanie-sovremennyhinformacionnyh-i-kommunikacionnyh-tehnologiy-v-uchebnom-processe-kratkiy-kurs-lekciy-sostaviteli-pegov-aa-pyanyh-eg.html> [in Russian].
- Peris, M. (2022). Understanding Le Châtelier's principle fundamentals: Five key questions. *Chemistry Teacher International*, *4*(3), 203–205. <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0030>
- Plass, J., Homer, B., & Kinzer, C. (2015). Foundations of Game-Based Learning. *Educational Psychologist*, *50*, 258–283. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Quílez, J. (2021). Le Châtelier's Principle a Language, Methodological and Ontological Obstacle: An Analysis of General Chemistry Textbooks. *Science & Education*, *30*(5), 1253–1288. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00214-1>
- Quílez-Pardo, J., & Solaz-Portolés, J. J. (1995). Students' and teachers' misapplication of le chatelier's principle: Implications for the teaching of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(9), 939–957. <https://doi.org/10.1002/tea.3660320906>
- Ramadani, F., Çibukçiu, B., Ismajli, B., & Pejchinovska-Stojkovicj, M. (2026). The role of practical laboratory work in stimulating students' interest in natural sciences. *Frontiers in Education, Volume 11-2026*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1726102>

- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2007). Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends. An Introduction to the Special Issue. *Educational Psychology Review*, 19(3), 235–238. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9052-5>
- Riza, L., Hasanah, L., Putri, A., Budiman, Safitri, F., Putri, A., Hayati, N., Solihah, P., Abu Samah, K. A. F., & Samah, A. (2023). Bulletin of Social Informatics Theory and Application Educational technology using multimedia in science learning: A systematic review. *Bulletin of Social Informatics Theory and Application*, 7, 163–181. <https://doi.org/10.31763/businta.v7i2.661>
- Saadati, Z., Zeki, C. P., & Barenji, R. V. (2023). On the development of blockchain-based learning management system as a metacognitive tool to support self-regulation learning in online higher education. *Interactive Learning Environments*, 31(5), 3148–3171. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1920429>
- Sanchez, E., & Plumettaz-Sieber, M. (2019). Teaching and Learning with Escape Games from Debriefing to Institutionalization of Knowledge. M. Gentile, M. Allegra, & H. Söbke (Toim), *Games and Learning Alliance* (1k 242–253). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_23)
- Sanchez-Mena, A., & Marti-Parreño, J. (2017). Drivers and barriers to adopting gamification: Teachers’ perspectives. *Electronic Journal of e-Learning*, 15, 434–443. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1157970.pdf>
- Sbaragli, S., & Panero, M. (2024). Didactical Materials Customizable to Suit Classroom Needs: A Valuable Resource for Teachers. *Education Sciences*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/educsci14050449>
- Solovjova, J. (2022). *Põhikooli õpilaste iseseisva töö toetavate füüsika tööjuhendite koostamine ning füüsikaõpetajate hinnangud ja arendusettepanekud nende kasutamiseks*. <https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/1e806ff6-b0ed-4a4a-818d-4cd49b98af68/content>
- Stojanovska, M., Trivić, D., & Milanović, V. (2020). Escape Room – Teachers Approved! (116), 49–53. [https://www.researchgate.net/publication/354118030\\_Escape\\_Room\\_-\\_Teachers\\_Approved](https://www.researchgate.net/publication/354118030_Escape_Room_-_Teachers_Approved)
- Subhash, S., & Cudney, E. A. (2018). Gamified learning in higher education: A systematic review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 87, 192–206. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.028>

- Taber, K. S. (2018). Representations and visualisation in teaching and learning chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19(2), 405–409. <https://doi.org/10.1039/C8RP90003E>
- Toth, E. E. (2016). Analyzing “real-world” anomalous data after experimentation with a virtual laboratory. *Educational Technology Research and Development*, 64(1), 157–173. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9408-3>
- Tyson, L., Treagust, D. F., & Bucat, R. B. (1999). The Complexity of Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554. <https://doi.org/10.1021/ed076p554>
- Veldkamp, A., Grint, L. van de, Knippels, M.-C. P. J., & Joolingen, W. R. van. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review*, 31, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>
- Veldkamp, A., Knippels, M.-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2021). Beyond the Early Adopters: Escape Rooms in Science Education. *Frontiers in Education*, Volume 6-2021. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.622860>
- Wiemker, M., Elumir, E., & Clare, A. (2015). *Escape room games: “Can you transform an unpleasant situation into a pleasant one?”* In J. Haag, J. Weißenböck, M. W. Gruber, M. Christian, & C. F. Freisleben-Teutscher (Eds.), *Game Based Learning* (pp. 55–68). Fachhochschule St. Pölten GmbH.
- Õunapuu, L. (2014). *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*. <http://hdl.handle.net/10062/36419>
- Üce, M., & Ceyhan, İ. (2019). Misconception in Chemistry Education and Practices to Eliminate Them: Literature Analysis. *Journal of Education and Training Studies*, 7, 202. <https://doi.org/10.11114/jets.v7i3.3990>
- Xu, X. (2017). Study on Effective Using of Multimedia Teaching System and Enhancing Teaching Effect. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 12(06), 187–195. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i06.7093>

## Summary

The aim of the master's thesis was to develop digital and practical learning material and evaluate, based on teacher feedback, whether it is suitable for teaching Le Chatelier's principle, chemical equilibrium, and the factors affecting shifts in equilibrium in upper secondary school. The topic was chosen because chemical equilibrium is considered difficult for students, and understanding it requires connecting theory with visual support and practical activities. The thesis was guided by two research questions: how teachers evaluate the clarity, usability, and suitability of the learning material, and what suggestions they make for improving it.

The developed learning material consisted of visual posters, practical experiments, and an interactive escape room created in Genially. The posters explained the effects of concentration, temperature, and pressure on chemical equilibrium. The practical experiments allowed learners to observe shifts in equilibrium, while the escape room guided them to apply new knowledge when solving tasks.

The empirical data were collected through an online questionnaire completed by 28 chemistry teachers who tested the material at a chemistry teachers' inspiration camp in August 2025. The teachers mostly evaluated the material positively. They found it understandable, practical, and suitable for teaching. The strongest evaluations concerned the practical nature of the material and its ability to connect theory with experimental results. Most teachers also found that the material supports the achievement of learning outcomes and stated that they would use it in their lessons.

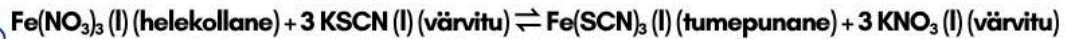
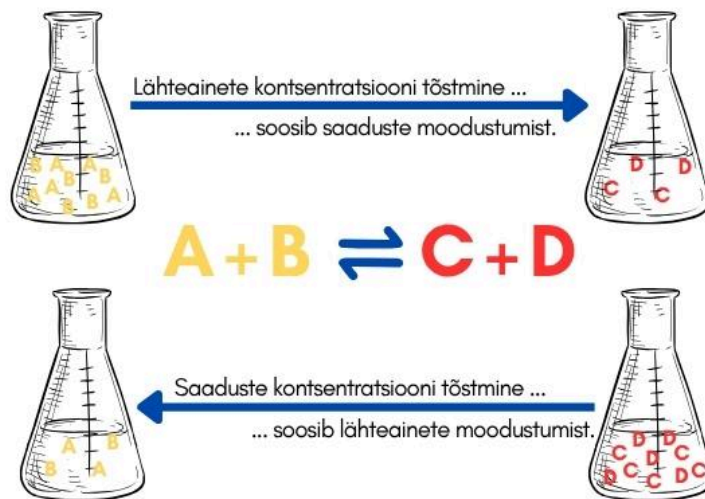
The main strengths highlighted were the logical structure, visual support, practical experiments, learner engagement, and the connection between theory and practice. Suggestions for improvement mainly concerned the volume and usability of the material, practical instructions, and technical aspects. Based on the feedback, a back button was added, experiment instructions were clarified, the solution preparation guide was supplemented, and the escape room was divided into two parts to make it easier to use in lessons of different lengths.

In conclusion, based on the teachers' feedback, the developed learning material is suitable for supporting the teaching of chemical equilibrium and Le Chatelier's principle in upper secondary school.

## Lisad

Lisa 1. Kontsentratsiooni, temperatuuri ja rõhu teadmistepankades kasutatud plakatid

# KONTSENTRATSIOONI MÕJU REAKTSIOONI TASAKAALULE

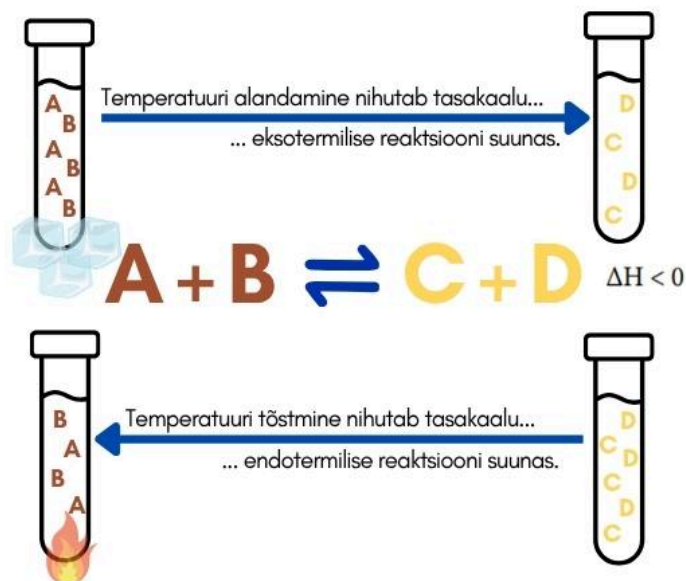


1. Milliseks muutub lahuse värvus, kui lisada  $\text{KSCN}$  või  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  lahust?
2. Milliseks muutub lahuse värvus, kui eemaldada  $\text{KSCN}$  või  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  lahust?

Selgitus:

1. Kui lahusele lisada  $\text{KSCN}$  ja/või  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  lahust, muutub see tumepunaseks, sest tasakaal nihkub saaduste tekke suunas ja nii  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$  kui ka  $\text{KNO}_3$  kontsentratsioonid suurenevad.
2. Kui lahusest eemaldada  $\text{KSCN}$  ja/või  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  lahust, siis vähenevad  $\text{SCN}^-$  ja  $\text{Fe}^{3+}$  ionide kontsentratsioonid. Selle tagajärjel nihkub tasakaal lähteainete tekke suunas, sest süsteem püüab taastada eemaldatud lähteaineid ning lahus muutub heledamaks, st vähem punaseks.

## TEMPERATUURI MÕJU REAKTSIOONI TASAKAALULE

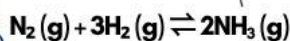
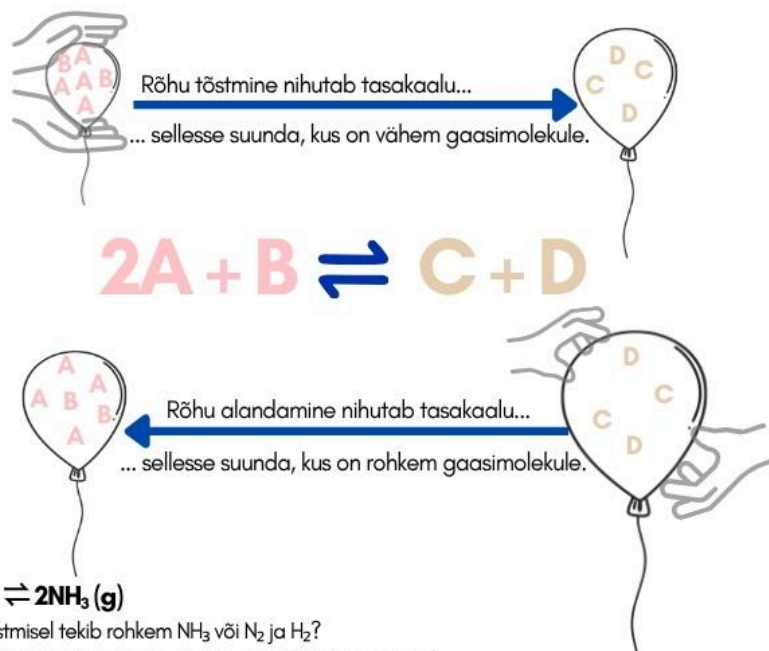


1. Kas otsereaktsioon on endo- või eksotermiline?
2. Mis värv ilmneb, kui tõsta temperatuuri? Mis juhtub temperatuuri alandamisel?

Selgitus:

1. Otsereaktsioon on eksotermiline, sest reaktsiooni entalpia muutus ( $\Delta H$ ) on negatiivne ( $-57 \text{ kJ/mol}$ ) ehk reaktsiooni käigus vabaneb soojust ümbritsevasse keskkonda.
2. Kui temperatuuri tõsta, siis nihkub reaktsiooni tasakaal endotermilise reaktsiooni suunas (lähteainete tekke suunas) ning tekib rohkem pruunika värvusega  $\text{NO}_2$ . Kui temperatuuri alandada, nihkub reaktsiooni tasakaal eksotermilise reaktsiooni suunas (saaduste tekke suunas) ning tekib rohkem helekollase värvusega  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

## RÕHU MÕJU REAKTSIOONI TASAKAALULE



1. Kas rõhu tõstmisel tekib rohkem  $\text{NH}_3$  või  $\text{N}_2$  ja  $\text{H}_2$ ?
2. Kas rõhu alandamisel tekib rohkem saaduseid või lähteaineid?

Selgitus:

1. Rõhu tõstmisel nihkub tasakaal sinna poole, kus on vähem gaasimolekule. Lähteainete pool on 1 mol  $\text{N}_2$  ja 3 mol  $\text{H}_2$  ehk 4 mooli gaasi, saaduste pool on 2 mol  $\text{NH}_3$ . Seega nihkub reaktsiooni tasakaal saaduste tekke suunas.
2. Rõhu alandamisel nihkub tasakaal sinna poole, kus on rohkem gaasimolekule ehk antud näite korral lähteainete suunas. See tähendab, et tekib rohkem  $\text{N}_2$  ja  $\text{H}_2$ .

**Lisa 2.** Loodud õppematerjali ja lahuste valmistamise juhendi lingid

Lahuste valmistamise juhend õpetajale:

[Keemilise tasakaalu põgenemistoa lahuste juhend õpetajale 10 paari jaoks.png](#)

Täieliku põgenemistoa link: <https://view.genially.com/6876412928d2935d3687dfd9>

Põgenemistoa kahe erineva osa lingid:

1. osa: <https://view.genially.com/69d7385858fe426f99015f31>
2. osa: <https://view.genially.com/69d7385c58fe426f99015fe2>

## Lisa 3. Keemilise tasakaalu õppematerjali tagasiside küsimustik

### Keemilise tasakaalu õppematerjali tagasiside küsimustik

Mina olen Helery Hindriksoo, Tartu Ülikooli gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja eriala üliõpilane. Käesolev küsitlus on osa minu magistritööst, mille käigus lõin gümnaasiumi keemia kursuse ühe teema - keemiline tasakaal ja selle nihutamine - jaoks digitaalse ja praktilise õppematerjali.

Antud küsimustiku abil soovin koguda õpetajate hinnanguid ja ettepanekuid loodud materjali arendamiseks. Teie tagasiside aitab ühelt poolt hinnata materjali sobivust koolitundides kasutamiseks ning samuti täiustada seda veelgi tõhusamaks õppimise ja õpetamise vahendiks.

Küsimustiku täitmine võtab aega hinnanguliselt 10-15 minutit. Küsimustiku täitmine on vabatahtlik ning vastuseid ei seostata konkreetse kooli või õpetajaga. Saadud andmed säilitatakse Tartu Ülikooli andmebaasides ja kasutatakse uurimistööga seotud eesmärkide täitmiseks.

Teie panus on väga väärtuslik – aitäh!

Selles küsimustikus on 13 küsimust.

#### Küsimustikule vastamine on anonüümne.

Vastajat ei tuvastata, välja arvatud juhul, kui mõnes küsimuses vastaja kohta spetsiaalselt andmeid küsitakse.

Kui täidate pääsukoodiga küsimustikku, läheb pääsukoodi vaja ainult selleks, et kindlaks teha, kas olete küsimustiku täitmise lõpetanud. Pääsukoodi ei ole võimalik küsimustiku vastustega kokku viia.

Järgmine

### 1. Taustaandmed

\* Millises kooliastmes õpetate?

Palun valige üks järgnevatest vastustest.

- Põhikool  
 Gümnaasium  
 Põhikool ja gümnaasium

\* Mitu aastat olete koolis keemiat õpetanud?

\* Mis on Teie vanus (täisaastates)?

## 2. Materjali ülesehitus ja jõukohasus

\* Minu hinnangul õppematerjal...

1 – Üldse ei nõustu 2 – Pigem ei nõustu 3 – Neutraalne 4 – Pigem nõustun 5 – Täiesti nõustun

	1	2	3	4	5
... on õpilastele arusaadav ja jõukohane.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... toetab keemilise tasakaalu teemast arusaamist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... lisab keemilise tasakaalu teema õppimisele praktilisust.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... toetab iseseisvat õppimist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... suunab praktiliste ja uurimuslike tegevuste läbiviimist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... võimaldab õpilastel siduda teooriat katsetulemustega.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

\* Kommentaarid eelmise küsimuse kohta.

\* Millisel määral toetab loodud õppematerjal õpitulemuste saavutamist gümnaasiumi keemias?

🗳️ Palun valige üks järgnevatest vastustest.

- Ei toeta üldse
- Pigem ei toeta
- Ei oska öelda
- Pigem toetab
- Kindlasti toetab

\* Kas kasutaksite õppematerjali oma tunnis keemilise reaktsiooni tasakaalu õpetamisel?

🗳️ Palun valige üks järgnevatest vastustest.

- Jah
- Ei

\* Põhjendage, miks kasutaksite või ei kasutaks õppematerjali oma tunnis keemilise reaktsiooni tasakaalu õpetamisel.

\* Kuidas saaks teie arvates õppematerjali arendada kasutajasõbralikumaks?

\* Palun jagage ka tagasisidet ja täiendusi lahuste valmistamise juhendi selguse ja rakendatavuse kohta.

### 3. Arendusettepanekud

\* Ootan Teie ettepanekuid õppematerjali sisu, ülesehituse ja kasutusmugavuse arendamiseks.

\* Kuidas peab õppematerjali sisu muutma?

\* Milliseid soovitusi jagate õppematerjali ülesehituse kohta?

**Lisa 4.** Kvalitatiivse andmeanalüüsi hierarhia kategooriate, alamkategooriate ja koodide vahel

<b>Kategooriad</b>	<b>Alamkategooriad</b>	<b>Koodid</b>	<b>Koodide sagedus</b>
<b>Õppematerjali kasutusmugavus</b>	Liikumine materjalis	tagasi liikumise võimalus	6
	Materjali liigendamine	võimalus läbida õppematerjal mitmes osas	5
	Visuaalne loetavus	teksti suurendamine	4
	Visuaalne eristamine	selgemad visuaalsed vihjed tööülesande muutumisel	2
	Heli kasutamine	vale vastuse korral heli eemaldamine	2
	Ülesannete hulk	küsimuste arvu vähendamine	1
<b>Praktilise osa selgus ja läbiviimine</b>	Katsevahendid	pipettide lisamine katsevahendite hulka	6
	Mõõtmise	mõõtevahendite täpsustamine väikeste koguste mõõtmiseks	2
	Jahutamine	jäävanni asendamine jääveevanniga	1
	Tööjuhised	juhiste sõnastuse täpsustamine, et aineid ei lisataks korduvalt	1
	Lahuste valmistamine	võrdluslahuse valmistamise juhise täiendamine	1
	Ohutus	jäätmekäitluse info lisamine	1
<b>Sisu täpsus ja arusaadavus</b>	Värvimuutuste tõlgendamine	värvimuutuste selgem esitamine või värviskaala lisamine	4

Katsetulemuste kooskõla teooriaga	rõhu muutuse video asendamine või täpsustamine	2
Ainete nimetused	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O märgistuse täpsustamine	2
Keeleline täpsus	trükivigade parandamine	3
Reaktsioonide selgitamine	AgNO <sub>3</sub> lisamisega seotud reaktsiooni selgitamine	1
Temperatuuri mõju	ekso- ja endotermiliste reaktsioonide osa mahu vähendamine	1
Selgitused	vale vastuse korral selgituse lisamine	3
Sõnastuse selgus	vastusevariantide, printsiibi või temperatuuri osa sõnastust lihtsustada	3

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

Mina, Helery Hindriksoo,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Digitaalne ja praktiline õppematerjal keemilise tasakaalu teemal: koostamine ja tagasiside keemiaõpetajatelt“, mille juhendaja on Joana Jõgela, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Helery Hindriksoo*

27.05.2026