

TARTU ÜLIKOOL
Füüsika-keemiateaduskond
Füüsikalise keemia instituut

Kristelle Kaarmaa

GÜMNAASIUMIÕPILASTE ARUSAAMAD
REDOKSREAKTSIOONIDEST JA ELEKTROKEEMIAST

Magistritöö keemiahariduse erialal

Juhendaja: lektor, keemiakandidaat Erika Jüriado

TARTU 2006

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Kirjanduse ülevaade	6
1.1. Lapse arengu käsitlused	6
1.2. Noorukiea tunnetusprotsesside iseärasused	8
1.3. Õppimise olemus	10
1.4. Väärarusaamadest didaktikaalases kirjanduses	13
1.4.1. Õpilaste väärarusaamad ja probleemid seoses redoksreaktsioonidega	17
1.4.2. Õpilaste väärarusaamad ja probleemid seoses elektrokeemiaga	21
1.5. Teadmiseruumi teooria	27
1.6. Põhikooli ja gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded redoksreaktsioonide ja elektrokeemia õpetamiseks gümnaasiumis	29
1.7. Põhikooli keemiakursusest saadavad teadmised redoksreaktsioonide mõistmiseks	31
1.8. Redoksreaktsioonide ning elektrokeemia käsitlemine 10. klassi keemiaõpikutes	34
2. Metoodika	37
2.1. Uurimistöö eesmärgid	37
2.2. Testide koostamine ja läbiviimine	37
3. Uurimistöö tulemused ja analüüs	43
3.1. Esimese põhitesti tulemuste analüüs küsimuste kaupa	43
3.2. Teise põhitesti tulemuste analüüs küsimuste kaupa	52
3.3. Teadmiseruumi teooria rakendus	59
3.4. Õpilaste arvamusi testist	61
3.5. Järeldused uurimistööst ja soovitused	62
Kokkuvõte	71
Kasutatud kirjandus	75
Summary	81
Lisa 1. Esimene põhitest	84
Lisa 2. Teine põhitest	87
Lisa 3. Esimese põhitesti õiged vastused ja punktide jaotus küsimuste kaupa	90
Lisa 4. Teise põhitesti õiged vastused ja punktide jaotus küsimuste kaupa	93
Lisa 5. Esimese põhitesti tulemused	96
Lisa 6. Teise põhitesti tulemused	98
Lisa 7. Harjutustik	99

Sissejuhatus

Juba varases eas puutub laps kokku loodusega ja loodusseaduste rakendamisega inimese poolt. Saab alguse elukestev loodushariduse omandamine, kujunevad üldinimlikud arusaamad ümbritsevas keskkonnas toimuvast. Põhikooli viimases astmes ja gümnaasiumis puutuvad õppijad juba põhjalikumalt kokku loodusteadustega. Loodusharidus on aluseks mõistva suhtumise kujunemisele loodus-, tehis- ja inimkeskkonda [1].

Keemiaharidus on osa loodusharidusest. Kooli keemiaõpetus kätkeb endas teaduslikku komponenti – teadmisi ja arusaamu keemilistest nähtustest ja seaduspärasustest. Koolikeemia protsessuaalne komponent arendab õpilase oskust hankida uusi teadmisi, neid analüüsida ja süstematiseerida ning rakendada nii tuntud kui ka uues olukorras. Ideelise komponendi eesmärgiks on kujundada õpilaste väärtushinnanguid ning oskust näha ja hinnata oma tegevuse tagajärgi [2].

Koolikeemial on asendamatu koht ka terve rea vajalike üldpädevuste kujundamisel ja arendamisel: loogilise mõtlemise võime, järelduste ja otsustuste tegemise oskus, võime töödelda informatsiooni ja eristada selles olulist ebaolulisest, oskus rakendada oma teadmisi uute probleemide lahendamisel jne [3]. Seega peaks keemiaõpetus aitama kujundada igakülgsest arenenud isiksust, kes saab hakkama tänapäeva kasvavas ja muutuvus tehnika-, tehnoloogia- ja infotulvas [4].

Nii põhikooli kui ka gümnaasiumi keemiaõpingute käigus puutuvad õpilased kokku mitmete teemadega, mis peaksid aitama neil paremini mõista keemiliste protsesside olemust ja tähtsust looduses ja argielus. Üheks taoliseks, kogu keemiaõpetust läbivaks teemaks on redoksreaktsioonid. Need on reaktsioonid, millega õpilased puutuvad kokku lausa igal sammul. Esimese näitena võib nimetada elusorganismide hingamist, väga keerulist protsessi, mille käigus lagundatakse toitained hapniku osavõtul. Seejuures vabanevat energiat kasutame kõik oma elutegevuseks. Redoksreaktsioonide hulka kuuluvad nii gaasi põlemine koduköögis kui ka kütuse põlemine automootoris. Metallide tootmiseks maagist tuleb teostada redoksprotsess, samas on redoksprotsess ka metalli hävimine korrosiooni käigus. Mobiiltelefoniga helistades tarbime energiat, mida redoksreaktsioonide käigus on tootnud telefonis olev patarei. Redoksreaktsioonid on fotosüntees ja kõdunemine. Ka toidurasvade

rääsumine ja värskete puuviljalõikude tumenemine õhu käes on redoksreaktsioonide tulemus. Isegi haavade puhastamisel ja juuste blondeerimisel vesinikperoksiidi vesilahusega kulgevad redoksreaktsioonid.

Elektrokeemia probleemidega puutuvad õpilased vahetult kokku gümnaasiumi keemiakursuses, mil õpitakse tundma nii keemilise vooluallika kui ka elektrolüüsi põhimõtet.

Käesolevas töös uuriti gümnaasiumiõpilaste arusaamu nii redoksreaktsioonidest kui ka elektrokeemiast. Laekuv informatsioon peaks eelkõige võimaldama teha korrektiivse rõhuasetusel õpetaja töökavas ja aitama valida vahendeid õppetöö parandamiseks. Töö eesmärgiks on välja selgitada, kas õpilased tunnevad redoksreaktsioonide teema põhimõisteid, oskavad tuua näiteid levinumate oksüdeerijate ja redutseerijate kohta ning kas nad mõistavad, kuidas muutub elementide aatomite oksüdatsiooniaste elektronide liitmisel ja loovutamisel. Samuti pööratakse tähelepanu sellele, kas õpilased suudavad eristada redoksreaktsioone nendest reaktsioonidest, milles ei esine elementide oksüdatsiooniastmete muutust. Lisaks uuritakse, kas õpilased tunnevad korrosioonitõrje võimalusi ja kas nad saavad aru keemilise vooluallika ja elektrolüüsiprotsessi põhimõttest.

Gümnaasiumiõpilaste arusaamade kontrollimiseks koostati ja viidi läbi 2005. aastal kaks testi. Kokku osales testides 461 tavaklassi õpilast seitsmest erinevast Eesti gümnaasiumist ja keskkoolist. Lisaks intervjuueriti uurimistöö käigus 11 õpilast.

Magistritöö kirjanduslikus osas tutvustatakse kõigepealt erinevaid lapse arengu käsitlusi ning vaadeldakse, millised on noorukiea tunnetusprotsesside iseärasused. Seejärel esitatakse ülevaade õppimise olemusest ja väärarusaamadest. Eraldi peatutakse käesolevas töös õpilaste väärarusaamadel ja probleemidel seoses redoksreaktsioonide ja elektrokeemiaga. Peale seda tutvustatakse teadmisruumi teooriat, kui üht võimalust välja selgitada õpilaste teadmiste kognitiivne struktuur. Töös tuuakse välja ka põhikooli ja gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded redoksreaktsioonide ja elektrokeemia õpetamiseks gümnaasiumis. Kirjanduse ülevaate viimases osas analüüsitakse, kuidas on redoksreaktsioone käsitletud nii põhikooli kui ka gümnaasiumi keemiaõpikutes.

Magistritöö teine ja kolmas osa kajastavad läbiviidud uurimust ja selle tulemusi. Lisaks tuuakse välja soovitused redoksreaktsioonide ja elektrokeemia õpetamiseks. On koostatud

harjutustik, mis sisaldab ülesandeid redoksreaktsioonidest, keemilisest ja elektrokeemilisest korrosioonist, elektrolüüsist ja keemilisest vooluallikast. Harjutustik on mõeldud eeskätt abimaterjalina kasutamiseks kas tunni ettevalmistamisel või iseseisvaks õppimiseks-kordamiseks.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Lapse arengu käsitlused

Selleks, et õppijaid efektiivselt õpetada ja toetada, peab iga õpetaja tundma õpilaste arengut ning teadma nende arengu seaduspärasusi [5].

Lapse arengu käsitlusi on mitmeid, sest erinevad uurijad on tähtsustanud lapse arengu eri valdkondi ja lähtekohti. Pedagoogikas ja psühholoogias on aga kõige enam tunnustust leidnud 20. sajandi esimesel poolel teadustegevust alustanud psühholoogide J. Piaget', L. Vögotski ja lastepsühhiaater J. Bowlby teooriad lapse arengust [6].

Lapse arengu käsitlemisel lähtus **J. Piaget'** ennekõike kognitiivsetest struktuuridest. J. Piaget' teooria järgi kulgeb lapse vaimne areng üldiste astmete kaupa. Iga astme moodustavad kõik teatud vanuses lapsele jõukohased vaimsed operatsioonid. J. Piaget' teooria eeldab, et hilisemale astmele saab laps areneda alles pärast varasema astme läbimist.

J. Piaget' jaotas lapse arengu neljale järgmisele astmele:

- **Sensomotoorne aste (sünnist - 2 aastani)** – astme algul on lapse käsutuses üksnes kaasasündinud seosed sensoorsete ehk meeleorganite ja mootorika ehk liigutuste vahel. Teisti öeldes: ümbritseva maailmaga suhtlemiseks on lapsel ainult refleksid. Sensomotoorse staadiumi jooksul omandab laps võime koordineerida oma tegevust meeleorganite vahendusel saadud informatsiooni alusel. Näiteks õpib laps märkama asjade kadumist, sihipäraselt planeerima oma tegevust jne [7].
- **Operatsioonide eelne aste (1,5 - 2 aastat - 7 aastani)** – sellel astmel kujuneb lapsel kõnekeel ja võime mõelda ning lahendada probleeme sümbolite vahendusel. Iseloomulikud on aga raskused tajutavate objektide klassifitseerimises, osa ja terviku eristamises ning sündmuste käigu mõttelises pööramises. Lapse mõtlemine on sellel astmel veel egotsentriline, mis teeb raskeks teise isiku seisukohtade mõistmise [8].
- **Konkreetsete operatsioonide aste (7 - 12 aastani)** – sellel astmel paraneb lapse loogiline mõtlemine, sest mõtlemine muutub reversiivseks ehk ümberpööratavaks

ning kujuneb säilitamis-, klassifitseerimis-, järjestamis-, eitamis-, identifitseerimis- ja kompenseerimisvõime. Näiteks suudab laps loogiliselt lahendada konkreetseid (vahetult tajutavaid) probleeme, omaks võtta teiste arusaamu olukorrast ja arvestada teiste inimeste kavatsustega kõlblusprobleemide lahendamisel [8].

- **Formaalsete operatsioonide aste (üle 12 aasta)** – seda astet pidas J. Piaget' inimese vaimse arengu lõppastmeks. Sellel astmel omandab laps keerulise verbaalse mõtlemise, mis väljendub hüpoteeside püstitamises ja abstraktsete sümbolitega opereerimises. J. Piaget' järgi muutub lapse mõtlemine teaduslikumaks sedamööda, kuidas areneb võime genereerida ja kontrollida kõiki vaatluse all oleva probleemi loogilisi kombinatsioone [8]. Näiteks kaalukangi või pendli tööpõhimõtte selgitamine tekitab raskusi konkreetsetes operatsioonides mõtlevale lapsele, kuna ta suudab samaaegselt arvestada, vaid ühe muutujaga. Formaalse operatsioonilise mõtlemisega laps leiab aga sageli õige lahenduse, kuna ta käsitleb probleemi tervikuna ja varieerib muutujaid süstemaatiliselt [6].

Vene psühholoog **L. Vögotski** uskus, et kõige enam mõjutab lapse arengut kultuur ja ühiskondlikud organisatsioonid. Samuti pidas ta lapse arengus äärmiselt oluliseks sotsiaalset interaktsiooni, sest see mõjutab nii lapse mõtlemist kui ka keelt [6]. L. Vögotski eristas lapse arengus kolme etappi (varane ja hiline lapsepõlv ning poisi- või tütarlapsepõlv), millel on oma bioloogiline mõte ja eriline suhe keskkonnaga [9]. Tuginedes oma katsetele töötas L. Vögotski välja teooria lapse lähima arengu tsoonist. Ilmnes, et momendil ühesuguse võimekusega (IQ) õpilased võivad õpetaja juhtimisel (või ka vanemate juhtimisel) saavutada väga erinevaid arenguastmeid. Näiteks mõni 8-aastane hakkab lahendama 12-aastaste ülesandeid, aga mõni vaid 9-aastaste ülesandeid. Just seda vahet nimetas L. Vögotski lähima arengu tsooniks [10].

Lastepsühhiaater **J. Bowlby** pidas aga lapse arengus väga tähtsaks ema ja lapse vahelist kiindumus- ehk seotussuhet esimese kolme eluaasta jooksul. J. Bowlby leidis, et kiindumus on kui alusmüür, mis on seotud intellekti, sotsiaalsuse, emotsionaalsuse ja seksuaalsusega [6]. Seega on turvaline seotussuhe aluseks lapse psühholoogiliselt tervele arengukäigule.

Lapse arengu erisuguste käsitluste tundmine aitab kindlasti igal õpetajal mõista lapse arengut integreeritult ja igakülgselt.

1.2. Noorukiea tunnetusprotsesside iseärasused

Noorukiiga (nimetatud ka vanemaks koolieaks) hõlmab õpilaste arenguperioodi 16/17 kuni 20/21 eluaastani [11]. Sellesse perioodi jääb ka gümnaasiumis õppimine. Noorukiiga on ühenduslülili murde- ja küpsusea vahel. Selles vanusejärgus lähenevad noored nii bioloogilisele, vaimsele kui ka sotsiaalsele küpsusele. See iga on peamiselt maailmavaate, eneseteadvuse, iseloomu, elulise enesemääratluse ja tulevikupüüdluste kujunemise aeg [11, 12]. Selles eas ilmneb ka küllaltki selgelt noore loominguvajadus ning valiv suhtumine õppeainetesse. Ühe või teise õppeaine eelistamine on eeskätt seotud tulevase elukutse valikuga [12].

Noorukieas areneb õpilaste vaatlusvõime. N. Levitov osutab, et võrreldes murdeaalsetega on vanemate klasside õpilased oma vaatlustes palju sihikindlamad ja püsivamad, nende tähelepanu on püsivam ja sageli ka intensiivsem [12]. A. Kõverjalg aga rõhutab, et õpilaste vaatlusvõime ei arene iseenesest, vaid vajab õpetajapoolset õiget suunamist. Õppijaid tuleb harjutada oma vaatlustes mitte laiali valguma, vaid allutama need alati püstitatud ülesannetele eesmärgiga mingeid järeldusi teha [11].

Suurem küpsus kui murdeaalsetel ilmneb vanemate klasside õpilaste mälu töös. Mehaaniline teadmiste omandamine asendub selles eas mõtestatud omandamisega [11]. Püüdes äraõpitavast materjalist paremini aru saada, õpivad vanemate klasside õpilased rohkem tähelepanu pöörama teksti põhilisele teemale, kavandama selle plaani, välja tooma olulisi mõtteid, ära märkima omandamiseks vajalikke toetuspunkte, seostama uut materjali juba olemasolevate teadmiste ja elukogemustega, kasutama selliseid võtteid nagu allakriipsutamine, konspekterimine, skeemide koostamine. Kõik see tähendab, et noorukieas tõuseb kujundatavate ajutiste seoste süsteemsuse tase [12].

Noorukieas toimuvad muutused õpilaste tähelepanu osas. Tahtlisejärgse tähelepanu kõrval kasvab ka tahtlise tähelepanu tähtsus. Oluliselt areneb ja täiustub tähelepanu ümberlülitamise ja jaotamise võime. Viimane avaldub näiteks kujunevas oskuses kuulata samaaegselt õpetaja seletusi ja teha nende kohta märkmeid, jälgides niihästi oma vastuste sisu kui ka vormi. V. Krutetski hinnangul suudavad noorukid palju enam kui murdeaalised vastu panna tähelepanu hajutavatele ärritajatele [13].

Mõtlemine on noormeestel ja neidudel murdeelistega võrreldes rohkem organiseeritud – järjekindel ja põhjendatud [12]. V. Krutetski märgib, et noorukite mõtlemist iseloomustab üha kõrgem üldistamise ja abstraherimise tase, kasvab tendents nähtuste põhjuslikuks seletamiseks, argumenteerimisoskus, oskus tõestada teatud seisukohtade tõesust või väärust, teha sügavaid järeldusi, seostada õpitavat süsteemiks. Areneb ka mõtlemise kriitilisus [13].

Koos mõtlemise arenguga kasvab õpilaste kõnekultuur. Kujuneb oskus oma mõtteid väljendada, muutub keerulisemaks kõne struktuur, rikastub sõnavara [13].

Tuginedes noorukiea tunnetusprotsesside iseärasustele, peaksid gümnaasiumiõpilased olema valmis selleks, et opereerida keemias kasutatavate abstraktsete mõistete, sümbolite ja valemitega.

1.3. Õppimise olemus

Õppimine on inimvõimekuse ülimalt keerukas aspekt ja isegi tänapäeval ei ole seda õnnestunud lõpuni mõista. Filosoofid ja psühholoogid on üritanud seda analüüsida ja uurida sajandite vältel ning kahtlemata jätkub selline tegevus ka edaspidi. Tulemuseks on aga kogum teooriaid, mis kõik püüavad õppimist tõlgendada omamoodi [14].

Näiteks biheivioristid (teooria loojad Thorndike, Skinner, Watson, Pavlov) näevad õppimise põhilise lähtena inimese ja teiste kõrgemate organismide kaasasündinud võimet vältida kogemuslikul baasil sündmusi, mis toovad kaasa ebameeldivusi või kannatusi. See alateadvuslik motiiv kujundab inimestel mitmesuguseid käitumisharjumusi ja automaatseid reageeringuid keskkonna märguannetele. Mõtlemise osa peavad biheivioristid õppimise juures teisejärguliseks. Viidates asjaolule, et mõtlemisprotsesside puhul on tegemist järelduslike konstruktsioonidega, leiavad nad, et ainukesed faktid, mida õppimise puhul saab tõsikindlalt fikseerida, on keskkonna märguanne ja õpitud reageering sellele [8].

Vastupidiselt biheivioristidele näevad kognitiivse psühholoogia esindajad õppimise allikana inimese sisemist aktiivsust, mis väljendub huvi tundmisena ümbritseva maailma vastu [8]. Kognitivismi järgi on õppimine suures osas just uue kognitiivse struktuuri ehk teadmiste süsteemi ülesehitamine. Selle protsessi käigus leiab aset uue info teadlik valik, tõlgendamine ja kokkusobitamine varasemate teadmistega [15].

Kolmanda õppimisteooriate grupi moodustavad käsitlused, mis toetuvad nii biheivioristlikele kui ka kognitiivsetele ideedele õppimisest [8].

Tänapäevaste ettekujutuste järgi defineeritakse õppimist kui teatud tüüpi muutust teadmistes, hoiakutes, väärtustes, protseduurides, käitumisviisides, oskustes jms ning nende organiseerimise viisides. See tähendab uute teadmiste lisamist, olemasolevate muutmist, uute seoste loomist ja olemasolevate ümberkorraldamist [16]. Teisiti öelduna on õppimine mõtlemise ja tegutsemise tulemuse salvestamine mälus [17].

Õppimisega kaasneva *teatud tüüpi* muutuse all mõeldakse tavaliselt seda, et see muutus on suhteliselt pikaajaline, pole taandatav kasvamisele, on saavutatud eelneva kogemuse või

praktiseerimise tulemusel ning võib seineda ka ainult võimes tegutseda, kuid ei pea avalduma tegutsemises [16].

T. Pedastsaar leiab, et õppimine õnnestub siis, kui õppijal on kõrge eneseusaldus ja enesest lugupidamine ning soodne õpikeskkond, mida iseloomustab väljakutsete olemasolu ja kartuse/ähvarduste puudumine [18]. H.- M. Kadajas peab äärmiselt oluliseks õpilase sisemist õpimotivatsiooni – ainult õppijast endast sõltub, miks ta peab õppima. Eesmärgid, milleni tahetakse elus jõuda täpsustuvad, tekitades positiivse hoiaku suhtumisel õppimisse ja õpingutesse. H.- M. Kadajas lisab, et sisemiselt motiveeritud õppija oskab ise end käsile võtta ja õppima sundida ka siis, kui raskused ette tulevad [19].

Õppimise edukus sõltub paljuski õppija oskusest õppida. Oskus õppida (*learning skills*) on tihedalt seotud õppija enesetunnetuse, õpiprotsessi teadvustamise ja enesehinnanguga. Oskus õppida tähendab seda, et õpilane õpib oma õppimist juhtima: seadma eesmärgi, õppimist kavandama, jälgima oma õppimisprotsessi, kontrollima ja hindama oma õpitulemusi ning oma tegevust korrigeerima [18].

Õpetaja ülesandeks on kaasajal eelkõige õpituajaks kujundamine, mitte õppematerjali edasijutustamine. Eelistatav õpikeskkond on õpilasekeskne – lähtub tema eelteadmistest ja huvidest, kultuurikeskkonna iseärasustest (näiteks keelekasutus). Sellega peaks ühisosa moodustades liituma teadmistekeskne õpetamine, millega edastatakse teaduslikku informatsiooni, stimuleerides samal ajal metakognitiivset lähenemist õpiprotsessile (õpilane on huvitatud uue informatsiooni kogumisest ja korrastamisest, vajadusel küsib selgitust ja otsib lisainformatsiooni) [20]. Seega moodustavad õpikeskkonna koostoimiva tuumiku õpilased, õpetajad ja teadmised.

Õpetajal on oluline roll klassi mikrokliima kujundamisel. Just õpetaja saab kohandada riikliku õppekava konkreetse klassi õpilastele, kasutades oma teadmisi ja praktilisi kogemusi. Õppimine on tulemuslikum, kui õpetaja teab, mida on vaja teha, et õpilased õpiks ning millised tegevused viivad neid püstitatud eesmärkide poole [1].

Õppimise protsess on etapiviisiline tegevus, milles E. Kikas toob välja kaks peamist etappi. Õppimise esimesel etapil peetakse loomulikuks, et õpilane ei mõista uut teadmist ning ei oska seda seostada olemasolevaga. Seetõttu on õppija teadmised alguses verbaalsed ja/või inertsed (st esinevad nn verbalismidena ehk mehhaaniliselt pähe õpitud teadmistena). Olemasolev teadmine/oskus jääb uutest teadmistest/oskustest sõltumatule tasandile ja säilib nii endisena

[16]. Õpilase verbaalsed teadmised ja lihtsamate ülesannete lahendamise oskused võivad sel etapil olla väga head. Näiteks võib õpilane teada lihtsamaid definitsioone ja fakte, osata lahendada lihtsamaid matemaatikaülesandeid täpselt õpitud skeemi alusel [17].

Õppimise teisel etapil toimub uute teadmiste integreerimine olemasolevasse süsteemi, mida õpilane võib vajadusel ka muuta. E. Kikas leiab, et uus info saab õpilasele omaseks siis, kui seda illustreeritakse näidetega ja seostatakse eelnevate teadmistega, mis algselt esinevad lahus. See muutus toimub siis, kui õpilane kasutab teadmisi probleemide lahendamisel [16]. E. Kikas rõhutab, et sellel etapil lahendatavad probleemid peaksid olema niisugused, et vanadest teadmistest ei piisa, st ainult neid kasutades ei jõuta adekvaatse lahenduseni. Mõtestamisel kasutatakse palju analoogiat tuntud valdkonnast või tavakogemusest. Analoogia aitab mõista nii uusi teadmisi kui ka struktuuri, seostades need tuntuga. Teadvustatakse vastuolud teadmistes ja nende seostes ning otsitakse seletusi. Õppimise teisele etapile kulub tavaliselt rohkem aega kui esimesele [17].

Kui aga õppimise teiseks etapiks (õpitava seostamiseks, struktureerimiseks, mõtestamiseks) ei ole piisavalt aega, võib õppimine ebaõnnestuda ja õpilastel tekivad mitmesugused väärarusaamad [17].

Seega pikemaks ajaks ja paindlikumalt kasutatavana, st mitte ainult õpitud kujul korratavana, jääb meelde teadmine, mida on mõistetud – seostatud eelnevaga, interpreteeritud olemasoleva taustal ja seostes. See tähendab, et õppida ei tule mitte lihtsalt fakte ja üksikuid elementaarseid seoseid, vaid ka seda, mida need seosed annavad, mis neist järeldeb, miks need on selliseks kujunenud [17].

Õpetajal tuleb arvestada, et see mida õpilased ära õpivad, ei sõltu mitte ainult sellest, mida neile õpetatakse, vaid ka sellest, kuidas neid õpetatakse, sõltub nende arengutasemest, huvidest ning kogemustest (ka majanduslikust olukorrast, kultuuritaustast, eriannetest jne) [18].

1.4. Väärarusaamadest didaktikaalases kirjanduses

Pedagoogikaalased uurimistööd on näidanud, et õpilastel on sageli eelarusaamad õpetatavatest mõistetest (*preconceptions*), mis võivad olla täiesti väärad, nn väärarusaamad (*misconceptions*) [21]. Need väärarusaamad võivad tuleneda üldisest kõnekeelest või õpilase väikesest elukogemusest [22]. Nagu eelnevas peatükis on kirjeldatud, võivad väärarusaamad tekkida ka siis, kui õpitava seostamiseks, struktureerimiseks ja mõtestamiseks ei ole piisavalt aega. Paljudel juhtudel võibki just väärarusaamadest tuleneda see, et õpilased ei suuda üht või teist teemat omandada.

Kaasaegse keemia didaktikaalase kirjanduse põhjal võib väita, et õpilastel esinevad väärarusaamad pea igas keemia valdkonnas (vaata tabel 1).

Tabel 1

Teemad, millega seoses on uuritud õpilastel esinevaid väärarusaamu [23-27]

- Oksüdeerumine-redukseerumine
- Mooli mõiste
- Stõhhiomeetria
- Happed ja alused
- Elektrokeemia
- Keemiliste reaktsioonivõrrandite tasakaalustamine/tõlgendamine
- Keemiline tasakaal
- Lahustuvus ja lahused
- Aine oleku muutused
- Keemiline side
- Termodünaamika
- Keemilised ja füüsikalised muutused
- Põlemine

Mis on väärarusaamad? Väärarusaamaks peetakse tavaliselt niisugust arusaama, mis oluliselt erineb teadlaskonna poolt aktsepteeritust [26]. O. Krikmann jt nimetavad väärarusaamaks mitteteaduslikke ettekujutlusi, mille alusel indiviid seletab nähtusi [28]. D. Gabel ja O. Krikmann jt tõdevad, et õpilaste väärarusaamad on äärmiselt püsivad [29, 30]. Kui väärarusaamad on juba talletunud õpilase pikaajalises mälus, on neid väga raske asendada teadlaskonna poolt aktsepteeritud ettekujutlustega [29]. Usutakse, et väärarusaamad, mis esinevad 12 aastastel õpilastel, esinevad suure tõenäosusega ka gümnaasiumiõpilastel ning üliõpilastel [31]. Näiteks selgus M. Ahtee ja I. Varjola uurimusest [32], et ligikaudu 10% Soome 8. klassi õpilastest ei teinud vahet lihtainetel (*substances*) ja aatomitel. Täpselt sama suur protsent gümnaasiumiõpilasi ja üliõpilasi tegid sarnase vea.

Mis põhjustab väärarusaamade teket? Öeldakse, et konkreetse väärarusaama allikat ei ole kunagi kerge kindlaks teha. Selleks võivad olla õpetaja, õpik, meedia, film või raamat [28]. Väärarusaamu võib põhjustada ka n-õ väär keelekasutus. Näiteks on meil tavakeeles kombeks rääkida, et karamellkomm sulab suus või et kohvi on kange. Teaduskeele termineid kasutades oleks aga korrektne öelda, et karamellkomm lahustub suus ning et kohvilahus on kontsentreeritud [33]. Seega tähendavad teaduskeele terminid mõnigi kord hoopis midagi muud kui samad sõnad tavakeeles.

E. Kikase arvates tekivad õpilastel väärarusaamad siis, kui õpitav on liiga abstraktne, lapse mõtlemine aga tavamõisteline (konkreetne), väljakujunenud (tava)teadmised erinevad õpitavast, õppimiseks jääb liiga vähe aega. Laps püüab enda jaoks mõtestada uut informatsiooni, aga kui see ei ole kooskõlas vanaga, muudab ta uue info endale vastuvõetavamaks, interpreteerides seda oma kogemuse ja mõistete abil, moonutades aga selle kaudu õpitavat infot. E. Kikas lisab, et sageli tähendab see abstraktsete, teaduslike mõistete muutmist tavamõisteteks, näiteks abstraktsetele mõistetele konkreetsete omaduste lisamist. Tajutaguse maailma mõistmisel kasutatakse analoogiat tajutavaga. Näiteks ajaloolisi sündmusi interpreteeritakse sarnaselt tänastega; kaugete kultuuride inimestele omistatakse oma kultuuriga sarnaseid jooni; üldistatakse analoogiat ja arvatakse, et Maa on suur magnet; aatomitele omistatakse aine tajutavaid omadusi, näiteks värvus ja agregaatolek. Sageli usuvad õpilased ja sh õpetajadki, et aatomid/molekulid paisuvad aine kuumutamisel, et aatomid/molekulid sulavad, kui aine sulab, et punase maja molekulid on punased [17, 34].

Teaduskirjanduses liigitatakse väärarusaamad järgmiselt:

- **Eelarusaamad (*preconceived notions*)** on väärarusaamad, mis põhinevad igapäevastel kogemustel. Näiteks paljud inimesed usuvad, et maa sees olev vesi peab voolama, sest vesi, mida nad on harjunud nägema maa peal (jõgedena, ojadena), voolab [35].
- **Mitteteaduslikud uskumused (*nonscientific beliefs*)** on jõudnud õpilaste arusaamadesse mitteteaduslike kanalite (religiooni või mütológia) kaudu. Näiteks mõned lapsed on õppinud usu kaudu Maa ja selle eluvormide ajalugu. Laialdaselt levinud uskumuse ja teadusliku tõendusmaterjali vaheline lahkuminek on aga viinud märkimisväärse vastuoluni loodusteaduste õpetamisel. See väärarusaama liik on levinud eeskätt religioossetes maades [35].
- **Mõistelised ehk kontseptuaalsed väärarusaamad (*conceptual misunderstandings*)** ilmnevad siis, kui õpilastele on õpetatud teaduslikku informatsiooni sellisel viisil, mis ei pane neid ümber mõtestama oma eelarusaamu ja mitteteaduslikke uskumusi. Et aga siiski selles segaduses mingit süsteemi moodustada, konstrueerivad õpilased valesid kontseptuaalseid mudeleid, mis on aga tihti nii nõrgad, et ka nende loojad ise ei ole neis piisavalt kindlad [35].
- **Faktilised väärarusaamad (*factual misconceptions*)** kinnistuvad inimese teadvusesse juba nooruses ning on hiljem väga visad kaduma [35]. Näiteks tihti arvatakse ekslikult, et kuufaasid tekivad Maa põhjustatud varjust, nagu see juhtub kuuvarjutuse ajal [36].
- **Keelelised väärarusaamad (*vernacular misconceptions*)** tulenevad mõistetest, millel on igapäevaelus teistsugune tähendus, kui teaduslikus kontekstis [35]. Võtame näiteks mõiste töö. Füüsikalises mõttes tehakse tööd siis, kui kehale mõjub jõud ja keha selle jõu mõjul ka liigub [37]. Tööd igapäevaelus võib vaadelda kui inimese sihipärast kehalist või vaimset tegevust, mille eesmärk on luua hüvesid [38]. Paljud keelelised väärarusaamad tulenevad ka keeles ning inimeste mõtlemises esinevatest

metafooridest. Näiteks usutakse, et suurem ja tugevam inimene lükkab rikke tõttu seiskunud autot kiiremini, sest tal on rohkem jõudu [22].

On selge, et praeguse tõese informatsiooni leidmisele orienteeritud infoühiskonna liikmetele ei ole kasulik omada väärtadmisi meist ümbritsevast maailmast. Seetõttu on õpilaste väärarusaamade välja selgitamine kahtlemata oluline. Õpilaste väärarusaamad annavad eelkõige väärtuslikku informatsiooni nende mõtlemisest ja aitavad seeläbi õpetajal parandada õppimis- ja õpetamisprotsessi [26]. Teiseks – selleks, et uusi mõisteid arusaadavaks teha, on vaja teada, millele neid saab rajada. Näiteks kirjutab M. Taagepera, et kui keemias on õpilastel kinnistunud väärarusaam, et kovalentses sidemes paiknevad elektronid alati täpselt kahe aatomi vahel keskel, siis on orgaanilise keemia loogilise struktuuri loomine võimatu [21].

1.4.1. Õpilaste väärarusaamad ja probleemid seoses redoksreaktsioonidega

Vaatamata sellele, et õpilased puutuvad redoksreaktsioonidega kokku peaaegu igal sammul, peetakse antud teemat koolikeemia üheks raskemaks. Seda seisukohta jagavad nii õpetajad kui ka õpilased Suurbritanniast, Põhja-Ameerikast, Austraaliast ja Hollandist [39]. P. J. Garnett jt osutavad, et väärarusaamu (*alternative conceptions*) seoses redoksreaktsioonidega esineb üliõpilastelgi [26]. Õpilaste enamlevinud väärarusaamad seoses redoksreaktsioonidega on toodud tabelis 2.

Tabel 2

Õpilaste väärarusaamad seoses redoksreaktsioonidega [26]

- Aatomi oksüdatsiooniaste lihtaines võrdub selle elemendi aatomi oksüdatsiooniastmega ühendis.
- Teatud elemendi aatomi oksüdatsiooniaste liitioonis võrdub selle iooni laenguga.
- Liitioonide laengute muutuse järgi saab otsustada, kas toimub oksüdeerumine või redutseerumine.
- Kõikides reaktsioonivõrrandites on võimalik oksüdeerumine kindlaks teha kas hapniku liitmise või vesiniku loovutamise järgi.
- Kõikides reaktsioonivõrrandites on võimalik redutseerumine kindlaks teha kas hapniku loovutamise või vesiniku liitmise järgi.
- Oksüdeerumine ja redutseerumine ei pea alati koos toimuma.

Uurimused [26, 39] on näidanud, et õpilased ei suuda redoksreaktsioone eristada muudest reaktsioonidest. Põhjus peitub siin esiteks selles, et õpilased ei oska määrata elementide aatomite oksüdatsiooniastet. Ei teata, et lihtaines on oksüdatsiooniaste alati null. Suureks probleemiks on ühe elemendi aatomi oksüdatsiooniastme määramine liitioonis. Näiteks

arvavad õpilased, et mangaani oksüdatsiooniate permanganaatioonis (MnO_4^-) on -1. Samuti usuvad õpilased, et liitioonide laengute muutuse järgi on võimalik otsustada, kas toimub oksüdeerumine või redutseerumine [26].

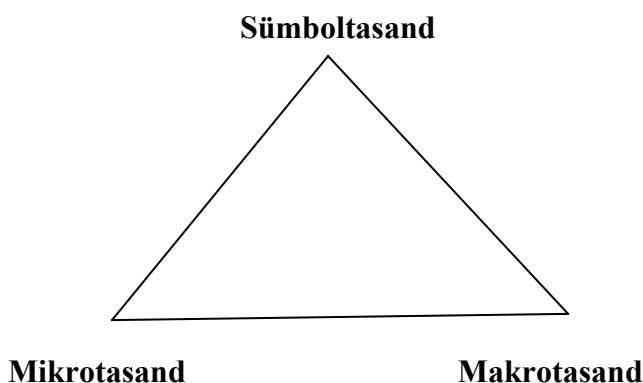
Teine põhjus, miks õpilased ei tule toime redoksreaktsioonide kindlakstegemisega, peitub selles, et oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioone defineeritakse väga erinevalt [26]. Sagedamini kasutatakse nelja järgmist definitsiooni: redoksreaktsioonid on reaktsioonid, milles

- liidetakse ja loovutatakse hapnik;
- loovutatakse ja liidetakse vesinik;
- toimub elektronide ülekanne;
- muutuvad elementide aatomite oksüdatsiooniastmed [26].

Näiteks selgus H.- J. Schmidt'i uuringust [40], et väga paljud õpilased pidasid kahte järgmist reaktsiooni ($2\text{HCl} + \text{MgO} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{HCl} + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$) redoksreaktsiooniks, kuna mõlemas reaktsioonivõrrandis toimub samaaegselt nii hapniku loovutamine kui ka liitmine. P. J. Garnett jt leiavad, et taolisi vigu on võimalik vältida. Selleks tuleb oksüdeerumine ja redutseerumine defineerida ainult niisuguste reaktsioonidena, milles muutuvad elementide aatomite oksüdatsiooniastmed [26].

Õpilaste seas on levinud väärarusaam, et oksüdeerumine ja redutseerumine ei pea alati koos toimuma. Öeldakse, et selline väärarusaam võib tekkida juhul, kui oksüdeerumise defineerimiseks kasutatakse kõige algsemat definitsiooni: oksüdeerumine – see on hapniku liitmine [26].

A. L. Cox jt hinnangul on õpilastel väga raske mõista, kuidas redoksreaktsioonis elektronide liitmisel või loovutamisel muutub elementide aatomite oksüdatsiooniate [41]. Niisugune probleem võib olla tingitud nii keemia kui õppeaine omapärast ning õpetamistavast. Teadaolevalt on keemias tavaks infot esitada kolmel erineval tasandil: sümbol-, makro- ja mikrotasandil (vaata joonis 1).



Joonis 1. Kolm info esitamise tasandit keemias [33]

Sümbolid, valemid, võrrandid, matemaatilised manipulatsioonid, graafikud – kõik need kokku moodustavad **sümboltasandi**. See, mida näeme, saame katsuda ning mille lõhna tunneme, on osa **makromaaailmast**. **Mikromaaailm** koosneb aga aatomitest, molekulidest, ionidest ja struktuuridest [42]. Kuna mikromaaailm eksisteerib väljaspool meie kogemust, nõuab aatomite, molekulide või ionidega opereerimine abstraherumise võimet teatud tasandil ja kõigile õppijatele ei ole see võrdselt jõukohane.

Samuti pööratakse keemiatunnis suhteliselt vähe tähelepanu mikrotasandile. Näiteks leidis A. H. Johnston, et umbes 70% gümnaasiumi ja ülikooli keemiaõpetusest toimub sümboltasandil [29]. Kui keemikud ja keemiaõpetajad suudavad osavalt manipuleerida kolme tasandiga, osutub see kahjuks paljude õpilaste (sh üliõpilastegi) jaoks üle jõu käivaks ülesandeks [26, 43]. D. Gabel tõdeb, et õpilased ei suuda omavahel siduda sümboltasandit kahe ülejäänud tasandiga [33]. Mis on selle tagajärg? Õpilased õpivad tunnis käsitletu pähe, et läbida järjekordne arvestus, kuid seejuures ei saa nad aru, kuidas keemia on seotud igapäevaeluga (ehk makromaaailmaga). Veelgi enam, märgib D. Gabel, õpilased ei oska isegi kõige lihtsamaid keemilisi protsesse kirjeldada mikrotasandil [29]. Paraku eeldab aga redoksprotsessi sügavam mõistmine väga head mikromaaailma tunnetamist.

Lisaks on uuringute põhjal selgunud, et õpilased ei tule toime keerulisemate redoksreaktsioonide tasakaalustamisega [39, 44].

A. Ayas ja A. Demirbas [45] ning O. De Jong jt [39] tõdevad, et paljud õpilased ei tunne ka redoksreaktsioonidega seotud põhimõisteid. Näib, et see probleem on aga veelgi laiem. Nimelt selgus C.-Y. Chou uurimusest [46], et isegi loodusteaduste õpetajad ajavad omavahel segamini mõisted oksüdeerumine ja redutseerumine. On ilmne, et põhimõistete kehv

tundmine ei võimalda omakorda aru saada ühestki keemia valdkonnast, sealhulgas ka redoksreaktsioonidest.

1.4.2. Õpilaste väärarusaamad ja probleemid seoses elektrokeemiaga

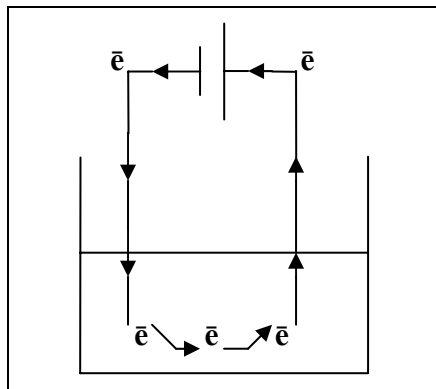
Nii nagu redoksreaktsioone on elektrokeemiatki õpilastel raske mõista. Näiteks paigutab F. Rogers elektrokeemia kolme kõige raskema teema hulka koolis. Kaks esimest teemat F. Rogersi pingereas on stöhhiomeetria ja keemiline tasakaal [47]. Miks on õpilastel elektrokeemiat raske mõista? F. Rogers leiab, et raskused on esiteks seotud sellega, et teema ise on väga abstraktne ning keel, mida keemias kasutatakse on õpilaste jaoks uus. Seetõttu võivad õpilased mõtestada õpetaja kõnet omamoodi ning interpreteerida mingit terminit teisti, kui on selle teaduslik tähendus [47]. Teiseks – elektrokeemiliste protsesside sügavam mõistmine eeldab väga head ettekujutust mikromaailmast, mis kahjuks kõigile õppijatele ei ole võrdselt jõukohane [48]. Õpilaste väärarusaamad seoses keemilise vooluallikaga on toodud tabelis 3.

Tabel 3

Õpilaste väärarusaamad seoses keemilise vooluallikaga [26, 48-50]

- Lahustes on elektronid elektrivoolu kandjateks.
- Mööda soolasilda transporditakse elektrone.
- Positiivse standardpotentsiaali väärtusega metall on alati anoodiks ning negatiivse standardpotentsiaali väärtusega metall on alati katoodiks.
- Anood on positiivse laenguga elektrood, kuna seal toimub elektronide loovutamine, katood on negatiivse laenguga elektrood, kuna seal toimub elektronide liitmine.
- Elektrivool tekib keemilises vooluallikas seetõttu, et katood ja anood on erinevate laengu märkidega.
- Lahuste elektroneutraalsus on tagatud siis, kui ühes lahuses on ainult katioonid ning teises lahuses on ainult anioonid.
- Vasakpoolne elektrood on alati anoodiks.

Gümnaasiumiõpilaste seas on üldlevinud väärarusaam, et keemilises vooluallikas juhivad elektrolüüdilahuses elektrivoolu elektronid (vaata joonis 2).



Nii arvab näiteks üle 40% Austraalia, Lõuna-Aafrika ja Ameerika kooliõpilastest [26, 48, 50]. R. T. Allshop ja N. H. George tõdevad, et niisugune väärarusaam esineb ka Suurbritannia kooliõpilaste seas [44]. Ka 1989. aastal toimunud 25-ndal Rahvusvahelisel Noorte Teaduste Olümpiaadil (*25th National Youth Science Olympiad*) Lõuna-Aafrikas vastas üle 60% õpilastest, et nii välises vooluahelas kui ka lahustes liiguvad elektronid [50].

Joonis 2. Õpilaste väärarusaam elektronide liikumisest elektrolüütilahuses [48]

Omamoodi huvitavad on veel õpilaste arusaamad, mil moel saavad elektronid lahustes liikuda. Usutakse, et elektronid n-õ „hüppavad” lahuses üheltioonilt teisele või et ainult katioonid/anioonid transpordivad lahuses elektrone ühelt elektroodilt teisele [26, 50].

Miks on taoline väärarusaam nii laialt levinud? P. J. Garnett jt leiavad, et niisugune väärarusaam võib tuleneda eelkõige sellest, et varasemate õpingute käigus defineeritakse elektrivoolu kui vabade elektronide suunatud liikumist. Seetõttu võivad õpilased arvata, et keemilist vooluallikat läbiv elektrivool kujutab endast tervenisti vabade elektronide suunatud liikumist [26]. Samuti võib see väärarusaam olla tingitud kas õpikute autorite või õpetajate n-õ kahemõttelisest keelekasutusest. Näiteks võivad õpilased valesti tõlgendada järgmist väljendit: lahustes on ioonid laengu kandjateks („*ions carry the charge*” or „*the charge carries are the ions*”). Siit võib õpilastel üpris kergesti tekkida väärarusaam, et ioonid transpordivadki lahustes elektrone [26].

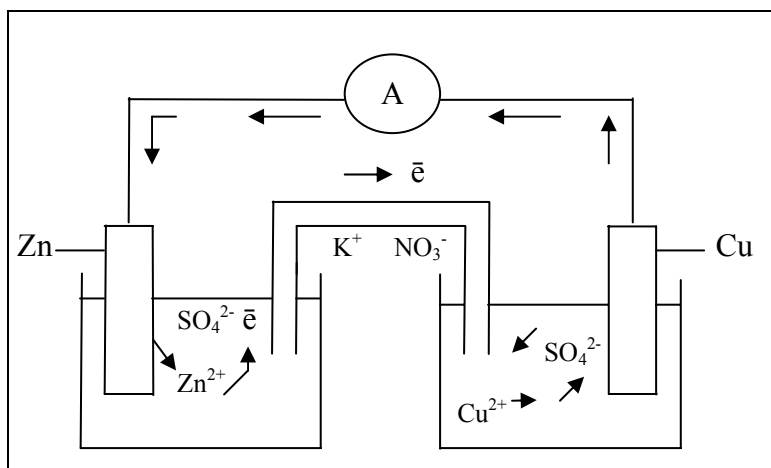
M. J. Sanger ja T. J. Greenbowe [50] ning P. J. Garnett jt [26] osutavad, et paljud õpilased ei saa aru, millist ülesannet täidab galvaanielemendis soolasild. Ameerika ja Austraalia õpilaste arvates transporditakse mööda soolasilda peamiselt elektrone. N. A. Ogude ja J. D. Bradley uurimus kinnitas, et taoline väärarusaam on sügavalt juurdunud ka Lõuna-Aafrika kooliõpilaste seas. Näiteks arvas üle 70% antud uuringus osalenud õpilastest, et mööda soolasilda liiguvad elektronid [48]. C.-Y. Chou leidis, et isegi loodusteaduste õpetajad

usuvad, et mööda soolasilda transporditakse elektrone [46]. Mitmed uurijad [26, 48, 50] on ühisel seisukohal, et see väärarusaam võib olla jällegi tingitud n-õ kahetähenduslikust keelekasutusest. Näiteks kirjeldatakse paljudes keemiaõpikutes soolasilla ülesannet järgmiselt: soolasild moodustab vooluringi („*the salt bridge completes the circuit*”). Niisugusest väljendist võibki õpilane välja lugeda seda, et mööda soolasilda liiguvad elektronid [26].

P. J. Garnett jt märgivad, et õpilased ei oska teha järeldusi metallide pingerea põhjal. Nimelt arvab suur osa Austraalia õpilastest, et positiivsema standardpotentsiaali väärtusega metall on galvaanielemendis anoodiks ning negatiivsema standardpotentsiaali väärtusega metall on katoodiks. Samuti selgus antud uuringu põhjal, et õpilased ei saa aru, kuidas tekib keemilises vooluallikas elektrivool. Levinud on väärarusaam, et elektrivool tekib seetõttu, et elektroodid on erinevate laengu märkidega [26].

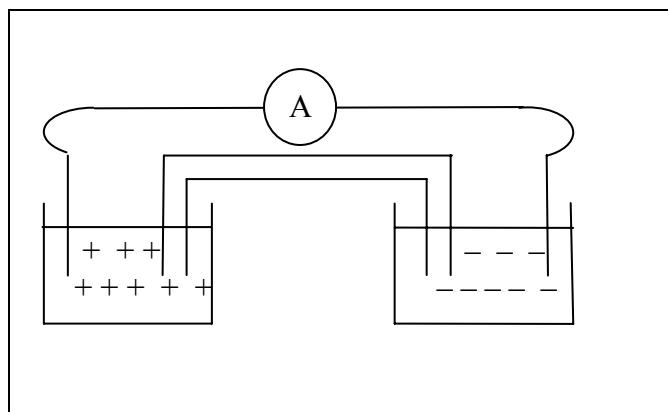
Nii Austraalia kui ka Ameerika kooliõpilaste eksimuste põhjal võib väita, et õpilased ei tea, milliste laengu märkidega on galvaanielemendis katood ja anood. Usutakse, et katood on negatiivse laenguga elektrood, kuna seal toimub elektronide liitmine ning anood on positiivse laenguga elektrood, kuna seal toimub elektronide loovutamine [26, 50].

N. A. Ogude ja J. D. Bradley [48] ning P. J. Garnetti jt [26] uurimus näitas, et õpilastel on väga raske mõista, kuidas keemilises vooluallikas säilitatakse lahuste elektroneutraalsus. Näiteks üle 70% Lõuna-Aafrika õpilastest ei osanud õigesti näidata ionide ja elektronide liikumist keemilises vooluallikas (vaata joonis 3).



Joonis 3. Õpilaste ettekujutus ionide ja elektronide liikumisest keemilises vooluallikas [48]

Üle 60% samas uuringus osalenud õpilastest arvas, et lahuste elektroneutraalsus on tagatud siis, kui ühes lahuses on ainult anioonid ning teises lahuses on ainult katioonid (vaata joonis 4) [48]. N. A. Ogude ja J. D. Bradley hinnangul võib see väärarusaam olla põhjustatud sellest, et keemiaõpikutes käsitletakse lahuste elektroneutraalsuse säilitamist väga pinnapealselt [48].



Joonis 4. Õpilaste väärarusaam lahuste elektroneutraalsusest [48]

A. R. Özkaya märgib, et isegi üliõpilastel on äärmiselt raske mõista, kuidas säilitatakse keemilises vooluallikas lahuste elektroneutraalsus [51].

Õpilaste seas on väga levinud väärarusaam, et keemilises vooluallikas on vasakpoolne elektrood alati anoodiks. M. J. Sanger ja T. J. Greenbowe leidsid, et niisugune väärarusaam tuleneb eelkõige asjaolust, et keemiaõpikutes kujutatakse anoodi alati vasakpoolse elektroodina [49].

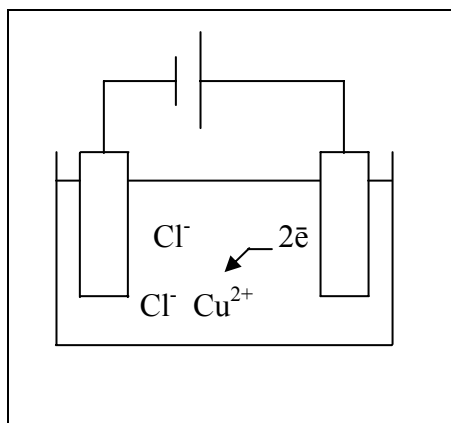
Ka seoses elektrolüüsi protsessiga esineb õpilastel mitmeid väärarusaamu (vaata tabel 4).

Tabel 4

Õpilaste väärarusaamad seoses elektrolüüsi protsessiga [26, 48, 49, 52]

- Lahuses on elektronid elektrivoolu kandjateks
- Välises vooluahelas liiguvad elektronid katoodilt anoodile.
- Oksüdeerumine toimub katoodil ning redutseerumine anoodil.
- Anioonid liiguvad lahuses katoodi ning katioonid anoodi suunas.
- Katood on positiivse laenguga elektrood ning anood on negatiivse laenguga elektrood.
- Inertsete elektroodide korral ei toimu elektrolüüsi protsess.
- Kui elektrolüüsi protsessi korral toimub kaks või enam oksüdeerumise või redutseerumise osareaktsiooni, siis ei ole mitte millegi põhjal võimalik otsustada, millised reaktsioonid peaksid toimuma.

Uurimuste [48, 52] põhjal on selgunud, et õpilaste arvates liiguvad elektrolüüsi protsessi korral elektrolüüdilahuses elektronid. N. A. Ogude ja J. D. Bradley osutavad, et väärarusaama allikaks võivad olla keemiaõpikutes olevad joonised [48]. Nad toovad näiteks järgmise joonise (vaata joonis 5), mille põhjal võib tõepoolest esimest korda elektrokeemiaga kokku puutuval õpilasel tekkida väärarusaam, et elektronid liiguvad elektrolüüdilahuses.



Joonis 5. Joonis kui võimalik väärarusaamade allikas [48]

P. J. Garnett jt märgivad, et õpilased ei tee vahet elektrolüüsiprotsessi ja galvaanielemendi tööpõhimõttel. Näiteks kui galvaanielemendis toimus anoodil oksüdeerumine, siis õpilased arvavad, et elektrolüüsiprotsessi korral toimub anoodil redutseerumine. Usutakse, et elektrolüüsiprotsessis liiguvad anioonid katoodi ning katioonid anoodi suunas. Paljude õpilaste arvates vahetavad isegi anioonid ja katioonid oma laengu märgid [26].

N. A. Ogude ja J. D. Bradley tõdevad, et õpilased ei tea, milliste laengu märkidega on katood ja anood elektrolüüsiprotsessi korral. Levinud on väärarusaam, et anood on negatiivse ja katood positiivse laenguga elektrood [52]. Näib, et õpilastel on ka väga raske mõista, millised saadused tekivad elektrolüüsil. Näiteks teadis vähem, kui 20% Austraalia õpilastest, millised saadused tekivad nikkelbromiidi vesilahuse elektrolüüsil [26]. N. A. Ogude ja J. D. Bradley uurimus aga näitas, et kõigest 7% Lõuna-Aafrika õpilastest suutis kindlaks teha, millised saadused tekivad naatriumkloriidi vesilahuse elektrolüüsil [52]. Samuti arvavad õpilased, et kui elektrolüüsiprotsessi korral toimub kaks või enam oksüdeerumise või redutseerumise osareaktsiooni, siis ei ole mitte millegi põhjal võimalik otsustada, millised reaktsioonid peaksid toimuma [49].

Lisaks kirjutatule on õpilaste seas levinud ka väärarusaam, et kui elektrolüüsiseadmes kasutatakse inertseid elektroode, siis elektrolüüsiprotsessi ei toimugi [26, 49].

Kokkuvõtteks võib tõdeda, et õpilastel esineb seoses elektrokeemiaga terve rida väärarusaamu. Mitmete uurijate hinnangul võivad need väärarusaamad olla põhjustatud kas õpikute autorite või õpetajate kahetähenduslikust keelekasutusest, õpikutes olevatest joonistest või liiga pinnapealsest teema käsitlest.

1.5. Teadmiseruumi teooria

Tihti kujunevad õpilastel õppimise käigus kognitiivsed struktuurid, mis oluliselt erinevad õpetaja omadest ja üldiselt soovitatavatest. Kui õpetajal puudub tagasiside õpilaste poolt omandatu kohta, võivad viimastel tekkida väärarusaamad, mis teadmiste hierarhilise struktuuri korral häirivad oluliselt edasist õppimist ja põhjustavad üha uusi väärarusaamu [53]. Õpilaste kognitiivsete struktuuride kindlaks tegemiseks võib kasutada teadmiseruumi teooria (*Knowledge Space Theory*) abi.

Teadmiseruumi teooria arendasid välja kognitiivse orientatsiooniga psühholoogid J.-C. Falmagne ja J.-P. Doignon [54]. Teadmiseruumi teooriat on viimase kümne aasta jooksul rakendatud ennekõike matemaatiliste teadmiste omandamise analüüsis, kuid käesoleval hetkel leiab see teooria üha rohkem kasutust ka loodusteadustes [55]. Teadmiseruumi teooria kohaselt on mõtlemisprotsessil oma hierarhiline struktuur, mis võib igal aineekspertil olla natuke erinev, kuid teatud põhialuste osas on siiski üheselt määratud [21]. Kasutades teadmiseruumi teooriat on võimalik jälgida, mismoodi aineekspert aine loogikast aru saab ja võrrelda seda sellega, kuidas õppija ainet mõistab. Niisugune analüüs on äärmiselt tõhus vahend ka ainealase õpetuse optimeerimisel, st teadmiste võimalikult tulemuslikul ülekandmisel õpetajalt õpilastele [55].

Laiemas mõistes hõlmab teadmiseruumi teooria ka konstruktivistlikku lähenemist, kus antakse õpilasele endale võimalus andmebaas üles ehitada, seda ise kogu aeg kasutades ja testides aktiivõppe meetoditega. Konstruktivistliku lähenemise juures peetakse väga tähtsaks integratsiooni näiteks bioloogia, geograafia, keemia ja füüsika teadmiste vahel. Ainult seostatud õppimise tulemusena saavad õpilasel kujuneda teadmised, mis ei ole pelgalt lühimällu talletatud pähetuupimise teel, vaid mis aitavad ka hiljem asjadest aru saada ja omalt poolt uusi avastusi teha [55].

Teadmiseruumi teooria võimaldab testide abil kindlaks määrata iga õpilase teadmisseisundi. Näiteks kui õpilane on testis õigesti vastanud küsimusele 1, 2, ja 4, siis on tema teadmisseisund järgmine: [1, 2, 4]. Kõikide testitud õpilaste teadmisseisundid kokku moodustavad teadmisstruktuuri. Teadmiseruum kui tervik hõlmab endas aga teadmisseisundeid, mis esinevad teadmisstruktuuris. Samuti on seal esindatud seisundid, kus uuritavad teadmised täiesti puuduvad (tähistatakse tähega \emptyset) ning seisundid, kus on esindatud

kõik võimalikud teadmised (tähistatakse tähega Q). Teadmiseruumi teoorias kasutatakse ka terminit kriitiline õpperada (*critical learning pathway*), mille all mõeldakse suurima tõenäosusega teadmiste omandamise järjekorda [56]. Õpetamise seisukohalt vaadates oleks ideaalne, kui õpilaste kriitiline õpperada sarnaneks õpetaja kriitilise õpperajaga, kuna siis toimuks õppimine väiksema vaevaga. Seda saab saavutada ainult siis, kui õpetaja on endale teadvustanud oma õpperaja koos vastavate seoste ja struktuuriga [21].

Kõigi õpilaste teadmisseisunditest teadmiseruumi ja kriitilise õpperaja leidmiseks kasutatakse tänapäeval tavaliselt vastavaid optimeerimisprogramme. Optimeerimisparameetritena võetakse seejuures arvesse asjaolu, et õpilane võib vastata õigesti juhuslikult ning valesti hooletusest [55].

1.6. Põhikooli ja gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded redoksreaktsioonide ja elektrokeemia õpetamiseks gümnaasiumis

Põhikooli ja gümnaasiumi riikliku õppekava keemia preambulast võib lugeda, et õppimine keemias nagu teistes loodusteadustes on protsess, mille käigus õpilane konstrueerib olemasolevale kogemusele toetudes uue teadmise, süvenevad teadmiste rakendamise oskused, kujunevad väärtushinnangud ning suhtumised [2].

Riikliku õppekava järgi süvendab gümnaasiumi keemiaõpetus põhikoolis omandatud teadmisi, oskusi ja vilumusi. Samuti taotletakse õpilaste keemiaalase ja üldise loodusteadusliku maailmapildi avardamist. Võrreldes põhikooliga käsitletakse keemilisi objekte ja nähtusi sügavamalt, täpsemalt ja süsteemsemalt, suuremat tähelepanu pööratakse seoste loomisele erinevate nähtuste ja seaduspärasuste vahel. Õppeprotsessis lisandub induktiivsele käsitlusele ka deduktiivne käsitus. Õpitakse õpitu põhjal järeldusi tegema, erinevaid nähtusi seostama, õpitud seaduspärasusi uudsetes olukordades rakendama. Oluliseks peetakse keemia õpetamise käigus rõhutada seoseid teiste loodusteadustega, seoseid looduses (sealhulgas inimeses endas) toimuvate protsessidega [2].

Riikliku õppekava keemia ainekava fikseerib õpitulemused, mida gümnaasiumilõpetaja peab teadma, mõistma või oskama seoses nii redoksreaktsioonide kui ka elektrokeemiaga. Täpsustatud keemia ainekavas on õpitulemused põhjalikumalt avatud [57].

Mida peab gümnaasiumilõpetaja teadma redoksreaktsioonidest ja elektrokeemiast?

Õpilane teab:

- teemaga seotud mõisteid: oksüdeerumine, redutseerumine, oksüdeerija, redutseerija, elektrolüüs, korrosioon;
- elektrolüüsi kasutusalasid (metallide tootmine, metallide galvaaniline katmine);
- keemiliste vooluallikate tööpõhimõtet (võrrandeid nõudmata).

Õpilane oskab selgitada:

- keemilise ja elektrokeemilise korrosiooni tingimuste erinevust;
- korrosioonitõrje võimalusi;
- elektrolüüsi põhimõtet (sulatatud soolade ja vesilahuste elektrolüüsil)
- mittemetallide oksüdeerivate ja redutseerivate omaduste muutumist perioodilisustabelis (seoses elektronegatiivsuse muutumisega);
- mittemetallilise elemendi (ühendi) käitumist oksüdeerijana või redutseerijana sõltuvalt oksüdatsiooniastmest.

Õpilane mõistab, et

- metallid käituvad keemilistes reaktsioonides alati redutseerijatena;
- metall on keemiliselt seda aktiivsem (seda tugevam redutseerija), mida kergemini tema aatomid loovutavad väliskihi elektrone;
- mittemetallid (va F_2) saavad keemilistes reaktsioonides käituda nii oksüdeerijana kui ka redutseerijana;
- vääriskaaside aatomite elektronstruktuur on väga püsiv, seetõttu on nad keemiliselt väga inertsed (neile ei ole iseloomulik käituda oksüdeerija või redutseerijana).

Õpilane oskab lahendada järgmisi probleemülesandeid:

- redoksreaktsioonide äratundmine elementide oksüdatsiooniastmete muutumise põhjal;
- oksüdeerija ja redutseerija leidmine reaktsioonivõrrandis, elektronvõrrandite koostamine;
- reaktsioonivõrrandite koostamine, milles mittemetall käitub redutseerijana või oksüdeerijana;
- etteantud redoksreaktsioonide võrrandite tasakaalustamine elektronbilansi meetodil.

1.7. Põhikooli keemiakursusest saadavad teadmised redoksreaktsioonide mõistmiseks

Riikliku õppekava järgi süvendab gümnaasiumi keemiaõpetus põhikoolis omandatud teadmisi ja oskusi [2]. Seetõttu vaadeldakse käesolevas alapunktis, kuidas on redoksreaktsioone käsitletud 8. ja 9. klassi keemiaõpikutes. Siinkohal piirduakse ainult õpikute analüüsiga, kuna õpik on õppekirjanduse tähtsaim osa [58].

Redoksreaktsioonide õpetamiseks 8. klassis on võimalik valida kolme erineva autori poolt kirjutatud keemiaõpiku vahel. H. Kariku õpikus [59] tuuakse juba „Hapniku” teema juures sisse redoksreaktsioonidega seotud põhimõisted: oksüdeerija, redutseerija, oksüdeerumine ja redutseerumine. Esialgu ei seostata oksüdatsiooni ja reduktsiooni elemendi oksüdatsiooniastme muutusega. Õpikus kirjeldatakse redoksreaktsiooni näitena magneesiumi põlemist. Vahvate värviliste jooniste abil püüab autor õpilastele selgitada, mismoodi magneesiumi aatom loovutab kaks väliskihi elektroni hapniku aatomile. Õpikus on olemas vastavad elektronvõrrandid: $Mg - 2\bar{e} \rightarrow Mg^{2+}$, $O + 2\bar{e} \rightarrow O^{2-}$. Süsiniku, vesiniku ja metaani põlemisreaktsiooniga rõhutab autor hapniku tähtsust oksüdeerijana. Uuesti puutuvad õpilased redoksreaktsioonidega kokku vesiniku redutseerivate omadustega tutvudes. Vahepeal õpitakse selgeks oksüdatsiooniastmete määramine ning nüüd uuritakse redoksreaktsiooni sellest seisukohast, kuidas reaktsiooni toimumise käigus muutuvad elementide oksüdatsiooniastmed. Näitena kasutab H. Karik, nii nagu teisedki 8. klassi keemiaõpikute autorid, vask(II)oksiidi reageerimist vesinikuga.

L. Tamme koostatud 8. klassi keemiaõpikus [60] käsitletakse esmalt hapnikku kui oksüdeerijat ning põlemist kui oksüdeerumist. L. Tamm kasutab näitena magneesiumi ja väävli põlemisreaktsioone. Samuti annab autor lühikese ülevaate looduses esinevatest oksüdeerumisreaktsioonidest, näiteks elusorganismides toimuvast aeglasest leegita „põlemisest” või värskete õunalõikude tumenemisest õhu käes. Mõisted redutseerija ja redutseerumine tulevad õpikus esmakordselt kasutusele vesiniku teema käsitlemisel. Autor kirjeldab, kuidas vesiniku reageerimisel hapnikuga ja vask(II)oksiidiga muutuvad elektronide üleminekul nii redutseerija kui ka oksüdeerija oksüdatsiooniastmed. Samaaegselt tuletab õpiku koostaja meelde oksüdeerumist ja lisab, et redutseerumine on oksüdeerumisele vastupidine reaktsioon. Autor rõhutab, et redutseerumis- ja oksüdeerumisreaktsioonid esinevad alati koos.

Nii L. Tamme kui ka H. Kariku 8. klassi keemiaõpikus [60, 59] on eraldi lühike alapunkt „Redoksreaktsioonid”. Mõlemas õpikus on sarnane joonis, mis peaks õpilasele andma tervikliku ülevaate redoksreaktsiooni toimumisest ja siduma omavahel antud teemaga seotud põhimõisted. L. Tamm on lisanud näiteid levinumatest redutseerijatest (aktiivsed metallid, kuumutamisel vähemaktiivsed mittemetallid, nagu vesinik, süsinik jt) ja oksüdeerijatest (hapnik, halogeenid jt).

Mõnevõrra teistmoodi lähenevad redoksreaktsioonide õpetamisele A. Lukason ja A. Tõldsepp [61]. Silmatorkavam erinevus võrreldes teiste autorite õpikutega on see, et redoksreaktsioone käsitletakse tervikuna koos näidetega ühe teema raames. Teema sissejuhatuses avavad autorid kõigepealt õpilasele redoksreaktsiooni mõiste. Redoksreaktsiooni näitena kasutavad autorid tsingi ja väävli vahelist reaktsiooni. Selle põhjal selgitatakse, kuidas ja miks muutuvad reaktsiooni käigus vastavate elementide oksüdatsiooniastmed. Redoksreaktsioonidest aru saamise lihtsustamiseks on õpiku koostajad kasutanud mitut joonist. Hapnikku kui tähtsat oksüdeerijat tutvustatakse väävli põlemisreaktsiooni ja raua roostetamise näite abil ning vesiniku redutseerivad omadused tuuakse esile reageerimisel vask(II)oksiidiga.

Üheksanda klassi keemiakursuses puutuvad õpilased redoksreaktsioonidega lähemalt kokku peatükkides „Tähtsamaid metalle”, „Süsinik. Süsinikuühendid” ja „Kuidas kulgevad keemilised reaktsioonid”.

Nii L. Tamme ja H. Timotheusi kui ka H. Kariku õpikus [62, 63] vaadeldakse esimese teemana metalle. Alguses suunatakse põhirõhk metallide üldomadustele ja seejärel selgitatakse, missuguste ainetega metallid reageerivad, samaaegselt pöörates tähelepanu nii oksüdeerijale kui ka redutseerijale. Näidete varal selgub, et metallide reageerimisel hapniku, vee, hapete ja soolade lahustega käituvad metallid alati redutseerijatena.

Redoksreaktsioonid tulevad uuesti päevakorrale süsiniku keemiliste omaduste juures, kus tutvustatakse süsiniku oksüdeerivaid ja redutseerivaid omadusi. Näideteks on valitud süsiniku reageerimine vesiniku ja hapnikuga.

Peatükis „Kuidas kulgevad keemilised reaktsioonid” [62, 63] on hulgaliselt elulisi näiteid redoksreaktsioonidest. Õpikutes on juttu hingamisest, looduslikest mädanemise ja kõdunemise protsessidest, käärimisest, fotosünteesist, kütuste põlemisest. Kõik need näited peaksid omakorda laiendama õpilaste silmaringi redoksreaktsioonidest ja aitama paremini

mõista, et redoksreaktsioonid ei ole keemiaõpikus kui üks raske teema, vaid nende reaktsioonidega puutume kokku väga sageli.

M. Karelsoni, A. Lukasoni ja A. Tõldsepa 9. klassi õpikus [64] hakkab kohe silma teemade teistsugune järjestus. Näiteks metalle käsitletakse õpikus kolmanda teemana, mis aga ei tohiks oluliselt mõjutada õpitulemusi.

Süsiniku eripära tutvustamise käigus rõhutavad ainult selle õpiku autorid, et kõik süsinikuühendid, milles süsiniku oksüdatsiooniastme väärtus on väiksem kui pluss neli, on redutseerijad ja võivad oksüdeeruda reaktsiooni käigus. Süsinikuühendid, milles süsiniku oksüdatsiooniastme väärtus on pluss neli, saavad ainult elektrone liita, st olla oksüdeerijad. Õpikusse on lisatud väga hea joonis, mis nägemismäluga õpilasele on kahtlemata suureks abiks. Õpiku plussiks võibki pidada rohkete jooniste olemasolu, mis kindlasti hõlbustavad tekstist arusaamist ning aitavad õpitut paremini meeles pidada.

Käesoleva töö autor leiab, et 8. ja 9. klassi keemiaõpikutes pööratakse piisavalt tähelepanu redoksreaktsioonidele ning õpilastel peaks juba põhikooli lõpuks kujunema kindel arusaam redoksreaktsioonidest.

1.8. Redoksreaktsioonide ning elektrokeemia käsitlemine 10. klassi keemiaõpikutes

10. klassis on õpetajal võimalik valida kahe keemiaõpiku vahel. Neist esimene õpik on valminud V. Pasti, J. Tamme ja L. Tamme koostööna [65]. Teine, L. Tamme kirjutatud õpik [66] ilmus alles 2005. aasta sügisel. L. Tamme õpik erineb varasemast õpikust ennekõike selle poolest, et iga uus teema algab lühikese sissejuhatusega ning lõpeb kokkuvõttega. Samuti leiab õpikust lisatekstide näol täiendavat materjali silmaringi laiendamiseks või õppetöö individualiseerimiseks. Mõlemad õpikud on aga sisu poolest sarnased. Sellepärast vaadeldakse allpool ainult n-ö vana õpiku näitel, kuidas autorid käsitlevad nii redoksreaktsioone kui ka elektrokeemiat.

10. klassis puutuvad õpilased redoksreaktsioonidega kokku metallide ja mittemetallide käsitlemisel. Käesoleva töö autor hindab väga kõrgelt, et „Metallide” peatükis meenutatakse kõigepealt õpilastele, kus nad redoksreaktsioonidega kokku puutuvad. Autorid märgivad, et redoksreaktsioonid esinevad kõikjal. Neid on looduses (põlemine, hingamine, kõdunemine jt), nad leiavad kasutamist tööstuses ja argielus (metallide tootmisel ja keemilistes vooluallikates) [65]. Põhjalikumalt meenutatakse redoksreaktsioonide toimumise põhimõtet metallide reageerimisel mittemetallidega. Näiteks on valitud naatriumi reageerimine klooriga. Lisaks leiab õpikust skeemi, mis aitab selgitada metalli ja mittemetalli vahelist reaktsiooni elektronide liitmise ja loovutamise seisukohalt vaadatuna.

Järgnevate teemade käsitlemise käigus rõhutavad autorid, et metallide reageerimisel nii vee, hapete kui ka leeliste lahustega käituvad metallid alati redutseerijatena [65]. Seega peaks õpilastel kinnistuma teadmine, et keemilistes reaktsioonides käituvad metallid alati redutseerijatena.

Tutvustades metallide korrosiooniprotsessi, märgivad autorid, et metallide korrosioon on alati redoksreaktsioon. Korrosiooni käigus metalli aatomid oksüdeeruvad keskkonnas leiduvate oksüdeerijate toimel. Õpikus selgitatakse lähemalt metallide keemilist ja elektrokeemilist korrosiooni. Keemilist korrosiooni illustreerivad õpikus kaks järgmist näidet: $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$; $2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$. Elektrokeemilise korrosiooni ühe osareaktsiooni näitena vaadeldakse õpikus raua aatomite oksüdeerumist ($\text{Fe} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$). Autorid lisavad, et sõltuvalt keskkonnast seovad teises osareaktsioonis elektrone kas õhuhapnik ($\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$) või vesinikioonid ($2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$). Samuti kirjeldatakse õpikus,

millised tegurid soodustavad metallide korrosiooni ning kuidas kaitsta metalle korrosiooni eest [65].

Redoksreaktsioonidega on vahetult seotud teema, kus selgitatakse metallide saamist maagist. Põgusalt peatutakse õpikus maagi töötlemise kahel esimesel etapil, rikastamisel ja särdamisel. Põhjalikumalt käsitletakse aga maagi töötlemise viimast etappi: metalli redutseerimist ühendist. Autorid osutavad, et metalli redutseerimine ühendist toimub kõrgel temperatuuril ning redutseerijatena kasutatakse mitmesuguseid aineid – süsinikku, süsinikoksiidi, vesinikku, aktiivseid metalle (Al, Mg). Seega meenutatakse õpilastele järjekordselt, millised ained saavad redoksreaktsioonis käituda redutseerijatena. Üksikasjalikumalt vaadeldakse õpikus metalliühendite redutseerimist alumiiniumi ($\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr}$) ja süsinikoksiidiga ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$) [65].

Ka „Mittemetallide” peatükis tuletatakse korduvalt redoksreaktsioone meelde, näiteks halogeenide, hapniku ja vesiniku keemilisi omadusi tutvustades. Samuti käsitletakse selles peatükis keerukamate redoksreaktsioonide tasakaalustamist elektronbilansi meetodil. Näideteks on õpikus vase reageerimine kontsentreeritud väävelhappega ning vase reageerimine lahjendatud lämmastikhappega. Mõlema näite puhul selgub taaskord, et keemilistes reaktsioonides metalli aatomid loovutavad elektrone ning mittemetalli aatomid (väävel ja lämmastik) seevastu liidavad elektrone.

Metallide teema raames peatutakse õpikus lähemalt elektrokeemilistel protsessidel. Esimesena selgitavad autorid, kuidas on võimalik redoksreaktsioone ära kasutada elektrienergia saamiseks. Selleks avatakse õpikus vask-tsinkelemendi näitel keemiliste vooluallikate tööpõhimõte. Vask-tsinkelemendis toimuvaid protsesse aitab paremini ette kujutada õpikus olev joonis. Käesoleva töö autor leiab, et joonisel oleks võinud näidata ka ionide liikumist soolasillas ja lahustes. Nimelt on mitmete uurimuste põhjal selgunud [26, 48, 50], et õpilaste arvates liiguvad nii lahustes kui ka soolasillas elektronid. Lisaks on õpikus välja toodud vask- ja tsinkelektroodidel toimuvate oksüdeerimis- ja redutseerimisreaktsioonide võrrandid: $\text{Zn} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$; $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}$. Autorid tutvustavad lugejale ka argielus kasutatavaid keemilisi vooluallikaid, näiteks autoakut ning patareisid [65].

Õpikus käsitletakse ka elektrolüüsi. Kõigepealt selgitavad autorid lugejale, mis on elektrolüüs ning milleks seda kasutatakse. Järgnevalt esitatakse õpikus üldine elektrolüüsiseadme skeem ning ühtlasi võrreldakse keemilistes vooluallikates ja elektrolüüsil toimuvate protsesside

suunda. Elektrolüüsi protsessi põhimõtte avatakse õpikus sulatatud naatriumkloriidi näitel. Sulatatud naatriumkloriidi elektrolüüsil toimuvaid protsesse aitab visualiseerida õpikus olev joonis. Eraldi on autorid välja toonud katoodil ja anoodil toimuvate oksüdeerimis- ja redutseerimisreaktsioonide võrrandid: katoodil: $\text{Na}^+ + \bar{e} \rightarrow \text{Na}$; anoodil: $\text{Cl}^- - \bar{e} \rightarrow \text{Cl}$; $2\text{Cl} \rightarrow \text{Cl}_2$. Vesilahuste elektrolüüsi käsitletakse aga õpikus „Mittemetallide” peatükis, kus vaadeldakse naatriumkloriidi vesilahuse elektrolüüsi. Põgusalt peatutakse õpikus elektrolüüsi rakendusvaldkondadel, näiteks metallide galvaanilisel katmisel ja metallide elektrokeemilisel puhastamisel [65].

10. klassi keemiaõpiku(te) analüüsi põhjal võib väita, et õpilased puutuvad mitmete teemade õppimisel kokku redoksreaktsioonidega. Seetõttu peaksid gümnaasiumiõpilased võrreldes näiteks põhikooliõpilastega oluliselt paremini mõistma redoksreaktsioonide olemust ning tundma nende reaktsioonide rakendusvaldkondi.

2. Metoodika

2.1. Uurimistöö eesmärgid

Käesoleva uurimistöö eesmärkide seadmisel arvestati gümnaasiumi keemia ainekavas olevate õpitulemuste ning koolis kasutatavate keemia õppematerjalidega.

Töö eesmärgiks oli teada saada, kas gümnaasiumiõpilased

- tunnevad redoksreaktsioonide teema põhimõisteid (oksüdeerija, redutseerija, oksüdeerumine, redutseerumine, redoksreaktsioon);
- oskavad tuua näiteid levinumate oksüdeerijate ja redutseerijate kohta;
- saavad aru, kuidas muutub elemendi aatomi oksüdatsiooniaste elektronide liitmisel ja loovutamisel;
- suudavad eristada redoksreaktsioone nendest reaktsioonidest, milles ei esine elementide aatomite oksüdatsiooniastme muutust;
- oskavad tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta;
- saavad aru keemilise vooluallika ja elektrolüüsiprotsessi põhimõttest;
- tunnevad korrosioonitõrje võimalusi.

2.2. Testide koostamine ja läbiviimine

Gümnaasiumiõpilaste arusaamade kontrollimiseks koostati ja viidi läbi kaks testi (vaata lisa 1 ja 2). Teise testi koostamine ja läbiviimine tulenes asjaolust, et esimesele testile vastasid õpilased suhteliselt kehvasti. Seetõttu püüti teise testi abil välja selgitada n-õ nõrgad kohad, mille tõttu õpilased ei suuda redoksreaktsioonide teemat omandada.

Esimene test koosnes 11 küsimusest. Testi koostamisel võeti aluseks B. S. Bloomi kognitiivsete õppe-eesmärkide taksonoomia (vaata tabel 5).

B. S. Bloomi kognitiivse taksonoomia põhikategooriad [67, 68]

Taksonoomia kognitiivse aspekti põhikategooriad	Verbid õppe- või kontrollülesande formuleerimiseks
Teadmine	Identifitseerima, nimetama, defineerima, kirjeldama, loetlema, vastavusse seadma, välja tooma.
Mõistmine	Klassifitseerima, seletama, kokku võtma, muutma, ennustama, eristama
Rakendamine	Demonstreerima, arvutama, lahendama, modifitseerima, korrastama, seostama, käsitlema.
Analüüs	Eristama, diagrammi koostama, hinnangut andma, osadeks jaotama, järel dama, korrastama.
Süntees	Kombineerima (ühendama), looma, formuleerima, kavandama, konstrueerima, ümber korrastama, vigu parandama
Hindamine	Otsust langetama, kritiseerima, võrdlema, põhjendama, järel dama (otsust tegema), eristama.

Lähtudes antud taksonoomiast, ehitati test üles järgmiselt:

- 1. ja 2. küsimus eeldavad õpilaselt teadmist;
- 3. ja 4. küsimus eeldavad õpilaselt mõistmist;
- 5.-11. küsimus eeldavad õpilaselt teadmiste rakendamise ja analüüsi oskust.

Esimeses testis kasutati kolme liiki testküsimusi:

- lükkküsimused (1, 2, 5, 6, 10 küsimus);
- vabavastuselised küsimused (3, 4, 9, 11 küsimus);
- valikvastustega küsimused (7, 8 küsimus).

Uurimistööks vajalik piloottest viidi läbi Tartu Tamme Gümnaasiumis 2005. aastal aprillikuu lõpus. Testis osales 29 kümnenda (c) klassi õpilast, 12 noormeest ja 17 neidu. Test oli anonüümne ning selle täitmiseks oli õpilastel aega 30 minutit. Testile vastamise ajal oli õpilastel lubatud kasutada perioodilisustabelit. Enne testi ei toimunud spetsiaalset

kordamistundi. Õpilaste töid parandades ilmnisid piloottestis mõned täpsustamist või pisut muutmist vajavad ülesanded. Vajalikud parandused viidi sisse.

Põhitest viidi läbi 2005. aastal maikuus seitsmes erinevas Eesti koolis. Testis osales 282 noort, 139 noormeest ja 143 neidu (vaata tabel 6). Põhitesti täitmise ajaks olid õpilased läbinud 10. klassi keemiakursuse ning tegelesid varemõpitu kordamisega.

Tabel 6

Esimeses põhitestis osalenud koolid ja vastav õpilaste arv

Kool	Testis osalenud noormeeste arv	Testis osalenud neidude arv
1. Tartu Forseliuse Gümnaasium	16	17
2. Iisaku Gümnaasium	9	9
3. Kiviõli I Keskkool	14	13
4. Luunja Keskkool	7	17
5. Tallinna Nõmme Gümnaasium	41	48
6. Tartu Raatuse Gümnaasium	32	23
7. Tartu Ülenurme Gümnaasium	20	16

Põhitestis osalesid tavaklasside õpilased. Ka põhitesti täitnud õpilaste jaoks kehtisid ülalnimetatud reeglid.

Õiged testivastused ning punktide jaotus küsimuste kaupa on toodud lisas 3.

Õpilaste tööde vastuste põhjal arvutati *MS EXCELI* tabelitöötlusprogrammi abil järgmised parameetrid:

1) keskmine punktide arv ehk aritmeetiline keskmine

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

kus \bar{X} - aritmeetiline keskmine

X_i - tunnuse väärtus

n - osalejate arv

2) standardhälve

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$$

kus δ - standardhälve

\bar{X} - aritmeetiline keskmine

X_i - tunnuse väärtus

n - osalejate arv

3) keskmine lahendatuse protsent

$$X_{kesk} = \frac{\bar{X}}{X_{mp}} \cdot 100\%$$

kus X_{kesk} - keskmine lahendatuse protsent

\bar{X} - aritmeetiline keskmine

X_{mp} - ülesande maksimumpunktid

4) maksimumpunktid saanud õpilaste protsent

$$X_{max} = \frac{n_{max}}{n} \cdot 100\%$$

kus X_{max} - maksimumpunktid saanud õpilaste protsent

n_{max} - maksimumpunktid saanud õpilaste arv

n - osalejate arv

5) miinimumpunktid (ehk null punkti) saanud õpilaste protsent

$$X_{min} = \frac{n_{min}}{n} \cdot 100\%$$

kus X_{min} - miinimumpunktid saanud õpilaste protsent

n_{min} - miinimumpunktid saanud õpilaste arv

n - osalejate arv

Teises testis oli kuus küsimust (vaata lisa 2). Ka selle testi koostamisel tugineti B. S. Bloomi kognitiivsele õppe-eesmärkide taksonoomiale (vaata tabelit 5). Vastavalt B. S. Bloomi kognitiivsele taksonoomiale eeldavad testi 1-5 küsimus õpilaselt nii teadmist kui ka mõistmist. Testi kuuendas küsimuses tuli õpilasel oma teadmisi rakendada.

Teises testis kasutati valikvastustega (1, 2 küsimus) ja vabavastuselisi küsimusi (3, 4, 5 küsimus) ning lükkküsimusi (6 küsimus).

Vajalik piloottest viidi läbi Tartu Tamme Gümnaasiumis ning Tartu Raatuse Gümnaasiumis 2005. aastal oktoobrikuu alguses. Piloottestis osales 58 üheteistkümnenda klassi õpilast, 31 noormeest ning 27 neidu. Test oli anonüümne ja selle täitmiseks oli õpilastel aega 10-15 minutit. Testile vastamise ajal oli õpilastel lubatud kasutada perioodilisustabelit. Enne testi ei toimunud üheski klassis spetsiaalset kordamistundi. Õpilaste tööde vastuste põhjal tulid piloottestis esile mõned täpsustamist vajavad ülesanded. Vajalikud parandused viidi sisse.

Teine põhitest viidi läbi 2005. aastal oktoobrikuu lõpus ning novembrikuu alguses neljas erinevas Tartu ja Tallinna koolis. Testis osales 179 üheteistkümnenda klassi õpilast, 77 noormeest ja 102 neidu (vaata tabel 7).

Tabel 7

Teises põhitestis osalenud koolid ja vastav õpilaste arv

Kool	Testis osalenud noormeeste arv	Testis osalenud neidude arv
1. Tartu Forseliuse Gümnaasium	15	27
2. Luunja Keskkool	8	15
3. Tartu Raatuse Gümnaasium	18	14
4. Tallinna Nõmme Gümnaasium	36	46

Nagu on näha tabelist 7, osalesid teises põhitestis tavaklasside õpilased. Põhitesti täitnud õpilaste jaoks kehtisid samuti ülalkirjeldatud reeglid.

Õiged testivastused ja punktide jaotus küsimuste kaupa on toodud lisa 4.

Õpilaste tööde vastuste põhjal arvutati *MS EXCELI* tabeltöötlusprogrammi abil iga ülesande õigete vastuste protsent:

$$X_{\delta} = \frac{n_{\delta}}{n} \cdot 100\%$$

kus X_{δ} - õigesti vastanud õpilaste protsent

n_{δ} - õigesti vastanud õpilaste arv

n - osalejate arv

Samuti rakendati teise testi tulemuste analüüsil J. C. Falmagne jt poolt välja töötatud teadmiseruumi teooriat, et välja selgitada õpilaste kriitiline õpperada.

Peale teise põhitesti täitmist intervjueriti täiendavalt 11 Tartu Forseliuse ja Tartu Raatuse Gümnaasiumi õpilast. Intervjuude käigus püüti välja selgitada

- milliseid seoseid („nippe”) kasutavad õpilased redoksreaktsioonidega seotud põhimõistete meelespidamiseks;
- kas õpilased tunnevad levinumaid oksüdeerijaid ja redutseerijaid;
- mõistavad, kuidas muutub elemendi aatomi laeng elektronide liitmisel või loovutamisel;
- oskavad tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta.

3. Uurimistöö tulemused ja analüüs

3.1. Esimese põhitesti tulemuste analüüs küsimuste kaupa

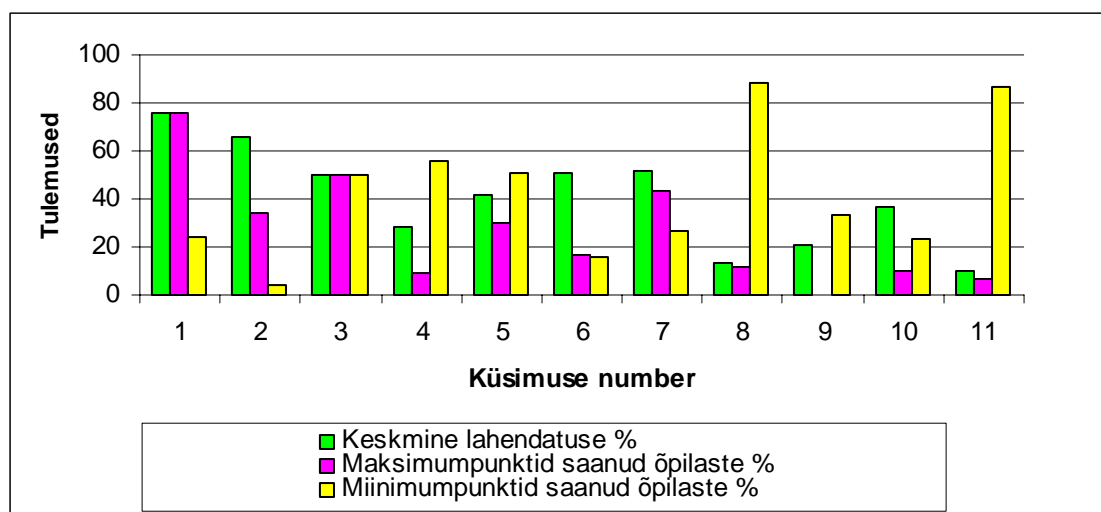
Esimese testi tulemused on toodud lisa 5.

Esimese ja teise testiküsimusega kontrolliti, kas õpilased teavad redoksreaktsioonide teema põhimõisteid.

1. Lõpeta lause.

Keemilist reaktsiooni, mille kulgemisel muutub elementide oksüdatsiooniaste, nimetatakse

Põhitestis osalenud 282 õpilasest teadis 76% (vaata joonis 6), et keemilist reaktsiooni, mille kulgemisel muutub elementide oksüdatsiooniaste, nimetatakse redoksreaktsiooniks. Tõenäoliselt aitas paljusid õpilasi sellele küsimusele vastamisel testi pealkirjas olev vihje „Redoksreaktsioonid”. Kuid siiski, 24% testitute antud ülesande eest punkte ei saanud. Mõned valesti vastanud õpilased märkisid, et taolist reaktsiooni nimetatakse kas ainult oksüdeerumise või redutseerumise reaktsiooniks. Oli ka niisuguseid väärvastuseid, milles märgiti, et tegemist on oksüdatsiooniastmete muutuse reaktsiooniga või siis keemilise reaktsiooniga. Kolme õpilase arvates nimetatakse aga elementide oksüdatsiooniastmete muutusega seotud reaktsiooni dissotsiatsioonireaktsiooniks.



Joonis 6. Esimese põhitesti tulemused

2. Kirjuta mõisted (oksüdeerub, redutseerub, oksüdatsiooniate kasvab, oksüdatsiooniate kahaneb, liidab elektrone, loovutab elektrone) õigesse lahtrisse.

Oksüdeerija	Redutseerija

Ülesande keskmine lahendus oli küllaltki hea, 66%. Kõik kuus redoksreaktsioonidega seotud mõistet oskas õigesse lahtrisse paigutada 96 õpilast (34%). Üksteist noort (4%) ajas mõisted omavahel segamini ehk sai miinimumpunktid. Õpilaste töid parandades ilmnes, et kõige raskem on neil mõista, kuidas elektronide liitmisel ja loovutamisel muutub oksüdeerija ja redutseerija oksüdatsiooniate. Näiteks paljud vastajad teadsid, et oksüdeerija liidab elektrone ja redutseerub, kuid märkisid samas valesti, et oksüdeerija oksüdatsiooniate kasvab. Säärased õpilaste väärvastused võivad olla tingitud sellest, et nad unustasid, et elektronid on negatiivse laenguga osakesed. Samuti võivad taolised eksimused tuleneda ka asjaolust, et koolis õpetatakse keemiat peamiselt sümboltasandil ja ei pöörata piisavalt palju tähelepanu keemiliste protsesside (näiteks aatomitest ionide tekkimine) „läbi mängimisele” mikrotasandil.

Kolmanda küsimuse esitamise eesmärgiks oli välja selgitada, kas õpilased saavad aru redoksreaktsiooni toimumise põhimõttest (elektronide liitmisest ja loovutamisest).

3. Selgita, miks esinevad redutseerumis- ja oksüdeerumisreaktsioonid alati koos.

Pooled vastajatest oskasid õigesti selgitada, miks redoksreaktsioonis peavad oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioonid alati koos esinema. Suurem osa valesti vastanud õpilastest põhjendas oma vastust järgmiselt: *nii peab olema, üheta pole teist ja vastupidi; selleks, et reaktsioon püsiks koos; muidu reaktsiooni ei toimuks; reaktsioonid on omavahel seotud; Jumal lõi niimoodi.* Võib tõdeda, et nii mõnigi eespool loetletud vastustest ei ole täiesti vale, vaid pigem näitab, et õpilastel on probleeme oma mõtte korrektse kirjapanekuga. Ainult üks õpilane vastas, et tegelikult ei esinegi redoksreaktsioonis oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioonid alati koos.

Neljanda küsimusega kontrolliti, kas õpilased mõistavad, milliste elementide aatomid saavad redoksreaktsioonis käituda oksüdeerijatena, millised aga redutseerijatena.

4. Too vähemalt üks näide nii oksüdeerija kui ka redutseerija kohta. Põhjenda oma valikut.

Ülesande keskmine lahendatus oli kõigest 28%. Paljud õpilased tõid küll õige näite nii oksüdeerija kui ka redutseerija kohta, kuid seejuures unustasid või ei osanud põhjendada, miks vastavate elementide aatomid käituvad redoksreaktsioonis oksüdeerija või redutseerijana. Maksimumpunktid teenis selle ülesande eest 9% õpilastest ja ühtegi punkti ei saanud 56% vastajatest (vaata joonis 6). Suurimad eksimused, mis õpilaste töödes esinesid, on järgmised: oksüdeerijateks on metallid (näiteks Na, Al, Fe, Cu) ja redutseerijateks mittemetallid (näiteks Cl₂, O₂, F₂). Üks vastajatest arvas, et fosfor oksüdatsioonistmega viis on alati redutseerijaks ning fosfor oksüdatsioonistmega miinus kolm on alati oksüdeerijaks. Oma näiteid see õpilane ei osanud põhjendada. Niisugused õpilaste väärvastused on mõneti üllatavad, kuna kõikides nii põhikooli kui ka gümnaasiumi keemiaõpikutes rõhutatakse korduvalt, et metallid käituvad keemilistes reaktsioonides alati redutseerijatena ning mittemetallid (näiteks hapnik ja fluor) oksüdeerijatena. Seega võib oletada, et tervele reale gümnaasiumiõpilastele ei ole selged mõisted oksüdeerija ja redutseerija ning nad ei oska redutseerumise või oksüdeerumise võimet siduda aatomi ehitusega. Kuigi juba põhikooli keemiakursusest peaksid õpilastele olema tuttavad nii metallide kui ka mittemetallide aatomite ehituse iseärasused. Näib, et õpilased ei osanud küsimusele vastamisel maksimaalselt ära kasutada perioodilisustabelis olevat informatsiooni.

Testi 5-11 küsimuse esitamise eesmärgiks oli teada saada, kas õpilased oskavad oma teadmisi erinevate ülesannete lahendamisel rakendada.

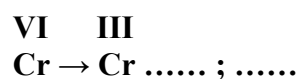
5. Kirjuta elektronvõrrandid järgmiste muundumiste kohta.

- a) raua aatomi oksüdeerumine raud(II)iooniks
- b) raud(III)iooni redutseerumine raua aatomiks
- c) väävli aatomi redutseerumine sulfiidiooniks

Ülesande keskmine lahendatus oli 42%. Üllatas, et mitmed testitud ei teadnud, mida tähendab elektronvõrrandite kirjutamine. Näiteks raua aatomi oksüdeerumist raud(II)iooniks kirjeldati

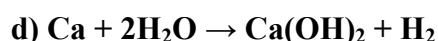
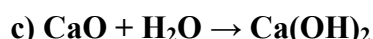
järgmise „elektronvõrrandiga”: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$. Paljude õpilaste jaoks osutus eelkõige kolmanda elektronvõrrandi kirjutamine üle jõu käivaks ülesandeks. Põhjus peitub siin oletatavasti selles, et õpilased ei teadnud mis on või kuidas tähistatakse sulfiidiooni. Sageli aeti sulfiidioon segamini kas sulfaat- või sulfitiooniga. Palju eksimusi esines ka teise elektronvõrrandi kirjutamisel. Kõik kolm elektronvõrrandit kirjutas õigesti 30% õpilastest. 143 vastajat (51%) kirjutas kas kõik kolm elektronvõrrandit valesti või jättis üldse küsimusele vastamata.

6. Kas järgmiste oksüdatsiooniastmete muutuse korral element redutseerub (märgi lünka R) või oksüdeerub (märgi lünka O)? Märgi mitu elektroni elemendi aatom seejuures liidab (+ē) või loovutab (-ē)?



Ülesande keskmine lahendatus oli 51%. Maksimumpunktid kogus 17% ning miinimumpunktid 16% testitustest. Tööde vastuste põhjal võib järeldada, et üsna raske oli õpilastel otsustada mitu elektroni elemendi aatom liidab või loovutab. See näitab taaskord, et õpilastel on äärmiselt keeruline ettekujutada protsesse mikrotasandil. Näiteks 282 õpilasest teadis ainult 50, et esimesel juhul liidab kroomi aatom kolm elektroni. Suur osa valesti vastanutest kirjutas, et kroomi aatom loovutab kolm elektroni. 97 õpilast mõistis, et teisel juhul loovutab väävlil aatom kuus elektroni. Nii esimesel kui ka teisel korral näis eksimusi põhjustavat ka see, et õpilased ei teinud vahet rooma numbritel IV ja VI. Seevastu 140 õpilast vastas õigesti, et kolmandal juhul liidab lämmastiku aatom kolm elektroni. Kõigil kolmel korral ajas veidi üle 100 õpilase omavahel segamini oksüdeerumise ja redutseerumise.

7. Missugused järgmistest reaktsioonidest on redoksreaktsioonid. Tõmba redoksreaktsiooni tähistavale tähele ring ümber.



Nelja reaktsioonivõrrandi seast tundis 52% õpilastest ära ühe redoksreaktsiooni. Väga sageli peeti redoksreaktsioonideks ennekõike variante ad, bc ja ac. 120 õpilast (43%) tundis

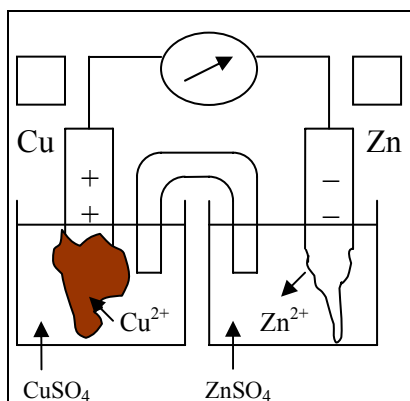
etteantud reaktsioonivõrrandite seast ära kaks õiget redoksreaktsiooni. Siinkohal on hea meel tõdeda, et suurem osa õigesti vastanud õpilastest toetus valiku tegemisel elementide oksüdatsiooniastmete muutusele. Nimelt olid nad igas reaktsioonivõrrandis määranud kõikide elementide aatomite oksüdatsiooniastme. Null punkti sai 27% vastajatest.

8. Millisel juhul on raudnael korrosiooni eest kaitstud? Tõmba õige(te)le vastus(t)ele ring ümber.

- Siis kui raudnael on:**
- a) merevees,
 - b) kontaktis vasktraadiga kraanivees,
 - c) nõrgalt happelises lahuses,
 - d) kontaktis magneesiumtraadiga kraanivees.

Ülesande keskmine lahendus oli kõigest 13%. 12% õpilastest vastas õigesti (ehk sai maksimumpunktid), et raudnael on korrosiooni eest kaitstud siis, kui ta on kontaktis magneesiumtraadiga kraanivees. Ülejäänud 88% õpilastest osutus see ülesanne liialt keeruliseks, nad ei leidnud õiget vastust. Paljud valesti vastanutest märkisid, et raudnael on korrosiooni eest kaitstud juhul, kui see on nõrgalt happelises lahuses. Kehva tulemuse põhjus võib peituda selles, et õpilased ei ole korralikult aru saanud korrosiooni põhimõttest ja nad ei oska teha järeldusi metallide pingerea põhjal.

9. Vaata joonist 1 ja vasta järgmistele küsimustele.



Joonis 1. Vask-tsinkelement

- a) Märki joonisele katood ja anood.
- b) Näita joonisel noolega elektronide liikumise suund.
- c) Millise elektroodi (tsingi või vase) mass reaktsiooni käigus suureneb, millise elektroodi mass aga väheneb. Miks?

.....

.....

d) Missugust ülesannet täidab vask- tsinkelemendi juures soolasild?

.....

.....

Ükski 282 testile vastanust ei saanud antud ülesande eest maksimumpunkte. Ka ülesande keskmine lahendus oli küllaltki madal, 21%. Miinimumpunktid sai 33% õpilastest. 102 õpilast kirjutas, et vask-tsinkelemendis on tsinkelektrood katoodiks ning vaskelektrood anoodiks. Tundub, et katoodi ja anoodi kindlakstegemisel ei mõelnud õpilased, kuidas paiknevad vask ja tsink metallide pingereas teineteise suhtes. On ju teada, et keemilises vooluallikas on aktiivsem metall anoodiks ning vähemaktiivsem katoodiks. Taaskord tuleb esile, et metallide pingerida küll koolis õpetatakse, kuid järeldusi õpilased selle põhjal ei oska teha.

Suuri probleeme tekitas õpilastele elektronide liikumise suuna näitamine. 70 vastajat arvas, et välises vooluahelas liiguvad elektronid vaskelektroodilt tsinkelektroodi suunas. 37 õpilast märkis, et elektronide liikumine kulgeb mööda soolasilda. Neli testitut aga uskusid, et elektronid suunduvad vask- ja tsinkelektroodilt lahusesse. Näib, et sellele küsimusele vastamisel ei osanud õpilased kasutada joonisel olevat informatsiooni. On ju joonisel tsinkelektroodile märgitud negatiivne laeng, mis näitab, et seal on tekkinud elektronide liig. Järelikult saavad elektronid välises vooluahelas liikuda ainult vaskelektroodi suunas.

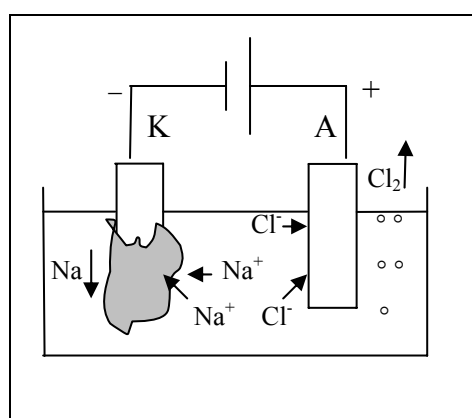
Palju eksimusi põhjustas ka küsimus, millise elektroodi mass reaktsiooni käigus suureneb, millise oma aga väheneb. 91 vastajat pakkus, et tsinkelektroodi mass suureneb, sest tsink liidab elektrone ja vaskelektroodi mass väheneb, sest vask loovutab elektrone. Järjekordselt tuleb tõdeda, et õpilased ei süvenenud piisavalt põhjalikult joonisel kujutatuse. Jooniselt on näha, et tsinkelektroodi mass väheneb, sest Zn^{2+} -ioonid suunduvad lahusesse. Vaskelektroodi mass aga suureneb, kuna lahuses olevad Cu^{2+} -ioonid seovad elektrone ja sadenevad vase aatomitena elektroodile.

Üle 200 õpilase jättis vastamata küsimusele, missugust ülesannet täidab vask-tsinkelemendi juures soolasild. 26 õpilase arvates kannab või vahendab soolasild elektrone. Paljud vastajad märkisid oma testide lehele, et nad ei saa aru, mis on või kus paikneb joonisel soolasild.

Seega võib väita, et vask-tsinkelemendi tööpõhimõte on õpilastele väga raskesti mõistetav.

10. Vaata hoolega joonist 2 ning kirjuta lünka sobiv sõna õiges käändes.

Sõnade valik on järgmine: katood, anood, liidab, loovutab, elektrolüüs, korrosioon, oksüdeerumine, redutseerumine.



Joonisel on kujutatud sulatatud naatriumkloriidi Katioonid liiguvad suunas ning anioonid suunas. Katoodil toimub, mille käigus Na^+ -ioonid elektrone. Anoodil seevastu toimub, mille käigus Cl^- -ioonid elektrone.

Joonis 2.

Ülesande keskmine lahendus oli 37%. Maksimumpunktid kogus 10% ja miinimumpunktid 23% vastajatest. Allpool vaadeldakse, milliseid sõnu pakkusid õpilased seitsmesse erinevasse lünka. Iga sõna järel olev number näitab, mitu õpilast vastava sõna lünka kirjutas.

Joonisel on kujutatud sulatatud naatriumkloriidi

1. lünk

elektrolüüsi (180)	oksüdeerumist (8)
korrosiooni (19)	redutseerumist (2)
katoodi (12)	anoodi (1)

Katioonid liiguvad suunas ning anioonid suunas.

2. lünk

anoodi (141)
 katoodi (66)
 elektrolüüsi (3)
 redutseerumise (3)

3. lünk

katoodi (140)
 anoodi (66)
 elektrolüüsi (3)
 oksüdeerumise (3)

oksüdeerija (2)
korrosiooni (1)

korrosiooni (2)
redutseerumise (2)

Katoodil toimub, mille käigus Na^+ -ioonid elektrone

4. lünk

oksüdeerumine (102)
redutseerumine (92)
elektrolüüs (14)
korrosioon (10)
loovutamine (4)
liitmine (1)

5. lünk

loovutavad (102)
liidavad (117)
redutseerivad (3)

Anoodil seevastu toimub, mille käigus Cl^- -ioonid elektrone.

6. lünk

redutseerumine (99)
oksüdeerumine (95)
korrosioon (14)
elektrolüüs (6)
liitmine (2)
loovutamine (1)
katood (1)

7. lünk

liidavad (104)
loovutavad (115)
redutseerivad (3)
oksüdeerivad (1)
anood (1)

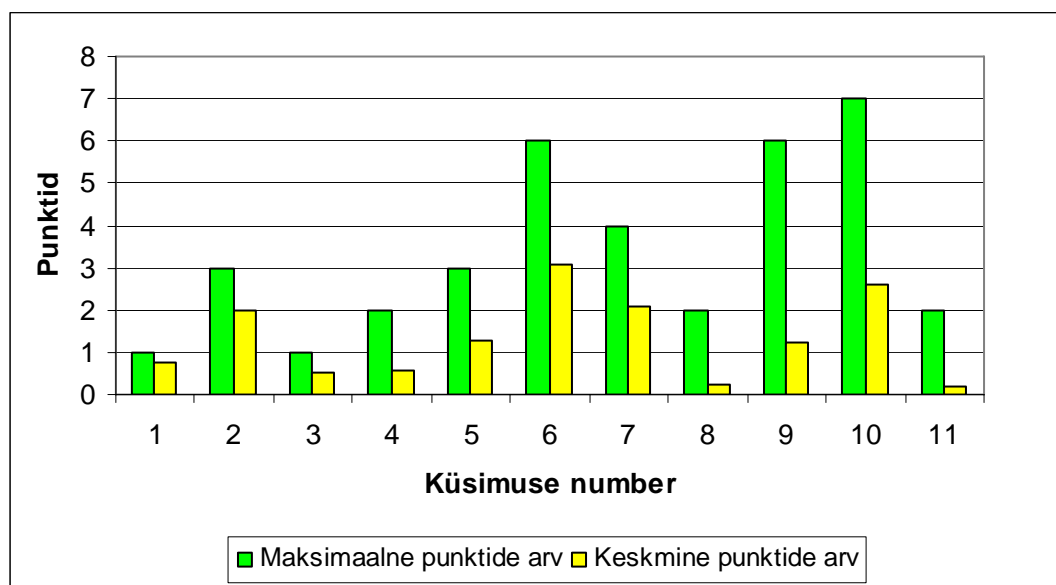
Toetudes ülalkirjeldatule selgub, et üle poolte vastajatest mõistis, et joonisel on kujutatud sulatatud naatriumkloriidi elektrolüüsi. Tundub, et ülejäänud õpilased ei süvenenud üldse joonisel kujutatusse ja kirjutasid lünka esimese ettejuhtuva sõna. Pooltel vastajatest aga esineb väärarusaam, et elektrolüüsi protsessi korral liiguvad katioonid anoodi ja anioonid katoodi suunas. Säärased õpilaste vastused näitavad selgesti, et nad ei püüdnud või ei osanud kasutada joonisel olevat informatsiooni. Joonisel on selgelt kujutatud katioonide liikumine katoodi ja anioonide liikumine anoodi suunas. Võib-olla peitub aga probleem hoopis selles, et õpilased ei teadnud või on unustanud, mis on kation ning mis on anioon. Samuti on õpilaste seas levinud väärarusaam, et katoodil toimub oksüdeerumine ja anoodil redutseerumine. Selgub, et elektrolüüsi protsessi põhimõtte jääb uuringus osalenud õpilaste jaoks arusaamatuks.

11. Milles seisneb redoksreaktsioonide praktiline tähtsus. Too vähemalt kaks näidet.

Antud ülesanne osutus äärmiselt raskeks. Ülesande keskmine lahendatus oli 10%. Maksimumpunktid sai 7% ja miinimumpunktid lausa 87% vastajatest. Tulemus tõestab, et õpilased ei suuda keemiatunnis õpitud siduda tavaelu teadmiste ja kogemustega.

Testi analüüsist selgub, et gümnaasiumiõpilastel esineb probleeme redoksreaktsioonide mõistmisel. Samuti jääb enamikule õpilastest arusaamatuks korrosiooni, keemilise vooluallika ja elektrolüüsi protsessi põhimõte.

Jooniselt 7 on näha, et kuue testiküsimuse (4, 5, 8-11 küsimus) eest kogusid õpilased vähem kui pooled punktid. Nende suhteliselt halvasti vastatud küsimuste hulka kuulusid ka kõik elektrokeemiat puudutavad küsimused.



Joonis 7. Punktide jaotus esimeses põhitestis

Pooled punktid said õpilased kolmanda ning kuuenda ja seitsmenda küsimuse eest. Veidi paremini vastati aga testi esimesele ja teisele küsimusele, mis eeldasid õpilaselt redoksreaktsioonidega seotud põhimõistete tundmist. Nimelt koguti antud küsimuste eest rohkem kui pooled punktid. On ilmne, et redoksreaktsioonide mõistmine ei saa piirduda üksnes põhimõistete tundmisega. Vaja on ka oskust oma teadmisi erinevate ülesannete lahendamisel rakendada.

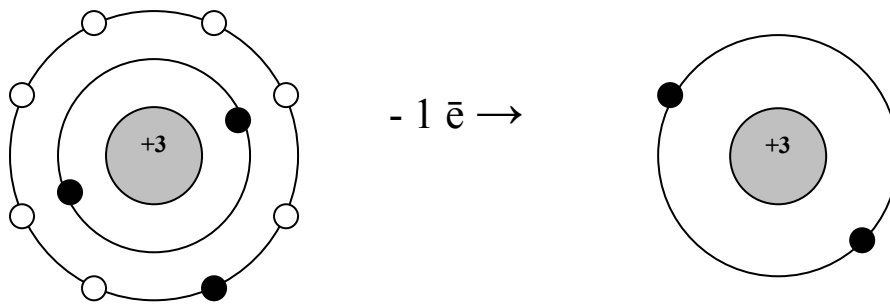
3.2. Teise põhitesti tulemuste analüüs küsimuste kaupa

Teise põhitesti tulemused on toodud lisa 6. Koos testiküsimuste analüüsiga antakse allpool ülevaade ka intervjuu tulemustest.

Testi esimest ja teist küsimust analüüsitakse koos.

Esimese ja teise testiküsimuse esitamise eesmärgiks oli välja selgitada, kas õpilased teevad jooniste abil vahet mõistetel redutseerija ja oksüdeerija.

1. Tõmba sulgudes olevale õigele sõnale joon alla.

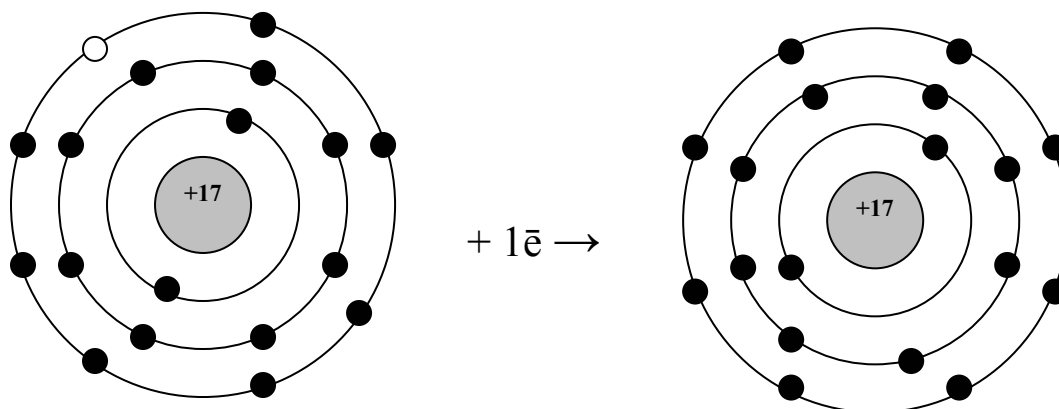


Antud näite korral käitub keemilise elemendi aatom (oksüdeerijana, redutseerijana).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

.....

2. Toimi sarnaselt eelmisele ülesandele.

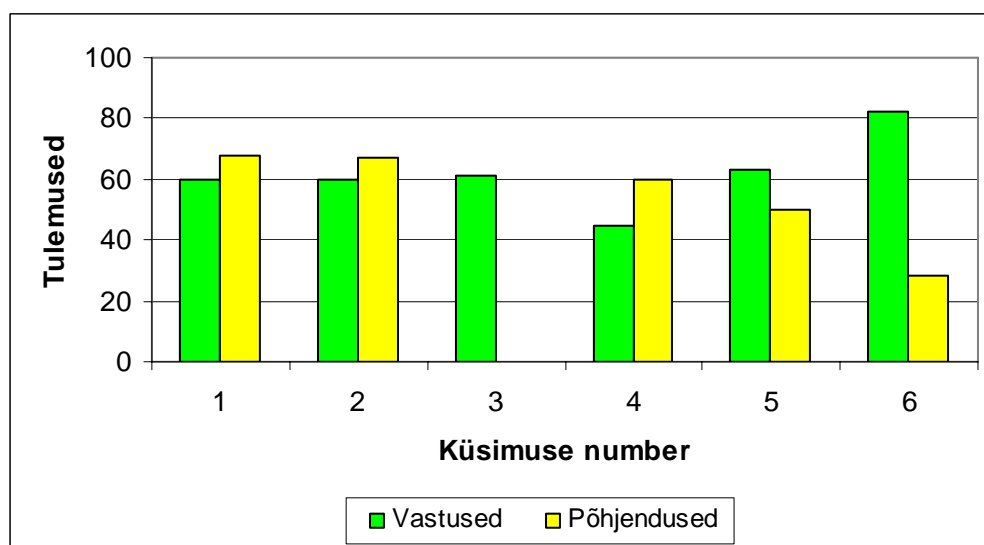


Käesolevas näites käitub keemilise elemendi aatom (oksüdeerijana, redutseerijana).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

.....

60% vastajatest teadis (vaata joonis 8), et esimesel juhul käitub keemilise elemendi aatom redutseerijana ning teisel juhul oksüdeerijana.



Joonis 8. Teise põhitesti tulemused

Ülejäänud õpilasi ei abistanud vastamisel joonised ja isegi testi juhendisse lisatud vihje: metallid on ühed tüüpilisemad redutseerijad ning hapnik ja halogeenid levinumad oksüdeerijad. Siit võib järeldada, et õpilased ei osanud seostada joonisel olevat ja pakutavat informatsiooni. Lugeses näiteks teise küsimuse jooniselt aatomi tuumalaengu (+17), saanuks perioodilisustabeli abil hõlpsasti kindlaks teha, et tegemist on halogeeniga ja seega oksüdeerijaga.

Enamik intervjuueeritavatest tunnistas, et mõisted oksüdeerija ja redutseerija kipuvad alati sassi minema. „Lihtsalt ei mäleta, kumba pidi see asi käib – kumb liidab, kumb loovutab elektrone,” nii kõlas õpilaste tüüpiline kommentaar. Hea meel on tõdeda, et vähemalt üks intervjuueeritavatest kasutas tugisõnu mõistete redutseerija ja oksüdeerija meelespidamiseks. Ta vastas: „Ma algul kahtlesin kaua, kumb, kas oksüdeerija või redutseerija loovutab elektrone. Siis mulle meenus, et õpetaja on meile õpetanud, et redutseerija on nagu reetur, ta

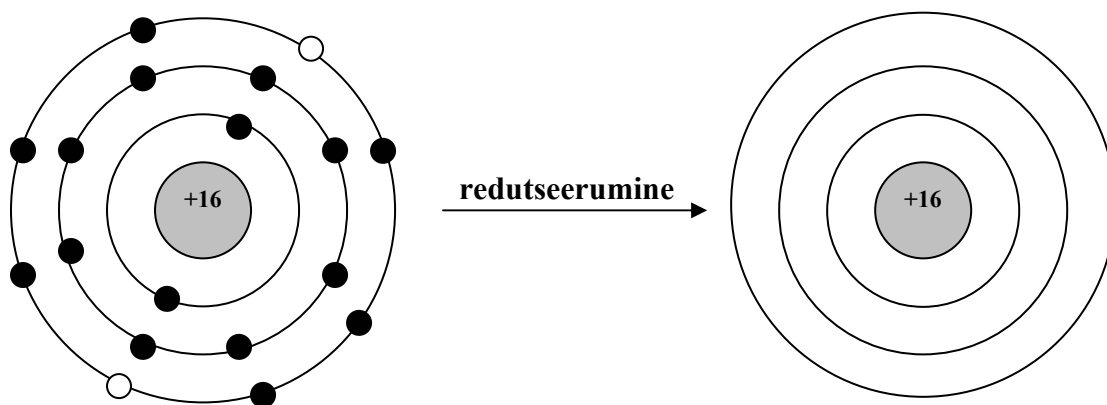
annab oma elektronid ära. Oksüdeerija on kui omastaja, ta liidab elektrone.” Nagu käesolevast näitest selgub, aitavad tugisõnad mõisteid meeles pidada ja neid ka omavahel eristada.

Oma valikut oskas vastavalt 68 ja 67% õpilastest õigesti põhjendada. Kuid siiski, paljud vastajad ei pööranud põhjendamiselgi joonistele tähelepanu. Mitmel korral põhjendati näiteks esimest valikut järgmiselt: *keemilise elemendi aatom liidab elektroni*. Ometi on joonisel selgelt näha, et loovutatakse üks elektron. Selgus, et veel gümnaasiumiski on õpilastel raskusi keemiaalase terminoloogiaga. Eelkõige omistati mõistetele aatom, elektron ja molekul ekvivalentne tähendus. Näiteks, *viimasest elektronkihist loovutab aatom ühe molekuli* või siis *aatomeid tuleb protsessi käigus juurde*.

Lisaks huvitas käesoleva töö autorit, kas õpilased oskavad tuua näiteid levinumate oksüdeerijate ja redutseerijate kohta. Ainult üks intervjuueeritavatest teadis, et redutseerijaks võib olla vesinik ning oksüdeerijaks hapnik. Samuti oskas see õpilane oma näiteid õigesti põhjendada. Ülejäänud intervjuueeritavate jaoks osutus see küsimus äärmiselt raskeks. Nad ei osanud nimetada ühtegi oksüdeerijat või redutseerijat. Niisugune tulemus on mõneti üllatav, kuna eelneva vestluse käigus sai vahetult meelde tuletatud, et redutseerijatel peab välises elektronkihis olema vähe elektrone ja oksüdeerijatel palju elektrone. Ilmnes, et sellele küsimusele vastamisel ei olnud õpilastele abiks ka perioodilisustabel. Näiteks suur osa intervjuueeritavatest ei teadnud (või ajas segamini), mille järgi saab perioodilisustabelist vaadata, mitu elektroni on ühe või teise elemendi aatomi välisel elektronkihil. „*See on nii ammu õpitud teema. Kes seda enam mäletab, kas rühma või perioodi number näitab väliskihi elektronide arvu,*” arvas üks intervjuueeritavatest. On iseenesest mõistetav, et kui õpilane ei oska teha järeldusi perioodilisustabeli abil, siis on raske ka redoksreaktsioonidest aru saada.

Testi kolmanda küsimusega kontrolliti, kas õpilased saavad aru redutseerumisprotsessist.

3. Järgmises näites väävli aatom redutseerub. Joonista tekkinud iooni planetaarne mudel.



61% õpilastest (vaata ülalolevat joonist 8) mõistis, et redutseerudes liidab väävli aatom kaks elektroni. Olgu täpsustuseks lisatud, et õigeks loeti ka nende õpilaste vastused, kes märkisid, et redutseerudes väävli aatom liidab ühe elektroni. Taaskord võib tõdeda, et õpilased ei pööranud joonisele piisavalt tähelepanu. Juba kaheksanda klassi keemiakursusest peaks olema teada, et aatomid, mille väliskihil on 4-7 elektroni, tavaliselt liidavad keemilistes reaktsioonides elektrone.

Ka suurem osa intervjueeritavatest väitis, et nad ei osanud antud joonist vastamisel ära kasutada. Alles siis, kui intervjueeritavate tähelepanu sai juhitud sellele, et väävli aatomi väliskihil on puudu kaks elektroni, mõistsid nad, et keemilises reaktsioonis väävli aatom seob elektrone. Sellest võib omakorda teha järelduse, et õpilased ei ole harjunud jooniselt informatsiooni välja lugema. Lisaks selgus intervjuudest, et üheteistkümnest õpilasest seitse sidus omavahel mõisted oksüdeerija ja oksüdeerumine ning redutseerija ja redutseerumine. Näiteks kui õpilane arvas, et oksüdeerija liidab elektrone, siis kaldus ta uskuma, et oksüdeerumine ongi elektronide liitmine. Niisugused õpilaste eksimused on mõneti mõistetavad, kuna redoksreaktsioonidega seotud põhimõisted on lingvistiliselt omavahel väga sarnased ja võivad seetõttu kergesti segamini minna.

Testi neljanda küsimuse esitamise eesmärgiks oli teada saada, kas õpilased oskavad määrata redutseerumisprotsessis tekkinud iooni laengut.

4. Missugune on ülesandes kolm tekkinud iooni laeng?

.....

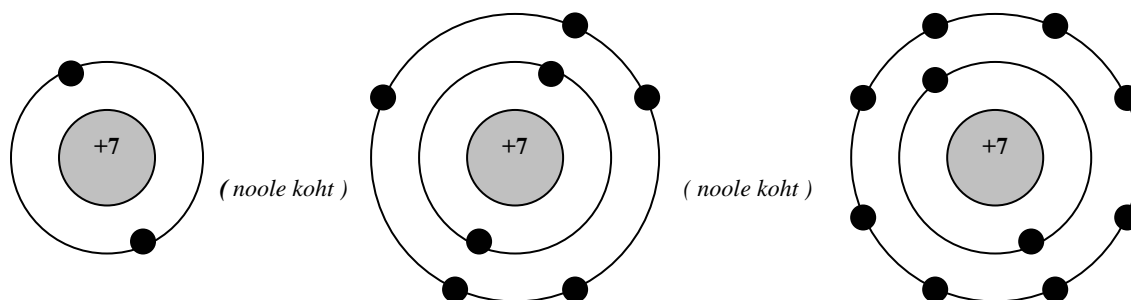
Põhjenda, miks tekkis selline laeng?

.....

Suuri probleeme (kõigest 45% õigeid vastuseid) tekitas iooni laengu määramine. Enamik valesti vastanutest kirjutas, et tekib positiivse laenguga ion. Üllatas, et paljude õpilaste arvates võib väävli iooni laeng olla +17. Mitmel korral pakuti vastuseks ka +18. Siinkohal olgu näiteks ühe intervjueeritava selgitus, mil viisil ta sai väävli iooni laenguks +18. Nimelt liitis ta väävli aatomi tuumas olevale 16 prootonile juurde kaks elektroni ($16p + 2e \rightarrow +18$) ning uskus, et saadud vastus ongi väävli iooni laenguks. Kõigest kaks intervjueeritavat teadsid, et elektrone liites peab iooni laeng kahanema. Üheksa intervjueeritava arvates aga elektrone liites iooni laeng kasvab. Selline arusaam võib tuleneda eeskätt sellest, et õpilased ei tea, et elektronid on negatiivse laenguga osakesed. Näiteks üheteistkümnest intervjueeritavast üheksa arvas, et elektronid on positiivse laenguga osakesed.

Testi viienda küsimusega püüti välja selgitada, kas õpilased saavad aru oksüdeerumisprotsessist.

5. Näita joonisel noolekestega, missuguses suunas toimub osakeste oksüdeerumine.



Põhjenda oma vastust, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

.....

Oksüdeerumise suuna (paremalt vasakule) märkis õigesti 63% testitustest. Näib, et isegi need vastajad, kes teadsid õiget oksüdeerumise suunda ei süvenenud piisavalt põhjalikult joonisel kujutatasse, mida tõestab ilmekalt madal õigete põhjenduste protsent (vaata joonis 8). Mitmed valesti vastajatest kirjutasid, et oksüdeerudes osakesed liidavad elektrone. Ka selle küsimuse vastuste puhul tuli esile, et õpilastel on probleeme keemia terminoloogiaga. Paljudel juhtudel põhjendasid õpilased oma vastust järgmiselt: *oksüdeerudes osakesed loovutavad ioone/molekule, protsessi käigus aatomite arv väheneb.*

Kuuenda küsimuse esitamise eesmärgiks oli teada saada, kas õpilased tulevad toime elementide aatomite oksüdatsiooniastmete määramisega ning kas nad oskavad oksüdatsiooniastmete muutuse järgi ära tunda oksüdeerija ja redutseerija.

6. Lõpeta järgmine reaktsioonivõrrand. Määra reaktsioonist osavõtvate elementide oksüdatsiooniaste ning otsusta, milline element on oksüdeerijaks, milline aga redutseerijaks.



Oksüdeerijaks on, sest ta elektrone.

Redutseerijaks on, sest ta elektrone.

Etteantud reaktsioonivõrrandi lõpetas õigesti 82% õpilastest. Niisugune tulemus on ootuspärane ja näitab, et sümbolitega opereerimine ei ole õpilastele probleemiks. Samas teadis vaid 28% õpilastest, et oksüdeerijaks on väävel ja redutseerijaks vesinik. Kehva tulemuse põhjus peitub esiteks selles, et õpilased ei teadnud, et lihtaines on oksüdatsiooniaste alati null. Näiteks sageli arvati, et väävli kui lihtaine oksüdatsiooniaste on -II. Teiseks – paljud testitud määrasid küll õigesti elementide oksüdatsiooniastme nii reaktsiooni lähteainetes kui ka saaduses (divesiniksulfiidis), aga ei osanud seostada elementide oksüdatsiooniastmete muutust reaktsiooni käigus vastava aine käitumisega oksüdeerijana või redutseerijana.

Intervjuude käigus püüti välja selgitada, kas õpilased oskavad tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta. Justkui kokkulepitult vastas üheteistkümnest intervjuueeritavast üheksa, et nad ei oska tuua ühtegi näidet. Üks õpilane pakkus, et redoksreaktsioone võiks vaja minna metallurgias, kuid päris kindel ta oma vastuses ei olnud. Teise õpilase arvates kasutatakse redoksreaktsioone meditsiinis ravimite valmistamisel. Peale selle märkis antud õpilane, et redoksreaktsioone läheb kindlasti vaja igal keemiaõpetajal. Niisugused õpilaste kehvad teadmised võivad tuleneda sellest, et keemiatunnis ei pöörata piisavalt palju tähelepanu keemiateadmiste sidumisele igapäevaeluga.

Toetudes eespool kirjeldatule, võib oletada, et õpilased ei saa redoksreaktsioonidest aru seetõttu, et neil esinevad „lüngad” baasteadmistes. Näiteks ei osata kasutada perioodilisustabelit, ei tunta aatomi ehituse põhitõdesid, ei saada aru, kuidas muutub elemendi aatomi laeng elektronide liitmisel ja loovutamisel. Samuti esinevad probleemid elementide aatomite oksüdatsiooniastmete määramisel. Lisaks puudub paljudel õpilastel jooniselt info lugemise oskus ning esineb teatav ebakindlus seoses keemialase terminoloogia ja redoksreaktsioonidega seotud põhimõistete tundmise osas.

3.3. Teadmiseruumi teooria rakendus

Teise põhitesti tulemuste analüüsil rakendati teadmiseruumi teooriat, et teada saada, missugune näeb välja õpilaste teadmiste struktuur (sh kriitiline õpperada). Selleks töödeldi õpilaste testi vastuseid Kalifornias vastava programmi abil. Kahjuks ei võimaldanud programm testi vastuste põhjal koostada õpilaste teadmiste struktuuri. Oletatavasti peitub põhjus selles, et käesolevas töös koostatud test ei olnud teadmiseruumi teooria rakendamise jaoks piisavalt hierarhilise ülesehitusega. Seevastu võimaldas aga programm testi põhjenduste põhjal koostada õpilaste teadmiste struktuuri.

Andmete analüüsi käigus leiti, et 179 testitut on kokku 20 teadmisseisundis, millest optimeerimise käigus leiti 9 tõenäolisemat seisundit. Teadmisseisundid, nende esinemise tõenäosus ja rada on toodud tabelis 11.

Tabel 11

Õpilaste teadmisseisundid

Tõenäosus	Rada	Teadmisseisundid
30	000000	[Ø]
15	000100	[4]
6	010000	[2]
5	100000	[1]
20	110000	[1, 2]
30	110100	[1, 2, 4]
44	110110	[1, 2, 4, 5]
26	110111	[1, 2, 4, 5, 6]
3	111111	[Q]

Nende üheksa teadmisseisundi põhjal koostati õpilaste kriitiline õpperada, mis on kujutatud joonisel 9 (õpilaste kriitiline õpperada on esile toodud kaldkirjas oleva trükiga). Joonisel 9 on võrdluseks välja toodud ka eksperdi kriitiline õpperada. Meeldetuletuseks olgu märgitud, et testi kolmandat küsimust ei olnud vaja põhjendada. Seetõttu ei kajastu antud küsimuse number kriitilistes õpperadades.

1. [Ø] – [1] – [1, 2] – [1, 2, 4] – [1, 2, 4, 5] – [1, 2, 4, 5, 6] – Q

2. [Ø]₃₀ $\left\{ \begin{array}{l} [4]_{15} \\ [2]_6 - [1, 2]_{20} - [1, 2, 4]_{30} - [1, 2, 4, 5]_{43} - [1, 2, 4, 5, 6]_{26} - [Q]_3 \\ [1]_5 \end{array} \right.$

Joonis 9 . Eksperdi (1) ja õpilaste (2) kriitiline õpperada (testi põhjenduste põhjal)

Joonisel 9 kujutatud õpperadade võrdlusest on näha, et õpilaste kriitiline õpperada sarnaneb suures osas eksperdi õpperajaga. Väike kõrvalekalle kahe õpperaja vahel tekib teise küsimuse osas. See näitab, et kõige kergem oli õpilastel põhjendada testi teist küsimust. Raskeimaks osutus viimase testiküsimuse põhjendamine. Seega tuginedes teadmisruumi teooriale tuleks redoksreaktsioonide teema õpetamise (või ka kordamise) käigus senisest enam tähelepanu pöörata elementide aatomite oksüdatsiooniastmete määramisele ja reaktsioonivõrrandist redutseerija ja oksüdeerija leidmisele.

3.4. Õpilaste arvamusi testist

Teise põhitesti lõpus küsiti õpilastelt, milline testiküsimus tundus nende jaoks olevat kõige lihtsam, milline aga raskeim. Õpilaste arvates oli lihtsaim esimene küsimus, millele vastati ka suhteliselt hästi. Raskeimaks hindasid õpilased kuuenda küsimuse, mida tõesti oskas põhjendada kõigest 28% vastajatest (vaata eespool olevat joonist 8). Samuti võisid õpilased kirjutada kas mõni küsimus jäi neile arusaamatuks, millised on nende soovitud või märkused antud testi kohta.

Õpilaste arvamused olid niisugused:

- *Appi see oli põhikoolis.... Ei mäleta enam kumba pidi see asi käis – kumb loovutab, kumb võtab juurde.*
- *Raske on põhjendada. Küsimused on kõik ühe asja kohta, ajab segadusse. Kõige parem oli viimane küsimus, kuna ees oli konkreetne võrrand. Hea vaadata, mis toimub.*
- *Oksüdeerumine ja redutseerumine on sassis, mis on mu enda viga, ei mäleta lihtsalt.*
- *Põhimõtteliselt pole mul õrna aimugi, mis ma õieti tegin ja mis mitte, sest ma enam ei mäleta, mis oli oksüdeerija ja mis redutseerija. Nii, et kõik ülesanded olid rasked. Hea, et hinnet ei saa.*
- *Kui saaks korrata, oleks see päris lihtne test, kuid praegu ei tule paljud asjad enam meelde.*
- *Raske tundus ülesanne kolm, kuna pole ammu elektrone joonistanud elektronkihtidele ja kuna saab teha eksamit sellel aastal, siis võiksimegi selliseid asju harjutada. Need lähevad kiiresti meelest!*
- *Neljas ülesanne jäi arusaamatuks, kuna ei tea mille järgi vaadata tekkinud iooni laengut.*
- *Ülesanded läksid järjest raskemaks, esimesed kaks olid kergemad.*
- *Kogu see test oli raske. Sest mind keemia absoluutselt ei huvita ja kõik, jutul lõpp.*
- *Arusaamatuks ei jäänud küsimuste juures midagi, lihtsalt ma ise ei ole keemias just tugev. See juba on selline aine, mis minu väikesele ajule ei sobi, aga mis teha, õppida on vaja, et kool lõpetada.*
- *Kõik ülesanded olid pirnid!*
- *Kõige arusaadavam test, mida üldse täitnud olen.*

3.5. Järeldused uurimistööst ja soovitused

1. Selgus, et veidi üle 60% uurimuses osalenud gümnaasiumiõpilastest tunneb redoksreaktsioonide teema põhimõisteid. Niisugune tulemus ei ole iseenesest halb, kui arvestada asjaolu, et kindlasti kõik õpilased ei seo oma tulevikku keemiaõpingutega. Samas näitas uurimus, et õpilased ei oska oma teadmisi rakendada. Näiteks vähem kui 45% vastajatest suutis eristada redoksreaktsioone nendest reaktsioonidest, milles ei esine elementide aatomite oksüdatsiooniastmete muutust. See näitab, et õpilased on mehhaaniliselt pähe õppinud mõistete definitsioonid, kuid nende sisust nad tegelikult aru ei saa. Uuring tõi teravalt esile ka vajaduse n-ö „tugipunktide” järele, kuidas redoksreaktsioonide teema põhimõisteid omavahel eristada ja seostada. Kuna õpetaja ülesandeks on aidata õpilasel ehitada sild tema arvamuse ja teadlaskonna poolt tunnustatud tõekspidamiste vahel [69], siis antakse mõned soovitused, kuidas aidata õpilasel mõisteid paremini pikaajalisse mällu talletada.

- Mõistete meeldejätmiseks võiks kasutada võtmesõnu. See meetod põhineb mõiste sidumisel mingi sõnaga assotsiatsiooni alusel [8]. Näiteks on paljude õpetajate ja õpilaste hulgas populaarne siduda mõiste **redutseerija** sõnaga „**reetur**”, mis loovutab oma elektronid. **Oksüdeerija** oleks sel juhul „**omastaja**” või „**okupeerija**”, mis seob elektrone. Siinkohal võib tuua ka mõned näited inglisekeelsetest akronüümidest, mida erialakirjanduses on mitmed autorid soovitanud [41, 70, 71]. Need akronüümid võiksid sobida ka Eesti õpilaste jaoks, kuna nende sõnade sisu mõistmiseks läheb tarvis minimaalseid teadmisi inglise keelest. Üheks akronüümiks on „**OIL RIG**”, mis moodustub järgmiste allajoonitud sõnade esitähtedest:

Oxidation is Loss of Electrons (OIL)

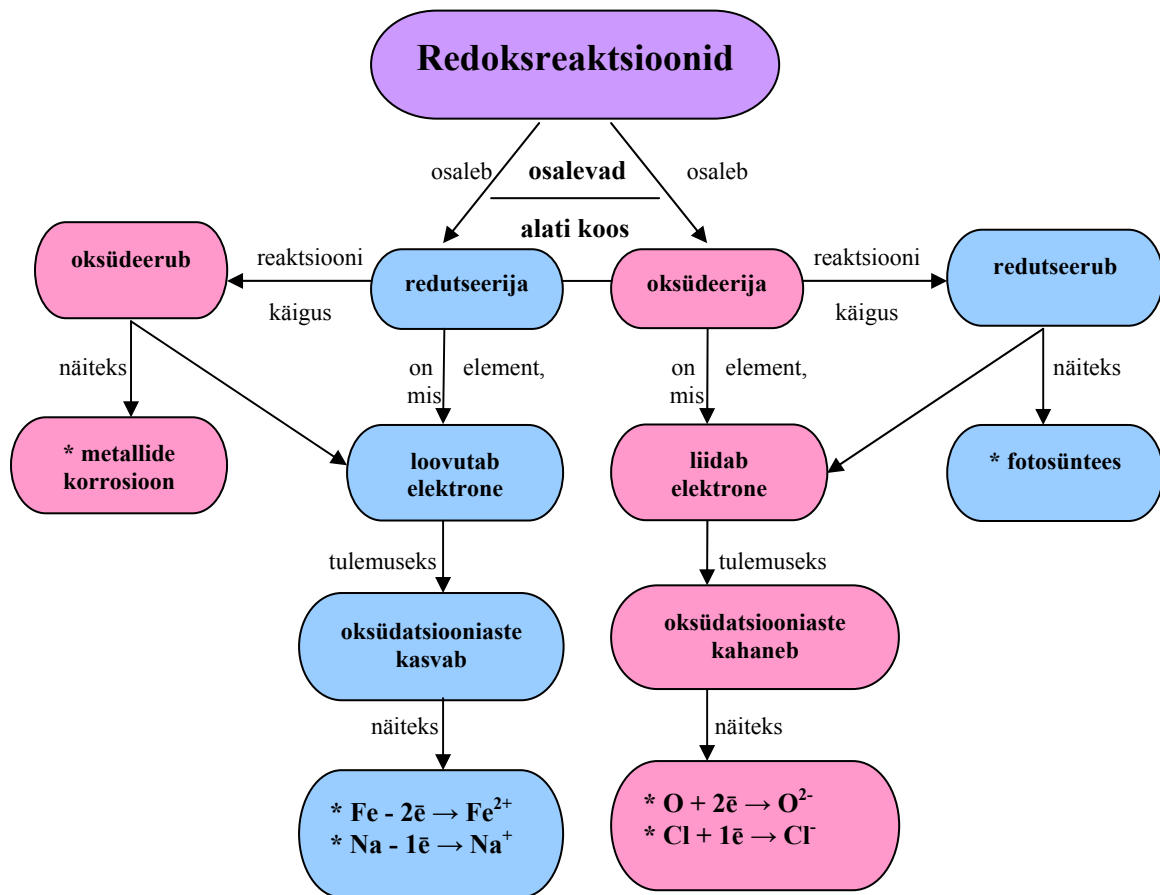
Reduction is Gain of Electrons (RIG)

Teine akronüüm, „**LEO the lion says GER**”, tuleneb aga niisuguste sõnade esitähtedest: **Loss of Electrons = Oxidation (LEO)**

Gain of Electrons = Reduction (GER)

- Keemiamõistete omandamisel on andnud häid tulemusi mõistekaarditehnika kasutamine [72]. Seda võiks julgesti proovida ka redoksreaktsioonide õppimisel. Mõistekaarditehnika on lihtne ja sobib igas vanuses olevatele õpilastele.

Muuhulgas õpetab tehnika mõisteid eristama ja neid ka omavahel seostama (vaata allpool olevat joonist 10). Lisaks valmib mõistekaardi koostamisel visuaalne kujutis, mis aitab mõisteid paremini meelde jätta [73].



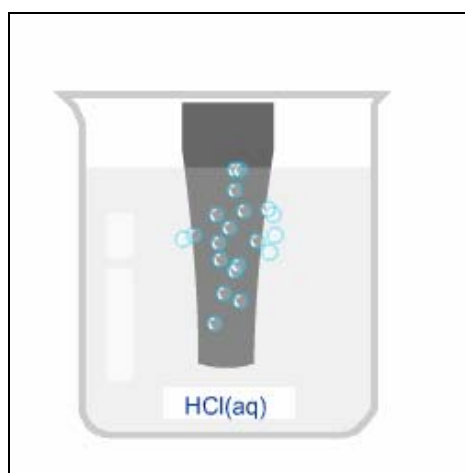
Joonis 10. Mõistekaart „Redoksreaktsioonid”

Käesoleva töö autor usub, et mida mitmekesisemaid seoseid mõistete õppimisel luuakse, seda kergem on neid hiljem uues olukorras rakendada.

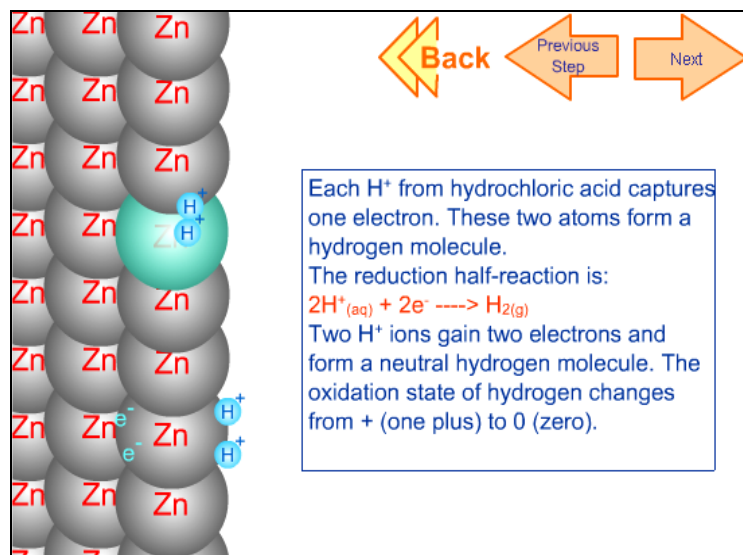
2. Alla poolte uurimuses osalenud õpilastest (28%) oskas tuua näiteid levinumate oksüdeerijate ja redutseerijate kohta. Siit võib omakorda järeldada, et õpilastele ei ole korralikult selged mõisted oksüdeerija ja redutseerija ning nad ei tea metallide ja mittemetallide aatomite ehituse iseärasusi. Ilmnes, et õpilased ei oska ka perioodilisustabelist välja lugeda, milline on ühe või teise elemendi aatomi ehitus. Seega peaks juba põhikooli keemiaõpingute käigus märksa enam tähelepanu pöörama aatomi ehituse iseärasuste tundma õppimisele ja perioodilisustabeli kasutamisele. Samuti tuleks metallide teema õpetamise

käigus veelgi rohkem rõhutada, et **metallid (aatomil väliskihil elektrone suhteliselt vähe)** käituvad keemilistes reaktsioonides alati **redutseerijatena**. Metallid annavad alati oma elektronid ära, on alati kaotajad (või reeturid). **Hapnik ja halogeenid (aatomil väliskihil elektrone suhteliselt palju)** käituvad aga keemilistes reaktsioonides eelkõige **oksüdeerijatena**. Viitab ju hapniku ladinakeelne nimetuski „oxygenium” sõnale oksüdeerija.

3. Nagu ilmnes didaktikaalasest kirjandusest [41], nii selgus ka käesolevast uurimusest, et õpilaste jaoks jääb arusaamatuks redoksreaktsioonide üks peamisi „võtmekohti”, see, kuidas elektronide liitmisel või loovutamisel muutub elementide aatomite oksüdatsiooniaste. Gümnaasiumiõpilaste seas on üldlevinud väärarusaam, et elektrone liites elementide aatomite oksüdatsiooniaste kasvab ja elektrone loovutades oksüdatsiooniaste kahaneb. Uurimistöö näitas, et niisugune väärarusaam võib olla tingitud asjaolust, et sageli ei arvesta õpilased sellega, et elektronid on negatiivse laenguga osakesed. Teiseks – taoline väärarusaam võib tuleneda ka sellest, et koolis õpetatakse keemiat peamiselt sümboltasandil ja ei pöörata piisavalt tähelepanu keemiliste protsesside kirjeldamisele mikrotasandil. Kuna redoksprotsessi sügavam mõistmine eeldab õpilaselt väga head ettekujutust mikromaailmast, tuleks keemiatunnis senisest enam kasutada ülesannete visualiseerimist. Selle probleemi lahendamiseks võiks appi võtta ka arvuti, mis aitab keerulisi asju piltlikumalt seletada ja võimaldab õpilasel õppeprotsessist osa saada otsese kogemuse tasandil [74]. Näiteks on Internetis pakutava simulatsiooni [75], abil võimalik redoksreaktsioone demonstreerida nii makro-, mikro- kui ka sümboltasandil (vaata jooniseid 11 ja 12).



Joonis 11. Tsingi reageerimine soolhappega – **makrotasand** [75]

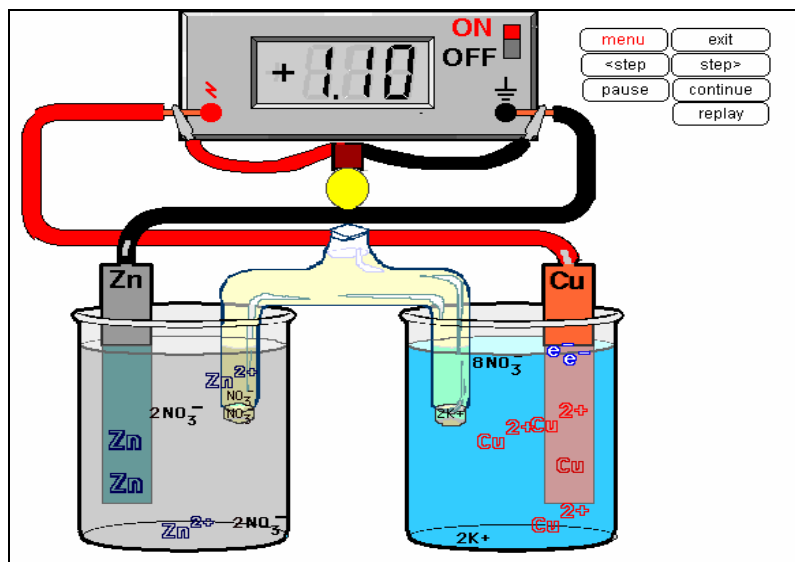


Joonis 12. Fragment tsingi reageerimisest soolhappega – mikro- ja sümboltasandil [75]

4. Tundub, et pidevat kordamist ja harjutamist vajaksid ka järgmised kiiresti ununema kipuvad baasteadmised: elementide oksüdatsiooniastmete määramine, elektronvõrrandite koostamine, reaktsioonivõrrandist redutseerija ja oksüdeerija leidmine. Nende baasteadmiste kordamiseks sobib Lasnamäe Üldgümnaasiumi õpetaja koostatud redoksreaktsioonide slaidiprogramm [76]. Selles slaidiprogrammis selgitatakse kõigepealt redoksreaktsioonide toimumise põhimõtet. Seejärel esitatakse üks reaktsioonivõrrand, kus õpilasel tuleb määrata kõikide elementide aatomite oksüdatsiooniaste. Juhul kui õpilane määrab mõne elemendi aatomi oksüdatsiooniastme valesti, annab arvuti sellest kohe teada ja õpilasel on võimalik oma viga parandada. Kui õpilane on edukalt lõpetanud oksüdatsiooniastmete määramise, tuleb tal koostada elektronvõrrandid ning leida oksüdeerija ja redutseerija. Kui ka selles etapis õpilane midagi valesti teeb, on tal võimalik oma eksimused parandada. Viimase sammuna tuleb õpilasel reaktsioonivõrrand tasakaalustada. Kokku on selles slaidiprogrammis neli reaktsioonivõrrandit. Redoksreaktsioonide slaidiprogrammi suurimaks plussiks võibki ennekõike pidada seda, et see võimaldab õpilasel saada kohest tagasisidet selgeksõpitu ja puuduste vahel.

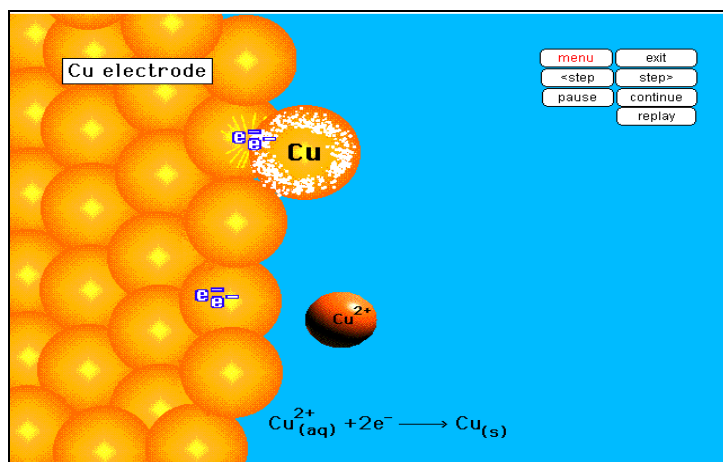
Gümnaasiumiõpilastele sobib redoksreaktsioonide õppimiseks või ka kordamiseks multimeedia tarkvarapakett „Keemia õppetükid” [77]. See tarkvarapakett sisaldab hulgaliselt katseid ja informatsiooni redoksreaktsioonidest. Lisaks on „Keemia õppetükid” varustatud töölehtedega, mida paljud keemiaõpetajad on omaltpoolt täiendanud. Need töölehed on ka kõik Internetis saadaval [78].

5. Vähem kui pooled uurimuses osalenud gümnaasiumiõpilastest said aru nii vask-tsinkelemendi kui ka elektrolüüsi põhimõttest. See näitab, et õpilastel on raske ettekujutada protsesse mikrotasandil. Siinkohal soovitatakse järjekordselt appi võtta arvuti, mis võimaldab visualiseerida mikromaailmas toimuvat. Näiteks on Internetis saadaval Ameerika teadlaste T. J. Greenbowe jt poolt koostatud vask-tsinkelemendi animatsioon (vaata joonis 13) [79].



Joonis13. Fragment vask-tsinkelemendi animatsioonist [79]

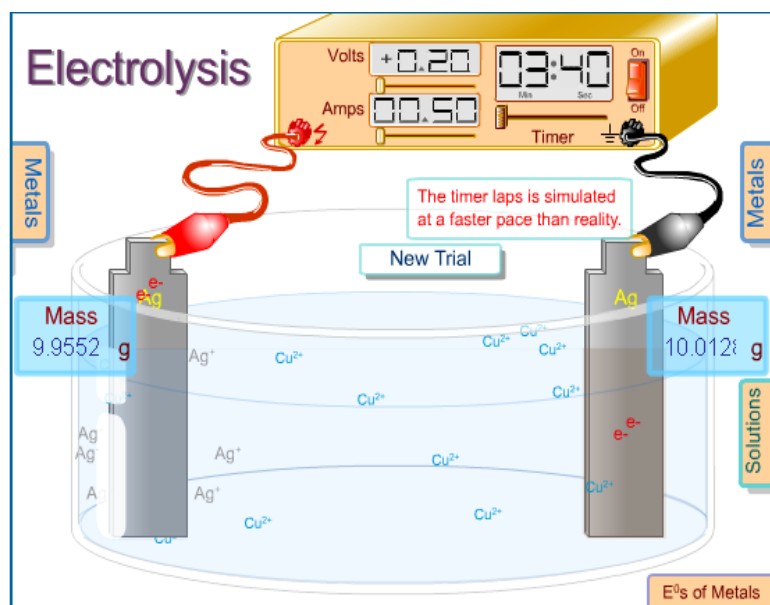
Vask-tsinkelemendi animatsiooni abil on võimalik jälgida elektronide liikumise suunda välises vooluahelas ja ionide liikumist soolasillas. Samuti saab selle animatsiooni abil demonstreerida elektroodidel toimuvaid oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioone (vaata joonis 14) ning ühtlasi näidata, et vaskelektroodi mass reaktsiooni käigus suureneb ja tsinkelektroodi mass väheneb [80].



Joonis 14. Fragment katoodil toimuvast redutseerumisreaktsioonist – mikro- ja sümboltasandil [79]

Vask-tsinkelemendi animatsiooni kasutati Ameerikas õppetöös ja leiti, et see aitab vähendada õpilastel esinenud väärarusaamu [50].

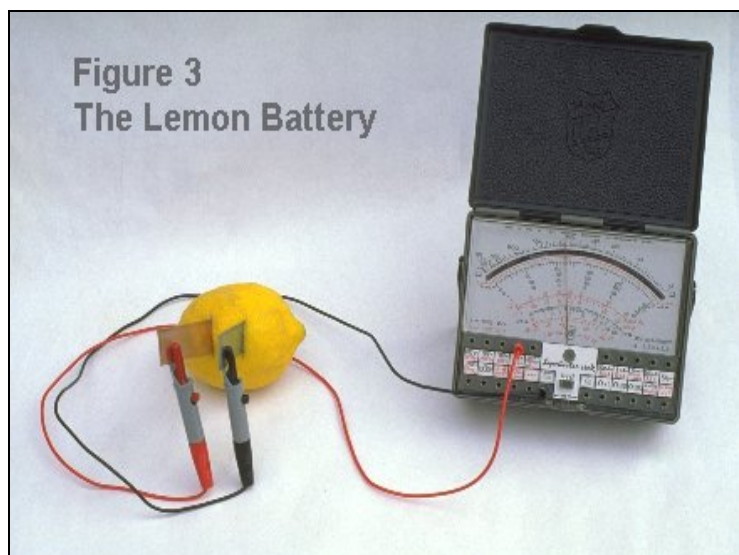
Ka elektrolüüsi protsessi illustreerimiseks võiks kasutada Internetis olevat simulatsiooni (vaata joonis 15) [81]. Selle simulatsiooni abil on võimalik jälgida nii elektroodidel toimuvaid protsesse kui ka ionide liikumist elektrolüüdilahuses.



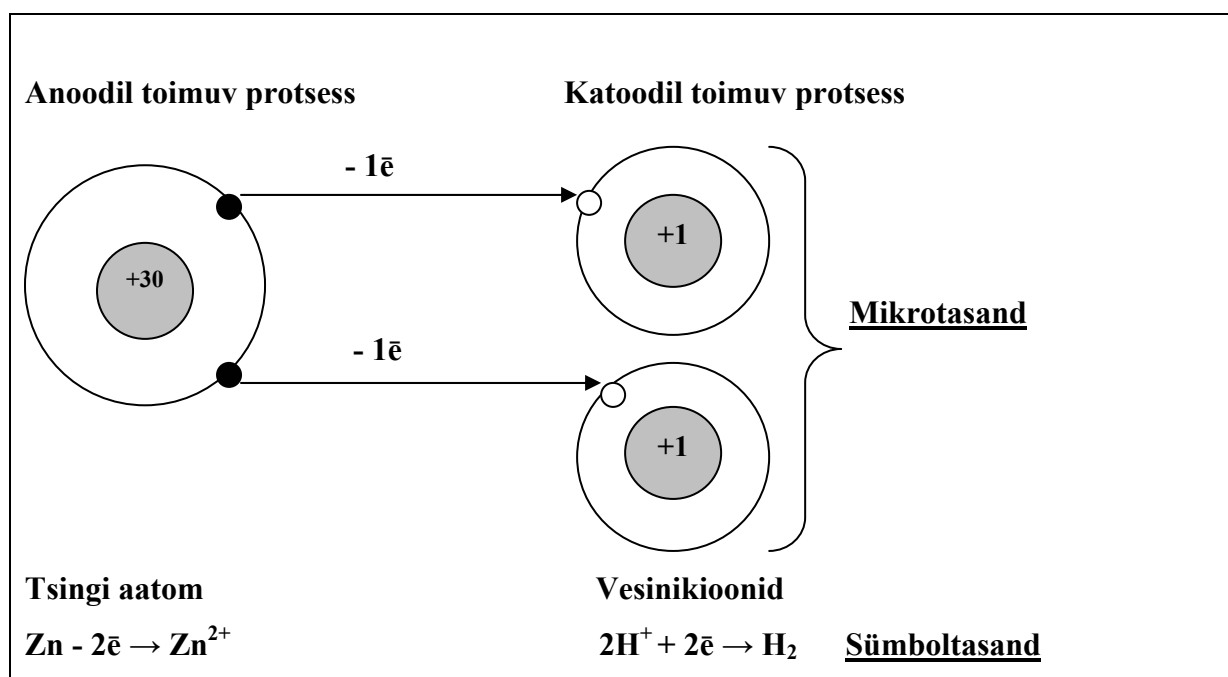
Joonis 15. Üks osa elektrolüüsi simulatsioonist [81]

Loomulikult tuleks õpetajal animatsiooni või simulatsiooni näitamise ajal selgitada, mis kuskil toimub ja miks toimub. Vastasel korral võivad õpilased näidatu juures tähele panna hoopis kõrvalisi asju ja omandada „valed” teadmised. Loodetavasti aitavad need dünaamilised mudelid ka Eesti õpilastel paremini ettekujutada, mõista ja meelde jätta keemilise vooluallika ja elektrolüüsi põhimõtet.

Kuna keemiaõpetuses on võrdselt tähtsad kolm info esitamise tasandit [42], tuleks keemiatunnis lisaks nendele dünaamilistele mudelitele demonstreerida ka mõnda „elusat” keemilist vooluallikat ja elektrolüüsi protsessi. Väga lihtsa keemilise vooluallika saab konstrueerida näiteks sidrunist, tsink- ja vaskplaadist (vaata joonis 16). Selle „sidrunipatarei” tööpõhimõtet on võimalik visualiseerida joonise 17 abil. Elektrolüüsi protsessi illustreerimiseks sobiks näiteks vasksulfaadi lahuse elektrolüüs.



Joonis 16. Keemiline vooluallikas (anoodiks tsinkplaat ja katoodiks vaskplaat) – **makrotasand** [82]



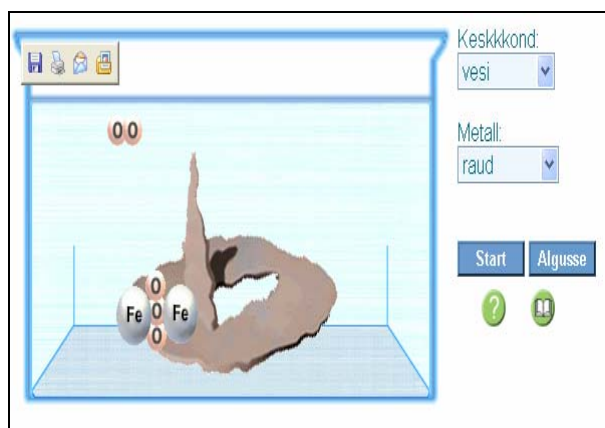
Joonis 17. „Sidrunipatarei” tööpõhimõtte – **mikro- ja sümboltasandil**
(Lihtsuse mõttes on joonisel kujutatud ainult tsingi aatomi väliskihi elektrone.)

Lisaks ülalnimetatule võiks nii keemilise vooluallika kui ka elektrolüüsi protsessi põhimõtte õpetamisel-õppimisel kasutada mnemotehnilisi võtteid. Näiteks katoodil ja anoodil toimuvate protsesside eristamiseks ja meeldejätmiseks võiks kasutada järgmist võtet: sõnad **katood** ja **redutseerumine** algavad mõlemad kaashäälikutega, kuid sõnad **anood** ja **oksüdeerumine**

aga täishäälikutega. Võib ka niimoodi seostada, et sõnade **anood** ja **oksüdeerumine** esitähed, **a** ja **o**, asuvad tähestikus eespool, kuid sõnade **katood** ja **reduitseerumine** esitähed, **k** ja **r**, paiknevad aga tähestikus tagapool. Mälutehnikat saab rakendada ka järgmisel juhul: kuna elektrolüüsi protsessi korral liiguvad elektrolüüdilahuses olevad **katioonid katoodi** suunas, siis võiks meelde jätta, et mõlemad sõnad algavad kaashäälikutega/sarnaste tähtedega. Samamoodi on võimalik siduda **anioonide** liikumine **anoodi** suunas. Mõistetega katood ja anood tuleks kindlasti koos korrata ka aniooni ja katiooni mõisteid, mis on õpilastele millegipärast raskesti mõistetavad [83].

6. Uurimistööst selgus, et väga vähesed õpilased (12%) teavad, mil viisil on võimalik metalle korrosiooni eest kaitsta. Kehva tulemuse põhjus näib suuresti peituvat selles, et õpilased ei osanud teha järeldusi metallide pingerea põhjal. Taolise probleemi ületamiseks võiks korrosioonitõrje võimaluste õpetamisel lasta õpilastel endil välja selgitada, millised tegurid soodustavad metallide korrosiooni, millised aga mitte. Ütleb ju Hiina vanasõnagi, et räägi mulle ja ma unustan, näita mulle ja ma ehk jätan meelde, kui ise teen saan kindlasti aru. Näiteks võiksid õpilased uurida, kuidas mõjutab happelises lahuses raua korrosiooni temaga kontaktis olev vähem aktiivsem metall (Cu) ja kuidas aktiivsem metall (Al). Kindlasti tuleks õpilastel lasta ka kirjeldada, milliseid muutusi nad katse käigus täheldasid, miks need muutused toimusid ja mis neist järeldub.

Metallide korrosiooni erinevates keskkondades (vees, õlis, niiskes/kuivas õhus) on võimalik jälgida ka ühe Internetis oleva mudeli abil [84]. Kuna see mudel kirjeldab metallide korrosiooni peamiselt sümboltasandil, tuleks õpetajal (või õpilastel) selgitada toimuvaid protsesse (vaata joonis 18).



Joonis 18. Raua korrosioon [84]

7. Vähem kui 20% õpilastest oskas tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta. Võib järeldada, et õpilased ei suuda keemiatunnis õpitud seostada argieluga. Selleks, et õpilased mõistaksid redoksreaktsioonide praktilist tähtsust, tuleks keemiatunnis õpitu tihedamini siduda tavaelu teadmiste ja kogemustega, kuna see muudab õpitava õpilase „omaks” – isiklikult mõtestatuks [16]. Näiteid redoksreaktsioonide esinemisest argielus peaks olema piisavalt. Samuti võiks redoksreaktsioonide õpetamisel tõmmata ühendavaid jooni õpilaste mitmesuguste teadmiste vahel. Näiteks bioloogias õpitud fotosünteesiprotsessi võiks keemiatunnis analüüsida kui redoksreaktsiooni. Juba J.- J. Rosseau leidis, et õppeainete integreerimisel omandab õpilane universaalse vaimu mitte oma teadmiste ulatuse poolest, küll aga võime poolest oma teadmisi alati kasutada [85].

Käesoleva töö autor pakub omaltpoolt välja harjutustiku (vaata lisa 7). Harjutustik sisaldab erineva raskusega ülesandeid nii redoksreaktsioonidest, keemilisest ja elektrokeemilisest korrosioonist, elektrolüüsist ning keemilisest vooluallikast. Harjutustiku koostamisel tugineti gümnaasiumi keemia ainekavas olevatele õpitulemustele ning koolis kasutatavatele keemia õppematerjalidele. Iga uus teema harjutustikus algab ülesannetega, mille lahendamine eeldab õpilaselt vastavalt B. S. Bloomi kognitiivsele taksonoomiale ennekõike teadmist ja mõistmist. Järgnevate ülesannete lahendamise käigus on õpilasel võimalik oma teadmisi rakendada.

Harjutustikku saab kasutada nii abimaterjalina tunni ettevalmistamisel kui ka iseseisvaks õppimiseks või kordamiseks. Iga ülesande lahendeid on võimalik kontrollida harjutustiku lõpus antud vastustest. Laiemale kasutajaskonnale on harjutustik tulevikus kättesaadaval Internetis.

Kokkuvõte

Loodusainete ülesanne koolis on välja kujundada õpilastel nüüdisaegne loodusteaduslik maailmapilt. Loodusaineid õppides hakkavad õpilased maailma nägema terviklikuna, kus toimuvad protsessid on põhjuslikud ja teaduslikult uuritavad ning seletatavad. Seda loodusteaduslikku maailmapilti on väga raske kujundada, kui me ei arvesta õpilastel olevate arusaamadega. Et nendega arvestada saaks, selleks peaks aga neist ja nende olemusest teadlik olema.

Käesolevas uurimistöös püüti välja selgitada, millised on gümnaasiumiõpilaste arusaamad redoksreaktsioonidest ja elektrokeemiast. Redoksreaktsioonide temaga puutuvad õpilased korduvalt kokku nii põhikooli kui ka gümnaasiumi keemiaõpingute käigus. Elektrokeemia probleemidega tegeletakse põhjalikumalt gümnaasiumis.

Antud uurimistöös tutvustati erinevaid lapse arengu käsitlusi ning vaadeldi, millised on noorukiea tunnetusprotsesside iseärasused. Seejärel esitati ülevaade õppimise olemusest ja väärarusaamadest. Eraldi peatuti õpilaste väärarusaamadest ja probleemidest seoses redoksreaktsioonide ja elektrokeemiaga. Töös toodi välja ka põhikooli ja gümnaasiumi riiklikus õppekavas esitatud nõuded redoksreaktsioonide ja elektrokeemia õpetamiseks gümnaasiumis. Täiendavalt analüüsiti, kuidas on redoksreaktsioone käsitletud põhikooli ja gümnaasiumi keemiaõpikutes.

Gümnaasiumiõpilaste arusaamade kontrollimiseks koostati ja viidi läbi 2005. aastal kaks testi. Kokku osales testides 461 tavaklassi õpilast seitsmest erinevast Eesti koolist. Uurimistöökäigus intervjueriti täiendavalt 11 õpilast.

Uurimuse tulemusena selgus:

- Veidi üle 60% gümnaasiumiõpilastest tunneb redoksreaktsioonide teema põhimõisteid: oksüdeerija, redutseerija, oksüdeerumine, redutseerumine, redoksreaktsioon. Mitmel korral näitas aga uurimus, et õpilased ei ole päris korralikult omandanud mõistete sisu ja jäid seetõttu hätta küsimustele vastamisel. Näiteks kõigest 50% õpilastest oskas selgitada redoksreaktsiooni põhimõtet.

Selgus, et paljudel õpilastel puuduvad ka n-ö „tugipunktid”, kuidas põhimõisteid omavahel eristada ja seostada. Mõistete talletamiseks pikaajalisse mällu soovitatakse kasutada näiteks võtmesõnu, akronüüme või mõistekaarditehnikat.

- Alla poolte õpilastest (28%) oskas tuua näiteid levinumate oksüdeerijate ja redutseerijate kohta. Suurimad eksimused, mis õpilaste tööst võib välja tuua on järgmised: oksüdeerijateks on metallid (nt Na, Al, Fe, Cu) ja redutseerijateks mittemetallid (nt Cl₂, F₂, O₂). Taolised väärvastused tõestavad, et õpilastele ei ole selged mõisted oksüdeerija ja redutseerija ning nad ei oska redutseerumise või oksüdeerumise võimet siduda aatomi ehitusega. Seetõttu tuleks metallide teema õpetamisel veelgi rohkem rõhutada, et metallid (aatomi väliskihil elektrone suhteliselt vähe) käituvad keemilistes reaktsioonides alati redutseerijatena. Hapnik ja halogeenid (aatomi väliskihil elektrone suhteliselt palju) käituvad aga keemilistes reaktsioonides eelkõige oksüdeerijatena.
- Enamikule õpilastest jäi arusaamatuks redoksreaktsioonide üks peamisi „võtmekohti”, see, kuidas elektronide liitmisel või loovutamisel muutub elementide aatomite oksüdatsiooniaste. Gümnaasiumiõpilaste seas on üldlevinud väärarusaam, et elektrone liites elementide aatomite oksüdatsiooniaste kasvab ja elektrone loovutades oksüdatsiooniaste kahaneb. Uurimistöö näitas, et see väärarusaam võib olla tingitud asjaolust, et sageli ei arvesta õpilased elektroni negatiivse laenguga. Teiseks – taoline väärarusaam võib tuleneda ka sellest, et koolis õpetatakse keemiat peamiselt sümboltasandil ja ei pöörata piisavalt tähelepanu keemiliste protsesside kirjeldamisele mikrotasandil. Kuna redoksprotsessi sügavam mõistmine eeldab õpilaselt väga head ettekujutust mikromaailmast, tuleks keemiatunnis senisest enam kasutada ülesannete visualiseerimist.
- Vähem kui pooled testituteist (43%) suutsid eristada redoksreaktsioone nendest reaktsioonidest, milles ei esine elementide aatomite oksüdatsiooniastmete muutust. Kehva tulemuse põhjus näib peituvat selles, et õpilased ei oska määrata elementide aatomite oksüdatsiooniastet. Sageli arvavad õpilased, et aatomi oksüdatsiooniaste lihtaines, võrdub selle elemendi aatomi oksüdatsiooniastmega ühendis. Taolise probleemi ületamiseks peaks juba põhikooli keemiaõpingute

käigus märksa rohkem harjutama elementide aatomite oksüdatsiooniastmete määramist.

- Alla 20% vastajatest oskas tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta. Tulemus tõestab, et õpilased ei suuda tunnis õpitut seostada igapäevaeluga. Selleks, et õpilased mõistaksid redoksreaktsioonide praktilist tähtsust, tuleks keemiatunnis õpitu tihedamini siduda tavaelu teadmiste ja kogemustega, sest see muudab õpitava õpilase „omaks” – isiklikult mõtestatuks.
- Vähem kui pooled uurimuses osalenud õpilastest said aru vask-tsinkelemendi ja elektrolüüsi põhimõttest. See näitab, et õpilastel on äärmiselt raske ettekujutada protsesse mikrotasandil. Väärarusaamad, mis õpilastel esinesid seoses vask-tsinkelemendiga on järgmised: tsinkelektrood on katoodiks ja vaskelektrood anoodiks; välises vooluahelas liiguvad elektronid vaskelektroodilt tsinkelektroodi suunas; tsinkelektroodi mass suureneb, sest tsink liidab elektrone ja vaskelektroodi mass väheneb, sest vask loovutab elektrone. Ka seoses elektrolüüsiga täheldati õpilastel väärarusaamu. Näiteks usuvad õpilased, et elektrolüüsi protsessi korral liiguvad katioonid anoodi ja anioonid katoodi suunas. Samuti on õpilaste seas levinud väärarusaam, et katoodil toimub oksüdeerumine ja anoodil redutseerumine. Vask-tsinkelemendi ja elektrolüüsi põhimõtet on võimalik visualiseerida Internetis pakutavate dünaamiliste mudelite abil.
- Vähem kui 20% õpilastest mõistis, mil viisil on võimalik metalle korrosiooni eest kaitsta. Kehva tulemuse põhjus võib peituda selles, et õpilased ei ole korralikult arusaanud korrosiooni põhimõttest ja nad ei oska teha järeldusi metallide pingerea põhjal. Taolise probleemi ületamiseks võiks praktiliste tööde abil lasta õpilastel endil välja selgitada, millised tegurid soodustavad metallide korrosiooni, millised aga mitte.

Võib tõdeda, et uurimuses osalenud gümnaasiumiõpilastel esineb probleeme nii redoksreaktsioonide kui ka elektrokeemia mõistmisel. Selleks, et neist probleemidest jagu saada, tuleks keemiatunnis võrdselt tähelepanu pöörata nii sümbol-, makro- kui ka mikrotasandile. Samuti vajaksid pidevat kordamist ja harjutamist nii mõnedki kiiresti

ununema kipuvad baasteadmised: metallide ja mittemetallide aatomite ehituse iseärasused, perioodilisustabeli kasutamine, aatomitest ioonide tekkimine, oksüdatsiooniastmete määramine, elektronvõrrandite koostamine.

Käesoleva töö autoril valmis ka harjutustik, mis sisaldab erineva raskusega ülesandeid nii redoksreaktsioonidest, keemilisest ja elektrokeemilisest korrosioonist, elektrolüüsist ning keemilisest vooluallikast. Harjutustikku saab kasutada nii abimaterjalina tunni ettevalmistamisel kui ka iseseisvaks õppimiseks või kordamiseks. Iga ülesande lahendeid on võimalik kontrollida harjutustiku lõpus antud vastustest. Laiemale kasutajaskonnale on harjutustik tulevikus kättesaadaval Internetis.

Töö autor tänab juhendajat pr. Erika Jüriadot, kelle nõuanded ja soovitused on magistritöö koostamisel olnud pidevaks toeks ja abiks. Samuti on autor tänulik pr. Mare Taageperale, kelle abil sai Kalifornias analüüsitud õpilaste testi vastused. Eriti tahaks aga tänada alljärgnevate koolide õpilasi ja nende õpetajaid, kes võtsid vaevaks testile vastata:

Iisaku Gümnaasium (õp. Katrin Koit)

Luunja Keskkool (õp. Ülle Tõnutare)

Kiviõli I Keskkool (õp. Eike Saarest)

Tallinna Nõmme Gümnaasium (õp. Andero Vaarik)

Tartu Forseliuse Gümnaasium (õp. Aivar Vinne)

Tartu Raatuse Gümnaasium (õp. Katrin Jonas)

Tartu Tamme Gümnaasium (õp. Anu Viigi)

Tartu Ülenurme Gümnaasium (õp. Lea Ehrlich)

Kristelle Kaarmaa

Tartu, 2006

Kasutatud kirjandus

1. A. Vitsut, *Teadmiste kujunemine struktuuriteooria põhiseisukohtadest keemias 4.-12. klassi õpilastel*, Magistritöö, Tartu, 2005, 6, 13
2. *Põhikooli ja gümnaasiumi riiklik õppekava*
(www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=1008388) (09.05.2006)
3. L. Tamm, A. Tuulmets, Keemia uus ainekava ja sellega seotud probleemid, *Konverentsi „Reaalained ja uus õppekava” materjalid*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2000, 148-151
4. A. Töldsepp, V. Toots, *Õpetame keemiat IX klassis*, Õpetajaraamat, Tallinn, Koolibri, 2001, 5
5. E. Kikas, *Pedagoogiline psühholoogia, Arenguteooriad. Õpimotivatsioon. Õppimisteooriad*, Tartu, 2000, 3
6. G. Butterworth, M. Harris, *Arengupsühholoogia alused*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2002, 33-55, 308-309
7. A. Toomela, *Ülevaade psühholoogiast I osa*, Tallinn, Koolibri, 1999, 82
8. E. Krull, *Pedagoogilise psühholoogia käsiraamat*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2000, 109-114, 177-231, 265
9. P. Leppik, *Lapse arendamine ja õpetamise probleeme koolis*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2000, 72-74
10. P. Leppik, *Lapse arendamine on huvitav (arengupsühholoogilisi põhimõtteid)*, Tallinn, Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus, 1999, 52
11. A. Kõverjalg, *Õppimise psühholoogia ja metoodika*, Tallinn, Eesti Riigikaitse Akadeemia Kirjastus, 1996, 25-29
12. N. Levitov, *Lapse- ja pedagoogiline psühholoogia*, Tallinn, Valgus, 1968, 349-355
13. V. Krutetski, *Kooliõpilaste õppe- ja kasvatuspsühholoogia*, Tallinn, Valgus, 1979, 118-125
14. A. Pollard, P. Triggs, *Reflektiivõpe keskkoolis*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2001, 227
15. A. Kidron, *122 õpetamistarkust*, Tallinn, Andras & Mondo, 1999, 166-167
16. E. Kikas, *Õpilase mõtlemise areng ja selle soodustamine koolis, Üldoskused – õpilase areng ja selle soodustamine koolis*, Tartu, TÜ Kirjastus, 2005, 17-25
17. E. Kikas, *Õppimine ja õpetamine, Haridus*, 2004, Nr. 3, 10-13
18. T. Pedastsaar, *Infolehed didaktika I ainekursusele*, Tartu, 2003

19. H.-M. Kadajas, *Õppima õppimine ja õppima õpetamine: komponendid ning võimalused*, Tallinn, Tallinna Ülikooli Kirjastus, 2005, 22
20. J. D. Bransford, A. L. Brown, R. R. Cocking, *How People Learn. Brain, Mind, Experience and School*, Washington, National Academy Press, 2000
21. M. Taagepera, Mõistelis-loogiliste seoste kujunemisest õppimisel ja õpetamisel, *Haridus*, 1999, Nr. 3, 44-46
22. R. Voltri, *Väärarusaamad kiiruse ja kiirenduse kohta*, Diplomitöö, Tartu, 2005, 3, 6
23. R. F. Peterson, D. F. Treagust, Grade - 12 Students' Misconceptions of Covalent Bonding and Structure, *Journal of Chemical Education*, 1989, **66**, 6, 459-450
24. V. Barker, *Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas* (<http://www.magma.ca/~dougdel/3dfiles/royal.pdf>) (10.05.2006)
25. K. S. Taber, Chemistry lessons for universities?: a review of constructivist ideas, *University Chemistry Education*, 2000, **4**, 2, 63-72
26. P. J. Garnett, P. J. Garnett, M. W. Hackling, Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning, *Studies in Science Education*, 1995, **25**, 69-95
27. J. Lampiselkä, Students' Understanding of the Combustion Phenomena: the Mismatch between Organic and Inorganic Combustion, *Current Research on Mathematics and Science Education*, Helsinki, 2004, 416-427
28. O. Krikmann, J. Susi, H. Voolaid, *Eesti õpilaste väärarusaamad vektorite ja suundade määramisel* (<http://www.opleht.ee/Arhiiv/2005/25.02.05/aine/12.shtml>) (03.04.2006)
29. D. Gabel, Enhancing Students' Conceptual Understanding of Chemistry through Integrating the Macroscopic, Particle, and Symbolic Representations of Matter, *Chemists' Guide to Effective Teaching*, USA, Pearson Prentice Hall, 2005, 77-88
30. O. Krikmann, J. Susi, H. Voolaid, Dependence on Usage of Physics Misconceptions by Year of Study among Estonian Students, *Current Research on Mathematics and Science Education*, Helsinki, 2004, 391-416
31. *Student Preconceptions and Misconceptions in Chemistry* (<http://www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf>) (26.02.2006)
32. M. Ahtee, I. Varjola, Students' Understanding of Chemical Reactions, *International Journal of Science Education*, 1998, **20**, 3, 305-316
33. D. Gabel, Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future, *Journal of Chemical Education*, 1999, **76**, 4, 548-554

34. E. Kikas, Inimmõtlemise võimalused ja piiratus mikromaailma mõtestamisel, *Horisont*, 2003, Nr. 2, 40-45
35. *Misconceptions as Barriers to Understanding Science*
(<http://www.nap.edu/readingroom/books/str/4.html>) (31.04. 2006)
36. T. Eensaar, *Väärarusaamad mehaanikas*, Diplomitöö, Tartu, 2002, 7
37. I. Peil, *Füüsika X klassile*, Mehaanika, Tallinn, Koolibri, 1993, 70
38. *Eesti Entsüklopeedia*, Eesti Entsüklopeediakirjastus, 1996, Nr. 9, 674
39. O. De Jong, J. Acampo, A. Verdonk, Problems in Teaching the Topics of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 1995, **32**, 10, 1097-110
40. H.-J. Schmidt, Should Chemistry Lessons be More Intellectually Challenging?, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2000, **1**, 1, 17-26
41. A. L. Cox, J. R. Cox, Determining Oxidation - Reduction on a Simple Number Line, *Journal of Chemical Education*, 2002, **79**, 8, 965-967
42. A. H. Johnstone, Teaching of Chemistry – Logical or Psychological?, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2000, 1, 9-15
43. G. A. Nicoll, A Qualitative Investigation of Undergraduate Chemistry Students' Macroscopic Interpretations of the Submicroscopic Structures of Molecules, *Journal of Chemical Education*, 2003, **80**, 2, 205-212
44. R. T. Allsop, N. H. George, Redox in Nuffield Advanced Chemistry, *Education in Chemistry*, 1982, 19, 57-59
45. A. Ayas, A. Demirbas, Turkish Secondary Students' Conceptions of Introductory Chemistry Concepts, *Journal of Chemical Education*, 1997, **74**, 5, 518-521
46. C.-Y. Chou, *Science Teachers' Understanding of Concepts in Chemistry*
(<http://nr.stic.gov.tw/ejournal/ProceedingD/v12n2/73-78.pdf>) (31.04.2006)
47. F. Rogers, Using a Teaching Model to Correct Known Misconceptions in Electrochemistry, *Journal of Chemical Education*, 2000, **77**, 1, 104-110
48. A. N. Ogude, J. D. Bradley, Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells, *Journal of Chemical Education*, 1994, **71**, 1, 29-34
49. M. J. Sanger, T. J. Greenbowe, An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry, *Journal of Chemical Education*, 1999, **76**, 6, 853-860

50. M. J. Sanger, T. J. Greenbowe, Students' Misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge, *Journal of Chemical Education*, 1997, **74**, 7, 819-823
51. A. R. Özkaya, Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half – Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells, *Journal of Chemical Education*, 2002, **79**, 6, 735-738
52. N. A. Ogude, J. D. Bradley, Electrode Processes and Aspects Relating to Cell EMF, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells, *Journal of Chemical Education*, 1996, **73**, 12, 1145-1149
53. A. Sarapuu, *Üldise keemia testi ja kiiruse mõiste testi analüüs teadmisruumi teooria põhjal*, Kursusetöö, Tartu, 2000
54. M. Taagepera, S. Noori, Mapping Students' Thinking Patterns in Learning Organic Chemistry by the Use of Knowledge Space Theory, *Journal of Chemical Education*, 2000, **77**, 9, 1224-1229
55. M. Taagepera, *Teadmisruumi teooria kursuse infolehed*, Tartu, 2005
56. R. D. Arasasingham, M. Taagepera, F. Potter, S. Lonjers, Using Knowledge Space Theory to Assess Student Understanding of Stoichiometry, *Journal of Chemical Education*, 2004, **81**, 10, 1517-1523
57. *Keemia ainekava täpsustatud õpitulemused*
(http://www.hot.ee/keemik/ak_opitulemused.htm) (31.04.2006)
58. J. Mikk, *Didaktika küsimusi, Loengukonspekt üliõpilastele*, Tartu, 1991, 43
59. H. Karik, *Keemia VIII klassile, Teadus ainete muundamisest*, Tallinn, Koolibri, 2002, 75-79, 91-93, 108-109
60. L. Tamm, *Keemia VIII klassile*, Tallinn, Avita, 1998, 92-96, 108-110, 125-126
61. A. Lukason, A. Töldsepp, *Keemia õpik VIII klassile, Ained ja keemilised muundamised*, Tallinn, Koolibri, 1998, 105-109, 112-113, 133
62. L. Tamm, H. Timotheus, *Keemia IX klassile*, Tallinn, Avita, 2001, 18, 22-28, 71, 74, 76-77, 97, 130-133, 141-144
63. H. Karik, *Keemia IX klassile*, Tallinn, Koolibri, 1997, 13-19, 23-26, 30-35, 37-38, 58-60, 110-114, 122-125
64. M. Karelson, A. Lukason, A. Töldsepp, *Keemia IX klassile, Anorgaanilised ja orgaanilised ained*, Tallinn, Koolibri, 2001, 57, 65, 85-86, 95-96, 112, 114-115, 121

65. V. Past, J. Tamm, L. Tamm, *Üldine ja anorgaaniline keemia X klassile*, Tallinn, Koolibri, 2001, 43-67, 112-127, 134, 143
66. L. Tamm, *Üldise ja anorgaanilise keemia õpik X klassile*, Tallinn, Avita, 2005
67. E. Pärtel, Nüüdisaegse õppeprotsessi kavandamisest, *Kursuse aktiivõpe loodusteaduste õpetamisel materjalid*, Tartu, 2003
68. R. Fisher, *Õpetame lapsi mõtlema*, Tartu, Atlex, 2005, 62-65
69. Ü. Tõnutare, *Keemiamõisted põhikoolis*, Magistritöö, Tartu, 1998, 15
70. F. M. Dewey, *Understanding Chemistry, An Introduction*, St. Paul (Minneapolis), West Publishing Company, 1994, 496-499
71. R. Chang, *Chemistry, Seventh Edition*, Boston, McGraw Hill, 2002, 116-117
72. M. B. Nakhleh, Y. Saglam, Using Concept Maps to Figure Out What Your Students' are Really Learning, *Chemists' Guide to Effective Teaching*, USA, Pearson Prentice Hall, 2005, 129-139
73. R. Fisher, *Õpetame lapsi õppima*, Tartu, Atlex, 2004, 62-78
74. P. Luik, M. Tago, Arvutite õppetöös kasutamise efektiivsus, *Haridus*, 2000, Nr. 6, 42-44
75. *Redoksreaktsiooni simulatsioon*
(<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/redox/home.html>) (13.04.2006)
76. M. Gilden, *Redoksreaktsiooni slaidiprogramm*
(<http://www.ut.ee/biodida/taiend/2004/gilden/Redoksreaktsioonid.pps>) (13.04.2006)
77. H. Väärtnõu-Järv, *IKT keemiahariduses infolehed*, Tartu, 2005
78. *Õpetajate koostatud töölehed* (www.ut.ee/keemiaope/) (10.05.2006)
79. *Vask-tsinkelemendi animatsioon* (<http://faculty.cns.uni.edu/~sanger/DanlCell.htm>) (10.05.2006)
80. T. J. Greenbowe, An Interactive Multimedia Software Program for Exploring Electrochemical Cells, *Journal of Chemical Education*, 1994, **71**, 7, 555-557
81. *Elektrolüüsi simulatsioon*
(<http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/electrolysis10.html>) (10.05.2006)
82. „Sidrunipatarei” *joonis* (http://www.funsci.com/fun3_en/electro/electro.htm#2) (10.05.2006)
83. V. Past, L. Tamm, E. Viirsalu, A. Vinne, *Üldine ja anorgaaniline keemia 10. klassile*, Õpetajaraamat, Tallinn, Koolibri, 1997, 38-39

84. *Korrosiooni mudel* (<http://mudelid.5dvision.ee/korrosioon/>) (10.05.2006)

85. J.-J. Rosseau, *Emile*, Tallinn, Olion, 1997, 50

Summary

High School Students' Understanding of the Topics of Redox Reactions and Electrochemistry

The aim of the research was to observe the conceptions of reduction and oxidation reactions and electrochemistry of the students of the secondary schools. The students meet the topic of reduction and oxidation reactions during their studies in basic school and secondary school repetitively. The problems of electrochemistry are dealt within the secondary school. Two tests were compiled and carried out in order to test the concepts of secondary school students in 2005. Altogether 461 students of ordinary classes from seven different schools of Estonia took part in the tests. Additionally, 11 students were interviewed during the research.

The results of the research demonstrated:

- A little over 60% of the students of secondary schools know the fundamental concepts of reduction and oxidation reactions. The research demonstrated that in several cases the students haven't had obtained the essence of the concepts and due to that they were in trouble while answering the questions. For example, only 50% of the students were able to explain the principle of the reduction and oxidation reaction. It came out that many students miss the elementary basis to differentiate and to connect the fundamental concepts.
- Less than half of the students (28%) were able to give some examples of the most common oxidizers and reducers. The most important mistakes from the works of the students are as follows: the metals (Na, Al, Fe, Cu) are the oxidizers and the non-metals (Cl₂, F₂, O₂) are the reducers. These false answers prove the fact that the students don't know the concepts of oxidizer and reducer and that they aren't able to connect the capability of reduction and oxidation with the construction of atoms.
- Most of the students didn't understand one of the fundamental concepts of reduction and oxidation reactions – how the oxidation number of the atoms of the elements changes during the addition or subtraction of the electrons. A false conception that the

oxidation number of the atoms of the elements will grow while adding the electrons and will diminish while giving electrons is common. The research demonstrated that the false conception could be a result of the fact that the students don't consider the negative charge of electrons. Secondly, the false conception may be a result of the fact that chemistry is taught on the level of symbols and that not enough attention is paid on the description of the chemical processes on microscopic level.

- Less than half of the students (43%) could differentiate reduction and oxidation reactions from those reactions, wherein the change of the oxidation number of the atoms of the elements doesn't take place. The reason of such a poor result could be in the fact that students aren't able to determine the oxidation number of the atoms of the elements.
- Less than 20% of the students were able to bring examples about the presence or implementation of the reduction and oxidation reactions in everyday life. The result proves that the students aren't able to associate the studied material with the real life.
- Less than half of the students understood the principle of a chemical current source (galvanic element) and electrolysis. It demonstrates that the students aren't able to imagine the processes on microscopic level. The false conceptions associated with chemical current source are as follows: the zinc electrode is the cathode and the copper is the anode; the electrons are moving from the copper electrode in the direction of the zinc electrode in the external circuit; the mass of the zinc electrode is growing as zinc adds electrons and the mass of the copper electrode diminishes as copper gives electrons. Also, false conceptions were noticed concerning the electrolysis. For example, the students believe that the cations move in the direction of the anode and the anions move in the direction of cathode. Also, a false conception that the oxidation takes place on the cathode and that the reduction takes place on the anode is widely spread.
- Less than 20% of the students understood how the metals could be protected against the corrosion. The reason of such a poor result could be in the fact that the students

haven't correctly understand the principle of the corrosion and that they aren't able to make conclusions on the basis of the series of metals.

It can be said that the secondary students of the research have got problems in understanding the reduction and oxidation reactions and electrochemistry. An equal attention would have to be paid on symbolic, macroscopic and microscopic level in chemistry lessons in order to overcome the problems.

The author of the research has compiled a workbook, which contains exercises of different levels about the reduction and oxidation reactions and electrochemistry. The workbook could be used as an additional material for preparing the lessons, so for individual learning or repeating. The answers of all the exercises can be checked out in the answers part at the end of the workbook. The workbook would be accessible in Internet.

Lisa 1. Esimene põhitest

Kool

Klass

Sugu M/N

Test

Redoksreaktsioonid / Elektrokeemia

1. Lõpeta lause. (1p)

Keemilist reaktsiooni, mille kulgemisel muutub elementide oksüdatsiooniaste, nimetatakse

2. Kirjuta mõisted (**oksüdeerub**, **redutseerub**, **oksüdatsiooniaste kasvab**, **oksüdatsiooniaste kahaneb**, **liidab elektrone**, **loovutab elektrone**) õigesse lahtrisse. (3p)

Oksüdeerija	Redutseerija

3. Selgita, miks esinevad redutseerumis- ja oksüdeerumisreaktsioonid alati koos. (1p)

4. Too vähemalt üks näide nii oksüdeerija kui ka redutseerija kohta. Põhjenda oma valikut. (2p)

5. Kirjuta elektronvõrrandid järgmiste muundumiste kohta. (3p)

a) raua aatomi **oksüdeerumine** raud(II)iooniks,

b) raud(III)iooni **redutseerumine** raua aatomiks,

c) väevli aatomi **redutseerumine** sulfiidiooniks,

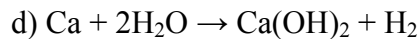
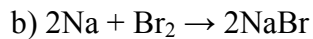
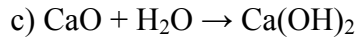
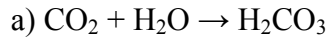
6. Kas järgmiste oksüdatsiooniastmete muutuse korral element **oksüdeerub (märgi lünka O)** või **redutseerub (märgi lünka R)**? Märgi mitu elektroni elemendi aatom **liidab (+ ...ē)** või **loovutab (- ...ē)**? (6p)

VI III
Cr → Cr

-II IV
S → S

0 -III
N → N

7. Missugused järgmistest reaktsioonidest on redoksreaktsioonid. Tõmba redoksreaktsiooni tähistavale tähele ring ümber. (4p)

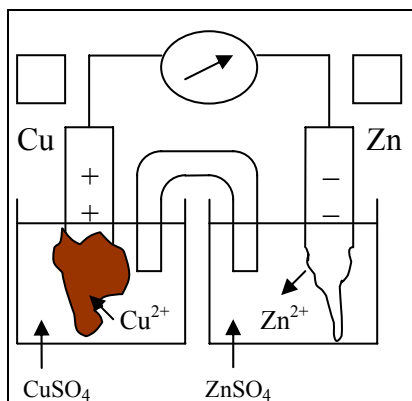


8. Millisel juhul on raudnael korrosiooni eest kaitstud? Tõmba õige(te)le vastus(t)ele ring ümber. (2p)

Siis kui raudnael on:

- a) merevees,
- b) kontaktis vasktraadiga kraanivees,
- c) nõrgalt happelises lahuses,
- d) kontaktis magneesiumtraadiga kraanivees.

9. Vaata joonist 1 ning vasta järgmistele küsimustele. (6p)



Joonis 1. Vask-tsinkelement

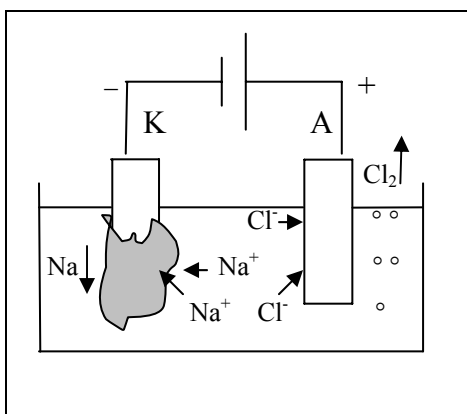
- a) Märki joonisele katood ja anood.
- b) Näita joonisel noolega elektronide liikumise suund.
- c) Millise elektroodi mass (tsingi või vase) reaktsiooni käigus suureneb, millise oma aga väheneb? Miks?

.....

- d) Missugust ülesannet täidab vask-tsinkelemendi juures soolasild?

.....

10. Vaata hoolega joonist 2 ning kirjuta lünka sobiv sõna õiges käändes. Sõnade valik on järgmine: **katood, anood, liidab, loovutab, elektrolüüs, korrosioon, oksüdeerumine, redutseerumine.** (7p)



Joonis 2.

Joonisel on kujutatud sulatatud naatriumkloriidi
 Katioonid liiguvad ning
 anioonid suunas. Katoodil toimub
, mille käigus Na^+ -ioonid
 elektrone. Anoodil seevastu toimub, mille
 käigus Cl^- -ioonid elektrone.

11. Milles seisneb redoksreaktsioonide praktiline tähtsus, too vähemalt kaks näidet. (2p)

Lisa 2. Teine põhitest

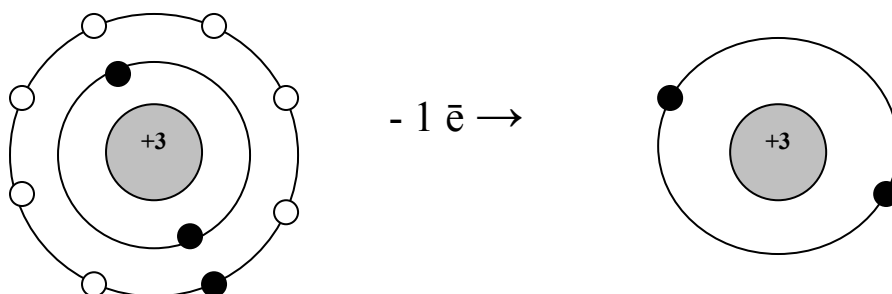
Käesolevas testis tuleb sul vastata kuuele küsimusele, mis puudutavad nii aatomi ehitust kui ka redoksreaktsioone. **Varasematest õpingutest peaksid sa teadma, et metallid on ühed tüüpilisemad redutseerijad ning hapnik ja halogeenid aga levinumad oksüdeerijad.** Testi täitmiseks on sul aega 15 minutit.

Kool

Neiu / Noormees

Test

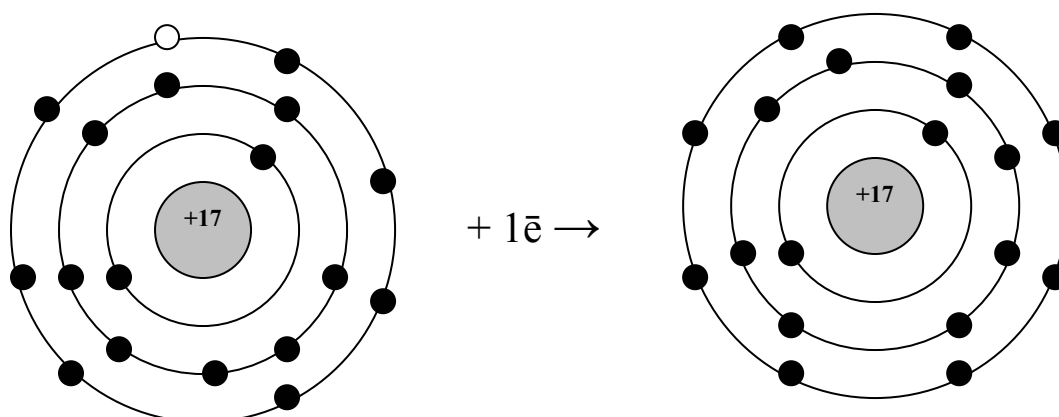
1. Tõmba sulgudes olevale õigele sõnale joon alla.



Antud näite korral käitub keemilise elemendi aatom (**oksüdeerijana, redutseerijana**).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

2. Toimi sarnaselt eelmisele ülesandele.

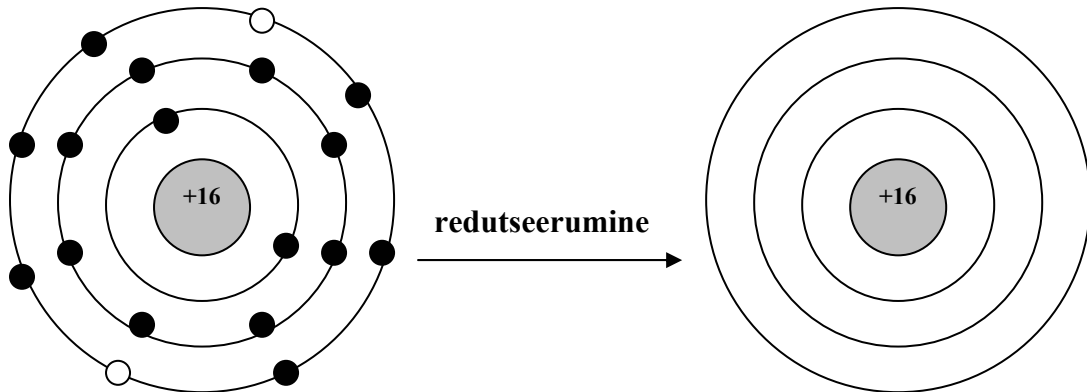


Käesolevas näites käitub keemilise elemendi aatom (**oksüdeerijana, redutseerijana**).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

.....

3. Järgmises näites väävli aatom **redutseerub**. Joonista tekkinud iooni planetaarne mudel.



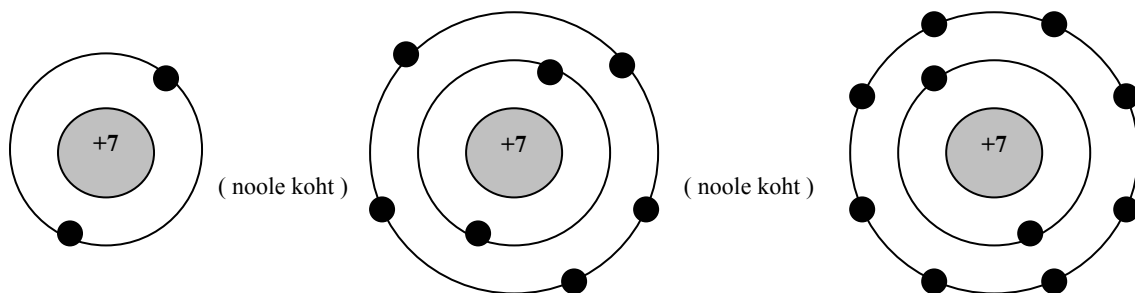
4. Missugune on ülesandes kolm tekkinud iooni laeng?

.....

Põhjenda, miks tekkis selline laeng?

.....

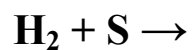
5. Näita joonisel noolekestega, missuguses suunas toimub osakeste **oksüdeerumine**.



Põhjenda oma vastust, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

.....

6. Lõpeta järgmine reaktsioonivõrrand. Määra reaktsioonist osavõtivate elementide oksüdatsiooniaste ning otsusta, milline element on oksüdeerijaks, milline aga redutseerijaks.



Oksüdeerijaks on, sest ta elektrone.

Redutseerijaks on, sest ta elektrone.

Kas mõni ülesanne jäi sulle arusaamatuks? Missugune küsimus tundus sulle kõige lihtsam, milline aga raskeim? Võid lisada omaltpoolt mõne soovitus või märkuse antud testi kohta.

Tänan vastamise eest!

Lisa 3. Esimese põhitesti õiged vastused ja punktide jaotus küsimuste kaupa

Kool

Klass

Sugu M/N

Test

Redoksreaktsioonid / Elektrokeemia

1. Lõpeta lause. (1p)

Keemilist reaktsiooni, mille kulgemisel muutub elementide oksüdatsiooniaste, nimetatakse *redoksreaktsiooniks (1p)*.

2. Kirjuta mõisted (**oksüdeerub**, **redutseerub**, **oksüdatsiooniaste kasvab**, **oksüdatsiooniaste kahaneb**, **liidab elektrone**, **loovutab elektrone**) õigesse lahtrisse. (3p)

Oksüdeerija	Redutseerija
<i>Redutseerub (0,5p)</i>	<i>Oksüdeerub (0,5p)</i>
<i>Liidab elektrone (0,5p)</i>	<i>Loovutab elektrone (0,5p)</i>
<i>Oksüdatsiooniaste kahaneb (0,5p)</i>	<i>Oksüdatsiooniaste kasvab (0,5p)</i>

3. Selgita, miks esinevad redutseerumis- ja oksüdeerumisreaktsioonid alati koos. (1p)

Redutseerumis- ja oksüdeerumisreaktsioonid esinevad alati koos, sest reaktsiooni käigus liidetud ja loovutatud elektronide arv peab olema võrdne (1p).

4. Too vähemalt üks näide nii oksüdeerija kui ka redutseerija kohta. Põhjenda oma valikut. (2p)

Siin võib anda mitmeid õigeid vastuseid. Üks võimalikest vastustest on alljärgnev:

Redutseerija – näiteks naatrium (0,5p). Väliskihil üks elektron. Keemilises reaktsioonis loovutab naatriumi aatom välisel elektronihil paikneva elektroni (0,5p).

Oksüdeerija – näiteks fluor (0,5p). Väliskihil seitse elektroni. Keemilises reaktsioonis liidab fluori aatom välisesse elektronikihti ühe elektroni (0,5p).

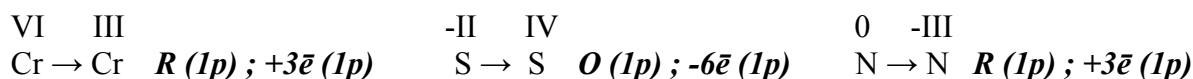
5. Kirjuta elektronvõrrandid järgmiste muundumiste kohta. (3p)

a) raua aatomi **oksüdeerumine** raud(II)iooniks, $Fe^0 - 2\bar{e} \rightarrow Fe^{2+}$ (1p)

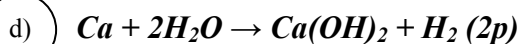
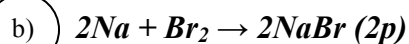
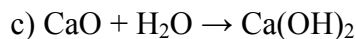
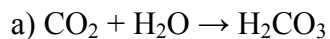
b) raud(III)iooni **redutseerumine** raua aatomiks, $Fe^{3+} + 3\bar{e} \rightarrow Fe^0$ (1p)

c) väävli aatomi **redutseerumine** sulfiidiooniks, $S^0 + 2\bar{e} \rightarrow S^{2-}$ (1p)

6. Kas järgmiste oksüdatsiooniastmete muutuse korral element **oksüdeerub (märgi lünka O)** või **redutseerub (märgi lünka R)**? Märgi mitu elektroni elemendi aatom **liidab (+ ...ē)** või **loovutab (- ...ē)**? (6p)



7. Missugused järgmistest reaktsioonidest on redoksreaktsioonid. Tõmba redoksreaktsiooni tähistavale tähele ring ümber. (4p)



NB! Juhul kui õpilane märkis, et õiged on näiteks variandid a ja d, siis kaotas ta ühe punkti.

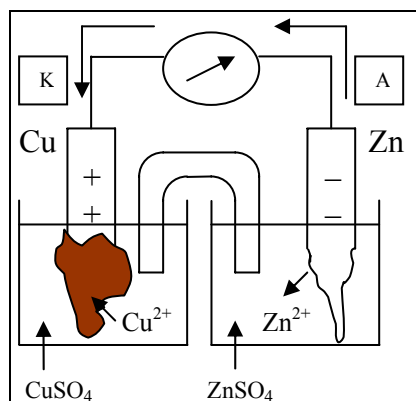
8. Millisel juhul on raudnael korrosiooni eest kaitstud? Tõmba õige(te)le vastus(t)ele ring ümber. (2p)

Siis kui raudnael on:

- a) merevees,
- b) kontaktis vasktraadiga kraanivees,
- c) nõrgalt happelises lahuses,

d) kontaktis magneesiumtraadiga kraanivees (2p).

9. Vaata joonist 1 ning vasta järgmistele küsimustele. (6p)



Joonis 1. Vask-tsinkelement

a) Märki joonisele katood ja anood.

Tsinkelektrood on anoodiks ja vaselektrood on katoodiks (1p).

b) Näita joonisel noolega elektronide liikumise suund.

Elektronid liiguvad välises vooluahelas tsinkelektroodilt vaselektroodile (1p).

c) Millise elektroodi mass (tsingi või vase) reaktsiooni käigus suureneb, millise oma aga väheneb?

Suureneb vaselektroodi mass, kuna lahuses olevad Cu^{2+} -ioonid seovad elektrone ja sadenevad vase aatomitena elektrodile (1p).

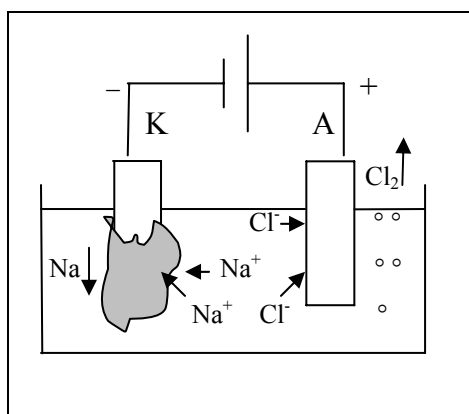
Väheneb tsinkelektroodi mass, kuna tsingi aatomid loovutavad elektrone ja suunduvad Zn^{2+} -ioonidena lahusesse (1p).

d) Missugust ülesannet täidab vask-tsinkelemendi juures soolasild?

Õigeks loeti järgmised vastused:

***Mööda soolasilda liiguvad ioonid (2p).
Soolasild aitab säilitada lahuste elektro-
neutraalsust (2p).***

10. Vaata hoolega joonist 2 ning kirjuta lünka sobiv sõna õiges käändes. Sõnade valik on järgmine: **katood, anood, liidab, loovutab, elektrolüüs, korrosioon, oksüdeerumine, redutseerumine.** (7p)



Joonis 2.

Joonisel on kujutatud sulatatud naatriumkloriidi **elektrolüüsi (1p)**. Katioonid liiguvad **katoodi (1p)** ning anioonid **anoodi (1p)** suunas. Katoodil toimub **redutseerumine (1p)**, mille käigus Na^+ -ioonid **liidavad (1p)** elektrone. Anoodil seevastu toimub **oksüdeerumine (1p)**, mille käigus Cl^- -ioonid **loovutavad (1p)** elektrone.

11. Milles seisneb redoksreaktsioonide praktiline tähtsus, too vähemalt kaks näidet. (2p)

Siin võib anda mitmeid õigeid vastuseid. Üks võimalikest vastustest on järgmine: **Redoksreaktsioonid leiavad kasutamist näiteks metallide tootmisel maagist (1p) ja keemilises vooluallikas (1p).**

NB! Õigeks loeti ka kõikide nende õpilaste vastused, kes tõid näiteks mõne looduses või argielus esineva redoksreaktsiooni.

Lisa 4. Teise põhitesti õiged vastused ja punktide jaotus küsimuste kaupa

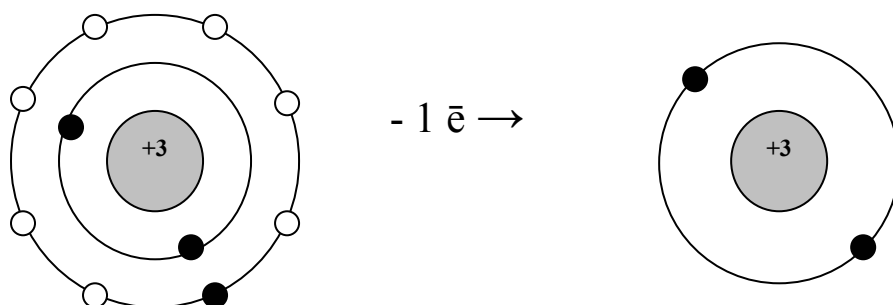
Käesolevas testis tuleb sul vastata kuuele küsimusele, mis puudutavad nii aatomi ehitust kui ka redoksreaktsioone. Varasematest õpingutest peaksid sa teadma, et metallid on ühed **tüüpilisemad redutseerijad ning hapnik ja halogeenid aga levinumad oksüdeerijad**. Testi täitmiseks on sul aega 15 minutit.

Kool

Neiu / Noormees

Test

1. Tõmba sulgudes olevale õigele sõnale joon alla.



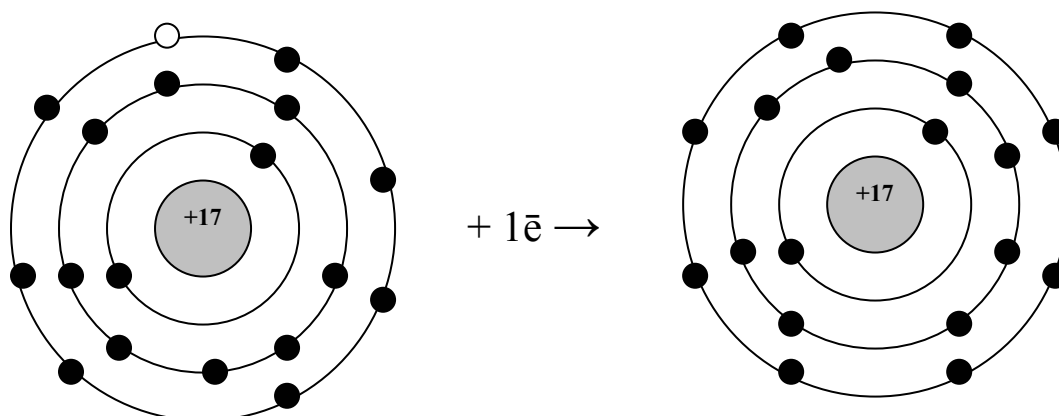
Antud näite korral käitub keemilise elemendi aatom (**oksüdeerijana, redutseerijana**).

Õige vastus: redutseerijana (1p).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

Keemilise elemendi aatom loovutab välisest elektronihist ühe elektroni (1p).

2. Toimi sarnaselt eelmisele ülesandele.



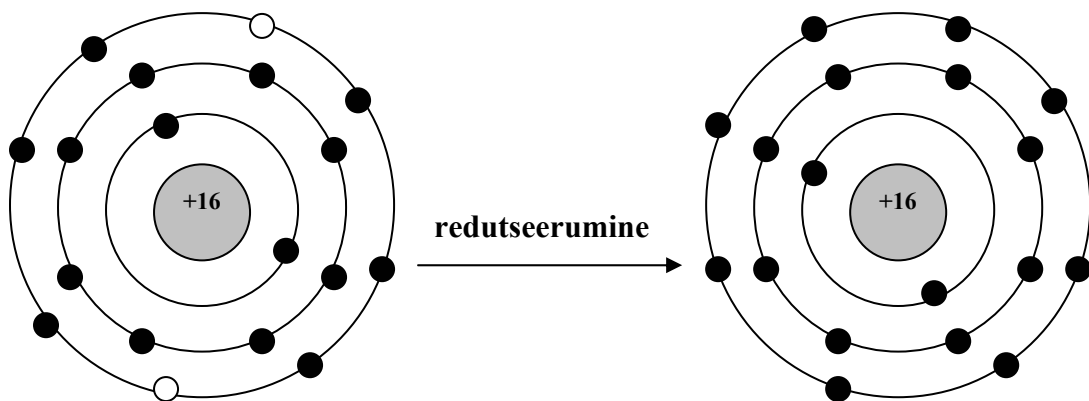
Käesolevas näites käitub keemilise elemendi aatom (oksüdeerijana, redutseerijana).

Õige vastus: oksüdeerijana (1p).

Põhjenda oma valikut, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

Keemilise elemendi aatom liidab oma välisesse elektronikihti ühe elektroni (1p).

3. Järgmises näites väävli aatom **redutseerub**. Joonista tekkinud iooni planetaarne mudel.



Niisugune oleks õige joonis (1p).

4. Missugune on ülesandes kolm tekkinud iooni laeng?

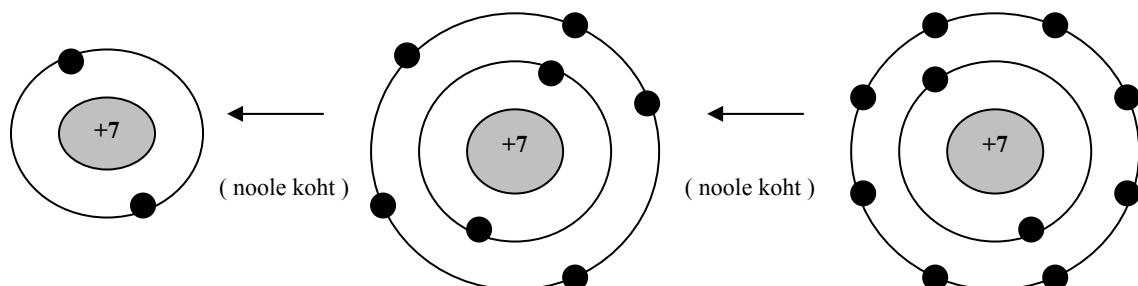
Tekkinud iooni laeng on -2. (1p)

NB! Õigeks loeti ka nende õpilaste vastused, kes märkisid, et iooni laeng on -1 ja joonistasid ülalolevale skeemile juurde ühe elektroni.

Põhjenda, miks tekkis selline laeng?

Väävli aatom liitis kaks (ühe) elektroni (1p).

5. Näita joonisel noolekestega, missuguses suunas toimub osakeste **oksüdeerumine**.

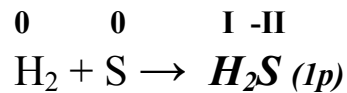


Õige noolekeste suund kulgeb paremalt vasakule (1p).

Põhjenda oma vastust, lähtudes aatomi ehituse seisukohast!

Oksüdeerumise käigus osakesed loovutavad elektrone (1p).

6. Lõpeta järgmine reaktsioonivõrrand. Määra reaktsioonist osavõtvate elementide oksüdatsiooniaste ning otsusta, milline element on oksüdeerijaks, milline aga redutseerijaks.



Oksüdeerijaks on **väävel (0,5p)**, sest ta **liidab (0,5p)** elektrone.

Redutseerijaks on **vesinik (0,5p)**, sest ta **loovutab (0,5p)** elektrone.

Kas mõni küsimus jäi sulle arusaamatuks? Missugune küsimus tundus sulle kõige lihtsam, milline aga raskeim? Võid lisada omaltpoolt mõne soovitus või märkuse antud testi kohta.

Selle küsimuse eest punkte ei antud, kuna see oli mõeldud testi koostajale tagasiside saamiseks.

Tänan vastamise eest!

Lisa 5. Esimese põhitesti tulemused

Tabel 8

Esimese põhitesti tulemused (keskmiselt kogutud punktid, standardhälve, keskmine lahendatuse protsent)

Küsimuse nr	Maksimaalne punktide arv	Keskmiselt kogutud punktid ja standardhälve	Ülesande keskmine lahendus (%)
1.	1	0,76 ± 0,43	76,0
2.	3	1,98 ± 0,88	66,0
3.	1	0,50 ± 0,50	50,0
4.	2	0,56 ± 0,83	28,0
5.	3	1,26 ± 1,42	42,0
6.	6	3,08 ± 2,01	51,0
7.	4	2,09 ± 1,72	52,0
8.	2	0,25 ± 0,67	13,0
9.	6	1,23 ± 1,15	21,0
10.	7	2,60 ± 2,17	37,0
11.	2	0,20 ± 0,54	10,0

Esimese põhitesti tulemused (maksimum- ja miinimumpunktid kogunud õpilaste protsent)

Küsimuse nr	Maksimaalne punktide arv	Maksimum-punktid kogunud õpilaste arv	Maksimum-punktid kogunud õpilaste %	Miinum-punktid kogunud õpilaste arv	Miinum-punktid kogunud õpilaste %
1.	1	213	76,0	69	24,0
2.	3	96	34,0	11	4,0
3.	1	141	50,0	141	50,0
4.	2	25	9,0	159	56,0
5.	3	84	30,0	143	51,0
6.	6	47	17,0	46	16,0
7.	4	120	43,0	77	27,0
8.	2	35	12,0	247	88,0
9.	6	0	0	94	33,0
10.	7	28	10	65	23,0
11.	2	19	7	246	87,0

Lisa 6. Teise põhitesti tulemused

Tabel 10

Teise põhitesti tulemused (õigete vastuste ja põhjenduste %)

Küsimuse nr	Õigesti vastanud õpilaste arv	Õigete vastuste %	Õigesti põhjendanud õpilaste arv	Õigete põhjenduste %
1.	108	60	121	68
2.	108	60	120	67
3.	110	61	0	0
4.	80	45	102	60
5.	112	63	89	50
6.	146	82	51	28

Lisa 7. Harjutustik

Harjutusi redoksreaktsioonidest ja elektrokeemiast

*Õpitust jääb meile meelde
ainult see, mida me praktiliselt
kasutame või harjutame.*

(J. W. Goethe)

Redoksreaktsioonid

1. Reasta järgmised ained lämmastiku aatomite oksüdatsiooniastmete kasvu järjekorras.

a) NH_4Cl b) NO c) NaNO_2 d) NO_2 e) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ f) N_2O g) N_2

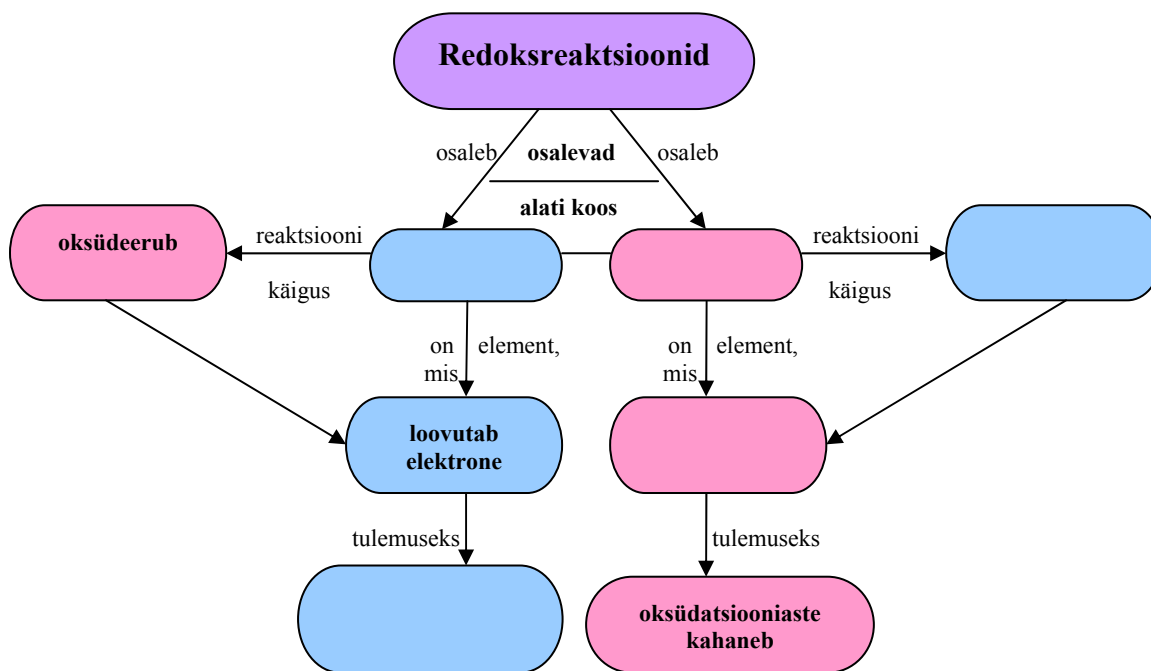
.....

2. Ühenda õiged paarid. Selleks määra kaldkirjas olevate elementide aatomite oksüdatsiooniaste.

Oksüdatsiooniaste

	III
a) CO_3^{2-}	VI
b) PO_4^{3-}	-III
c) NH_4^+	V
d) SO_4^{2-}	IV
	II

3. Lõpeta redoksreaktsioonide mõistekaart.



4. Otsusta, milline lause on õige (kirjuta kasti „+”), milline väär (kirjuta kasti „-”).

- a) Redoksreaktsioon on reaktsioon, mille käigus muutub elementide oksüdatsiooniaste.
- b) Redoksreaktsioonis ei pea alati oksüdeerumine ja redutseerumine toimuma koos.
- c) Redoksreaktsioonis redutseerija loovutab elektrone, mille tulemusena tema oksüdatsiooniaste kasvab.
- d) Redoksreaktsioonis oksüdeerija liidab elektrone, mille tulemusena tema oksüdatsiooniaste kahaneb.
- e) Kui elemendi oksüdatsiooniaste kahaneb, siis element oksüdeerub.
- f) Kui elemendi oksüdatsiooniaste kasvab, siis element redutseerub.

5. A-osa

Millised alljärgnevat elementide aatomid käituvad redoksreaktsioonis tavaliselt redutseerijana, millised oksüdeerijana?

Valik: Ca; He; O; Li; Ne; F; Na

Redutseerijana käituvad:

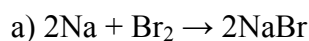
Oksüdeerijana käituvad:

B-osa

Toetudes A-osas tehtud valikutele, täida järgnevad lüngad.

Tüüpilised redutseerijad on Keemilistes reaktsioonides nad välisel elektronkihil paiknevad elektronid. Selle tulemusena tekivad neist laenguga ioonid. Levinumad oksüdeerijad on ja Vastupidiselt metallidele nad keemilistes reaktsioonides elektrone. Selle tulemusena tekivad neist laenguga ioonid.

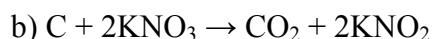
6. Määra elementide oksüdatsiooniaste ning kirjuta välja elektronvõrrandid nende elementide kohta, mille oksüdatsiooniaste muutus. Leia oksüdeerija ja redutseerija.



Elektronvõrrandid: ;

Oksüdeerijaks on:

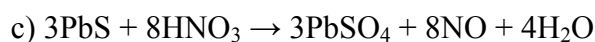
Redutseerijaks on:



Elektronvõrrandid: ;

Oksüdeerijaks on:

Redutseerijaks on:



Elektronvõrrandid: ;

Oksüdeerijaks on:

Redutseerijaks on:

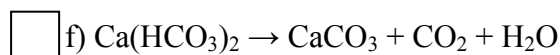
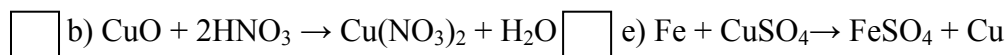
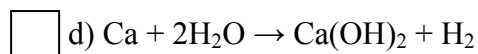
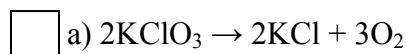


Elektronvõrrandid: ;

Oksüdeerijaks on:

Redutseerijaks on:

7. Missugused järgmistest reaktsioonidest on redoksreaktsioonid (kirjuta kasti „+”), missugused aga ei ole (kirjuta kasti „-”).



8. Kirjuta kas sõnade või sümbolitega.

a) vesinikiooni redutseerumine vesiniku aatomiks

b) $\text{Fe}^0 - 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

c) naatriumi aatomi oksüdeerumine naatriumiooniks

d) $\text{Fe}^{3+} + 1\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

e) plii(II)iooni oksüdeerumine plii(IV)iooniks

f) $\text{Cu}^{2+} + 1\bar{e} \rightarrow \text{Cu}^+$

9. Märki lünka, mitu elektroni elemendi aatom **liidab** (+ \bar{e}) või **loovutab** (- \bar{e}) järgmiste oksüdatsiooniastmete muutuse korral. Otsusta, kas toimub **oksüdeerumine (märki lünka O)** või **redutseerumine (märki lünka R)**.

V -I
a) $\text{Cl} \rightarrow \text{Cl}$

0 -III
b) $\text{N} \rightarrow \text{N}$

VI III
c) $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}$

-II IV
d) $\text{S} \rightarrow \text{S}$

10. Tõmba joon alla kolmele valemile, milles sisalduv väevli aatom võib keemilistes reaktsioonides käituda nii oksüdeerijana kui ka redutseerijana.

a) H_2SO_4 b) NaHSO_3 c) SO_3 d) SO_2 e) FeS f) H_2SO_3 g) NaHS

11. Millised järgmised ioonid saavad redoksreaktsioonis ainult oksüdeeruda (elektrone loovutada), millised ainult redutseeruda (elektrone liita), millised aga nii oksüdeeruda kui ka redutseeruda (nii loovutada kui ka liita elektrone)?

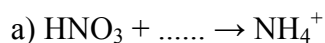
Valik: S^{2-} ; Cu^{2+} ; NO_2^- ; P^{3-}

Oksüdeeruvad:

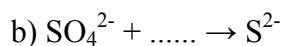
Redutseeruvad:

Nii oksüdeeruvad kui ka redutseeruvad:

12. Otsusta, kas tuleb valida oksüdeerija või redutseerija, et toimuksid järgmised üleminekud.



Tuleb valida, sest



Tuleb valida, sest

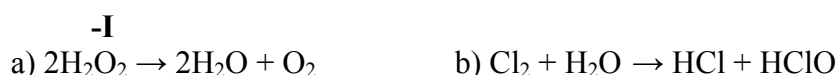


Tuleb valida, sest

13. Näita noolekestega, millises suunas toimub a) lämmastiku ja b) väävli aatomite redutseerumine (elektronide liitmine).



14. Lähtudes redoksreaktsioonide toimumise põhimõttest, leia, mis on ühist kahel järgmisel reaktsioonivõrrandil.



Kaks reaktsioonivõrrandit on sarnased, sest

.....

15. Millal on tegemist redoksreaktsiooniga? Tõmba redoksreaktsiooni tähistavale tähele ring ümber.

- | | |
|-----------------------------|---|
| a) bensiini põlemine | d) hingamine |
| b) vee aurustumine | e) lämmastikoksiidi tekkimine äikese ajal |
| c) metalli tootmine maagist | f) rasva riknemine |

16. Too näiteid redoksreaktsioonide esinemise kohta järgmistes valdkondades.

Argielus	Looduses
*	*
*	*
*	*

Keemiline ja elektrokeemiline korrosioon

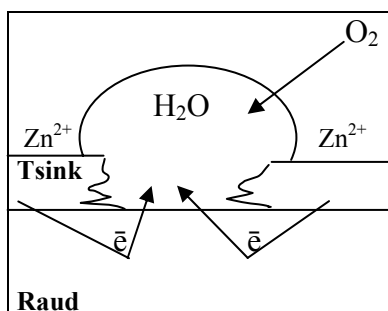
17. Kirjuta lünka sobiv sõna õiges käändes. Sõnade valiku leiad ülesande lõpust.

Metallide korrosioon on, mida iseloomustavad järgmised tunnused: metalli aatom ümbritseva keskkonna toimel oma valentselektronid, muutudes laenguga iooniks. Seega korrosioonil metall Korrosiooni põhjustab metallide üleminek seisundisse.

Korrosioonil on kaks alaliiki: ja korrosioon. Metallide otsest reageerimist ümbritsevas keskkonnas oleva oksüdeerijaga nimetatakse korrosiooniks. Elektrolüüdilahusega kokkupuutel toimub metalli korrosioon, mis koosneb kahest osareaktsioonist: metalli ning vabanenud elektronide sidumisest poolt. Neutraalses keskkonnas on oksüdeerijaks Happelises keskkonnas on aga põhiliseks oksüdeerijaks

Sõnade valik: oksüdeerija, õhuhapnik, vesinikioonid, redoksreaktsioon, energiavaene, oksüdeerub (2x), keemiline (2x), loovutab, elektrokeemiline (2x), liidab, positiivne, energiarikas, redutseerija.

18. Millised järgmised väited iseloomustavad joonisel 1 kujutatud elektrokeemilist korrosiooni. Kirjuta iga õige väite ees olevasse kasti „+” ning iga vale väite ees olevasse kasti „-”.



Joonis 1

- a) Rauda aatomid oksüdeeruvad ning vesinikioonid redutseeruvad.
- b) Tsingi aatomid oksüdeeruvad ja õhuhapnik redutseerub.
- c) Tsink kaitseb rauda korrosiooni eest ka siis, kui kaitsekiht on vigastatud.
- d) Raud ei ole korrosiooni eest kaitstud.

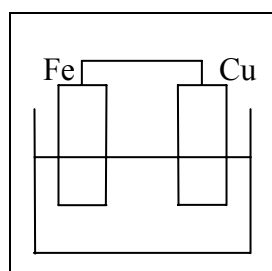
19. Milline metall korrodeerub elektrokeemilise korrosiooni tingimuses, kui metalli kaitsekiht on rikutud.

	Korrodeerub
a) vasetatud raudplekk
b) hõbetatud vaskese
c) kullatud hõbesõrmus
d) kroomitud raudplekk

Selgita, millele tuginedes Sa tegid oma valiku.

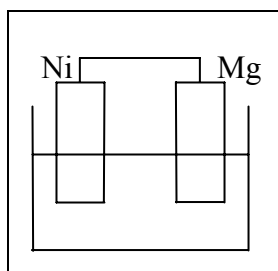
.....

20. Happelis lahuses on raudplaat kontaktis mingi teise metalliga (vaata joonis 2 ja 3). Kumb kahest metallist korrodeerub? Kirjuta toimuvate oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioonide võrrandid.



- Korrodeerub**
- Oksüdeerumisreaktsiooni võrrand**
- Redutseerumisreaktsiooni võrrand**

Joonis 2



Korrodeerub

Oksüdeerumisreaktsiooni võrrand

Redutseerumisreaktsiooni võrrand

Joonis 3

21. Leia veerg nendest teguritest, mis soodustavad raua korrosiooni.

Temperatuuri tõstmine	Raua katmine värvikihiga	Raua kontakt vooluallika positiivse poolusega
Happeline keskkond	Elektrolüüdilahusele inhibiitori lisamine	Temperatuuri alandamine
Raua kontakt vasktraadiga	Kloriidioonide esinemine elektrolüüdilahuses	Raua kontakt alumiiniumtraadiga

22. Too kolm näidet korrosioonist argielus.

- *
- *
- *

Elektrolüüs

23. Vali loetelust õige vastus.

Elektrolüüs on

Vastused:

- a) redoksprotsess, mille käigus aine hävib ümbritseva keskkonna toimel
- b) redoksprotsess, mille käigus aine laguneb alalisvoolu toimel
- c) redoksprotsess, mida kasutatakse elektrienergia tootmiseks

24. Ühenda õiged paarid.

Katood on

- negatiivset laengut kandev aatom või aatomite rühm

- elektrod, kus toimub redutseerumine

Anood on

- positiivset laengut kandev aatom või aatomite rühm

- elektrod, kus toimub oksüdeerumine

25. Millised järgmistest väidetest on tõesed (kirjuta kasti „+”), millised väärad (kirjuta kasti „-”). Vale väite korral paranda viga.

a) Elektrolüüsiprotsessis muudetakse keemilise reaktsiooni energia vahetult elektrienergiaks.

.....

b) Elektrolüüsi korral antakse laeng elektrodidele alalisvooluallikast.

.....

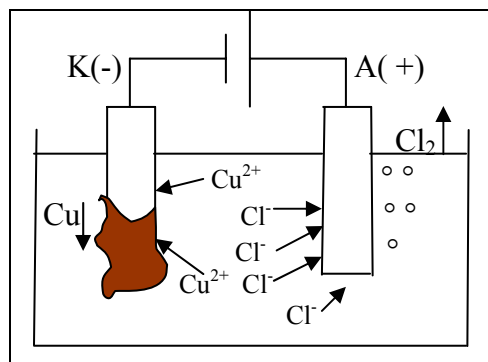
c) Elektrolüüsi korral on katood negatiivse laenguga ning anood positiivse laenguga elektrod.

.....

d) Elektrolüüsiprotsessi korral liiguvad elektrolüüdi lahuses olevad katioonid elektriliste jõudude toimele anoodi ning anioonid katoodi suunas.

.....

26. Vaata joonist 4 ning kirjuta lünka elektronvõrrand või sobiv sõna õiges käändes. **Sõnade valik on järgmine: katood, anood, liidab, loovutab, elektrolüüs, korrosioon, oksüdeerumine, redutseerumine, vask, vesinik, kloor.**

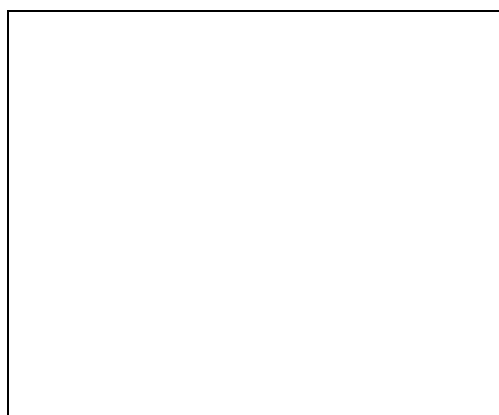


Joonis 4

Joonisel on kujutatud sulatatud vask(II)kloriidi Elektriliste jõudude toimele liiguvad katioonid ning anioonid suunas. Katoodil toimub , mille käigus Cu^{2+} -ioonid elektrone. Vastav elektronvõrrand on järgmine: Anoodil toimub seevastu , mille käigus Cl^- ioonid elektrone. Vastav elektronvõrrand on järgmine Sulatatud vask(II)kloriidi elektrolüüsil on võimalik saada kahte lihtainet: ja

27. Tee joonis, millel oleks kujutatud **sulatatud NaCl** elektrolüüs. Selleks märgi joonisele

- a) katood ja anood (õigete laengu märkidega);
- b) ioonide liikumise suund elektrolüüdilahuses;
- c) kirjuta anoodil ja katoodil toimuvate oksüdeerimis- ja redutseerumireaktsioonide võrrandid.



Katoodil :

Anoodil:

Joonis 5. Sulatatud NaCl elektrolüüs

28. Tõmba õigele vastusele ring ümber.

Naatriumkloriidi vesilahuse elektrolüüsil on võimalik toota järgmisi aineid:

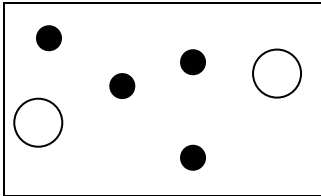
- a) naatriumit ja kloori;
- b) naatriumit ja vesinikku;
- c) kloori ja vesinikku;
- d) naatriumhüdrosiidi, kloori ja vesinikku.

29. Peale vee lagundamist elektrivoolu toimele koguti eraldunud gaasid, hapnik ja vesinik, ühte nõusse. Milline allolevatest skeemidest kirjeldab ühte väikest osa kogutud gaaside segust (tõmba vastavale tähele ring ümber). Pööra tähelepanu reaktsioonil tekkinud gaaside mahuvahekorrale.

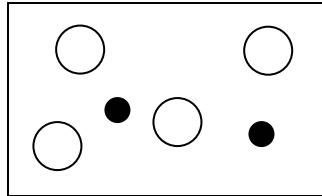
Tähised:

● - vesiniku aatom ○ - hapniku aatom

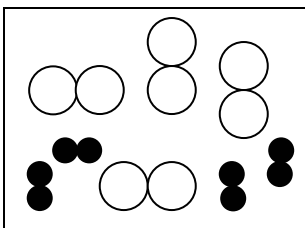
A



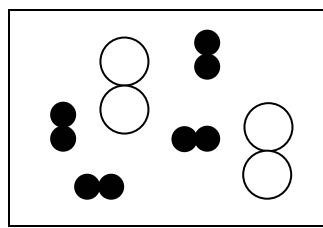
B



C



D



30. Leia ruudustikust kaheksa erinevat ainet, mille saamiseks kasutatakse elektrolüüsiotsessi.

A	L	U	M	I	I	N	I	U	M
B	I	K	A	N	M	A	V	H	U
E	I	I	N	B	V	A	S	K	I
V	T	N	G	G	A	T	K	J	L
L	I	I	A	S	I	R	L	R	A
R	U	S	A	M	O	I	O	U	A
K	M	E	P	F	L	U	O	R	K
S	F	V	G	P	T	M	R	Ä	N

a)

e)

b)

f)

c)

g)

d)

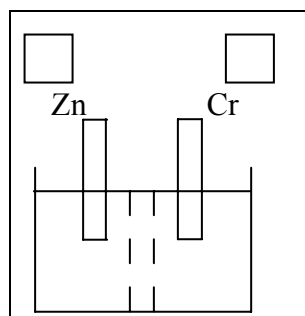
h)

Keemiline vooluallikas

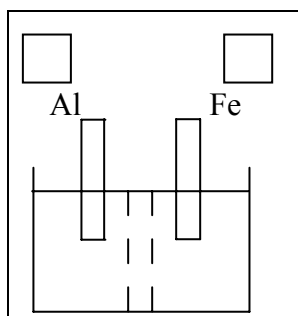
31. Võrdle keemilise vooluallika ja elektrolüüsiotsessi tööpõhimõtet. Kirjuta kaks erinevust ja üks sarnasus.

Keemiline vooluallikas	Sarnasus	Elektrolüüsi protsess
*	*	*
.....
*	*
.....

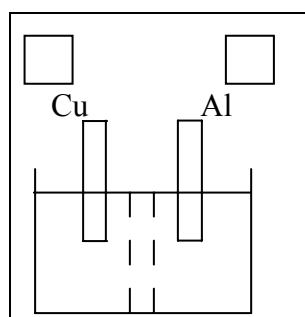
32. Joonistel 6-9 on kujutatud neli keemilist vooluallikat. Otsusta, millised elektroodid on anoodiks (kirjuta vastava sümboli juures olevasse kasti A), millised katoodiks (kirjuta vastava sümboli juures olevasse kasti K).



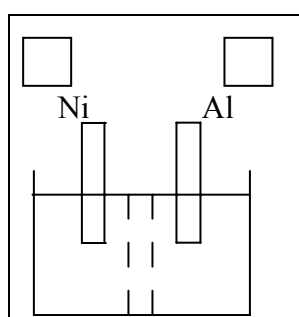
Joonis 6



Joonis 7



Joonis 8

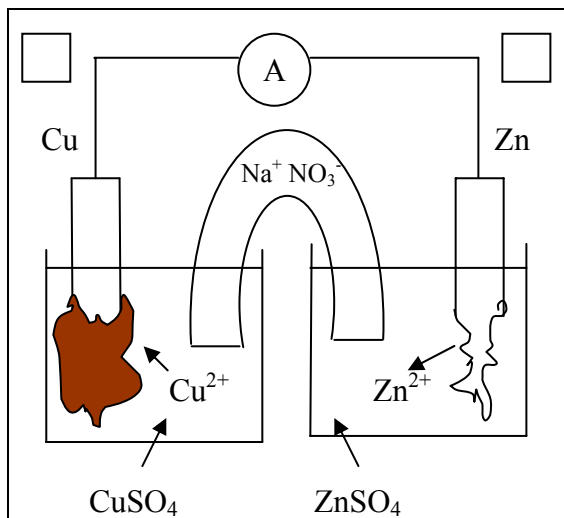


Joonis 9

Selgita, mille põhjal Sa otsustasid, milline element on keemilises vooluallikas anoodiks ning milline katoodiks.

.....

33. Vaata joonist 10, kus on kujutatud vask-tsinkelement ja vasta järgmistele küsimustele.



Joonis 10

a) Märki joonisel olevatesse kastidesse katood (K) ja anood (A) õigete laengu märkidega.

b) Näita joonisel noolega elektronide liikumise suund.

c) Soolasild täideti NaNO₃ lahusega. Näita noolega katioonide ja anioonide liikumise suund soolasillas.

d) Millise elektroodi (tsingi või vase) mass reaktsiooni käigus suureneb, millise oma aga väheneb? Miks?

.....

.....

e) Missugust ülesannet täidab vask-tsinkelemendi juures soolasild?

.....

*f) Kirjuta katoodil ja anoodil toimuvate oksüdeerumis- ja redutseerumisreaktsioonide võrrandid.

Katoodil:

Anoodil:

34. Vaata joonist 10 ja vali loetelust õige vastus.

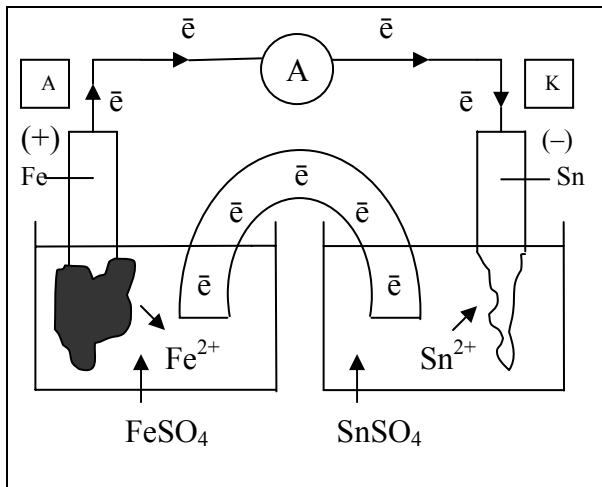
Vask-tsinkelement lõpetab töö siis, kui

Vastused: a) lahusest on otsa saanud Zn²⁺-ioonid ning vaskelektrood on ära kulunud

b) lahusest on otsa saanud Cu²⁺-ioonid ning tsinkelektrood on ära kulunud

c) lahusest on otsa saanud nii Cu²⁺-ioonid kui ka Zn²⁺-ioonid

35. Leia jooniselt 11 kolm viga.



Joonis 11

Vead on järgmised:

- a)
- b)
- c)

36. Moodusta järgmistest tähekombinatsioonidest kolme keemilise vooluallika nimetused. Allesjäänud tähtedest saad ühe inglise teadlase perekonnanime, kes töötas esimesena välja vask-tsinkelemendi põhimõtte.

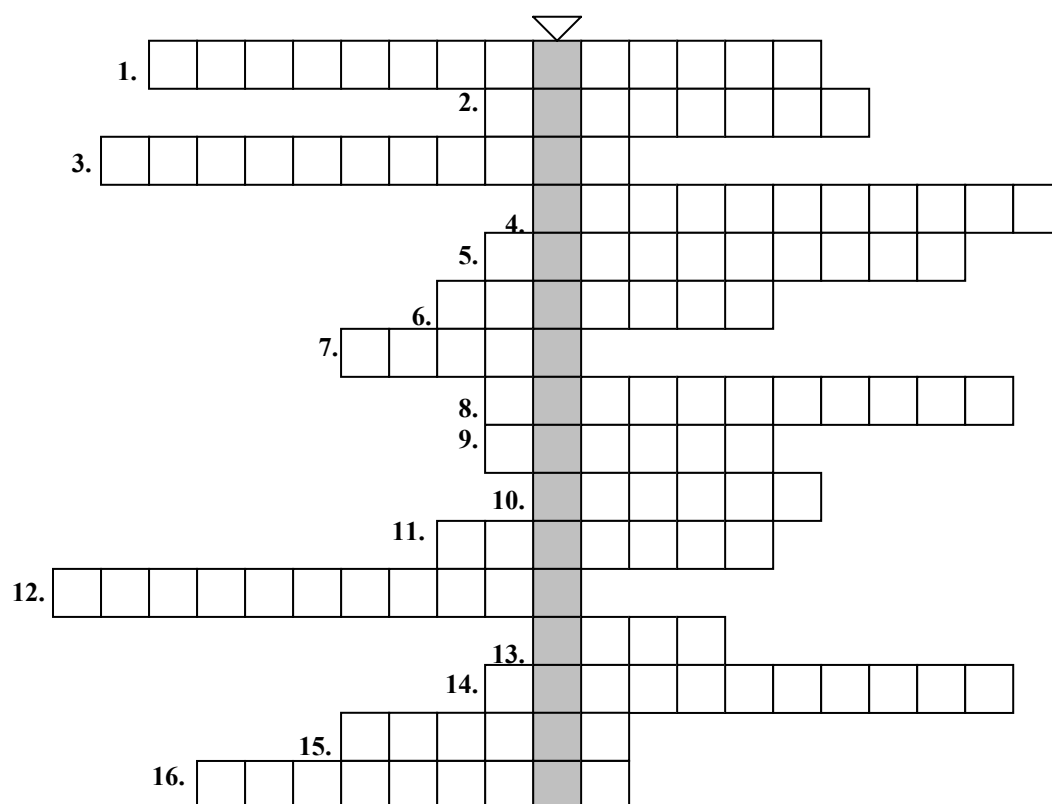
AU REI ELL VESI TO ELE DA NIK PATA HAP MENT NIK AKU NI

- Kolme keemilise vooluallika nimetused on: a)
- b)
- c)

Vask-tsinkelemendi põhimõtte töötas esimesena välja

Kokkuvõte

37. Lahenda ristsõna. Võtmesõnaks on ühe reaktsioonitüübi nimetus.



1. Protsess, mille käigus elemendi aatomi oksüdatsiooniaste kahaneb.
2. Tüüpilised redutseerijad.
3. Ioonid erinevad vastava elemendi aatomitest arvu poolest.
4. on element, mis liidab elektrone.
5. $\text{Li}^0 - 1\bar{e} \rightarrow \text{Li}^+$, liitiumi aatom liitiumiooniks.
6. Keemiline element, mis võib käituda nii oksüdeerijana kui ka redutseerijana.
7. Aine, mille saamiseks kasutatakse elektrolüüsi protsessi.
8. Korrosiooni kiirust soodustav tegur.
9. „Oxygenium” ehk
10. Elektrood, millel toimub redutseerumine.
11. Korduvlaetav keemiline vooluallikas.
12. Protsess, mille käigus aine laguneb elektrivoolu toimel.
13. Laenguga aatom.
14. Looduses toimuv redoksreaktsioon.
15. Negatiivse laengugaioon.
16. Korrosioonikaitse võimalus.

Vastused

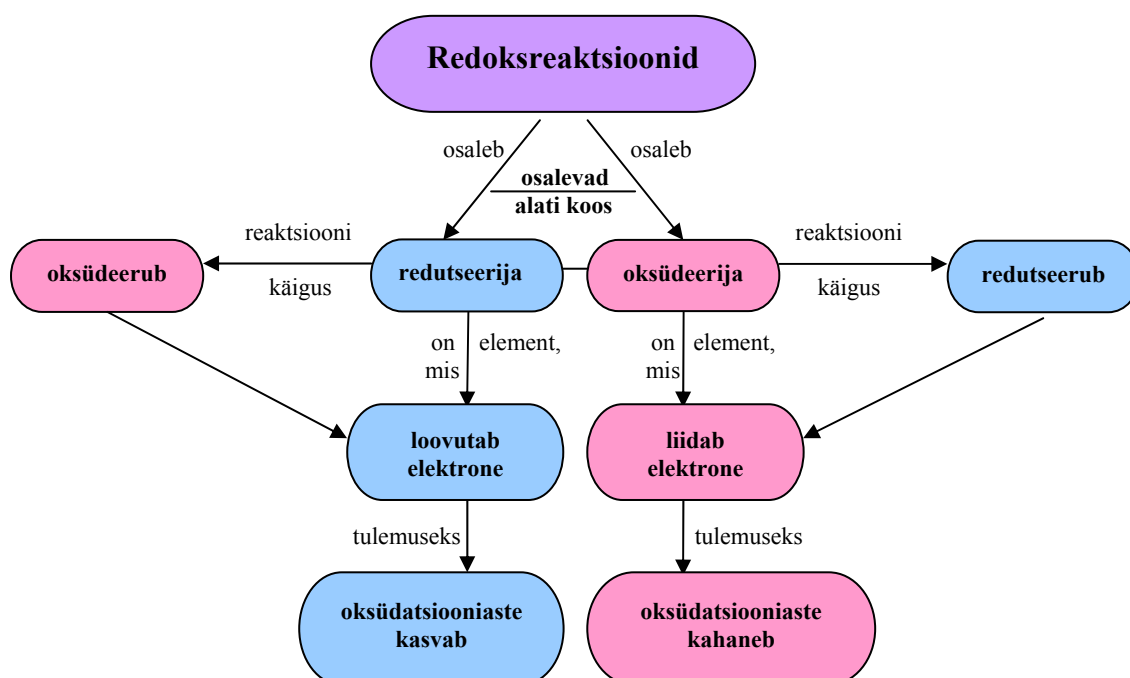
Redoksreaktsioonid

1. Õige järjekord: a) g) f) b) c) d) e)

2. Õiged paarid

- a) *C* oksüdatsiooniaste on IV
- b) *P* oksüdatsiooniaste on V
- c) *N* oksüdatsiooniaste on -III
- d) *S* oksüdatsiooniaste on VI

3. Mõistekaart.



4. Õiged laused a) c) d)
Valed laused: b) e) f)

5. A-osa

Redutseerijana käituvad: Ca, Li, Na

Oksüdeerijana käituvad: O, F

He ja Ne ei ole kumbki.

B-osa

Lünka kirjutatavad sõnad õiges järjekorras on järgnevad: metallid, loovutavad, positiivse, hapnik, fluor, liidavad, negatiivse.

6. a) Elektronvõrrandid: $\overset{0}{\text{Na}} - 1\bar{e} \rightarrow \overset{\text{I}}{\text{Na}}$ (redutseerija); $\overset{0}{\text{Br}_2} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{-\text{I}}{2\text{Br}}$ (oksüdeerija)

b) Elektronvõrrandid: $\overset{0}{\text{C}} - 4\bar{e} \rightarrow \overset{\text{IV}}{\text{C}}$ (redutseerija); $\overset{\text{V}}{\text{N}} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{\text{III}}{\text{N}}$ (oksüdeerija)

c) Elektronvõrrandid: $\overset{\text{V}}{\text{N}} + 3\bar{e} \rightarrow \overset{\text{II}}{\text{N}}$ (oksüdeerija); $\overset{-\text{II}}{\text{S}} - 8\bar{e} \rightarrow \overset{\text{VI}}{\text{S}}$ (redutseerija)

d) Elektronvõrrand: $\overset{0}{\text{Cu}} - 2\bar{e} \rightarrow \overset{\text{II}}{\text{Cu}}$ (redutseerija); $\overset{\text{VI}}{\text{S}} + 2\bar{e} \rightarrow \overset{\text{IV}}{\text{S}}$ (oksüdeerija)

7. Redoksreaktsioonid on: a) d) e)

Ei ole redoksreaktsioonid: b) c) f)

8. a) $\text{H}^+ + 1\bar{e} \rightarrow \text{H}^0$

b) Rauda aatomi oksüdeerumine raud(II)iooniks.

c) $\text{Na}^0 - 1\bar{e} \rightarrow \text{Na}^+$

d) Raud(III)iooni redutseerumine raud(II)iooniks

e) $\text{Pb}^{2+} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Pb}^{4+}$

f) Vask(II)iooni redutseerumine vask(I)iooniks

9. a) $+6\bar{e}$; R

b) $+3\bar{e}$; R

c) $+3\bar{e}$; R

d) $-6\bar{e}$; O

10. Õiged valemid on b) d) f)

11. Oksüdeeruvad: S^{2-} , P^{3-}

Redutseerub: Cu^{2+}

Nii oksüdeerub kui ka redutseerub: NO_2^-

12. a) Tuleb valida redutseerija, sest lämmastiku aatomite oksüdatsiooniaste reaktsiooni käigus kahaneb (lämmastik käitub ise oksüdeerijana).

b) Tuleb valida redutseerija, sest väävli aatomite oksüdatsiooniaste reaktsiooni käigus kahaneb (väävel käitub ise oksüdeerijana).

c) Tuleb valida oksüdeerija, sest süsiniku aatomite oksüdatsiooniaste reaktsiooni käigus kasvab (süsinik käitub ise redutseerijana).

13. a) $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{NH}_3$ b) $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{S}^{2-}$

14. Kaks reaktsioonivõrrandit on sarnased, sest mõlemas reaktsioonis käitub üks ja sama element (esimesel juhul hapnik, teisel juhul kloor) nii oksüdeerijana kui ka redutseerijana.

15. Redoksreaktsioonid on: a) c) d) e) f)

16. Redoksreaktsioonid argielus: * puuviljalõikude tumenemine õhu käes seismisel
* piima hapnemine
* küünla põlemine

Redoksreaktsioonid looduses: * heina kõdunemine
* fotosüntees
* lämmastikoksiidi tekkimine äikese ajal

Keemiline ja elektrokeemiline korrosioon

17. Lünka kirjutatavad sõnad õiges järjekorras on järgmised: redoksreaktsioon, loovutab, positiivse, oksüdeerub, energiavaesemasse, keemiline, elektrokeemiline, keemiliseks, elektrokeemiline, oksüdeerumisest, oksüdeerija, õhuhapnik, vesinikioonid.

18. Õiged väited: b) c)

Valed väited: a) d)

19. Korrodeeruvad järgmised metallid: a) Fe b) Cu c) Ag d) Cr

Tuginedes metallide pingereale on võimalik otsustada, milline metall korrodeerub. Esitatud metallipaaridest korrodeerub metallide pingereas eespool olev metall (ehk aktiivsem metall).

20.

Joonisel 2 korrodeerub raud (Fe).

Oksüdeerumisreaktsiooni võrrand: $\text{Fe} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

Redutseerumisreaktsiooni võrrand: $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$

Joonisel 3 korrodeerub magneesium (Mg).

Oksüdeerumisreaktsiooni võrrand: $\text{Mg} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$

Redutseerumisreaktsiooni võrrand: $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$

21. Rauda korrosiooni soodustavad tumedas kirjas esitatud tegurid.

Temperatuuri tõstmine	Rauda katmine värvikihiga	Rauda kontakt vooluallika positiivse poolusega
Happeline keskkond	Elektrolüüdilahusele inhibiitori lisamine	Temperatuuri alandamine
Rauda kontakt vasktraadiga	Kloriidioonide esinemine elektrolüüdilahuses	Rauda kontakt alumiiniumtraadiga

22. Korrosioon argielus: * hõbeehete tumenemine
 * vaskmüntide kattumine hallikasroheline paatina kihiga
 * raudesemete kattumine punakaspruuni roostekihiga

Elektrolüüs

23. Elektrolüüs on redoksprotsess, mille käigus aine laguneb alalisvoolu toimel.

24. Katood on elektrood, kus toimub redutseerumine.

Anood on elektrood, kus toimub oksüdeerumine.

25. Vale väide a)

Õige väide: Elektrolüüsiprotsessis muudetakse elektrienergia keemiliseks energiaks.

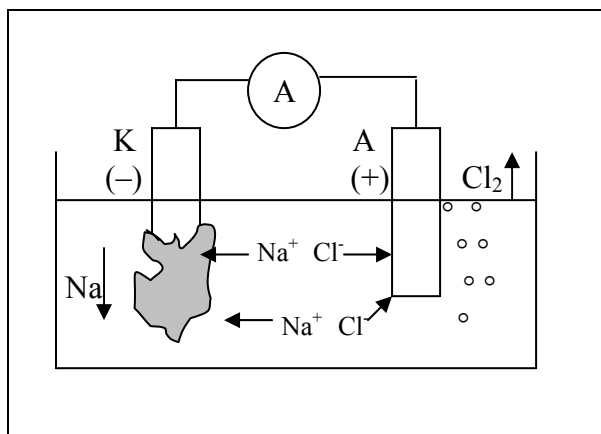
Vale väide d)

Õige väide: Elektrolüüsiprotsessi korral liiguvad elektrolüüdi lahuses olevad katioonid elektriliste jõudude toimel katoodi ning anioonid anoodi suunas.

Õiged väited b) ja c)

26. Lünka kirjutatavad elektronvõrrandid ja sõnad õiges järjekorras on järgmised: elektrolüüs, katoodi, anoodi, redutseerumine, liidavad, $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$, oksüdeerumine, loovutavad, $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$, vaske, kloori.

27. Sulatatud NaCl elektrolüüs (joonis 5).



Joonis 5

Katoodil toimub redutseerumine: $\text{Na}^+ + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Na}$

Anoodil toimub oksüdeerumine: $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$

28. Õige vastus d)

29. Õige vastus D. Vee elektrolüüsil ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$) tekib mahuliselt kaks korda rohkem vesinikku kui hapnikku.

30. Õiged vastused: alumiinium, liitium, kaalium, kloor, fluor, vesinik, naatrium, vask. Heledalt toodud kirjas on näidatud, kuidas moodustusid õiged vastused ruudustikus.

A	L	U	M	I	I	N	I	U	M
B	I	K	A	N	M	A	V	H	U
E	I	I	N	B	V	A	S	K	I
V	T	N	G	G	A	T	K	J	L
L	I	I	A	S	I	R	L	R	A
R	U	S	A	M	O	I	O	U	A
K	M	E	P	F	L	U	O	R	K
S	F	V	G	P	T	M	R	Ä	N

Keemiline vooluallikas

31. Keemilise vooluallika ja elektrolüüsiprotsessi kaks erinevust ja kaks sarnasust.

Keemiline vooluallikas	Sarnasus	Elektrolüüsiprotsess
* Keemilise reaktsiooni energia muudetakse vahetult elektrienergiaks. * Anood on negatiivse ja katood positiivse laenguga elektrood.	* Katoodil toimub redutseerumine ja anoodil oksüdeerumine.	* Elektrienergia muudetakse keemiliseks energiaks. * Anood on positiivse ja katood negatiivse laenguga elektrood.

32. Joonisel 6 on anoodiks tsink (Zn) ja katoodiks kroom (Cr)

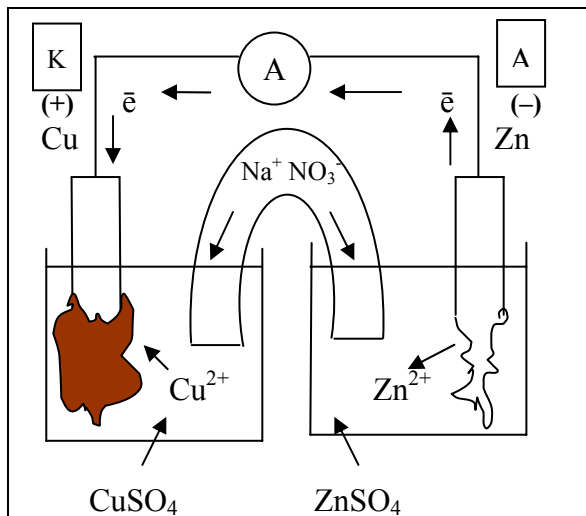
Joonisel 7 on anoodiks alumiinium (Al) ja katoodiks raud (Fe)

Joonisel 8 on anoodiks alumiinium (Al) ja katoodiks vask (Cu)

Joonisel 9 on anoodiks alumiinium (Al) ja katoodiks nikkel (Ni)

Metallide asukoha järgi pingereas on võimalik otsustada, milline metall on keemilises vooluallikas anoodiks, milline katoodiks. Keemilises vooluallikas on anoodiks aktiivsem metall ja vähem aktiivsem metall on katoodiks.

33.



Joonis 10

- a) Tsinkelektrood on anoodiks („-” laenguga) ja vaskelektrood on katoodiks („+” laenguga).
- b) Soolasillas olevad Na^+ -ioonid liiguvad vasksulfaadi lahusesse ja NO_3^- -ioonid tsinksulfaadi lahusesse.
- c) Elektronid liiguvad välises vooluahelas tsinkelektroodilt vaskelektroodile.
- d) Suureneb vaskelektroodi mass, kuna lahuses olevad Cu^{2+} -ioonid seovad elektrone ja sadenevad vase aatomitena vaskelektroodile.

Väheneb tsinkelektroodi mass, kuna tsiingi aatomid loovutavad elektrone ja lähevad Zn^{2+} -ioonidena lahusesse.

e) Soolasild aitab säilitada lahuste elektroneutraalsust.

f) Katoodil: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
Anoodil: $\text{Zn} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$

34. Õige b)

35. Vead on järgmised:

- a) mööda soolasilda liiguvad elektronid
- b) anood on positiivse laenguga ja katood negatiivse laenguga elektrood
- c) raudelektroodi mass suureneb ja tinaelektroodi mass väheneb

36. Kolme keemilise vooluallika nimetused on: a) autoaku b) vesinik-hapnikelement c) patarei

Vask-tsinkelemendi põhimõtte töötas esimesena välja inglise teadlane Daniell.

37. Õiged vastused:

1. Redutseerumine
2. Metallid
3. Elektronide
4. Oksüdeerija
5. Oksüdeerub
6. Süsinik

7. Kloor
8. Temperatuur
9. Hapnik
10. Katood
11. Autoaku
12. Elektrolüüs
13. Ioon
14. Fotosüntees
15. Anioon
16. Värvimine (või lakkimine)

Võtmesõnaks on **redoksreaktsioon**.