

Redoksreaktsioonidega puutume kokku sageli, ainult iseendale sellest aru andmata.

Redoksreaktsioonid – proovikivi nii õpetajale kui ka õpilastele

Kristelle Kaarma

TÜ keemiahariduse magistrant

Erika Jürjado

TÜ füüsikalise keemia instituudi lektor

2005. aastal testiti Tartu ja Tallinna koolide gümnaasiumiõpilasi, et hinnata, mil määral on nad omandanud põhiteadmised redoksreaktsioonidest. Selgus, et seda teemat on õpitud väga elukaugelt, põhiliselt ainult reaktsioonivõrrandite tasandil.

Marika Veissoni ja Roman Kallase artiklist käesolevas Hariduses (lk 16–20) selgub, et keemia on õpilaste hulgas populaarsuselt eelviimasel kohal füüsika ees. Mis on muutnud keemia nii vähepopulaarseks? Peamine põhjus näib olevat selles, et keemiatundides lahendatakse põhiliselt reaktsioonivõrrandeid ja aine seos igapäevaeluga jääb tagaplaanile. Tagaplaanile jääb ka keemia mikrotasand ehk seos füüsikaga.

Piltlikuks näiteks selle kohta on osutunud redoksreaktsioonide õppimine-õpetamine. Redoksreaktsioone kohtame argielus lausa igal sammul, seega peaks õpitava seostamine igapäevaelu-

ga olema üllitne. Näiteks elusorganismide hingamine – protsess, mille käigus lagundatakse hapniku osavõtul toitaineid. Vabanevat energiat kasutame oma elutegevuseks kõik. Redoksreaktsioon on gaasi põlemine koduköögis ja bensiini põlemine automootoris. Metallitoodetakse maagist redoksprotsessi abil, samas on ka metalli hävimine korrosiooni käigus redoksprotsess. Mobiiltelefoniga sõbrale helistades tarbime energiat, mida redoksreaktsioonide käigus toodab telefoni patarei. Redoksreaktsioonid on fotosüntees ja kõdunemine. Ka kurkide ja kapsaste hapnemine, toidurasvade rääsumine (kibedaks

muutumine) ning värske puuviljalõikude tumenemine õhu käes on redoksreaktsioonide tulemus. Haavade puhastamisel ning juuste blondeerimisel vesinikperoksiidi vesilahusega kasutatakse redoksreaktsioone.

Vaatamata sellele, et paljude ülalnimetatud reaktsioonidega puutuvad õpilased igapäevaelus vahetult kokku, peetakse antud teemat koolikeemias ikkagi üheks raskemaks ja õpilastele kaugemaks. Seda seisukohta jagavad õpetajad ja õpilased Eestist, aga ka Suurbritanniast, Põhja-Ameerikast, Austraaliast, Hollandist (2). Garnett jt osutavad, et väärarusaamu (*alternative concep-*

tions) seoses redoksreaktsioonidega esineb isegi üliõpilastel (6).

Millest raskused tulenevad?

Üks põhjus on just see, et keemiat õpetatakse väga tihti ainult sümboltasandil, ehkki saab õpetada kolmel tasandil:

- **sümboltasand** – sümbolid, valemid, võrrandid, matemaatilised manipulatsioonid, graafikud jms,

- **makrotasand** – see, mida näeme, saame katsuda ning mille lõhna tunneme,

- **mikrotasand** – aatomid, molekulid, ioonid ja struktuurid (7).

Kuna mikromaailm eksisteerib väljaspool meie kogemust, nõuab aatomite, molekulide või ioonidega opereerimine elavat kujutlusvõimet, mis pole igal õpilasel veel piisavalt arenenud. Seepärast tuleks mikromaailma nähtuste õpetamisel toetuda mudelitele, analoogiatele, arvutianimatsioonidele jms (6; 13).

Glasgow' ülikooli professor Alex H. Johnstone rõhutab, et ükski eelnimetatud kolmest tasandist ei ole õpilasele keemia õppimisel teistest vähem tähtis, vaid nad kõik täiendavad üksteist (7). Paraku õpitakse umbes 70% gümnaasiumi ja ülikooli keemiaõpetusest üksnes sümboltasandil (4). Arvatavasti ei erine meie keemiaõpetus oluliselt muu maailma omast. Selle kinnituseks olgu ühe õpilase ilmekas mõtteavaldus: "Me oleme jäägitult reaktsioonivõrranditele pühendunud (14)."

Keemikud ja keemiaõpetajad muidugi valdavad kõiki kolme eelnimetatud tasandit, kuid paljudele õpilastele ja üliõpilastele käib see üle jõu (6; 11). Gabel tõdeb, et õpilased ei suuda siduda sümboltasandit kahe ülejäänud tasandiga (5). Tagajärg on, et õpilased õpivad tunnis käsitletu pähe, läbivad järjekordse arvestuse, kuid ei saa aru, kuidas on keemia igapäevaeluga (makromaailmaga) seotud. Ka kõige lihtsamad keemilised protsessid mikrotasandil jäävad õpilastele arusaamatuks (4). Paraku eeldab aga redoksprotsessi sügavam mõistmine mikromaailma väga head tunnetamist. Näiteks peab õpilane suutma ette kujutada, et *elektrone loovutades* aatomi oksüdatsiooniaste kasvab ning *elektrone sidudes* aatomi oksüdatsiooniaste kahaneb. Coxi jt hinnangul (1) jääb see redoksprotsessi üks pea-

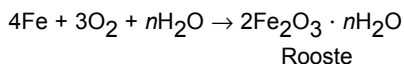
misi võtmekohti suurele osale õpilastest kahjuks arusaamatuks, mis võib olla tingitud sellest, et koolis õpetatakse keemiat peamiselt sümboltasandil ehk reaktsioonivõrranditena.

Vaatleme näiteks raua roostetamist. Missugused osakesed loovutavad, misugused seovad roostetamise käigus elektrone? Mille oksüdatsiooniaste kasvab, mille oma kahaneb? Neile küsimustele vastamiseks peab õpilane väga hästi tundma mikromaailma "mängu-reegleid".

Õpilane peab teadma, et metalli aatomitel on välises elektronkihis vaid mõni tuumaga nõrgalt seotud elektron. Järelikult loovutavad metalli aatomid keemilistes reaktsioonides oma väliskihil paiknevad elektronid, mille tulemusena tekivad neist positiivse laenguga ioonid. Aga mis seovad elektrone? Loomulikult niisuguste elementide aatomid, mille väliskihil on palju elektrone ning mis püsivama oleku saavutamiseks meelsasti seovad elektrone. Näiteks seovad elektrone õhuhapnik ja halogeenid, mille tulemusena tekivad neist negatiivse laenguga ioonid. Järelikult loovutab raua roostetamise käigus raud oma elektronid (oksüdatsiooniaste kasvab) ning õhuhapnik seob elektrone (oksüdatsiooniaste kahaneb). Seda raua ja hapniku aatomite vahelist "tehingut" kirjeldab joonis 1 (pöördel).

Roostetamise käigus raua aatomid loovutavad elektrone ja õhuhapnik seob elektrone. Taoliste elektronivõrranditega näidatakse keemias elektronide üleminekut.

Sümboltasandil kirjeldavad keemikud raua roostetamist järgmise summaarse reaktsioonivõrrandi abil:



Rooste

Reaktsioonivõrrandisse kirjutatakse ka vee valem, kuna raud roostetab tavaliselt vee osavõtul.

Lisaks eelkirjeldatule on käesoleva teema mõistmiseks vaja tunda redoksreaktsioonidega seotud põhimõisteid. Tuginedes Eestis praegu kehtivale keemia ainekavale, peab gümnaasiumiõpilane suutma omavahel eristada mõisteid *oksüdeerija*, *redutseerija*, *oksüdeerumine* ja *redutseerumine* (8). De Jong jt tõdeavad, et mõistete tundmisega on õpilastel suuri probleeme (2). On ilmne, et

põhimõistete kehv tundmine ei võimalda saada aru keemia ühestki valdkonnast, sealhulgas ükskõik millisest redoksprotsessist meis endis või meie ümber.

Uuring Eestis

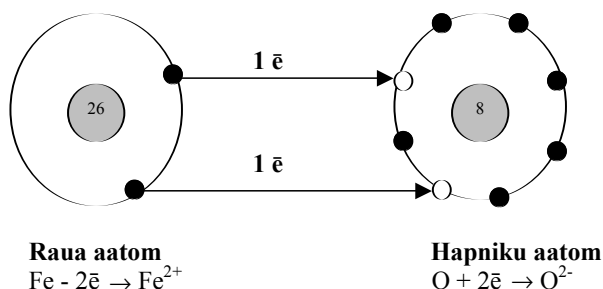
Et hinnata, mil määral on Eesti gümnaasiumiõpilased omandanud redoksreaktsioonide teemaga seotud põhimõisted ning kuidas nad saavad aru redoksreaktsiooni toimumise põhimõttest, testiti 2005. aasta sügisel Tartu ja Tallinna koolide 11. klassi õpilasi. Küsimustele vastas 179 noort. Pärast testide täitmist intervjueriti täiendavalt 11 õpilast.

Suurem osa testiküsimusi oli visualiseeritud. Selle kaudu lootsime saada vastust küsimusele, kuivõrd hästi oskavad õpilased jooniselt informatsiooni välja lugeda ja seostada seda varasemate teadmistega. Testide täitmise ajal oli lubatud kasutada perioodilisustabelit. Järgnevalt lühikokkuvõtte uuringu tulemustest.

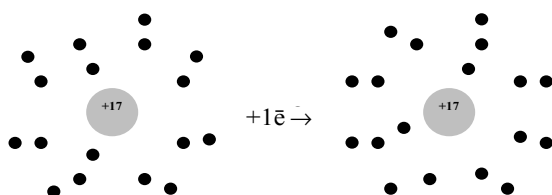
1. Toetudes joonisele 2, tuli õpilasel otsustada, kas käesolevas näites käitub keemilise elemendi aatom oksüdeerija või redutseerijana. Õpilasel paluti oma valikut põhjendada, lähtudes aatomi ehituse seisukohast.

Umbes 60% vastajatest teadis, et antud näites käitub keemilise elemendi aatom oksüdeerijana. Ülejäänuid ei abistanud vastamisel isegi testi juhendisse lisatud vihje: metallid on ühed tüüpilisemad redutseerijad ning hapnik ja halogeenid levinuimad oksüdeerijad. Siit võib järeldada, et õpilased ei osanud kasutada pakutavat lisainfot. Lugeses jooniselt aatomi tuumalaengu (+17), saanuks perioodilisustabeli abil hõlpsasti kindlaks teha, et tegemist on halogeeni ja seega oksüdeerijaga. Enamik intervjueritavatest aga tunnistas, et mõisted *oksüdeerija* ja *redutseerija* kipuvad sassi minema. "Lihtsalt ei mäleta, kumba pidi see asi käib – kumb võtab, kumb loovutab elektrone," nii kõlas õpilaste tüüpiline kommentaar.

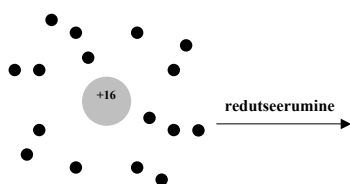
Tehtud valikut oskas ligikaudu 65% õpilastest õigesti põhjendada, kuid paljud ei pööranud põhjendamiselgi joonisele tähelepanu. Mitmel korral põhjendati oma valikut järgmiselt: *keemilise elemendi aatom loovutab elektroni*. Ometi on joonisel selgelt näha, et toimub ühe elektroni võtmine. Selgus, et



Joonis 1. Raua roostetamine – mikrotasand. Lihtsuse mõttes on käesolevas näites kujutatud ainult aatomite väliskihi elektrone. Sümbolid: ● elektron; ○ vaba ruum, kuhu saab elektroni siduda; e – elektroni tähis; numbrid 26 ja 8 näitavad, mitu prootonit on vastava aatomi tuumas.



Joonis 2. Kas keemilise elemendi aatom käitub oksüdeerija või redutseerijana?



Joonis 3. Milline ioon tekib?

veel gümnaasiumiski on õpilastel raskusi keemia terminoloogiaga. Eelkõige omistati mõistetele *aatom*, *elektron* ja *molekul* ekvivalentne tähendus. Näiteks viimasesse elektronikihti liidab aatom ühe molekuli või siis aatomeid tuleb protsessi käigus juurde.

2. Õpilasel paluti joonistada väävli aatomi redutseerumisel tekkinud iooni planetaarne mudel (vt joonist 3).

Ligikaudu 60% õpilastest mõistis, et redutseerudes võtab väävli aatom enda külge kaks elektroni. Olgu täpsustuseks lisatud, et õigeks loeti ka nende vastused, kes märkisid, et väävli aatom võtab enda külge ühe elektroni. Taas kord võib tõdeda, et õpilased ei pööranud joonisele piisavalt tähelepanu. Juba

kaheksanda klassi keemiakursusest peaks olema teada, et aatomid, mille väliskihil on 4–7 elektroni, keemilistes reaktsioonides tavaliselt võtavad enda külge elektrone. Intervjuudest selgus, et üheteistkümnest õpilasest seitse sidus omavahel mõistet *oksüdeerija* ja *oksüdeerumine* ning *redutseerija* ja *redutseerumine*. Näiteks, kui õpilane arvas, et oksüdeerija võtab enda külge elektrone, siis kaldus ta uskuma, et oksüdeerumine ongi elektronide endaga liitmine. Tegelikult on oksüdeerumine elektronide loovutamine.

3. Toetudes eelmisele ülesandele, tuli õpilasel kindlaks teha, millise laenguga ioon tekkis väävli aatomi redutseerumisel. (Õige vastus –2.)

Suuri probleeme (kõigest 45% õigeid vastuseid) tekitas iooni laengu määramine. Enamik valesti vastanuist kirjutas, et tekib positiivse laenguga ioon. Üllatas, et väga paljude õpilaste arvates võib väävli iooni laeng olla +17. Mitmel korral pakuti vastuseks ka +18. Tuginedes vastajate põhjendustele, võib väita, et õpilased on unustanud või pole tõesti aru saanud, kuidas muutub keemilise elemendi aatomi laeng elektronide võtmisel või loovutamisel. Levinud on väärarusaam, et elektrone võttes iooni laeng kasvab.

4. Õpilane pidi lõpetama järgmise reaktsioonivõrrandi: $H_2 + S \rightarrow$. Seejärel tuli määrata reaktsioonist osa võtvate elementide aatomite oksüdatsiooniaste lähteainetes ja saaduses ning otsustada, milline element on oksüdeerija, milline redutseerija.

Reaktsioonivõrrandi kirjutas õigesti keskmiselt 80% õpilastest. Niisugune tulemus on ootuspärane, kuna valitud oli üks lihtsamaid reaktsioonivõrrandeid. Samas teadis vaid alla 30% vastajatest, et oksüdeerijaks on väävel ning redutseerijaks vesinik. Kehva tulemuse põhjus peitub esiteks selles, et õpilased ei teadnud, et lihtaines on elemendi oksüdatsiooniaste alati null. Teiseks määrasid paljud testitud küll õigesti elementide oksüdatsiooniastme nii reaktsiooni lähteainetes kui ka saaduses (divesiniksulfiidis), aga ei osanud seostada elementide oksüdatsiooniastme muutust reaktsiooni käigus vastava aine käitumisega oksüdeerijana või redutseerijana.

Lisaks huvitas meid, kas õpilased oskavad tuua näiteid redoksreaktsioonide esinemise või rakendusvaldkondade kohta igapäevaelus. Justkui kokkulepitult vastas üheteistkümnest intervjuueeritavast üheksa, et 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. Sellised vastused viitavad vaid ühele – keemia, see on midagi väga elukaiget.

Kokkuvõte

Selgus, et veidi üle poole uuringus osalenud gümnaasiumiõpilastest tunnevad redoksreaktsioonide teema põhi-

mõisteid. Taoline tulemus ei ole iseene- sest halb kui arvestada, et enamik õpi- lasi ei seo oma tulevikku keemiaõpin- gutega. Samas tõi uuring teravalt esile vajaduse n-õ tugipunktide järele, kuidas põhimõisteid omavahel eristada ja seostada. Siinkohal anname mõned soovitusel, mis kogemustega õpetajale võivad olla ammu tuttavad, aga nende noorematele kolleegidele on ehk abiks.

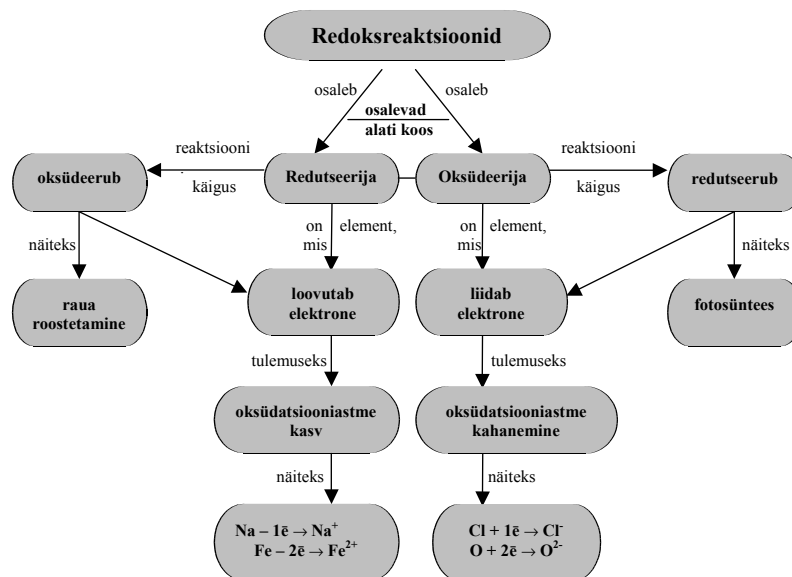
● Üks levinud meetod on siduda mõiste *redutseerija* sõnaga “reetur”, kes loovutab oma elektroneid. Oksüdeerija oleks sel juhul “omastaja” või “okupeerija”, kes võtab elektrone.

● Metallide teema õpetamise käigus tuleks rõhutada, et keemilistes reaktsioonides metalli aatomid loovutavad oma väliskihi elektrone. Seega käituvad metallid alati redutseerijana. Hapnik ja halogeenid aga seovad elektrone. Järelikult käituvad nad keemilistes reaktsioonides oksüdeerijana.

● Keemia mõistete omandamisel on andnud häid tulemusi mõistekaarditehnika kasutamine (10). Seda võiks julgesti proovida ka redoksreaktsioonide õppimisel. Mõistekaarditehnika õpetab mõisteid eristama ja neid omavahel siduma (vaata joonist 4). Lisaks valmib mõistekaardi koostamisel visuaalne kujutis, mis aitab mõisteid paremini meelde jätta (3). Usume, et mida mitmekesisemaid seoseid mõistete õppimisel luuakse, seda kergem on neid hiljem uues olukorras rakendada.

Sarnaselt teiste riikide õpilastega on Eesti õpilastelgi raske mõista, kuidas elektronide üleminekul muutub elemendi oksüdatsiooniaste. Leiame, et senisest enam tuleks pöörata tähelepanu ülesannete visualiseerimisele. Loodetavasti aitab see õpilastel paremini siduda sümbol- ja mikrotasandit. Lisame internetiviite (12), kus on ilmekalt seotud sümbol- ja mikrotasand. Näib, et pidevat kordamist ja harjutamist vajaksid ka järgmised kiiresti ununema kipuvad baasteadmised: aatomitest ionide tekkimine, elementide oksüdatsiooniaste määramine, reaktsioonivõrrandist redutseerija ja oksüdeerija leidmine.

Viimasena rõhutame, et keemiatunnis õpitut tuleb tihedamini siduda tavaelu teadmiste ja kogemustega, sest see muudab õpitava õpilase “omaks” – isiklikult mõtestatuks (9). Selleks peaks re-



Joonis 4. Mõistekaart “Redoksreaktsioonid”

doksreaktsioonide teema pakkuma laialdaselt võimalusi.

Kirjandus

1. Cox, A. L., Cox, J. R. Determining Oxidation-Reduction on a Simple Number Line. *Journal of Chemical Education*, 79, 2002. 965–967.
2. De Jong, O., Acampo, J., Verdonk, A. Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 1995. 1097–1110.
3. Fisher, R. Õpetame lapsi mõtlema. 2004. 62–78.
4. Gabel, D. Enhancing Students' Conceptual Understanding of Chemistry through Integrating the Macroscopic, Particle and Symbolic Representations of Matter. *Chemists' Guide to Effective Teaching*. USA, 2005. 77–88
5. Gabel, D. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76, 1999. 548–554
6. Garnett, P. J., Garnett, P. J., Hackling, M. W. Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 1995. 69–95.
7. Johnstone, A., H. Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 2000. 9–15.
8. Keemia ainekava täpsustatud õpitulemused;

http://www.hot.ee/keemik/ak_opitulemused.htm; 15.02.2006.

9. Kikas, E. Õpilase mõtlemise areng ja selle soodustamine koolis. Artiklikogumik: Üldoskused – õpilase areng ja selle soodustamine koolis. Tartu, 2005. 22

10. Nakhleh, M. B., Saglam, Y. Using Concept Maps to Figure Out What Your Students' are Really Learning. *Chemists' Guide to Effective Teaching*. USA, 2005. 129–139.

11. Nicoll, G. A. Qualitative Investigation of Undergraduate Chemistry Students' Macroscopic Interpretations of the Submicroscopic Structure of Molecules. *Journal of Chemical Education*, 80, 2003. 205–212.

12. Redoksreaktsioonide simulatsioon; <http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/redox/home.html>; 15.02.2006

13. Sanger, M. J. Computer Animations in Chemistry: What We Have Learned; <http://faculti.cns.uni.edu/~sanger/Review.htm>; 15.02.2006

14. Tähnas, T. Kolm aastat reaktsioonivõrrandeid ja vähe valikaineid. *Eesti Ekspress*, 28, 2005.