

## Mõned mõtted loodusainete lõimimisest

Detsember on Koolielu portaalis ([www.koolielu.ee](http://www.koolielu.ee)) loodusteaduste ainekuu. Õpilastele pakutakse võimalust osaleda konkursil Teadus minu kodus, kus nad peaks sooritama ja dokumenteerima (slaidid, fotosesee, video) ohutu loodusteadusliku katse või uurimuse. Õpetajate konkurss keskendub aga loodusainete - bioloogia, keemia, geograafia, füüsika – lõimimisele.

Loodus on tervik, kuid sealsete nähtuste üksikasjalikumaks uurimiseks ja selgitamiseks on loodusteadused ajalooliselt lahknud. Nendele teadusharudele toetuvad tänapäevased õppeained koolides. Alljärgnevas väikses ülevaates mõtisklen just loodusteaduste lõimimisest koolis.

Niisuguse laia ning riiklikus õppekavas vähekonkreetselt lahtikirjutatud teema korral teen alljärgnevas arutluses veel ühe kitsenduse: jätan kõrvale looduse välipraktikad, õuesõppetunnid, projektõppe jms kui juba olemuslikult ainete lõimist toetavad tegevused. Ka Koolielu konkurss õpetajatele keskendub seekord lõimimisele just klassitunnis.

Alljärgnevat tuleks käsitleda vaid mõnede soovitude ja näidete kogumina, mitte õppeainete lõimimise (integratsiooni) tervikliku käsitlusena. Ent loodetavasti saavad kolleegid sel viisil mõne idee oma ainetunniks ja Koolielu konkursitöö tegemiseks.

## Üldise mõisted ja oskussõnad

Alustuseks võiks mainida mitmesuguseid **üldisi sarnasusi** loodusteaduslike õppeainete vahel: ilmselt räägivad nii bioloogia, keemia, geograafia kui füüsikaõpetaja näiteks energiast ja temperatuurist, ainete muundumisest ja reaktsioonidest, sh oksüdatsiooni ja reduktsioonireaktsioonidest, aatomitest ja molekulidest, sünteesist ja lagunemisest, lahustest ja lahustunud ainetest, teadusliku uurimismeetodi etappidest (erinevates variatsioonides: probleemi püstitamine, taustinfo kogumine, hüpoteesi sõnastamine ja selle kontroll, tulemused ja järeldused) ning sellega kaasnevatest vaatlustest ja eksperimentidest, olulisel kohal kõigis loodusõppeainetes on mõõtmine, selle täpsus, mudelite loomine, katse planeerimine, selle ohutus jpm.

Bioloogina suudan näha enam seoseid bioloogia keemia vahel. Siinkohal toon mõned oskussõnade näited, mille puhul võiks õpetaja juurelda seostest teiste loodusainetega.

- Fotolüüs (vee lagunemine valgusenergia toimel fotosünteesil) ja lüsoosom (rakuorganell, mis lagundab mittevajalikke osi/aineid) bioloogias võiks keeleliselt viidata näiteks elektrolüüsile (elektrivoolu läbijuhtimisel ainest toimuv redoksprotsess) ja elektrolüütilisele dissotsiatsioonile (ioone sisaldavate lahuste tekkimine elektrolüütide lahustes) keemias. On ju siin kõigil juhtudel tegemist millegi lagunemise ehk **lüüsimisega** (kr „*lysis*“ = „eralduma“).
- Embrüonaalne induktsioon arengubioloogias tähendab, et ühtede rakkude eristumine (erinevateks kudedeks) tingib naaberrakkude eristumise kindlas suunas. Füüsikas tuntud elektromagnetiline induktsioon tähendab aga elektrivoolu tekkimist suletud kontuuris selle pinda läbiva magnetvälja muutumisel. Seega on mõlemal juhul tegemist millegi esilekutsumisega (**indutseerimisega**).
- Autotroofid bioloogias tähendavad organisme, kes suudavad orgaanilise aine moodustada lihtsamatest anorgaanilistest ühenditest, näiteks päikeseenergia toimel; Sõnatüvi „**auto**“ (kr „*autos*“ = „**ise**“) on tuntud eelkõige tänapäeva liiklusvahendi järgi – iseliikuja. Sõnatüvi „auto“ on kasutusel ka niisugustes oskussõnades nagu automaat/automaatne (kr „*automatos*“ = „isetoimiv“), autonoomne (iseseisev),

autogramm (omakäeline nimekirjutus), autoklaav (seade millegi mõjutamiseks kõrge rõhu ja –temperatuuriga). Viimase puhul saaks füüsik ilmselt kõnelda rõhu ja temperatuuri sõltuvusest ning bioloog steriilimisest. Automaatika on tuntud mõiste tehnikas (füüsikas), autooksüdatsioon (aine iseeneslik oksüdeerumine ahelreaktsioonina) aga keemias. Nii võiks vastavate liitsõnade algust tõlkida kui „ise-“ millegagi hakkamasaajad.

- Polümeerid (kr „**poly-**“, = „**palju**“) on ained, mis koosnevad korduvatest sarnastest (samadest või erinevatest) üksikosadest ehk monomeeridest. Neist kõnelevad nii bioloogia kui keemiaõpikud. Lisame siia sõnad polügoon (matemaatikas hulknurk, sõjanduses õppeväli), polüfunktsionaalne (mitme funktsiooniga), polüetüleen (nn kile materjal) jt keemilised polümeerid, polümorfus ehk mitmekujulisus (bioloogias liigi isendite mitmed vormid; geoloogias sama keemilise ühendi erimid erisugustes oludes; keemias elemendi erimid, nt süsiniku puhul teemant ja grafiit).
- **Tiheduse** mõistet kasutavad bioloogid ja geograafid näiteks populatsioonide iseloomustamisel: populatsiooni tiheduse all mõistetakse isendite arvukust pinna- või ruumalaühiku kohta. Füüsikas ja keemias on see oskussõna kõigile hästi tuntud – see on nn erikaal ehk aine ruumalaühiku mass.
- **Hüdrofiilsus** (veelembesus) ja hüdrofoobsus (veepelglikus) on tavalised oskussõnad bioloogias ja keemias, mida kasutatakse molekuliosade (näiteks lipiidimolekuli) või materjalide iseloomustamiseks. Keemias kõneldakse hüdraatumisest (aineosakeste liitumine veemolekulidega) ja dehüdraatumisest (ka bioloogias: näiteks organismi dehüdraatumine) ja hüdrogeenimisest (vesinikega rikastamine, „*hydrogenum*“ = „vesinik“ ehk „veetekitaja“). Hüdroenergia ja hüdro sfäär (maakera vesikond) võivad küll olla teemaks ökoloogias, ent enam räägitakse sellest geograafias.
- **Süsteemideks** on side- ja infosüsteemid majandus- ning Maa süsteemid loodusgeograafias, ökosüsteemid bioloogias, päikesesüsteem ja tähesüsteemid astronoomias, elektrisüsteemid tehnikas jne. Nende süsteemidega tutvumine lubab teha üldistusi ning leida eri süsteemide sarnasusi. Küberneetika kui teadusharu süsteemide juhtimisest ja sidest masinas, organismis või ühiskonnas on alguse saanud just bioloogiliste süsteemide regulatsioonimehhanismide uurimisest.
- Keemias õpetatavad **polaarse** (ld „*polaris*“ = „poolus, naba“) ja mittepolaarse sideme ning **vesiniksideme** tundmine võimaldavad ka bioloogias ennustada biomolekulide koospüsivust või toitainete lahustumist. Polaaralad, polaarjooned, polaarpäev ja –öö on käsitluse all geograafias, lainete polarisatsioon (näiteks valguslaine elektrivektori võnkumine mingil kindlal, ajas muutumatul viisil) optikas, sellega on seotud vastav plastikmaterjal polaroid.

Kindlasti leiavad õpetajad (näiteks teiste looduainete õpikuid sirvides) veel hulgaliselt selliseid, **keelelisele sarnasusele** tuginevaid näiteid. Paljuski toetuvad need ladina või kreekakeelsetele sõnadele (-genes; termo-; foto-; neutro- jne).

## Näiteid lõimuvatest teemakatketest

Keemiaõpik (H. Tuulmets, 2002, Orgaaniline keemia gümnaasiumile. Lk 22 ja lk 46) käsitleb lühidalt orgaanilise aine **kütteväärtuse** seost süsinikühendi oksüdatsioonistme muutumisega, täielikul põlemisel CO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub>O-ni. Kütteväärtuse määrab orgaanilise aine redutseerituse (vesinikuaatomite hulk süsiniku kohta) aste. Enam redutseerunud süsinikühendit annab enam oksüdeerida, mistõttu selline kütus annab põletades rohkem energiat. Süsiniku väikseim võimalik oksüdatsioonistme (oa) on metaanis, -IV, maksimaalne võimalik oa aga süsihappegaasis (CO<sub>2</sub>), +IV. Orgaanilise ühendi täielikul põlemisel süsihappegaas just moodustubki. Seega, mida suurem on süsiniku oksüdatsioonistme muutus

põlemisel, seda enam energiat vabaneb. Bioloogias kasutatakse kütteväärtusega sarnast, **toiteväärtuse** mõistet. Jättes toiteväärtuse tähenduses kõrvale organismile vajalike ainete (näiteks valgud, lipiidid, sahhariidid ja vitamiinid) õige vahekorra, võib keemias käsitletavat kütteväärtuse hindamist kasutada ka toiduks kasutatavate orgaaniliste ainete toiteväärtuse (energiasisalduse) hindamiseks. On ju toitainete seedimine ja lagundamine organismis samuti käsitletav oksüdatsioonina, aeglase põlemisena. Arvutuslik hindamine võiks toimuda järgnevalt:

CH<sub>4</sub> (metaani) põlemisel CO<sub>2</sub>-ni (metaan + hapnik = süsihappegaas + vesi) on süsiniku oa muutus 8 ühikut, -IV-st +IV-ni. Tuntud toitaine glükoosi (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) puhul on see muutus aga 4 ühikut oksüdatsioonistmete skaalal (0-st +IVni). Huvitava tõsiasi lisab ehk hinnang etanooli (piirituse, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) põlemise kohta: sel juhul on oa muutus 6 ühikut. Järelikult annab sama kogus etanooli teoreetiliselt rohkem energiat kui glükoos. Õpilastele saab esitada ülesandeid ka teiste tuntud toit- või kütteinete kohta.

Oksüdatsiooniprotsessid (redoksreaktsioonid) on lisaks põlemisele ka roostetamine, kõdunemine ja mädanemine, vaid energia eraldumise viis on isemoodi. Nii on sel keemias käsitletaval mõistel määratu tähendus ka bioloogias ja tehnikas ning materjaliteaduses, aga ka üleilmsete jm keskkonnaprobleemide kujunemisel. Viimased on kõigi loodusainete õppekavas ning seetõttu peaks eri loodusainete õpetajad siin küll üksteise teemakäsitlustega kursis olema.

Ensüüme (organismis biokeemilisi reaktsioone läbiviivad valgud) nimetatakse bioloogias ka biokatalüsaatoriteks. **Katalüsaator** (kr „*katalysis*“ = „lagundamine, lahustamine“) keemias tähendabki sama: aine, mis muudab keemilise reaktsiooni kiirust, ilma et tema enda kogus ja keemilised omadused reaktsiooni lõpuks muutuks. Seega ei pea ka organism biokatalüsaatorite (ensüümide) sünteesiks kogu aeg energiat kulutama. Katalaasi nime all tuntakse bioloogias ensüümi, mis aeroobsetes organismides viib läbi vesinikperoksiidi (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) lagundamist hapnikuks ja veeks (või vastupidi, vastavat sünteesireaktsiooni). Muide, katalaasi olemasolu on kerge tõestada näiteks taimekudedes: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tilgutamisel värsketele koele hakkab eralduma hapnikumullikesi – katalaas teeb tööd! Sama nähtus on ilmselt paljudele tuntud haava ravitsemisest vesinikülihapendi (vesinikperoksiidi) lahusega. Hea tahtmise korral leiab siin sarnasuse ka katapuldi (kive, kuule jm heitev sõjamasin) tööga – nn töötegiija on pärast töö tegemist taastunud; või siis katapulteerumisega lennunduses – reaktsiooni tulemus (hukkuv lennuk) on jäetud omapäi ning selle põhjustaja lahkunud.

Ensüümide töö on seotud keemias käsitletava orgaanilise aine molekuli **käelisuse** (kiraalsuse) mõistega. Nimelt eristatakse näiteks aminohapetel või monosahhariididel (nt glükoos) parem- ja vasakpoolset molekulikuju, sõltuvalt hüdroksüülrühma (-OH) paiknemisest viimase kiraalse (süsinikul on sidemed vähemalt kolme erineva asendajaga) süsinikuaatomi juures. Kui hüdroksüülrühm asub molekuli projektsioonil paremal (*dexter*), on tegu D-isomeeriga, kui vasakul (*laevus*), siis L-isomeeriga. Looduses on enamasti D-sahhariidid ning ensüümid on evolutsioonis kohastunud lagundama just neid. Näiteks L-glükoosi organismid ei omasta – kuigi summaarne molekulivalem on sama - sest ensüümid ei suuda seda molekulikuju ära tunda. (H. Tuulmets, 2002, Orgaaniline keemia gümnaasiumile. Lk 208 - 210)

**Vee füüsikalised omadused** annavad võimaluse juhtida tähelepanu seostele organismide eluga. Näiteks defineeritakse füüsikas **pindpinevust** kui vedeliku pinnakihi omadust võimalikult kokku tõmbuda, sest pinnakihi molekulidele mõjub molekulidevahelise tõmbejõudude resultantjõud, mis suundub vedeliku sisse. Pindpinevuse tõttu elunevad ja püsivad veekogude pinnal paljud kerged organismid (näiteks liuskurid).

**Kapillaarsus** (ld „*capillaris*“ = „juus, jõhv“) on entsüklopeedias defineeritud kui mittesegunevate keskkondade, harilikult vedela ja tahke faasi kokkupuutepiirkonnas ilmnevad

pindpinevusnähtused, kitsamalt kui mürgumisega kaasnevad imendumisnähtused poorides. Mullaosakeste vahele jäävate peente kanalite – kapillaaride – tõttu saab toimuda vee liikumine taimejuureni. Osalt nn kapillaarjõudude toimel liiguvad mullast võetud toitelahused ka taimevarre kanalikestes; osa taimeliikide, näiteks turbasammalde tihedaltasetsev kooskasvamine võimaldab samuti vee imamist ja säilitamist. Selgroogsete loomade peenemaid veresoone kutsutakse samuti kapillaarideks ehk juussoonteks.

**Aurustumissoojuse** all mõistetakse füüsikas soojushulka, mis on vajalik ühe massiühiku aine muutmiseks sama temperatuuriga auruks (ühikuks J/kg). Vee kõrge aurustumissoojuse (2,3 MJ/kg) tõttu toimivad üsna efektiivselt organismide jahutussüsteemid: higistamisel kulutatakse kehapinna vedeliku muutmisel auruks keha soojust; taimede transpiratsioonil ehk vee aurustamisel lehtedest toimub sama.

Vee kolme **agregaatoleku** – tahke, vedel, gaasiline – olemasolu suhteliselt kitsas temperatuurivahemikus (0-100 °C) on elusloodusele samuti raske üle hinnata: biokeemilised reaktsioonid organismides toimuvad enamasti vesilahustes, hingamisel eraldub ja fotosünteesil kasutatakse veeauru, vee aurustamisega toimuvast keha jahutamisest oli juttu ülalpool. Vesi on looduses üks väheseid vedelike, mille puhul tahke faas – jää – on kergem (väiksema tihedusega) kui vedel faas. Seetõttu hakkab jää tekkima veekogu pinnalt ning jääkaane all on võimalik aktiivse elu jätkumine ka talvel. Ilmselt leiaks oma õppeaine seoseid vee agregaatolekute ja aurustumissoojusega ka geograafia.

**Lõpetuseks** pakun veel mõned võimalikud lõimimisteemad, neid siinkohal pikemalt lahti kirjutamata – jätame mõtlemisruumi konkursitööde koostamiseks ning edaspidisteks artikliteks.

- **Bioonika** (BIOloogia + tehNIKA) on teadusharu, mis uurib eluslooduse eeskujude kasutamist tehnika arendamisel. Siin on otsesed vihjed bioloogia ja füüsika seoste, näiteks helikopter ja kiilid, taimelehtede roodumine ja ehitiste karkassid (tugikonstruktsioon).
- **Elektromagnetlainete** spektrist suudavad taimed fotosünteesil kasutada vaid teatud lainepikkusega valgust. Valguse leviku iseärasused veekeskkonnas määravad fotosünteesivate organismide pigmentide olemuse, kasvukoha sügavuse või kasvukiiruse. Valgusspektriga on seotud organismide nägemise (sh värvide nägemise) võime. Silma talitluse analüüsil väljenduvad loodusainete seosed eriti ilmekalt (läätis, fookus, valguse murdumine, keemilised reaktsioonid võrkkesta rakkudes, närviimpulsi edastamine, nägemisaistingu kujunemine; fotograafia).
- **Võnkumised ja lained**, heli ja hääle teke - merelainete tekkemehhanism, nende mõju vee koostisele ja elustikule, helilainete amplituud ja sagedus, kuulmisaistingu teke jpm.

TÜ teadlased on aastaid tagasi välja andnud tänuväärse brošüüri füüsika ja bioloogia seoste näitamiseks (M. Seeba, H. Voolaid, 2000, Füüsikalt bioloogiale, TÜ Kirjastus). Loodetavasti leiavad asjatundjad aega nii uute taoliste väljaannete koostamiseks kui ka loodusainete lõimimise paremaks arvestamiseks riiklikus õppekavas, sh õpetajatele vastavate meetodiliste materjalide koostamiseks.

Olen ikka imestanud, kui sarnane on Bohri aatomimudel (keemia, füüsika) päikesesüsteemi mudeliga (astronoomia, geograafia).

Avastamis- ja mõtlemisrõõmu soovides,  
Urmas Tokko,  
Koolielu bioloogia aineekspert,  
Tartu Tamme Gümnaasiumi bioloog  
tokko@tamme.tartu.ee