

Eheyttävä opetus luonnontieteiden opetuksessa

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

10.5.2019

Janne P. I. Karppinen

Esipuhe

Tämä Pro gradu -tutkimus tuotettiin Jyväskylän yliopistossa tammikuun 2017 ja toukokuun 2019 välisenä aikana. Tutkimuksen ohjaajana toimi Jouni Välisaari.

Kiitän Jounia maltikkaasta ja taitavasta ohjaamisestani ja tukevasta kannustuksesta, erityisesti työn loppuvaiheessa, kun moni asia meinasi kääntyä pääläelleen.

13. 5. 2019

Janne Pekka Iisakki Karppinen

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa käsitellään luonnontieteiden opetuksen eheyttämisestä eli integraatiota, sekä siihen liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita. Opetuksen eheyttämisellä tarkoitetaan oppiaineiden tuomista lähemmäksi toisiaan opetuksen yhteydessä, jotta täydellisempi kokonaiskuva voidaan saavuttaa eheyttävästä aihealueesta.

Tutkimuksen suorittamista varten laadittiin kolme kemiaa ja biologiaa eheyttävää oppimateriaalikonaisuutta. Opetuspakettien teemat ovat veri, adenosiinitrifosfaatti sekä entsyymit. Näitä kokonaisuuksia opettajat pystyvät soveltamaan opetukseensa.

Havainnointia varten tehty opetuspaketin aiheena oli veri. Paketin tavoite oli tehokkaasti yhdistää kemian ja biologian opetus molemmille oppiaineille yhteisestä aiheesta ja tuottaa ns. "binokulaarinen" kuva aiheesta opiskelijalle. Aihealue käsitti veren kemiallisen koostumuksen, happamuuden, veren solukon ja proteiinien kemiallisen luonteen ja reagoinnin veressä.

Opetus toteutettiin yliopiston tiloissa lukion kemian erikoiskurssin opiskelijoille. Suunnitelmaa jouduttiin muokkaamaan alkuperäistä tiiviimmäksi aikataulusyistä.

Tutkimusta varten tarvittava materiaali kerättiin osallistuvan havainnoinnin ja oppilashaastattelun keinoin. Materiaali analysoitiin aineistolähtöisen sisältöanalyysin avulla. Erityistä huomiota kiinnitettiin oppijoiden suhtautumiseen eheyttävää opetusta kohden.

Oppijoiden havaittiin sopeutuvan helposti eheyttävän opetuksen menetelmiin, eheyttävästä opetuksesta ei koidu kohtuuttomia kustannuksia koululle, eikä se aseta kohtuuttomia vaatimuksia opettajalle. Tutkimuksen yhteydessä ei saatu ehdottoman selkeitä tuloksia opetuksen tehostumisesta tai motivaation lisääntymisestä, vaikkakin aineiston pohjalta eheyttävällä opetuksella voidaan tulkita olevan lievästi positiivinen vaikutus oppimisen suhteen.

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	I
Tiivistelmä.....	II
Sisällysluettelo.....	III
1 Johdanto.....	1
2 Bloomin taksonomia ja syväoppiminen.....	2
3 Integroitu eli eheytetty opetus.....	8
3.1 Hajautettu malli.....	11
3.2. Yhdistetty malli.....	11
3.3. Sisäkkäistetty malli.....	12
3.4. Sarjautettu malli.....	13
3.5. Jaettu malli.....	13
3.6. Verkotettu malli.....	14
3.7. Kudostettu malli.....	15
3.8. Eheytetty malli.....	15
3.9. Syventynyt malli.....	16
3.10. Verkostoitunut malli.....	17
4 Opetuksen eheytyksen opetus suunnitelmien perusteissa.....	18
5 Kemian ja biologian sisältöjä eheyttäviä aiheita.....	27
5.1 Käytetyt termit.....	27
5.2 Adenosiniinifosfaatti eli ATP.....	33
5.3 Veri.....	42
5.4 Entsyymit.....	54
6 Yhteenveto kirjallisesta osasta.....	63
7 Kokeellisen osuuden toteutus.....	64
7.1 Tutkimuksen tausta.....	64
7.2 Tutkimuksen tarkoitus.....	65
7.3 Tutkimuksen toteutus.....	67
7.4 Tutkimusmenetelmät.....	69
7.4.1 Ennakkohaastattelu.....	70
7.4.2 Osallistuva havainnointi.....	70
7.4.3 Haastattelu.....	71

7.4.4 Aineistolähtöinen sisältöanalyysi.....	72
7.5 Tutkimusaineisto.....	72
8 Tulokset ja analyysi.....	73
9 Pohdinta.....	79
10 Kirjallisuus.....	84

1 Johdanto

Kuluneina vuosina yhteistyö ja rajojen ylittäminen ovat käsitteinä nousseet esille huomattavissa määrin opettajien keskuudessa. Tämä on johtanut erilaisten opettajuuteen liittyvien termien yleistymiseen. Tällaisia termejä ovat mm. eheyttävä, integroitu, yhteistoiminnallinen, poikkitieteellinen tai monialainen opetus.

Erityistä huomiota on kiinnittänyt eheyttävä eli integroitu opetus, jonka ytimessä on ajatus erilaisten opettavien aineiden keskenäisistä yhteneväisyyksistä. Erityisesti luonnontieteissä tällä on merkittävä osa, sillä luonnontieteet ovat lähestymistapoja tiettyjen luonnossa esiintyvien ilmiöiden tutkimiseen. Näinollen ei ole liioiteltua sanoa, että eritellyissä muodoissaan luonnontieteellinen lähestyminen on kuin katsoisi kolmiulotteista projektiota yhdestä suunnasta nähden vain kaksiuolteisen kuvan.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella toimiiko tämä opetusmenetelmä opetuksen tehostamisessa aj havainnoida kuinka oppijat suhtautuvat tämänlaiseen opetukseen. Tavoitteena on myös kehittää erilaisia tietopaketteja kemian ja biologian välimaastosta, joita opettajat voivat käyttää opetuksessaan materiaalina.

Tutkimuksessa tarkastelemme eheyttämisen potentiaalia Bloomin taksonomian ja Fogartyn integraatiomallien avulla.

2 Bloomin taksonomia ja syväoppiminen

Bloomin taksonomia on oppimista kuvaava kognitioteoria, jonka kehitti vuonna 1956 nimensä teorialle antanut tutkimusryhmää johtanut Benjamin S. Bloom. Hän jakoi oppimisprosessin kolmeen pääkategoriaan: kognitiiviseen, tunteelliseen ja psykomotoriseen alueeseen. Tämän tutkimuksen osalta ainoastaan kognitiivinen, eli tietoon pohjautuva, oppimisen taksonomia on mielenkiintoinen. Tässä luokittelussa ajattelutaidot jaetaan monimutkaisuuden mukaan kuuteen hierarkiseen tasoon, mitkä jakautuvat alemman ja ylemmän tason ajattelutaitoihin.^{1,2}

Alemman tason ajattelutaidot ovat:

1) Tiedon muistaminen (*Remembering*)

Oppija kykenee tunnistamaan tiedon asiayhteydestä ja palauttamaan sen mieleen. Esimerkiksi faktoidi, pajupuiden latinankielinen nimi on *Salix*, josta salisyylihapon nimi tulee.

2) Ymmärtäminen (*Understanding*)

Oppija pystyy tulkitsemaan tieton sisällön asiayhteydestä, antamaan esimerkkejä tiedon toiminnasta, luokittelemaan asioita tiedon pohjalta, pääättelemään sisältöä tietoon nojaten, tekemän vertailua ja perustelevaan tulkitsemaansa tietoa. Esimerkiksi ymmärrys, että keittämällä pajun kuorta ei saada aspiriinia, vain sen esiastetta pajurohdoksen muodossa (*salicin*).

3) Soveltaminen (*Applying*)

Oppija kykenee soveltamaan oppimaansa tietoa esimerkiksi käyttämällä

biologian ja kemian tietoa erottaakseen hopeapajun kuoresta *salicinia*, jonka voi hapettaa salisyylihapoksi.

Korkeamman tason ajattelutaidot ovat puolestaan:

4) Analysointi (*Analyzing*)

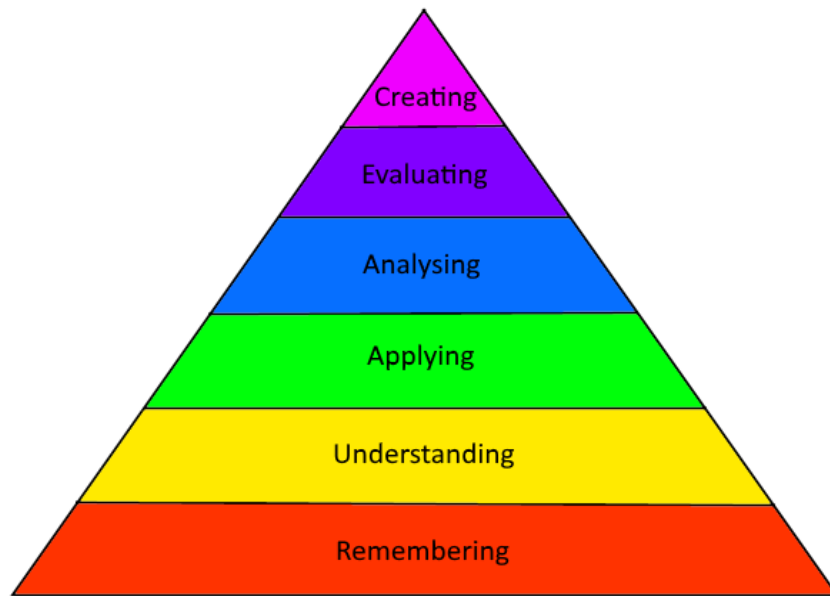
Oppija osaa erotella tarvittavan tiedon materiaalista, organisoida tiedon osaluokkiin ja havaita piilomerkityksiä kirjoituksista. Esimerkiksi vertailemalla lähteitä oppija voi löytää tietoa ja tiedon pohjalta analysoida mistä pajulajikkeesta saadaan parhaiten *salicinia* erotettua ja mikä tuotantoreitti on sopivin tarkoitukseen.

5) Arviointi (*Evaluating*)

Oppija kykenee tarkistamaan tuotetun tuloksen järkevyyden tai oikeellisuuden ja kriittisesti arvioimaan menetelmien (omien ja muiden) hyviä ja huonoja puolia, esimerkiksi arvioimaan pajun jalostustutkimuksen toteuttamiskelpoisuutta.

6) Luominen/tuottaminen (*Creating*)

Oppija kykenee kehittämään oman hypoteesin asiasta, suunnittelemaan esim. koejärjestelyn tai tuottamaan jotakin omalaatuista, kuten omanlaisensa tutkimuksen.



Kuva 1: Bloomin taksonomian mukainen, kognitiivisten taitojen hierarkia.

Ihmisen ajattelun taitoja on kuviteltu portaittaiseksi hierarkiaksi siten, että henkilön on ensin hallittava asia A, että hän voi kiivetä korkeammalle tiedon tasolle ja omaksua taito B; Bloomin taksonomia on visualisaatio ja kiteytys tästä ideasta. Luokittelu on hierarkinen, eli alempien tasojen hallinta on vaatimus ylempien tasojen hallitsemiseen; oppija joka kykenee arvioimaan tuottamaansa työtä, on siis kykenevä tuottamaan työtä tietojensa pohjalta.^{1,2}

Hierarkia ei kuitenkaan ole absoluuttinen, mikä merkitsee, että henkilö kykenee soveltamaan asiaa ymmärtämättä asiaa täydellisesti, vaikka ymmärtäminen auttaakin soveltamista.¹

Hierarkian luonne on toisinaan kyseenalaistettu; jotkin ajattelijat mieltävät alemman tason portaita tarpeettomiksi, kun toiset pitävät kolmea ylintä tasoa rinnakkaisina.¹

Termillä "syväoppiminen" viittaamme tässä tutkimuksessa siihen, kun oppija etenee korkeammille ajattelutaidon tasoille ja kehittää sekä käyttää niitä

kykyjään oppimisprosessissa. Termi on johdannainen englannin kieliesestä termistä "*deeper learning*" joka on kattava termi, millä viitataan oppijan kykyä koota akateeminen ajattelunsa tasolle, jolla hän voi käyttää ja soveltaa sitä tehokkaasti.³

Idealisesti tavoitteena on saada oppija heti yläkouluun siirtyessään käsittelemään Bloomin taksonomian kuvailemia ajattelutaitoja ja kehittämään niiden käyttöä siten, että yhä enenevämmässä määrin hän käyttää korkeamman tason ajattelutaitoja itsenäisesti.

Pedagogiikan yhteydessä käytettävää syväoppimisen termiä ei tule sekoittaa tietotekniikassa ja robotiikassa käytettyyn termiin "*Deep Learning*", jolla viitataan tehostettuun koneiden ja tekoälyn oppimiseen liittyviin algoritmeihin.⁴

Bloomin taksonomian iän ja suosion vaikutuksesta useat ihmiset ovat tehneet siitä omia tulkintojaan, tiivistäneet, laajentaneet ja muokanneet sitä. 1990-luvun aikana eräs Bloomin entisistä oppilaista, Lorin Anderson, johti uutta tutkimusryhmää yhdessä David Krathwohlin kanssa tavoitteenaan päivittää taksonomia siten, että sen sisältö olisi yhä sopiva 2000-luvun oppilaille ja opettajille. Muutokset ovat hienovaraisia, mutta syvällisiä. Anderson ja Krathwohl ottivat huomioon Bloomin omat huolenaiheet ja kritiikin kohteet alkuperäisessä taksonomiassaan, tehden hyödyllisempiä ja kattavampia lisäyksiä taksonomian risteämisiin eri tasojen ja tyyppien tiedon kanssa. Tämä johti syventäviin määritelmiin kustakin tiedon tasosta ja toi esiin tiedon ulottuvuudet.¹

Bloomin alkuperäisessäkin tekstissä on mainittu tiedon ulottuvuudet, jotka eroavat mainituista tasoista hieman, sillä kukin näistä ulottuvuuksista voidaan jakaa kuvan 1 esittämiin tasoihin.^{1,2}

Poikkeus Bloomin alkuperäiseen ajatukseen on metakognitiivisen tiedon ulottuvuus, joka on uusi lisäys Krathwohlin toimesta uusitus

taksonomiassa.^{1,5}

Tiedon ulottuvuudet ovat

- Faktuaalinen tieto – perusasiat aineesta tai aihealueesta, jotka on tunnettava, jotta asiaa voidaan pitää tuttuna tai ongelmia voidaan ratkaista. Esim. yleiset faktat ja terminologia.
- Käsitteellinen tieto – perusasiat yhteen kytkevä tieto, joka antaa muodostaa toimivia kokonaisuuksia. Esim. periaatteet, teorit, yleistyksiset tai mallit.
- Käytännön tieto – menettelyn ja toiminnan tavat sekä tieto eri taitojen, menetelmien ja tekniikkojen suorituksesta.
- Metakognitiivinen tieto – tieto ajattelusta yleisellä tasolla, sekä ymmärrys omasta itsetietoisuudesta.

Taulukko 1: Tiedon ulottuvuuksien ja kognitiivisten taitojen hierarkian välinen matriisi.

	muistaminen	ymmärtäminen	soveltaminen	analysointi	arviointi	tuottaminen
Faktuaalinen tieto						
Käsitteellinen tieto						
Käytännön tieto						
Metakognitiivinen tieto						

Taulukossa 1 esitetään visuaalisesti Bloomin hierarkian suhde Krathwohlin ja Bloomin määrittämiin tiedon ulottuvuuksiin. Ulottuvuudet ovat löyhästi toisiinsa yhteydessä ja siten ei ole mitenkään varmaa, että kaikki tiedon

ulottuvuudet yhden oppijan kohdalla olisivat samalla tasolla keskenään.

Opetuksen osalta huomioitavaa tämän suhteen on, että vaikka ulottuvuudet ovat löyhästi yhteydessä, puutteet yhdessä voivat hankaloittaa toisen tiedon kehittymistä korkeammalle tasolle. Samoin toisen tiedon ulottuvuuden korkea taso voi auttaa kolmannen kehittymistä korkeammalle tasolle. Metakognitiivinen tai jokin muu tiedon ulottuvuus yksinään ei riitä toimimaan tunnisteena syväoppimiselle, vaan kaikkien näiden ulottuvuuksien yhteistoiminta voidaan nähdä riittävän selkeästi syväoppimisen todisteena.⁶

Toisena tunnisteena voidaan pitää oppijan motivaatiota. Ulkopuolinen motivointi selkeästi vaikuttaa oppijan tuloksiin vaikka sisäisen motivaation vaikutusta on vaikeampi arvioida. Toisin sanoen, opettajan on toimittava oppijoiden motivoivana voimana, jotta oppijat voivat hyötyä motivaation vaikutuksesta oppimiseen. Sisäinen motivaatio, jota tässä tilanteessa verrattakoon mielenkiintoon, on esillä oppimisen mininmikynnyksen ylittämisessä, eli ensimmäisen askeleen ottamisessa kohti oppimista, mutta ei näytä muutoin vaikuttavan oppimisen tasoon.⁷

3 Integroitu eli eheytetty opetus

Integraatio (lat. *integratio*: eheyttää, yhdistää) on verrattain uusi ilmiö pedagogiikassa. Käsite on ollut esillä jo ainakin vuodesta 1989, mutta mahdollisesti aikaisemminkin, jolloin B.J.E. Shoemaker määritteli integroidun opetussuunnitelman oppiainerajat ylittäväksi suunnitelmaksi, mikä tuo yhteen eri osioita opetussuunnitelmasta muodostaen selkeän kokonaisuuden jonka avulla voidaan keskittyä kattavaan opiskeluaiheeseen. Tämä saisi aikaan selkeän mieliyhteyden oppilailla valitun aiheen ja sen koostavien opetussuunnitelman osioiden välille.^{8,9}

Koska integraation käsite on laaja ja monella tapaa ymmärrettävissä, voidaan sitä myös soveltaa monella tapaa. Integraation eli eheytetyn opetuksen sisältöjä, mahdollisuuksia ja haasteita on jo jonkin verran tutkittu ja lyhyesti summaten, integraation soveltaminen universaalisti eri oppiaineiden välillä ei ole yksinkertainen asia.⁹⁻¹³

Kansainvälisesti eri valtioilla ja kulttuureilla on erilaiset kannat opetukseen ja oppimiseen, puhumattakaan opetuksen rahoituksesta tai suhtautumisesta opettamiseen, oppimiseen sekä opettajuuteen. Voimakkaasti eheytyksen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat opiskelijoiden asenteet, opettajien käyttämät menetelmät ja motivaatio eheytystä kohden.^{13,14}

Drake ja Burns (2004) ovat jakaneet opetussuunnitelman integraatio menetelmät kolmeen ryhmään.¹⁵

1) Monialainen (*multidisciplinary*)

Monialaisen integraation lähestymistavassa useiden oppiaineiden välisiä suhteita käsitellään yhteisen teeman kautta. Tietosisällöt nousevat tällaisessa lähestymistavassa erikseen kunkin oppiaineen sisällä. Kukin erillinen oppiaine

tarjoaa oman näkökulmansa ja suuntauksensa yhtä totuutta kohti ja yhdessä muiden oppiaineiden tai alojen kanssa tavoitteena on tuoda esiin oikea vastaus.¹⁵

Oppiaineiden rooli tällaisessa integraation lähestymistavassa on tuoda omat menetelmänsä ja tiedon hallinta tapansa käytettäväksi. Taidot ja käsitteet opetetaan erillään toisistaan siten, että kustakin muodostuu selkeä omaa oppiainetaan edustava taitojen joukko.¹⁵

2) Alojen välinen (*interdisciplinary*)

Opetussuunnitelma rakennetaan oppiaineiden yhteisten ominaisuuksien kautta: kemia, fysiikka ja biologia ovat kaikki luonnontieteitä ja sisältävät keskenään lukuisia yhteisiä käsitteitä ja tarvittavia taitoja.¹⁵

Toisin kuin luonnontieteissä, Drake & Burns käsittävät alojen välisen integraation nostavan esiin useita oikeita vastauksia yhteen kysymykseen, joka viittaisi tiedon oleva "sosiaalinen rakennelma".¹⁵

3) Alojen rajat ylittävä (*transdisciplinary*)

Opetussuunnitelmaa muokataan oppilaiden kysymysten ja ongelmien mukaan. Tässä mallissa oppiaineiden rajat hävitetään ja opetus organisoidaan nostamaan oikeiden reaalimaailman teemojen ja ongelmien ympärille.¹⁵

Esimerkkinä tästä toimisi teemapäivä, jonka aikana keskitytään nälänhädän ratkaisemiseen, pohtien tätä aihetta kaikkien oppiaineiden tietoja ja opetusta hyväksikäyttäen.¹⁵

Robin Fogarty (1991) jakaa integraatiomallinsa kymmeneen eri osaan. Malleista ensimmäiset kolme keskittyvät yhden aineen sisältöön, seuraavat viisi

integroivat kahden tai useamman aineen sisältöjä ja viimeiset kaksi keskittyvät integraatioon oppijoiden kautta.¹¹

Nämä mallit ovat:

1. Hajautettu (*fragmented*)
2. Yhdistetty (*connected*)
3. Sisäkkäistetty (*nested*)
4. Sarjautettu (*sequenced*)
5. Jaettu (*shared*)
6. Verkotettu (*webbed*)
7. Kudottu (*threaded*)
8. Eheytetty (*integrated*)
9. Syventynyt (*immersed*)
10. Verkoittunut (*networked*)

Fogarty'n mallit seuraavat eräänlaista jatkumoa yksinkertaisemmasta monimutkaisempaan, hajautetusta integroituun, vanhanaikaisesta modernimpaan tai tehottomasta tehokkaimpaan, miten asiaa lukija haluaakin tulkita. Vaikka Fogarty kehitti integraatiomallinsa vuosikymmeniä sitten, ne ovat yhä täysin relevantteja. Näissä kymmenessä integraatiomallissa voidaan nähdä Draken ja Burns'n jaottelu, esimerkiksi verkotettu - *webbed* - malli on monialainen integraatiomalli, jaettu vastaa alojen välistä integraatiomallia ja syventynyt on alojen rajat ylittävä.^{11,15}

Useimmissa tapauksissa eheyttävästä opetuksesta puhutaan abstraktina konseptina, jolla tuodaan eri oppiaineita yhteen, mutta harvassa puhutaan eheytyksen vaiheista taikka tarkemmin mallien rakenteesta, josta eheytyksen

soveltamista harkitseva opettaja voisi ammentaa ideoita ja tietoa. Fogartyn mallit poikkeavat tästä, tuoden esiin selkeitä mahdollisuuksia ja tapoja organisoida eheyttävä opetus luokka- ja kouluskaalassa.^{11,12}

3.1 Hajautettu malli

Hajautettu malli (*fragmented model*) on ensimmäinen yhden oppiaineen sisältöön keskittyneistä integraatiomalleista. Oppiaineen sisältöä katsotaan kuin putken lävitse, fokus on vahvasti sisäänpäin keskitynyt ja ainealue nähdään puhtaana, erillisenä muista.^{11,12}

Esimerkkinä tästä on matematiikka: puhdas olio, joka tutkii itseään vain oman alueensa puitteissa. Kouluopetuksessa tämä voisi näkyä vaikkapa peruskoulun tuntisuunnitelmassa, kaikki aineet ovat erillään toisistaan. Matematiikka ei ole fysiikkaa, fysiikka ei ole historiaa ja historia ei ole ruotsia.^{11,12}

Näkemyks on vanhanaikainen vaikkakin käyttökelpoinen. Tämä malli tarjoaa selkeän ja hyvin määritellyn näkökulman aiheeseen, mutta asiayhteydet muihin aineisiin jäävät epäselväksi. Esimerkiksi matematiikan tunnilla opitaan käyttämään derivointia ja integrointia, jota ei välttämättä osatakaan soveltaa fysiikan tunnilla koska aiheyhteyttä ei ole muodostettu.^{11,12}

3.2. Yhdistetty malli

Yhdistetty malli (*connected model*) on toinen yhden oppiaineen sisältöön keskittyneistä integraatiomalleista. Yhdistetyssä mallissa tarkastellaan oppiainetta tarkemmin, nähden aineen sisäisiä yhteyksiä, yksityiskohtia ja vivahteita. Tämän mallin fokus on tuoda eksplisiittisesti esiin erilaiset yhteydet oppiaineen sisäisten aiheiden välillä ja luoda yhteyksiä niiden välille, mutta

sisällön fokus on yhä vain tässä yhdessä oppiaineessa.^{11,12}

Esimerkiksi kemiassa opetetaan erilaisia sidostyyppisiä, kovalenttinen, dispersiovoimat, metallisidos jne. ja tämä asiasisältö yhdistetään aineen olomuotoihin ja ominaisuuksiin. Tämä kaikki on silti ainoastaan kemian perspektiivi asiasta, johon ei ole liitetty esim. fysiikan perspektiiviä sidosten sähköisestä luonteesta.^{11,12}

3.3. Sisäkkäistetty malli

Kolmas, ja viimeinen, yhden oppiaineen sisältöön keskittyvistä malleista on sisäkkäistetty malli (*nested model*). Sisäkkäistetyssä mallissa opettaja kohdistaa oppilaiden huomion keskeisen asian ohella asiaan luonnollisella tavalla liittyviin seikkoihin, kuten asiakeskeisiin, sosiaalisiin tai ajattelutaitoihin. Tässä mallissa oppiainetta tarkastellaan useammassa ulottuvuudessa, tähdäten laajaan oppimisen kirjoon tästä yksittäisestä aiheesta.^{11,12}

Esimerkiksi kemian tunnilla opettaessa elektrolyysiä, voi opettaja kertoa elektrolyysin historiaa tai ohjeistaa oppilaita sähköturvallisuudesta. Tietotekniikan tunnilla oppilaiden tutkiessa kuinka jokin ohjelma toimii, voisi opettaja kiinnittää oppilaiden huomion kunnolliseen työergonomiaan siltä varalta, että oppilaat työskentelevät pitkiä aikoja koneen ääressä tai jos he alkavat suunnitella työtuoleja.^{11,12}

Tämä malli tuo oppilaille useita näkökulmia asiaan yhtaikaisesti, johtaen syventyneeseen ja laajaan oppimiseen. Tiedon suuri määrä tai monitahoisuus voi kuitenkin hämmentää oppilaita ja opetuksen ydinasiat voivat hukkuu lisäinformaation sekaan.^{11,12}

3.4. Sarjautettu malli

Sarjautettu malli (*sequenced model*) on ensimmäinen useamman oppiaineen ylitse ulottuvista integraatiomalleista. Oppiainekohtaiset näkökulmat asiaan ovat erillään, mutta yhdistetty ylhäältä käsin. Eri oppiaineiden aihealueet ja kokonaisuudet ovat erillään, mutta niiden aikataulut ja opetusjärjestykset on suunnitelmallisesti järjestelty siten, että eri oppiaineissa esiintyvät samankaltaiset tai toisiinsa liittyvät aiheet ja kokonaisuudet opittaisiin samaan aikaan.^{11,12}

Esimerkiksi tietotekniikan tunnilla opittava taulukkolaskenta ja Excelin käyttö soveltuvat samaan aikaan tapahtuvan matematiikan tilastotieteen kurssin sisältöön. Tämänlainen sarjautettu malli kuitenkin vaatii pitkäaikaista yhteistyötä ja joustavuutta opettajien välillä, sillä sitoutuessaan tämänlaiseen yhteistyöhön, opettaja menettää jonkin verran autonomiaansa opetussuunnitelman ja -aikataulun suhteen.^{11,12}

3.5. Jaettu malli

Jaettu malli (*shared model*) on toinen useamman oppiaineen ylittävistä malleista. Jaetun mallin mukaisessa opetussuunnitelmassa tuodaan kaksi erillistä oppiainetta yhteen, käyttäen yhteisiä tai limittäisiä käsitteitä ja aiheita, muodostaen yhden selkeän kuvan oppilaille. Tämä tarkoittaa sitä, että mallia soveltavien oppiaineiden opettajan tai opettajien olisi suunniteltava sisällön oppiaineistansa mahdollisimman limittäiseksi tai jopa opettavat yhdessä samalla tunnilla molempien aineiden sisällöt aiheesta. Malli ei vaadi useamman opettajan yhteisopetusta, mutta voi hyötyä siitä.^{11,12}

Esimerkiksi lukion fysiikan tunnilla opettaja kertoo sähköfysiikasta ja

seuraavan päivän kemian tunnilla opettaja kertoo elektrolyysistä ja sähkön merkityksestä kemiassa, jolloin oppilaat saavat laajan kuvan ilmiöstä.^{11,12}

Sarjautetun mallin kaltainen integrointi mahdollistaa tiedon saannin ja oppimisen useasta eri viitekehyksestä yhtäaikaan ja mahdollisesti useamman opettajan opetukseen osallistuminen tarkoittaa opetuskokemusten jakamista, mikä helpottanee yhteistyötä. Tätä yhtäaikaista oppimistilannetta, missä oppilas tarkastelee aihetta kahden oppiaineen näkökulmista, havaiten keskenäiset vaikutukset, kutsumme binokulaariseksi oppimiseksi.^{11,12}

Tämä malli, kuten aikaisempi sarjautettu malli, vaatii aikaa, joustavuutta, sitoutumista ja kompromisseja opettajalta tai opettajilta.^{11,12}

3.6. Verkotettu malli

Verkotettu malli (*webbed model*) on kolmas useamman oppiaineen yhdistävistä malleista. Verkotettu malli on luonteeltaan temaattinen; siinä rakennetaan yhtenäinen opetuskokonaisuus kaikista osanottavista opetuskokonaisuuksista yhden teeman ympärille.^{11,12}

Esimerkiksi, kun eri aineiden opettajat ovat ryhmänä valinneet teemakseen keksinnöt, sitä käytetään pohjana jonka päälle rakennetaan useita oppiaineia kattava opetussuunnitelma. Historian tunnilla opiskellaan eri keksijöistä ja keksintöjen aikakausista, fysiikan tunnilla erilaisten mekanismien kokeellisesta tutkimuksesta ja omien keksintöjen suunnittelua kuvaamataidon tai käsityön tunneilla.^{11,12}

Verkotettu malli auttaa oppilaita hahmottamaan ideoiden välisiä yhteyksiä, joka voi toimia vahvanakin motivaattorina. Toimiakseen tehokkaasti teema on valittava huolellisesti selkeät kriteerit täyttäen. Teeman on oltava merkityksellinen ja sisällöltään ajankohtainen ja selkeästi määritelty.^{11,12}

3.7. Kudostettu malli

Kudostettu malli (*threaded model*) on neljäs useamman oppiaineen rajat ylittävistä malleista. Kudostettu malli poikkeaa muista opetussuunnitelman integrointimalleista siten, että siinä ei keskitytä ollenkaan aineiden sisältöön. Tässä mallissa valitaan abstraktimpi lähestymistapa ja keskitytään enemmän oppimistaitojen tehostamiseen. Mallin nimi *Threaded model* tulee siitä, että siinä otetaan ajattelutaidot, sosiaaliset taidot, opiskelutaidot, teknologia, kognitiiviset ja metakognitiiviset taidot ja kudotaan ne kaikkiin oppiaineisiin keskeiseksi osaksi ainetta.^{11,12}

Esimerkiksi opettajat voisivat valita keskeiseksi kognitiiviseksi tai metakognitiiviseksi taidoksi analyysin, erittelyineen tutkimisineen. Tällöin äidinkielen tunnilla mallin sovellus voi esiintyä kirjallisuuden lukemisessa tekstin pilkkomisena osiin ja siitä keskeisen idean selvittämisenä. Keskeisenä kysymyksenä oppijalle olisikin "*Minkälainen ajatteluketju johti sinut tähän tulokseen?*"^{11,12}

Koska metakognitiiviset- ja kognitiiviset taidot ovat tämän mallin keskiössä, oppijat oppivat siitä kuinka he itse oppivat, mikä tehostaa heidän oppimistaan jatkossakin. Oppiaineet kuitenkin pysyvät tässä mallissa erillään sisältötiedon puolesta.^{11,12}

3.8. Eheytetty malli

Viides ja viimeinen oppiaineiden yhtenäistämisen malleista on eheytetty malli (*integrated model*). Eheytyssä mallissa toimitaan pääpiirteittäin samalla tavalla kuin yhdistetyssä mallissa: yhteisten käsitteiden, taitojen tai asenteiden kautta yhdistellään eri oppiaineiden sisältöjä.^{11,12}

Esimerkiksi yliopiston luonnontieteiden kurssien sisältöjä yhdistellen voidaan

eheytyssä kurssissa tarkastella biomolekyylien käytöstä fysikaalisesta, kemiallisesta ja biologisesta näkökulmasta yhtäaikaaisesti: molekyylin biologinen funktio, sen kemiallinen toiminta ja fysikaalinen käytös, kuten aktiivisten atomien väliset interaktiot kvanttitasolla. Eräs toinen esimerkki on ala-asteen ensimmäisillä luokilla kielen opiskelun eheyttämisen lukemisen, kirjoittamisen, puhumisen ja kuuntelun taitojen osalta yhdeksi kokonaisuudeksi.^{11,12}

Eheytetty malli antaa oppijoille tilaisuuden nähdä eri oppiaineiden väliset yhteneväisyydet, yhteisesti jaetut käsitteet, sekä niiden välisen yhteistoiminnan, mikä tukee oppijoiden motivaatiota. Mallin toteuttaminen tehokkaasti vaatii kuitenkin runsaasti tiedekuntien, laitosten tai opettajien välistä suunnittelua.^{11,12}

3.9. Syventynyt malli

Syventynyt malli (*immersed model*) on ensimmäinen oppijoihin suuntautuva opetuksen yhtenäistämisen malli. Tämä malli poistaa rajat oppiaineiden väliltä ja keskittyy syvällisesti oppijan itsensä mielenkiinnon ja asiantuntijuuden kohteisiin. Integraatio eli eheytytys tapahtuu tällöin oppijan itsensä mielessä.^{11,12}

Esimerkki tällaisen mallin soveltajasta olisi *post-doc* -tutkija, joka on täysin uppoutunut tutkimuksensa alueeseen; Kemisti haalii kasaan kaiken tarpeellisen tiedon ohjelmoinnista, voidakseen rakentaa tarkoitukseensa soveltuvan mallinnusohjelman, joka simuloi riittäväällä tarkkuudella kemiallista sitoutumista ja mahdollistaisi ennustamisen tutkitun yhdisteen käytöstä ilman viikkokausia kestäviä laboratorioanalyysyjä. Samalla tavoin nuori lapsi piirtää jatkuvasti kuvia kaikenlaisista hyönteisistä, hämähäkeistä tai perhosista, koska hänen mielenkiintonsa on ohjannut hänet tutkimaan kaikkea mikä liittyy mielenkiinnon kohteeseen.^{11,12}

Integraatio tapahtuu tämän mallin mukaisesti oppijan itsensä mielessä, mutta

se voi kaventaa oppijan tiedon alaa; syventynyt malli on luonnostaan erikoistuva. Valitsemalla yksi tietty asia oppimistilanteen keskiöksi, asiat jotka eivät ole kosketuksissa tämän keskiön kanssa eivät tule käsitellyksi, vaikka ne voisivatkin olla keskeisiä jonkin oppiaineen kannalta.^{11,12}

3.10. Verkostoitunut malli

Verkostoitunut malli (*networked model*) on toinen ja viimeinen oppijaan suuntautuva opetuksen integraatio malli. Verkoittunut malli on hyvin samankaltainen kuin syventynyt malli, erona pääasiallisesti useamman fokuksen liittyminen keskiöön. Oppijalla on yhä keskiössä vallitseva mielenkiinnon kohde, mutta hän tarkastelee sitä useamman eri linssin lävitse ja koordinoi asiantuntijoiden kanssa käyttäen heidän tietotaitoa.^{11,12}

Esimerkkinä tästä voisi olla kaivosalan ammattilainen, joka verkostoituu kemistin, insinöörin ja geologin kanssa, tavoitteena suunnitella helppokäyttöinen analyysilaitte malmien etsimiseen, jolla voi luotettavasti tehdä nopean kemiallisen analyysin mineraalinäytteestä, joka voi olla vaikkapa pieni irtokivi tai kaivoksen seinämä.^{11,12}

Näistä erilaisista eheytyksen, eli integraation, malleista tässä tutkimuksessa erityisessä fokuksessa on jaettu malli, joka yhdistää kaksi oppiainetta. Se ei aseta liikaa vaatimuksia opettajalle tai oppilaille ja on verraten helposti testattavissa käytännössä yhdistämällä kahden aineen sisältöä. Erityisesti siinä nousee esille binokulaariseksi kutsumamme oppimistilanne, missä oppilas havaitsee oppiaineiden väliset yhteneväisyydet ja vuorovaikutukset.^{11,12}

4 Opetuksen eheytyksen opetussuunnitelmien perusteissa

Opetussuunnitelmien perusteiden – lukio sekä yläkoulu – tavoitteena, kemian suhteen, on pääpiirteittäin saada oppijat omaksumaankin luonnontieteellisen ajattelun tapa, saada heidät havaitsemaan kemian vaikutus arkiympäristöihin luomalla looginen kokonaisuus kemiallisen tiedon makro-, mikro- ja symbolisen tason ilmiöistä.^{16,17} Opetussuunnitelmassa, erityisesti luonnontieteiden opetuksen kohdalla mainitaan integroinnin, eli eheyttävän opetuksen tavoitteen olevan:

*"Että oppija ymmärtää asioiden välisiä yhteyksiä, vuorovaikutussuhteita ja keskinäisriippuvuuksia sekä osaa jäsentää laaja-alaisia kokonaisuuksia tiedon- ja taidonalat ylittävästi ja yhdistävästi."*¹⁶

Lukion opetussuunnitelman mukaan laaja-alaisen opetuksen ja osaamisen tarve *"Nousee ympäröivään maailman muutoksesta"*.¹⁶

Termillä "laaja-alainen" tässä kontekstissa viitataan paljon laajempaan kuvaan kuin mitä tässä tutkimuksessa käsitellään, sillä se sisältää oppiaineiden välisten yhteyksien lisäksi yhteyksiä sosiaali-kulttuurisiin arvoihin ja asenteisiin. Yhteydet sosio-ekonomisiin tai kulttuurillisiin asenteisiin ja arvoihin eivät ole tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia tai asiaan liittyviä, joten niitä ei huomioida tätä enempää. Fokus on tässä tutkimuksessa eksklusiivisesti luonnontieteiden oppiainesisältöjen yhtenäisessä tarkastelussa ja eheyttämisessä. Vaikka fysiikka ja kemia ovat oppiaineina mikrotasolta vahvasti kytkeytyneet toisiinsa esimerkiksi termodynamiikan, sähkön ja sähkömagnetismin sekä kvanttimekaniikan kautta, tämä tutkimus ei kosketa fysiikan ja kemian eheytyä.¹⁶

Opetussuunnitelman perusteiden asettamalla tavoitteella on erittäin paljon kemian eheyttämispotentiaalia erityisesti biologian ja fysiikan kanssa. Biologia on erittäin voimakkaasti yhteydessä arkipäiväisten ympäristöjen, tilanteiden ja

ilmiöiden kanssa, kuten esim. ruoansulatus, aineenvaihdunta, ympäristön ilmanlaatu ja ilmastonmuutos tai sairaudet.¹⁶

*"Biologian opetus auttaa oppijaa ymmärtämään elollisen luonnon rakennetta, toimintaa ja vuorovaikutussuhteita molekyyli- ja solutasolta biosfääriin. Opetuksen tuella oppija myös ymmärtää evoluution merkityksen eliökunnan kehittämisessä."*¹⁶

Seuraavassa verrataan opetussuunnitelman rajaamia biologian ja kemian eksplisiittisiä tavoitteita, jotka ovat keskenäisessä yhteydessä. Biologian opetussuunnitelmassa mainitaan seuraavat tavoitteet, mitkä ovat yhdistettävissä kemian opetussuunnitelman tavoitteisiin:

- *ymmärtää, mikä on biologialle tieteenalana ominaista, tuntee biologisia rakenteita ja prosesseja, perinnöllisyyttä sekä ymmärtää evoluution merkityksen*
- *perehtyy biologisen tiedonhankinnan ja tutkimuksen menetelmiin*
- *osaa asettaa kysymyksiä ja tutkimusongelmia tarkasteltavista ilmiöistä*
- *suunnittelee ja toteuttaa kokeellisia tutkimuksia itsenäisesti tai yhteistyössä muiden kanssa*
- *osaa hankkia, käsitellä, analysoida ja tulkita tutkimusaineistoa sekä arvioida ja esittää tutkimustuloksia*
- *osaa työskennellä digitaalisissa opiskeluympäristöissä, laboratoriossa ja maastossa*
- *arvioi kriittisesti median kautta välittyvää biologista tietoa*
- *perehtyy biologian soveltamiseen eri aloilla*
- *osaa soveltaa ja käyttää biologisia tietoja ja taitoja arkielämässä*¹⁶

Kemian opetussuunnitelmassa mainitaan seuraavat tavoitteet, mitkä ovat yhdistettävissä biologian opetussuunnitelman tavoitteisiin:

- *osaa muodostaa kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä ja kehittää kysymyksiä edelleen tutkimusten, ongelmanratkaisun tai muun toiminnan lähtökohdiksi*
- *osaa suunnitella ja toteuttaa kokeellisia tutkimuksia turvallisesti ja yhteistyössä muiden kanssa*
- *osaa käsitellä, tulkita ja esittää tutkimusten tuloksia sekä arvioida niitä ja koko tutkimusprosessia*
- *osaa käyttää erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä sekä ennusteiden tekemisessä*
- *osaa käyttää monipuolisia tietolähteitä ja arvioida niitä kriittisesti kemian tietojensa avulla*
- *osaa ilmaista johtopäätöksiä ja näkökulmia kemialle ominaisilla tavoilla*
- *jäsentää käsitystään jokapäiväisen elämän, ympäristön, yhteiskunnan ja teknologian ilmiöistä kemian käsitteiden avulla (*)*
- *ymmärtää luonnontieteellisen tiedon luonnetta ja kehittymistä sekä tieteellisiä tapoja tuottaa tietoa (*)*
- *osaa arvioida kemian ja siihen liittyvän teknologian merkitystä yksilön ja yhteiskunnan kannalta." (*)¹⁶*

Suurimman painon molempien oppiaineiden tavoitteissa saa tieteellinen menetelmä - tutki, testaa, arvioi, vertaile, tuota - mutta yhtäläillä vastaan tulee ilmiöiden tarkastelu oppiaineen kontekstissa, tiedon ja käsitteiden soveltaminen oppiaineen ulkopuolella.

Arkielämän tutkiminen oppiaineiden kontekstissa on ollut opetuksessa esillä jonkin aikaa ja sitä pidetään hyvänä tapana lähestyä tieteellisiä ilmiöitä: asiaa lähestytään oppijalle tutusta kohteesta käsin. Eroavaisuuksiakin on havaittavissa biologian ja kemian opetussuunnitelmien tavoitteissa. Biologian

opetuksessa tulisi painottaa luonnon arvostusta ja luonnollisen maailman arvoja, kuten kestävästä kehitystä, monimuotoisuutta ja evoluutiota, sekä nähdä oma paikkansa luonnon ekosysteemissä. Lyhyesti, ekologisuuden arvoja korostetaan.^{16,18}

Kemian opetuksen tavoitteissa ei ole eksplisiittisesti korostettu arvoasenteiden esiintuomista, mutta enemmänkin neutraalia ymmärrystä ympäristön, ihmisen ja teknologian välillä luonnontieteellisen tiedon näkökulmasta katsottuna. Lyhyesti, tarjotaan oppijalle tapa nähdä maailma erilalla, erityisesti korostamatta arvoja.¹⁶

Nämä päätelmät perustuvat asetettuihin biologian tavoitteisiin, mitkä ei ole mainittu aiemmissa biologian ja kemian yhdistävissä tavoitteissa:

- *"arvostaa eliökunnan monimuotoisuutta, tiedostaa kestävästä kehityksen välttämättömyyden ja ymmärtää oman vastuunsa ekosysteemien tulevaisuudesta. "*
- *"arvioi kriittisesti median kautta välittyvää biologista tietoa."*¹⁶

Kemian opetussuunnitelman osalta päätelmät perustuvat tavoitteisiin, mitkä ovat merkitty tähdellä (*) aiemmin tässä tekstissä.

Opetussuunnitelman mukainen kirjallisuus

Seuraavat lukion oppikirjat ovat vuoden 2015 opetussuunnitelman¹⁶ mukaisesti suunniteltuja ja käsittelevät tämän tutkimuksen kokeellista osaa varten valittuja aihealueita, antaen alustan opettajille, mistä aloittaa eheyttävä opetus. Kustakin kirjasta löytyy vähintäänkin toista oppiainetta sivuavia aiheita ja parhaimmillaan voimakasta lomittaisuutta yhden aihealueen kohdalla kahden tai useamman oppiaineen välillä.

Kirjasarjat BIOS ja Mooli valittiin tutkimuksen oppikirjallisuudeksi, sillä nämä kaksi sarjaa olivat tutkimuksen aloitushetkellä ainoat painetut suomalaiset oppikirjasarjat, jotka olivat uuden opetussuunnitelman mukaisia.

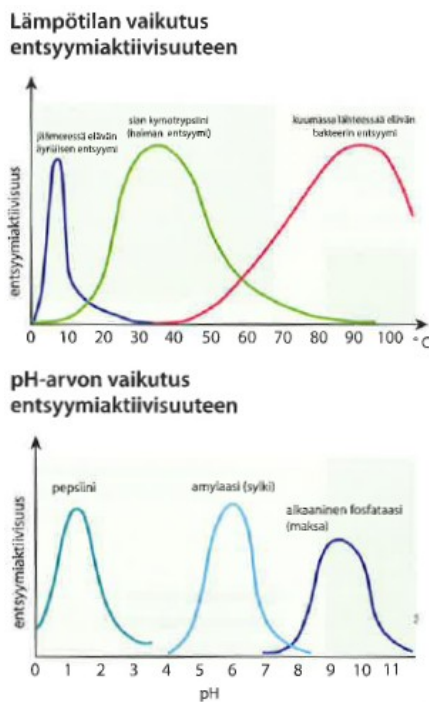
Esiteltäväksi valitut neljä kirjaa käsittelevät aiheita, joita tässä tutkimuksessa pidetään sopivimpina lähtökohtina kemian ja biologian väliseen eheyttävään opetukseen. Kirjat kuuluvat BIOS ja Mooli -kirjasarjoihin ja vaikka muita sarjan kirjoja ei ole mainittu tämän tutkimuksen yhteydessä, nekin ovat käyttökelpoista materiaalia eheyttämisen kannalta.

BIOS -kirjasarjan oppikirjat BIOS 3 ja BIOS 4 ovat kurssien BI3 ja BI4 oppikirjoja, vastaavasti Mooli -kirjasarjan oppikirjat Mooli 2 ja Mooli 5 ovat kurssien KE2 ja KE5 oppikirjoja.

Tämän tutkimuksen aiheiden kannalta relevantti oppikirjasisältö esitellään tässä lyhyesti, jotta lukija saisi selkeän mieliyhteyden opetusmateriaalin ja tämän tutkimuksen sisällön kanssa. On huomionarvoista myös tietää, että tämä tutkimus aloitettiin ennen kuin kaikki näistä oppikirjoista oli painettu ja käytössä.

BIOS 3

BIOS 3 -kirja sisältää tarkasteltavista aiheista lähes samantasoista tietoa kuin jotkin yliopistotason biologian peruskurssikirjat, vaikkakin paljon tiivistetympin ja kursorisemmin. Kirja käsittelee sekä entsyymeitä että ATP aihealueita. ATP:n rakenne, funktio solukossa ja reaktioperiaate on käsitelty lyhyesti, mutta tämän tutkimuksen kanssa aihetta voi laajentaa opettajan mielen mukaisesti. Entsyymien rakenne ja toiminta on kerrottu omassa kappaleessaan ja tieto on esitetty selkeästi ja sopivan pieniksi paloiksi pilkottuna, jotta opiskelijan on helppo paneutua asiaan, kuten kuvassa 2 on esitetty. Kirja sisältää hyvää kosketuspinta-alaa kemian kanssa, erityisesti entsyymien toiminnan vaatimusten kvantitointi selkeiksi kuvaajiksi on aivan kosketuksissa kemian kanssa.¹⁹



Entsyymien toimintatehoon vaikuttavat lämpötila ja happamuus

Lämpötila vaikuttaa kaikkien molekyylien, myös entsyymien ja substraattien lämpöliikkeeseen. Kun lämpötila on alhainen, entsyymit ja substraatit kohtaavat toisensa pienemmällä todennäköisyydellä, ja siksi entsyymitoiminnan tehokkuus on alhainen. Lämpötilan noustessa molekyylien lämpöliike kiihtyy ja entsyymiaktiivisuus kasvaa. Lämpötilan nousu nostaa entsyymitoiminnan tehokkuutta kuitenkin vain tiettyyn rajaan saakka. Liian korkea lämpötila aiheuttaa entsyymien denaturoitumisen, jolloin entsyymi ei voi enää toimia.

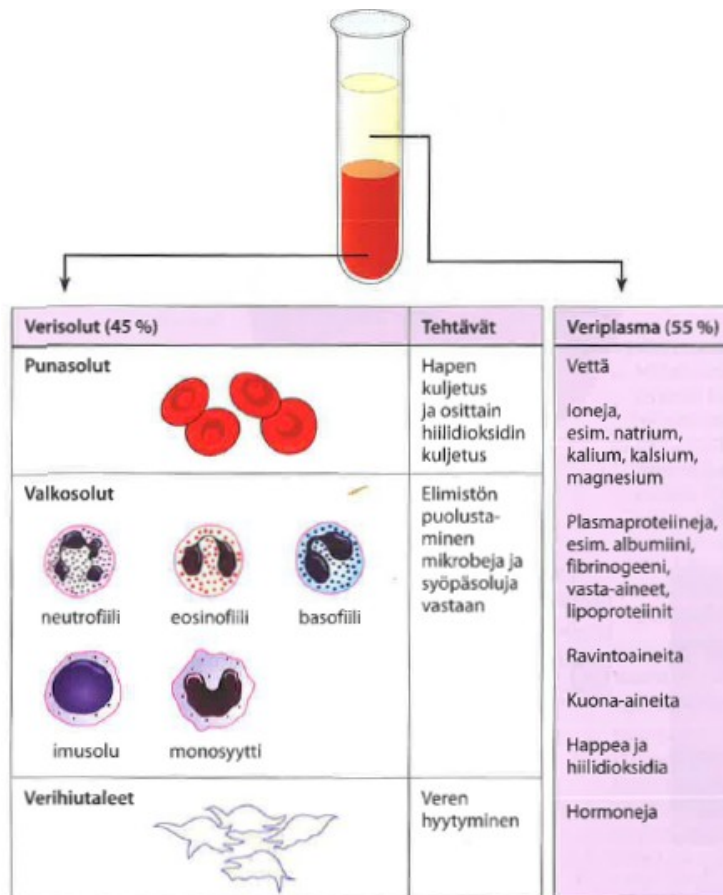
Entsyymeillä on tietty optimi- eli ihannelämpötila, jossa niiden aktiivisuus on suurin. Ihmisellä entsyymit toimivat parhaiten +37 °C:n lämpötilassa, mutta kuumien lähteiden bakteereilla ja arkeoneilla ne toimivat parhaiten lähes +80 °C:ssa.

Myös **pH:n** muutos saa aikaan rakennemuutoksen entsyymien aktiivisessa kohdassa ja vaikuttaa näin entsyymien toimintaan. Useimpien entsyymien pH-optimi on 6–8, mutta esimerkiksi mahalämpöentsyymi toimii parhaiten, kun pH on 2.

Kuva 2: Katkelma BIOS 3 -kirjasta esittää entsyymien kemialliseen toimintaan vaikuttavia tekijöitä.¹⁹

BIOS 4

BIOS -kirjasarjan neljäs osa sisältää ytimekkään kappaleen verestä, mikä vastaa suurinpiirtein yliopiston biologian peruskurssien tarjoamaa tietoa, mutta ei ole yhtä syventävä. Kirjassa käsitellään veren solukkoa siten, että se jaetaan punasoluihin, verihiutaleisiin ja myös valkosolujen karkeajako esitellään tiiviisti. Kirjassa käsitellään veriplasman koostumuksen lukiotasolle riisuttuna eli ei mennä yksityiskohtiin hukuttaen oppijaa liialla tietomäärällä, sen sijaan kirjoittajat ovat valmistelleet oppijalle tiiviin yhteenvedon kuvassa 3 esitetyllä tavalla.²⁰



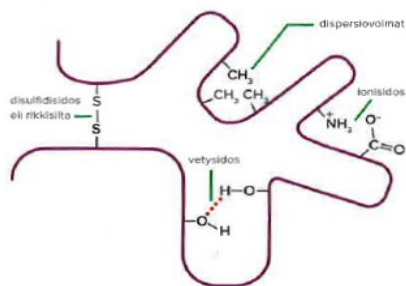
Kuva 3: BIOS 4 -kirjasta tiivistelmä veren koostumuksesta. Kustakin veren komponentista on kirjassa lyhyt kappale.²⁰

Mooli 2

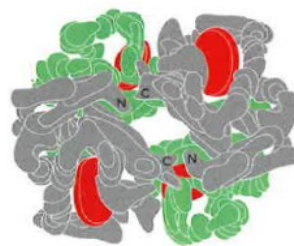
Mooli 2 -kirjassa esitellään proteiinit ja entsyymit niille omistetussa kappaleessaan. Primaari-, sekundaari- ja tertiaarirakenteet ovat esillä kemialle tyypilliseen tapaan, vaikkakin biologinen näkökulma ei välttämättä ole riittävän visuaalisesti esiintyvä jättääkseen opiskelijoille mielikuvan kemian ja biologian yhtenäisyyksistä. Esimerkkinä proteiinista on kuvassa 4 esitetty hemoglobiini. Entsyymien osuus käyty erittäin kursorisesti läpi, mikä herättää hämmennystä. Kenties kirjan tekijät ovat ajatelleet tätä kirjaa käytettävän kurssin toteutuvan lähes samanaikaisesti BIOS 3 -kirjaa käyttävän kurssin kanssa. Kosketuspinta-alaa biologian kanssa on tekstin tasolla kohtuullisesti lukion oppimäärään katsoen. Vaikka selkeästi yhtenevää tekstiä on noin neljän virkkeen verran, eheyttävästi opettava opettaja pystyy kohtuullisen vaivattomasti laajentamaan tai supistamaan kirjan tarjoamia opetusalueita tarpeensa mukaisesti, erityisesti tätä tutkimusta käyttäessään.²¹

Elimistömme proteiinit voivat olla erilaisia rakenneproteiineja tai toiminnallisia proteiineja. Ihmisen tärkein rakenneproteiini on sidekudoksen kollageeni. Toiminnallisia proteiineja ovat esimerkiksi proteiinihormonit ja entsyymit. Proteiinihormoneista tunnetuin on veren sokeripitoisuutta säätelevä insuliini.

Entsyymit ovat biokatalyyttejä, jotka nopeuttavat solujen kemiallisia reaktioita. Entsyymit ovat hyvin spesifisiä, sillä eri entsyymit tunnistavat reaktioon tarvittavan lähtöaineen eli **substraatin** tämän kolmiulotteisen rakenteen perusteella. Tätä ilmiötä kutsutaankin entsyymin substraattispecificiteksi.



Kuva 127. Proteiinimolekyylin kolmiulotteinen muoto määräytyy aminohappojen sivuketjujen välisillä sidoksilla. Aminohappojen sivuketjujen välille voi muodostua ionisidoksia, dispersiovoimia, vetysidoksia ja disulfidisidoksia eli niin sanottuja rikkisiltoja.



Kuva 128. Hemoglobiini koostuu neljästä eri polypeptidiketjusta, joista kaksi on aina samanlaisia (vihreät ja harmaat alueet). Kun nejä polypeptidiketjua liittyy yhteen, muodostuu aktiivinen proteiini, johon edelleen sitoutuu neljä tyypipitoista hemiryhmää (punaiset alueet) ja rauta-ioni. Vasta tällaisessa muodossa hemoglobiini pystyy sitomaan ja kuljettamaan solu-hengityksessä tarvittavaa happea.

*Kuva 4: Katkelma Mooli 2 -kirjasta, missä esitetään tyypillisiä proteiineissa aktiivisia ryhmiä ja rakenteita sekä pätjän entsyymejä käsittelevää tekstiä.*²¹

Mooli 5

Mooli 5 -kirjassa käsitellään happoja ja pH:ta. Varsin myöhäinen vaihe, mutta mahdollisesti yhtenevä aikataulutuksen biologian kanssa, jotta olisi kosketuspinta-alaa veren opetuksen kanssa. Kuvassa 5 esiintyy hyvä esimerkki eheyttävän opetuksen kirjallisuudesta. Tekstikatkelmassa viitataan aiemman kurssin tietoon ja yhtäaikaisesti biologiseen tietoon. Tekstin kemiantieto on esitetty koristeetta, mutta onnistuu liittämään kemian käsitteitä kvalitatiivisesti sekä kvantitatiivisesti biologisiin käsitteisiin.²²

Osa veren puskurikapasiteetista lankeaa myös hemoglobiiniproteiinille. Tämä puskurisysteemi koostuu hemoglobiinista (HHb) ja oksihemoglobiinista (HHbO₂), jotka molemmat ovat heikkoja happoja, sekä näiden vastin-emäksistä Hb⁻ ja HbO₂⁻.

Hemoglobiinin tavoin myös muut proteiinimolekyylit ja yksittäiset aminohapot voivat toimia puskureina. Tämä selittyy aminohappojen kemiallisella rakenteella. Kun pitkä polypeptidiketju muodostuu peptidisidoksilla, jokaiseen proteiinimolekyyliin jää aina vapaa karboksyyli-ryhmä -COOH ja aminoryhmä -NH₂. Samat funktionaaliset ryhmät ovat yksittäisissä aminohapoissa. Vesiliuoksessa karboksyyli-ryhmä protolysoituu ja esiintyy negatiivisena karboksylaatti-ionina -COO⁻. Aminoryhmä puolestaan emäksisenä aineena esiintyy vesiliuoksessa positiivisena ionina -NH₃⁺. Kun proteiinia tai aminohappoa sisältävään liuokseen tulee lisää oksoniumioneja (happolisäys), -COO⁻-ionit pystyvät neutraloimaan ne ottamalla vastaan protonin. Vastaavasti hydroksidi-ionit (emäslisäys) eliminoituvat, kun -NH₃⁺-ryhmästä irtoaa protoni, jolloin muodostuu vettä.

TIEDÄTKÖ? Aminohapot esiintyvät vesiliuoksessa niin sanottuina kahtaisaineina, sillä samassa molekyylissä on sekä negatiivinen että positiivinen varaus.

KERTAA

- » Puskuriliuoksella on kyky pitää liuoksen pH lähes vakiona, kun liuokseen lisätään pieniä määriä happoa tai emästä tai liuosta laimennetaan.
- » Puskuriliuokset sisältävät aina heikkoa happoa ja sen vastin-emästä tai heikkoa emästä ja sen vastinhappoa.
- » Puskuriliuosten toiminta voidaan ymmärtää neutraloitumisreaktion ja Le Châtelier'n periaatteen avulla.
- » Puskuriliuoksia hyödynnetään biokemiallisessa tutkimuksessa sekä kalibroitaessa pH-mittareita.

Kuva 5: Katkelma Mooli 5 -kirjasta sisältää jo suoraa, vaikkakin teoriavaltaista eheytyä biologian ja kemian välillä.²²

5 Kemian ja biologian sisältöjä eheyttäviä aiheita

Tämä luku sisältää opettamista varten tarpeelliset tiedot aiheista, täydentäen oppikirjojen antamaa tietoa aiheen yhteydessä käytetyistä termeistä sekä aiheen eheyttävään opetukseen liittyviä ajatuksia.

Eheyttämiseen liittyen, biologian ja kemian yhteydessä Fogartyn *jaettu eheytysohjelma*¹¹ on tämän tutkimuksen puitteissa todettu olevan toimivin vaihtoehto, eli kutakin aihetta käsitellään yhdessä kemian ja biologian kanssa, jotta lopputuloksena on kokonaisempi ja yhtenäisempi kuva ilmiöstä.

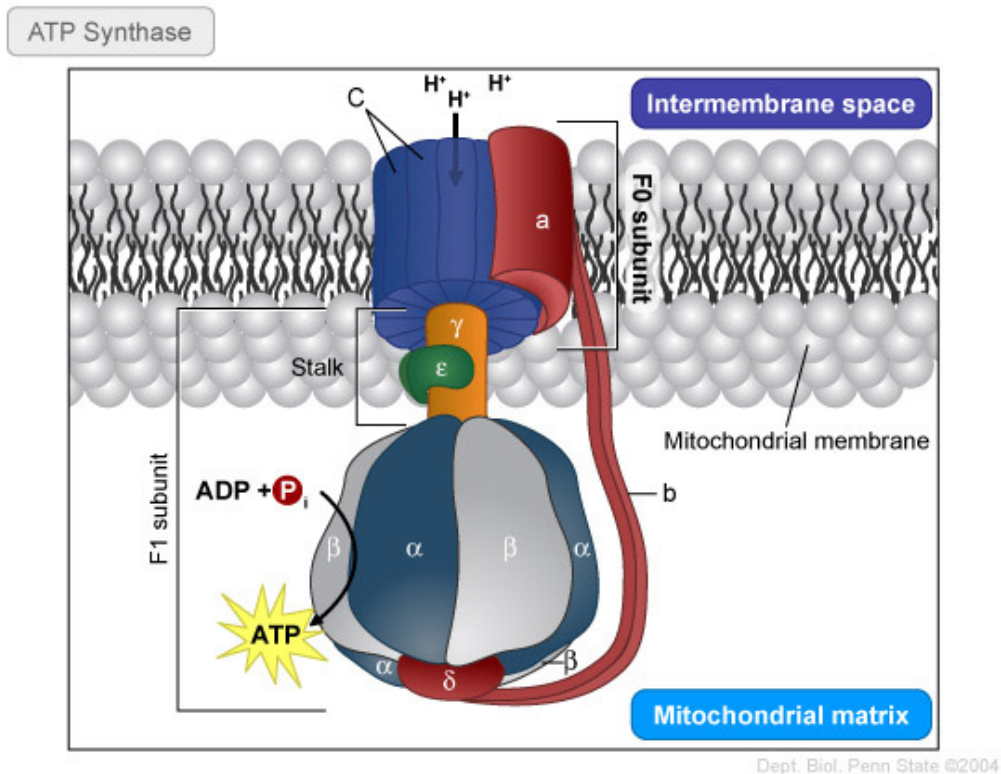
5.1 Käytetyt termit

Tämän tutkimuksen yhteydessä tullaan kosketuksiin erikoistuneen termistön kanssa, mikä voi aiheuttaa ongelmia lukijoille, joille biologian tai kemian termistö ei ole täysin tuttu. Tässä kappaleessa selitetään joitakin tärkeimmistä tutkimuksen yhteydessä esiintyviä termejä.^{23,24}

Glykosidisidos tarkoittaa kovalenttia sidosta joka yhdistää hiilihydraatin toiseen yhdisteeseen, joka voi olla toinen hiilihydraatti tai jokin muu yhdiste, kuten aminohappo. Termiä β -sidos käytetään, kun yhdistyneillä hiilillä on eri stereokemia. Myöhemmin kappaleessa 5.2 esiintyvässä kuvassa 12 esitetään adeniinin ja riboosin välinen glykosidisidos.²⁴

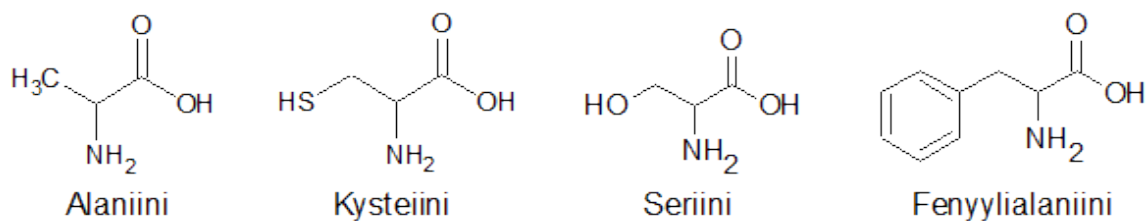
Proteiini on määritelty isoksi molekyyliksi, joka koostuu yhdestä tai useammasta aminohappoketjusta. Ketjun nukleotidijärjestys määräytyy DNA koodauksen mukaisesti. Myöhemmin esiintyvässä kappaleen 5.3 kuvassa 22 esiintyy hemoglobiini -proteiini.^{23,25}

Entsyymi on aktiivinen proteiini, joka toimii katalyyttinä biokemiallisissa reaktioissa. Katalyyttinä entsyymi nopeuttaa kemiallista reaktiota tai madaltaa reaktion aktivaatioenergiaa. Entsyymien nimessä on -aasi pääte, esim. proteaasi, RNAaasi tai syntaasi. Entsyymeistä tarkempaa tietoa entsyymejä käsittelevässä kappaleessa. Kuvassa 6 esiintyy ATP syntaasi, entsyymi, joka yhdistää fosfaatti molekyylejä ADP molekyyleihin, tuottaen ATP molekyylejä.^{25,26}



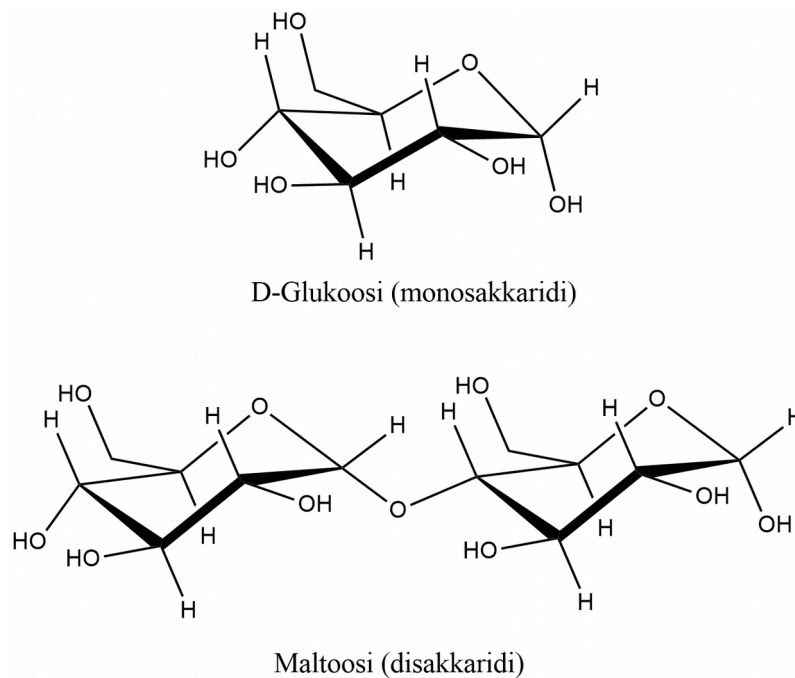
Kuva 6: ATP syntaasi, entsyymi joka ionipumpun voimalla yhdistää fosforia ADP:hen tuottaen ATP:tä.²⁶

Aminohappo on orgaaninen yhdiste, joka sisältää amiini ryhmän ($-\text{NH}_2$), karboksyyli ryhmän ($-\text{COOH}$) sekä sivuketjun (R), joka on ominainen kullekin aminohapolle. Muutama esimerkki esiintyy kuvassa 7.



Kuva 7: Neljä esimerki tapausta aminohappoista. Kussakin rakenteessa esillä karboksyyli-ryhmä, sekä amiini ryhmä.

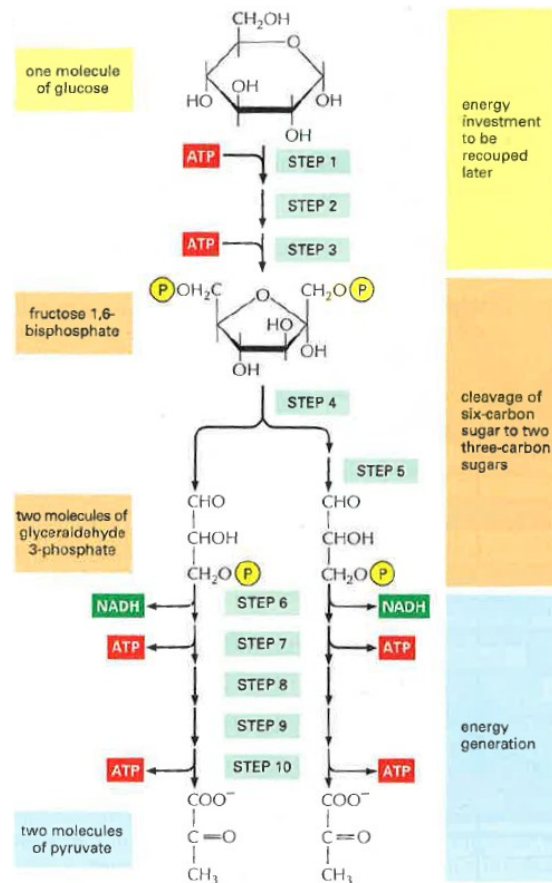
Hiilihydraatti on biomolekyyli, joka koostuu hiilestä, vedystä ja hapesta. Kemiassa ja biokemiassa sakkaridi on hiilihydraatin rakenneyksikkö, josta johdetaan termit kuten mono-, di-, oligo- ja polysakkaridi. Esimerkkitapauksena esitetään glukoosi ja maltoosi kuvassa 8.²⁴



Kuva 8: D-Glukoosi, eli dekstroosi, ja maltoosi ovat molemmat hiilihydraatteja.

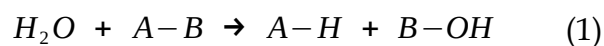
Glykolyysi on katabolinen prosessi, jossa glukoosimolekyyliä hajottamalla tuotetaan ATP:tä. Aerobisesti, eli hapen läsnäollessa, glykolyysi tuottaa yhden reaktion aikana kahdeksan ATP-molekyyliä, sekä palorypälehappoa.

Anaerobisessa, eli hapettomassa tilassa, glykolyysi tuottaa kaksi ATP-molekyyliä sekä maitohappoa. Glykolyysi on aiotumallisissa olennoissa ainoa energiaa tuottava reaktio ja kuvassa 9 esitetään kaavio aerobisesta glykolyysistä.²⁵



Kuva 9: Aerobisen glykolyysin vaihekaavio, mikä sisältää myös irreversibeelit vaiheet.²⁵

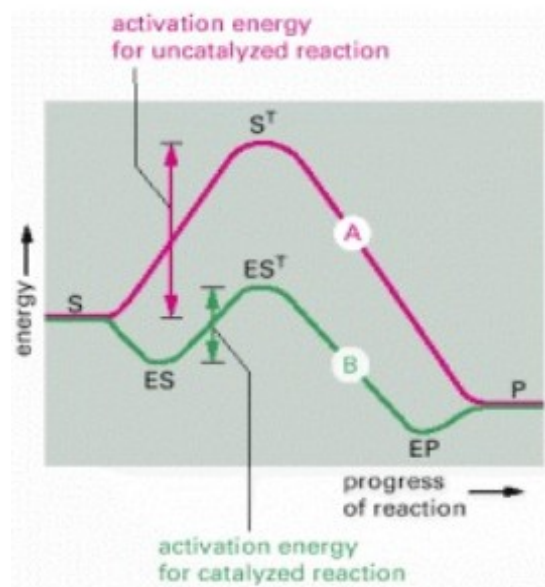
Hydrolyysi on kemiallinen prosessi, jossa vesimolekyyli hajottaa kovalenttisen sidoksen. Kaava 1 esittää hydrolyysin tapahtumista yleisessä muodossaan.²⁴



Fosforylaatio kemiassa tarkoittaa fosforyyli-ryhmän, $(-PO_3^{2-})$ liittymistä

molekyyliin. Sen vastakohta on defosforylaatio, jossa fosforiryhmä irtoaa molekyylistä. Yhdessä nämä vastakkaiset reaktiot ovat äärimmäisen tärkeitä solujen toiminnalle biologiassa. Tämän tekstin kappaleen 5.2 kuvassa 13 esiintyy esimerkkitapaus ATP:n hydrolyysistä ja oksidatiivisesta fosforylaatiosta.^{24,25}

Aktivaatioenergia on pienin mahdollinen energia, jonka jokin tietty reaktio tarvitsee käynnistyäkseen. Aktivaatioenergian suuruus on reaktiokohtainen. Aktivaatioenergian madaltaminen on katalyyysin toimintaperiaate, kuva 10.²⁵



Kuva 10: Aktivaatioenergia katalysoimattomassa reaktiossa (punainen) ja katalysoidussa reaktiossa (vihreä).²⁵

DNA eli deoksiribonukleiinihappo, RNA eli ribonukleiinihappo. Molemmilla on teknisesti identtinen makrorakenne, joka koostuu emäksestä, sokerista ja fosfaatista. Molemmat käyttävät myös pitkälti samoja puriini- ja puryvaatiemäksiä adeniini(A), cytosiini(C), guaniini(G) ja tymiini(T), mitkä toimivat geneettisessä koodissa tunnisteina. DNAn ja RNAn erona, kemiallisesti, on niiden sokerimolekyylit. DNAssa sokerina on deoksiriboosi ja

RNAssa riboosi. Kappaleen 5.2 kuvassa 14 esitetään oikeassa alalaidassa adenosiininukleosidi ja kuvassa 15 sokerien ero rakennekaaviona.^{23,25}

ATP eli adenosinitrifosfaatti on eliöiden elimistön energiatalouden keskeinen molekyyli. ATP koostuu adeniiniaminohaposta, riboosisokerista, sekä trifosfaattiketjusta. Kappaleen 5.2 kuvissa 11 ja 12 esitetään ATP:n molekyylikaavio rakenneyksiköineen.^{24,25}

5.2 Adenosiinitrifosfaatti eli ATP

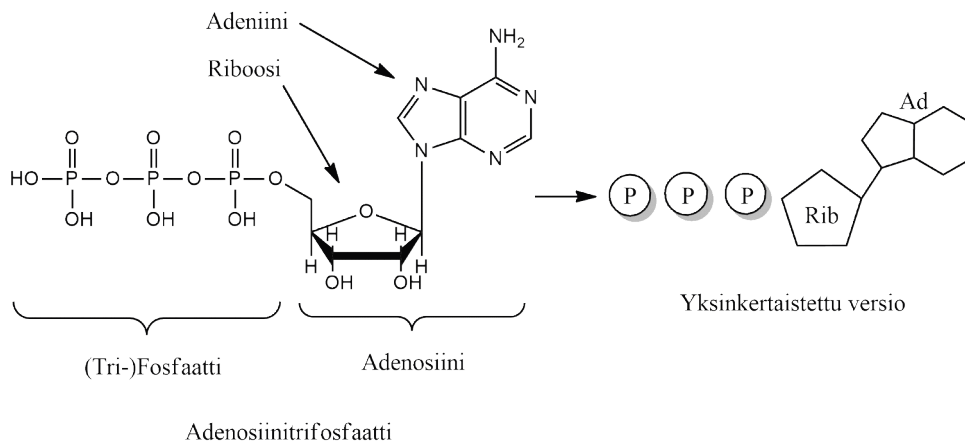
Tässä osiossa käsitellään adenosiinitrifosfaattia (ATP) ja sen roolia eliöiden energian säilyttämisessä, tuotannossa ja käytössä.

Aihealueella on soveltamispotentiaalia lukion kemian kurssille KE2, sekä biologian kurssille BI3 ja BI4.

Tämä aihe on valittu, sillä se jakautuu erittäin hyvin kemian ja biologian väliseen rajamaastoon - biokemiaan sekä orgaaniseen kemiaan - ja on siten hyvä kandidaatti eheyttävän opetuksen testaamiseen. Aihe tarjoaa huolenaiheeksi vaikeustason: ATP:tä ei ole käsitelty aiemman opetussuunnitelman perusteiden aikana lukioissa kemiallisesta näkökulmasta ja se voisi kattaa kokonaisen yliopistokurssin kaikella sisällöllään. Keskitymme siis rajaamaan sisällön yleisimpiin ATP:n reaktioihin, käyttöön solussa, synteesiin ja ATP-synteesiin.^{18,24,25}

Biologiassa ja kemiassa käsitellään biomolekyylien tutkimista eri tavoilla. Yliopiston tasolta asiaa tarkastellessa kemiassa keskitytään usein molekyylin reaktiomekanismiin, sen esiasteisiin ja johdannaisiin. Biologiassa reaktion mekanismi on harvemmin keskiössä, sen sijaan energian tuotto, vapautuneen energian käyttö, käyttökohteet sekä solun sisäiset mekanismit, organellit ja proteiinit ovat.²³⁻²⁵

Yksinkertaistus on tehokas työkalu, kun ei haluta ylikuormittaa lukijaa, oppijaa tai asiaan vihkiytymätöntä henkilöä epäoleellisilla yksityiskohdilla. Tämä lienee syy miksi yläkoulun oppikirjoissa ei juurikaan esitellä laajoja kaavakokoelmia erilaisten yhdisteiden kemiallisista rakenteista biologian yhteydessä. Kuvassa 11 esitetään eräs tyypillinen molekyylikaavan yksinkertaistus ATP-molekyylille.



Kuva 11: ATPn, eli adenosiinitrifosfaatin, kemiallinen rakenne ja siitä usein käytetty yksinkertaistettu malli.

ATPsta lukevalle biologian oppijalle, jopa yliopistossa, riittänee yksinkertaistettu versio rakenteesta, josta tulee esiin vain tarpeellinen tieto eli kolme eri molekyylylityyppiä, jotka yhdessä muodostavat makromolekyylin ATP: adeniinimäs, riboosisokeri ja fosfaatit. Kirjan kuvituksessa voi näkyä miten ATP toimii ihmiskehossa irroittaen fosfaattiryhmän, jolloin vapautuu energiaa, jonka keho käyttää hyväkseen.²³

Kemian oppijalle tämä ei riitä, sillä häntä kiinnostavat funktionaalisten ryhmien sijainnit, heteromolekyylit ja molekyylin konformaatio. Täydellisempi rakennekaava on siis tarpeeseen, jotta kemian oppija voi selvittää molekyyliin liittyvät reaktiot.²⁴

Adenosiinitrifosfaatti kemiallisena yhdisteenä

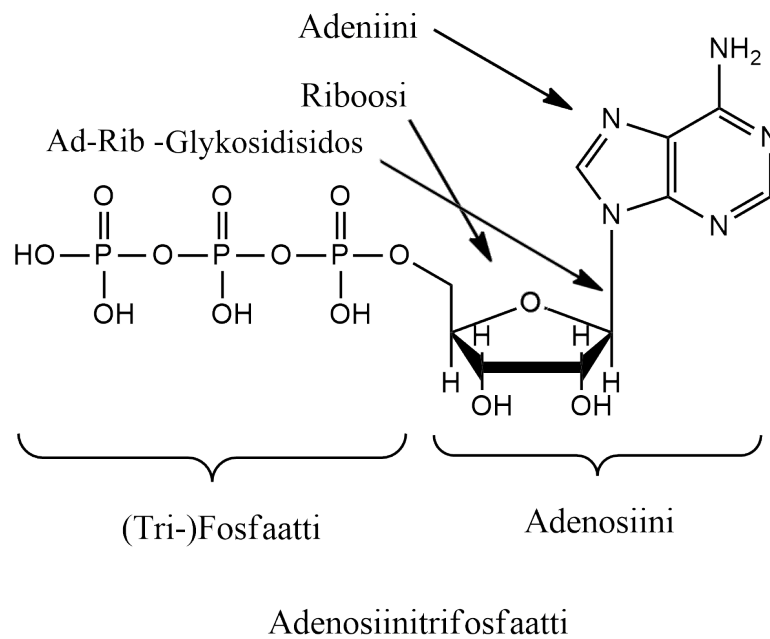
On tärkeää tiedostaa, että aiheena adenosiinitrifosfaatti eli ATP, on erittäin laaja ja monisuuntainen, sillä ATP esiintyy lähes kaikissa tunnetuissa elämänmuodoissa. Adenosiinitrifosfaatti on kompleksi molekyyli mikä esiintyy jokaisessa elävässä olennossa ja toimii välittäjänä energialle solujen energian

vaihdossa.²³

Adenosiinitrifosfaatti koostuu karkeasti jaotellen kolmesta molekyylistä: puriiniemäs adeniinista ja riboosisokerista, jotka yhdessä muodostavat adenosiininukleosidin, sekä riboosiin kiinnittyneestä fosfaattihännästä. Fosfaattihännän pituus määrää onko kyseessä tri-, di-, vaiko monofosfaatti, ATP, ADP tai AMP vastaavasti. ²³⁻²⁵

Fosforihännän lyhentyessä hydrolyysin yhteydessä ATPsta vapautuu energiaa ympäristöön lämmön muodossa. Tässä reaktiossa vesimolekyylistä lohjennut hydroksidi-ioni (-OH) sitoutuu fosforiin, joka irrottaa sidoksensa toiseen fosforiin johtavasta hapesta. Proteiinit, soluorganellit yms. käyttävät tätä energiaa toimiakseen.²⁴

Adeniini on kiinnittynyt riboosiin β -glykosidisidoksella mikä voidaan nähdä kuvasta 12, eli riboosin ja adeniinin välinen sidos on kovalenttinen ja molemmilla on eri stereokemia. Fosfori on avainasemassa ATPn kemiallista reaktiivisuutta ja biologista hyödyllisyyttä ajatellessa. Fosforin ja hapen välisessä sidoksessa on paljon energiaa, mutta toistuvat perättäiset fosfaatti yksiköt tekevät seuraavista fosfori-happi sidoksista kasvavasti epävakaampia. Kolmannen fosfaatin sidos on jo tarpeeksi epävaka hydrolysoituakseen spontaanisti. Tästä johtuen sidoksen sisältämä energia on helposti saatavilla. Koska energian määrä sidoksessa on runsas ja se on helposti saatavilla, trifosfaatti soveltuu oikein hyvin energian siirtoon solutasolla.²⁴



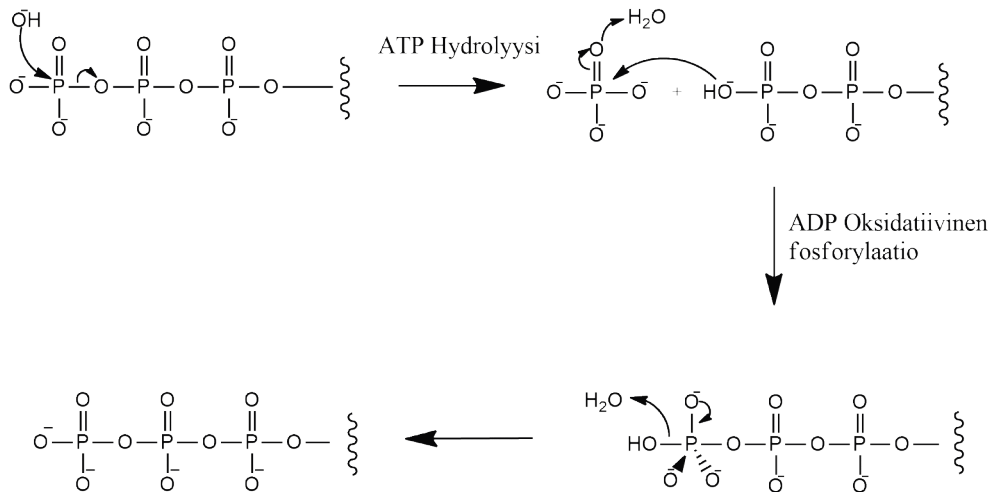
Kuva 12: ATP:n eli adensiinitrifosfaatin rakennekaava.

ATP solun energiataloudessa

ATP mielletään toisinaan kemialliseksi energiavarastoksi elimistössä. Tämä on osuva ajatus, vaikkakin virheellinen, sillä ATP on korkean energiansa ansiosta epästabiili ja hajoaa nopeasti ADP:ksi joka on stabiilimpi ja on osuvampi kun puhutaan energiavarastosta. Fosforin ja hapen välisestä sidoksesta hydrolyysissä vapautuva energia on noin 30,5 kJ/mol NTP-olosuhteissa. Tästä poiketen solun sisällä tapahtuvassa ATP-hydrolyysissä vapautuva energia on suurempi, noin 54,4 kJ/mol, mikä johtuu entsyymien toimittamasta katalyyysistä.²³

ATP:n hydrolyysissä vapautuu huomattavasti energiaa, joka vapautuu pääasiassa lämmön muodossa. Reaktiokaavio esitetään kuvassa 13. Elimistössä, ja tarkemmin solussa, tämä lämpöenergia menee proteiinien käyttöön, aktivoiden ne. Erityisesti entsyymien toiminta ATP:n yhteydessä on huomionarvoista. Entsyymit voivat toimia katalyytteinä erilaisissa solun biokemiallisissa reaktioissa, jopa ajaen eteenpäin epäsuosittuja reaktioita, joissa

tuotteen energia on suurempi kuin lähtöaineen. Tällaisissa tapauksissa reaktion itsensä ja ATP-hydrolyysin reaktiot ovat lomittautuneet siten, että kokonaisenergia on suurempi kuin reaktioenergioiden summa. Monessa tapauksessa tällainen reaktio sisältää fosforyloituneen välimuodon yhdisteestä, joka on reaktioherkkä.²⁵



Kuva 13: ATP:n hydrolyysi ja fosforylaatio kemiallisesta perspektiivistä. Adenosiini esitetty lyhennetyksi suikeroviivana.

Solussa tapahtuvissa reaktioissa ATP:n koko fosfaattiketju ei hydrolysoitu kerralla, vaan vaiheittain irroittain kunkin fosfaatin yksi kerrallaan eri tilanteissa eri tarpeiden mukaan. Välitön ja täydellinen fosforin lohkeaminen ATP:stä adenosiinin muodostamiseksi ei ole energiataloudellinen, mikä tekee siitä epätodennäköisen reaktion ihmiskehossa, vaikka se on kemiallisesti mahdollinen. Siinä missä normaali hydrolyysi on kovan nukleofiilin – hapen – aikaansaama, fosforiketjun lohkaisemiseen tarvitaan pehmeä nukleofiili, kuten rikki.^{23–25}

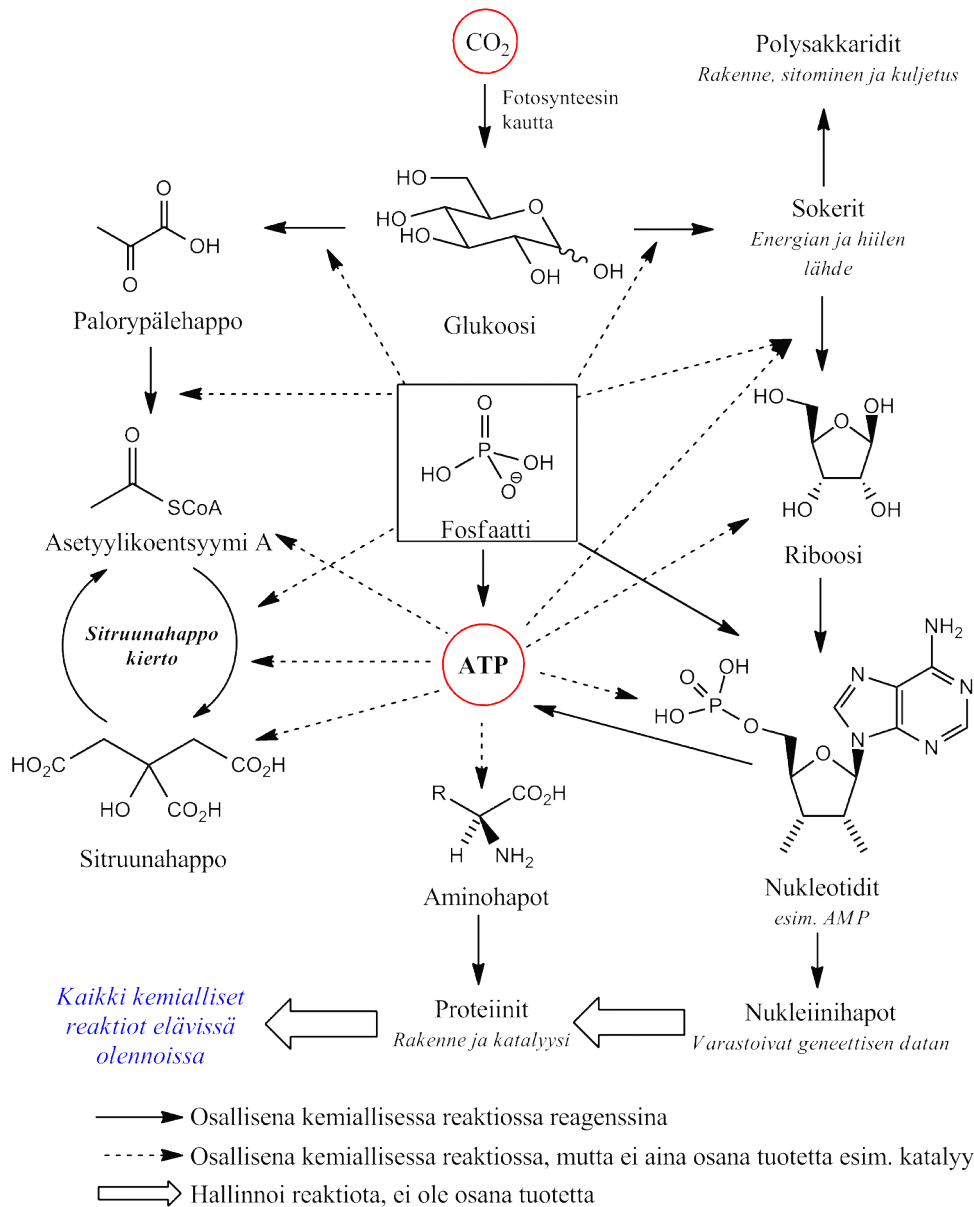
ATP:n hydrolyysistä vapautuu ympäristöön todella paljon lämpöenergiaa, mutta puhtaasti lämpöenergian käyttö kehossa on tehotonta ja jopa vaarallista sillä se voisi vahingoittaa vapautuvaa energiaa käyttäviä solun osia. Keho käyttääkin ATP:n hydrolyysiä myös suoraan ajamaan erilaisia reaktioita.

Pääasiallisesti nämä reaktiot ajavat kolmenlaista työtä eteenpäin solussa: kemiallista-, mekaanista- sekä kuljetustyötä. ATP:n hydrolyysi yhdessä eri entsyymien kanssa suoraan ajaa eteenpäin joitakin reaktioita jotka muutoin ovat endotermisiä, esimerkiksi glutamiinihapon synteesi on tällainen reaktio.^{23,24}

Kemiallista työtä tehdessään solu edistää endotermisten reaktioiden etenemistä liittämällä reaktion ATP:n hydrolyysiin. Monomeerien polymerisaatio on yksi esimerkki solun tekemästä kemiallisesta työstä, mikä vaatii ATP:tä. Mekaanisessa työssä jokin solun osa käyttää ATP:tä energian lähteenä tuottaakseen mekaanista liikettä. Moottoriproteiinin pyörimisliike siittiösolun hännässä on yksi esimerkki mekaanisesta työstä. Kuljetustyössä joko pumpataan yhdisteitä sisään tai ulos solusta tai kuljetetaan jotakin solun osasta toiseen. Tällaisessa tapauksessa, esimerkiksi välittäjäproteiini solukalvon pinnassa vastaanottaa ATP-molekyylin ja sen hydrolyysin yhteydessä muuttaa muotoaan, päästään jotakin estettyä yhdistettä lävitse. Kaikissa näissä työn tyypeissä yhteistä on, että ATP-molekyyli toimii osana reaktiota, energiaa siirtävä yhdiste on oleellisesti kytketty reaktioon.^{23,25}

ATP muissa rooleissa

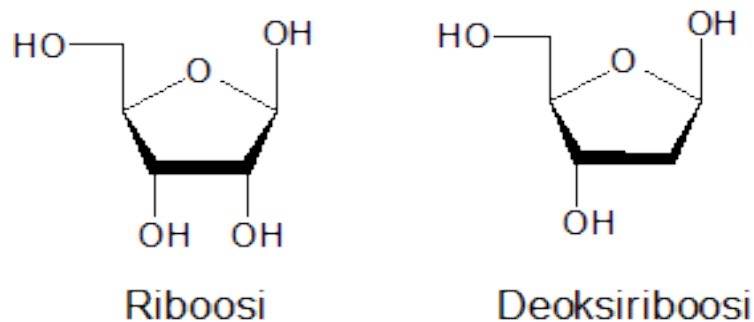
Kuten kuvista 11 ja 12 on huomattu, ATP sisältää adeniinia. Adeniini on ensimmäinen kahdesta nukleiinihappoissa esiintyvistä pyriiniemäksistä, joista toinen on guaniini. Nämä nimet tulevat esiin biologian perusopetuksessa, DNA- ja RNA- emäsjärjestystä käsiteltäessä. Kuvan 14 oikeassa alalaidassa



Kuva 14: Primaarinen aineenvaihduntakierto kiteytettynä ATP:n ympärille (muokattu lähteestä).²⁴

näkyikin adenosiinimonofosfaatti, mikä on kahdesti hydrolysoituaan ATPsta, käytettävissä RNAssa rakenneosana. Kuvasta tulee myös ilmi, kuinka ATP toimii osallisena aminohappojen synteesissä ja proteiinien muodostumisessa.²⁴

ATPta, ADPta, AMPta ja adensiinia kierrätetään kehossa aineenvaihduntareittiä pitkin erittäin tehokkaasti. Valtaosa ATPstä kierrätetään aineenvaihdunnan yhteydessä käytön jälkeen, mutta osa ATPstä poistuu kierrosta esimerkiksi hydrolysoituaan AMPksi, jota käytetään nukleiinihappojen valmistukseen RNA-synteesissä. AMPta ei voida suoraan käyttää DNAn valmistukseen, sillä sen sokeri ei ole oikeanlainen. RNAssa emäksiin on liittynyt riboosi okeri ja DNAssa deoksiriboosi, tästä tulevat niiden nimet RNA eli ribonukleiinihappo ja DNA eli deoksiribonukleiinihappo. Riboosin ja deoksiriboosimolekyylin ero voidaan nähdä kuvassa 15.²⁴

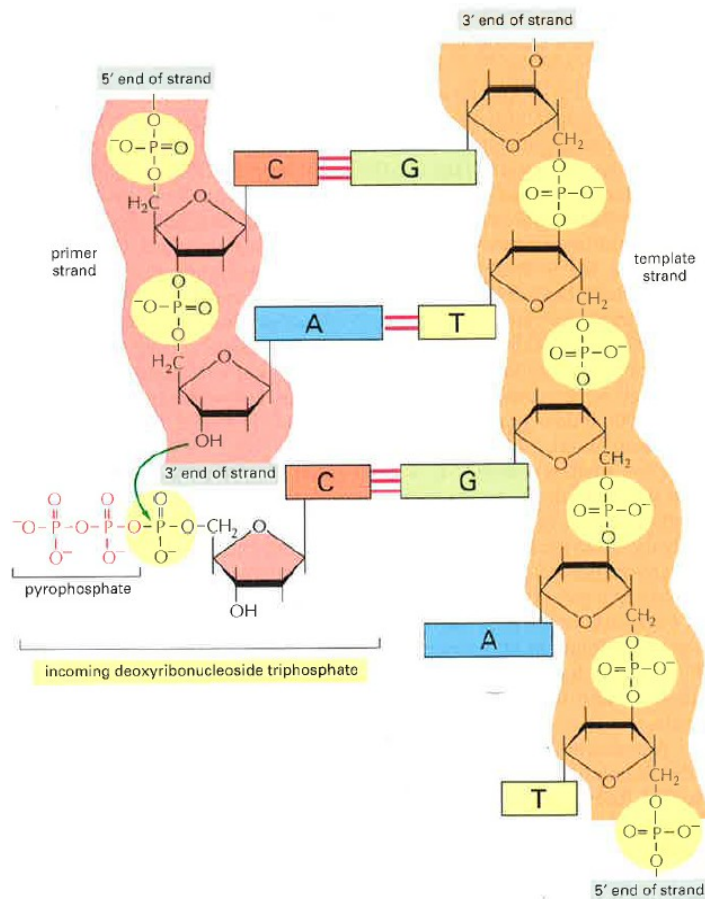


Kuva 15: Riboosi ja deoksiriboosi sokerit ovat komponentteja RNAssa ja DNAssa vastaavasti.

DNA- ja RNA-synteesissä ATP esiintyy samassa roolissa kuin muissakin entsyymeihin liittyvissä tapauksissa, mutta myös hieman toisenlaisessakin. Ensinnä, DNA-helikaasientsyymi, mikä avaa DNA:n kaksoisjuostetta, käyttää ATPta energialähteenä tuottaakseen mekaanista liikettä eli ATP sitoutuu helikaasientsyymiin, mikä saa entsyymin muuttamaan muotoaan ja tekemään tehtävänsä.²⁵

DNA-ligaasientsyymi, mikä liimaa DNA-juosteen paloja yhteen, käyttää ATPta

ikäänkuin liiman tapaan reagenssina. Ligaasientsyymi asettaa ATP:n DNA-juosteen 5' pätyyn kiinni, jolloin ATP:n hydrolyysi ajaa muutoin epäsuotuisan 3' - 5' yhdistymisen eteenpäin, kuluttaen kaksi fosfaattiryhmää ATP:sta. Lopputuloksena DNA-juoste on kiinnittynyt yhteen ja AMP-molekyyli irtoaa hydrolyysin päätteeksi, mikä voidaan nähdä kuvasta 16.²⁵



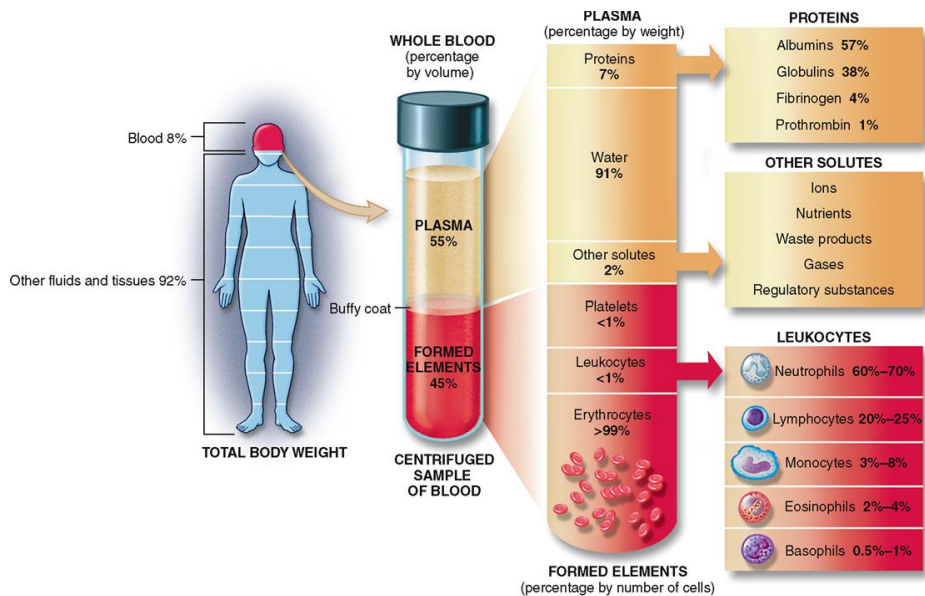
Kuva 16: DNA kaksoisjuoste, johon on liittymässä uusi nukleiinihappo. Juoste rakentuu siten, että valmiin juosteen 3' päädyssä hydroksyyli-ryhmä sitoutuu tulevan nukleiinihapon 5' päädyn fosfaattiryhmään, kun reaktiota ajavana voimana toiminut ATP hydrolysoituu, jättäen nukleiinihapolle nopeasti reagoivan trifosfaattihännän.²⁵

5.3 Veri

Tässä kappaleessa vastataan seuraaviin rakenteellisiin kysymyksiin verestä, joiden pohjalta aineopettaja voi rakentaa tuntisuunnitelman tai opetussuunnitelmansa aihekokonaisuudesta. Aihe on käsitelty pääasiallisesti biologian kurssilla BI4, mutta sisältöä valikoiden on sovellettavissa myös kemian kursseilla KE2 ja KE5 sekä mahdollisesti biologian BI3 ja BI5 kursseilla.

Veren koostumus

Veri voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, soluiksi ja veriplasmaksi. Noin 55 % veren tilavuudesta on veriplasmaa ja 45 % soluja. Solut ja plasma voidaan erottaa jäähtyneestä verestä nopeasti sentrifugoimalla, sillä solut ovat tiheämpiä ja painuvat pohjalle. Kuvassa 17 on esitetty yksinkertaistettu versio veren jaosta komponenteiksi.²³



Kuva 17: Veren koostumus visualisoituna.²⁷

Veriplasma voidaan jakaa neljään osaan: Veteen, ioneihin, plasmaproteiineihin sekä kuljetettuihin aineisiin.²³

Veden rooli plasmassa on toimia liuottimena. Vesi antaa kaikkien solujen, proteiinien, ionien ja yhdisteiden liikkua vapaasti nestemäisessä faasissa, mikä tekee siitä ehdottoman välttämättömän yhdisteen elämälle.²³

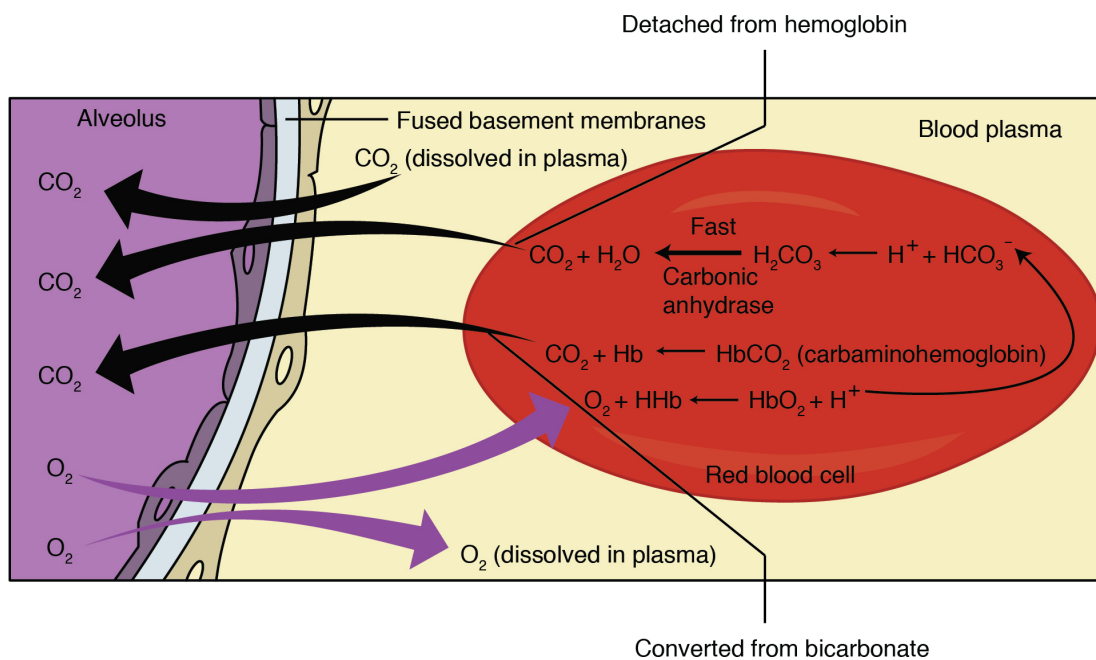
Plasmassa esiintyy liuenneita epäorgaanisia suoloja ionimuotoon dissosioituneena. Näitä suoloja ovat mm. natrium-, kalium-, kalsium-, magnesium-, kloori- ja bikarbonaattisuolat. Niitä kutsutaan toisinaan elektrolyyteiksi ja ne täyttävät elintärkeää roolia lihassoluissa ja hermostossa. Veressä ne ylläpitävät veren happotasapainoa puskuroimalla happamuutta sekä säätelevät veden ja solujen välistä osmoottista painetta vaikuttamalla solukalvon ioniläpäisevyyteen.²³

Plasman sisältämät proteiinit jakautuvat neljään tyyppiin, albumiiniin, immunoglobuliineihin, apolipoproteiineihin sekä fibrinogeeniin. Plasmaproteiinit kuten albumiini toimivat suolojen ohella pH-puskurina ja ylläpitävät osmoottista painetta veren ja kudosten välillä. Immunoglobuliinit, eli vasta-aineet, toimivat viruksia, bakteereja ja muita ulkopuolisia organismeja vastaan eri tavoilla, kuten häiritsemällä niiden proteiinirakennetta, mikä saattaa deaktivoida kyseisen organismin. Apolipoproteiinit kiinnittyvät rasvoihin tehden niistä vesiliukoisia, jolloin ne kykenevät liikkumaan ympäri kehoa veren mukana. Fibrinogeenit hyydyttävät verta tukkiakseen verenvuodon tilanteissa, joissa verisuoni on vaurioitunut.²³

Veriplasma sisältää myös laajan kirjon muita aineita, joita veri siirtää kehon paikasta toiseen. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi erilaiset ravinteet, kuten glukoosi ja vitamiinit, erilaiset aineenvaihdunnan tuottamat jätteet, hormonit ja kaasut.²³

Veren solukko jakautuu kolmeen perustyyppiin: punasoluihin eli erytrosyytteihin, valkosoluihin eli leukosyytteihin sekä verihiutaleisiin.

Punasolut ovat lukumäärältään suurin solutyyppi veressä. Vaikka punasolu sisältää sanan "solu", se ei sisällä tumaa tai mitokondrioita eikä se myöskään jakaannu. Niiden tärkein yksittäinen tehtävä on kaasujen siirto veressä, nimellisesti hapen ja hiilidioksidin, mikä kuvasta 18 voidaan havaita.^{23,25}



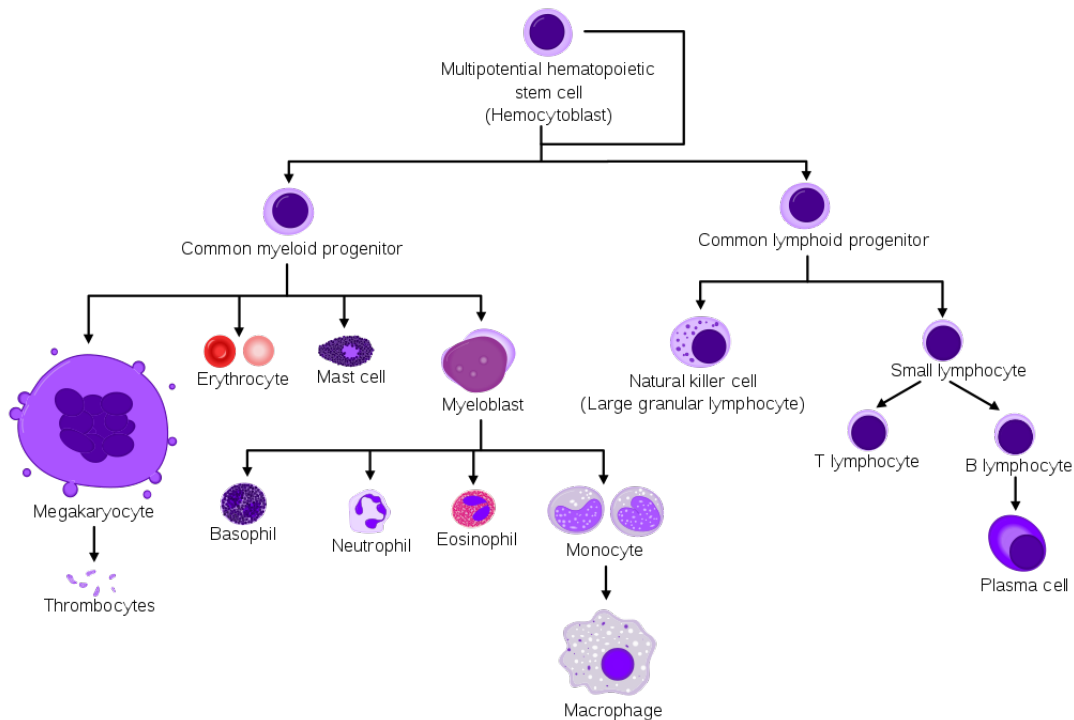
Kuva 18: Punasolu ja kaasujen siirto keuhkorakkulassa.²⁸

Tavallisesti plasman ja punasolujen tasapaino on noin 55 : 45. Naisilla punasolujen osuus on normaalisti 37-47 % vaihteluvälillä, kun miehillä osuus on 42-52 %. Punaisten verisolujen suhteellinen määrä voi vaihdella, mikäli henkilö kärsii anemiasta tai polysytemiasta.^{23,25}

Valkosolu eli leukosyytti on yhteistermi lymfosyyteille, granulosyyteille ja monosyyteille. Yhdessä ne muodostavat veriplasman sisältämien vasta-aineiden kanssa kehon immuunijärjestelmän, joka puolustaa kehoa hyökkäviä

mikrobeja vastaan. Leukosyyttejä on useita erilaisia ja ne täyttävät monia erilaisia rooleja Kuvassa 19 on esitelty veren kantasolusta johdettu jaottelu, mikä sisältää tärkeimmät kehon immuunijärjestelmän solut.²⁹

Granulosyytit ovat kaikista valkosoluista yleisimpiä ja niistä erityisesti neutrofiilejä on jopa 70 % kaikista valkosoluista. Nimi granulosyytti tulee näiden solujen sisältämistä granuuleista, pienistä kuplista joita solu varastoi sisälleen. Nämä granuulit ovat täynnä happoja, toksiineja, entsyymejä ja muita kemiallisia yhdisteitä, joita solu käyttää aseenaan tunkeilijoita vastaan. Granulosyytit ovat erikoistuneet bakteerien, loisten ja allergeenien hävittämiseen. Granulosyytit jaetaan kolmeen tyyppiin: neutrofiilit, eosinofiilit ja basofiilit. Neutrofiilit ympäröivät bakteerin ja tuhoavat sen sisällään. Eosinofiilit kiinnittyvät loisten pintaan ja tuhoavat sen granuuliensa kemikaaleilla. Basofiilit vapauttavat histamiineja allergeenien vaikutuksen heikentämiseksi.³⁰



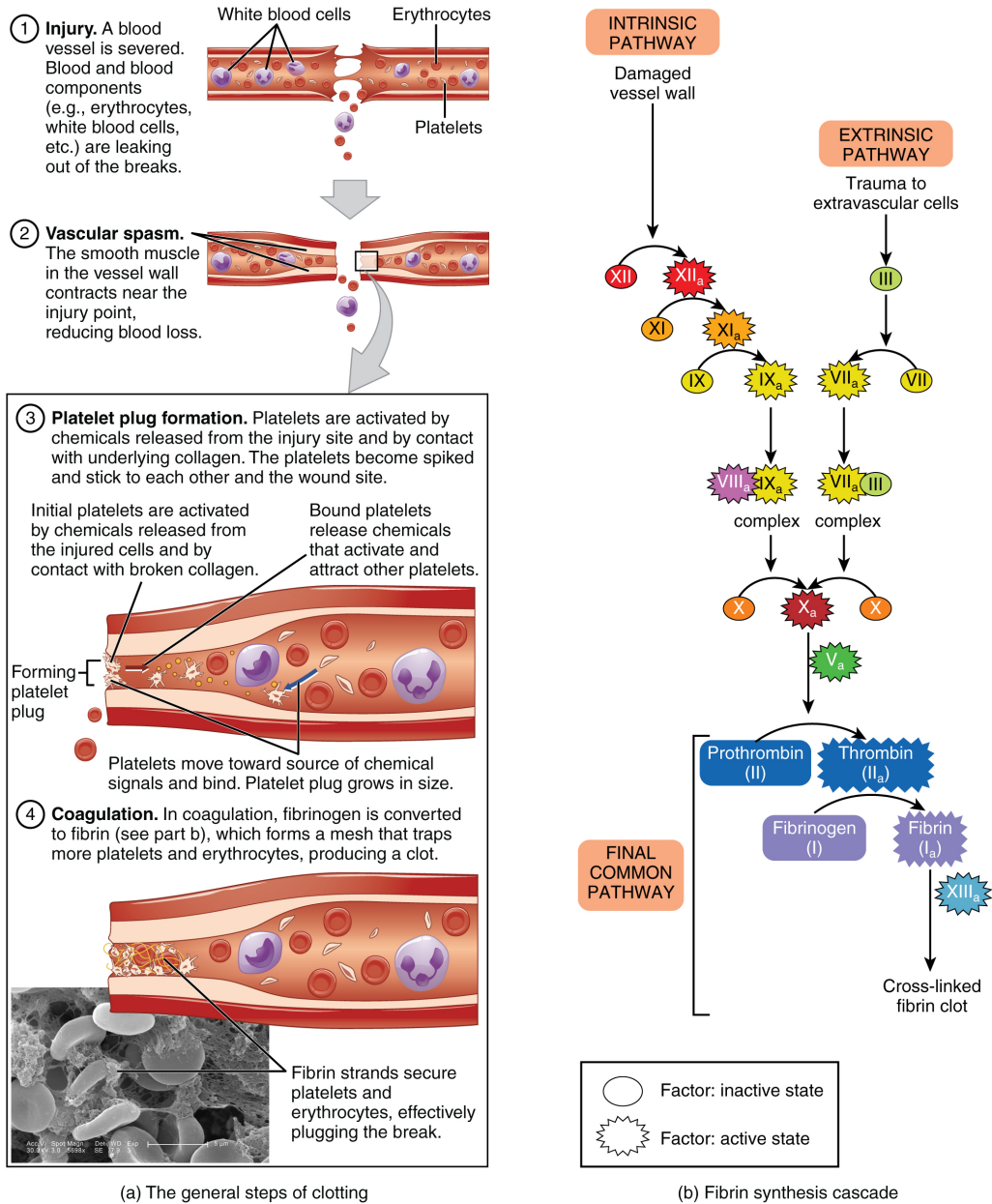
Kuva 19: Veren solukon luokittelu solutyypin mukaan.³¹

Lymfosyytit jaetaan B-, T- ja NK-soluiksi, joista B-solut tuottavat ja käyttävät vasta-aineita patogeenien tuhoamiseen, kun taas T-solut tuhoavat tartunnan saaneita soluja ja suojaavat siten tervettä solukkoa. NK-solut toimittavat samaa tehtävää kuin T-solut, mutta toimivat eri tavalla. Siinä missä T-solut huomaavat tartunnan saaneen solun pintaproteeinesta solun olevan viallinen, NK-solut huomaavat vian solun toiminnan vajeesta tai ylitoiminnasta. Tästä johtuen NK-solut ovat erityisesti suuntautuneet syöpäsolujen tuhoamiseen.³⁰

Monosyyteistä eniten esillä ovat makrofagit. Makrofagi on nimensä mukaisesti (kreikan kielen *makrós*: iso; *phageín*: syödä) isokokoinen "syöjäsolu", jonka tehtäviin kuuluu immunijärjestelmässä mikrobien tuhoaminen fagosytoosilla, eli ympäröimällä mikrobi ja sisällään sen hajottaminen, samalla tavoin kuin neutrofiilit toimivat. Toisin kuin neutrofiilit, makrofagit kykenevät täydentämään mikrobien tuhoamiseen tarkoitettujen kemiallisten yhdisteiden varastoa, mikä tekee siitä pidempi-ikäisen. Makrofagit myös välittävät tietoa T-soluille mikrobeihin toimivista vasta-aineista. Immunijärjestelmän ulkopuolella makrofagit tuhoavat ja kierrättävät elinkaarensa lopussa olevia veren punasoluja, mikä säästää ihmiskeholta jopa noin kolme kilogrammaa rautaa ja hemoglobiinia vuodessa.³²

Verihiutaleet ovat erittäin pieniä palasia erikoistuneista luuydinsoluista. Ne toimivat veren hyydyttämisessä ja rakenneosina, jotka sulkevat rakennevaurioita, sekä molekyyalitasolla edistävät hyytymisprosessia.²³ Useat erilaiset biomekaaniset toiminnot ylläpitävät veren juoksevuuutta, mutta kun jokin rikkoo tällaisen mekanismin – kuten haava – verihiutaleet havaitsevat sen ja alkavat keräytyä sille alueelle.²³ Päästyään kyseiselle alueelle, verihiutale ankkuroituu vaurioituneen verisuonen seinämään ja alkaa erittämään erilaisia väliaineita (mm. ADP ja TXA2), jotka kiihdyttävät muiden verihiutaleiden aktivoitumista ja ankkuroitumista. Verihiutaleen pinnalle alkaa myös rakentua reseptoreja glykoproteiineille, jotka toimivat ankkureina fibriinille. Fibriiniä alkaa sakkautumaan ulos veri-plasmasta – sillä fibriini ei liukene veri-plasmaan -

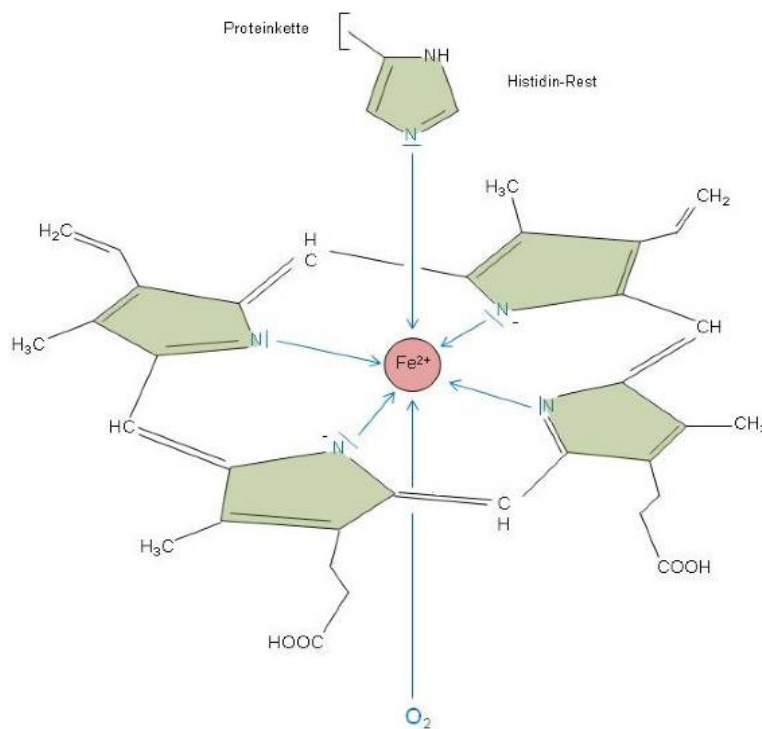
kun plasman fibrinogenaasit alkavat muuttamaan fibrinogeenia fibriiniksi. Fibriini ankkuroituu verihiutaleisiin ja vahvistaa hyytymää. Kuvassa 20 esitetään tapahtumaa havainnollistava kaavio.²³



Kuva 20: Verihiutaleiden toiminta kuvaava kaavioesitys. Vasemmalla yleiskuvaus veren hyytymisestä ja oikealla fibriinin synteesi kaavio.³³

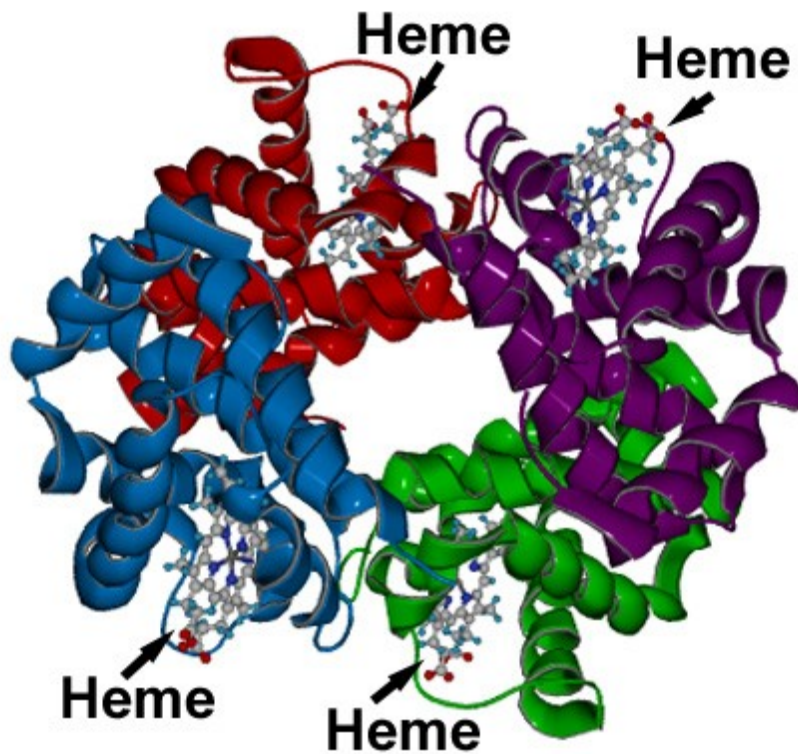
Hapen kuljetus veressä

Hemoglobiini on nisäkkäissä toimiva hapenkantajaproteiini ja **myoglobiini** kudoksissa toimiva happea varastoiva proteiini. Hemoglobiini on iso tetrameeriproteiini, eli koostuu neljästä proteiiniketjusta, kun taas myoglobiini on monomeeri, eli koostuu yhdestä proteiiniketjusta. Hemoglobiinin molekyylipaino on noin 64 500 g/mol ja myoglobiinin noin 17 000 g/mol. Jokainen hemoglobiinin neljästä ketjusta sisältää yhden kuvassa 21 esitetyn hemi-molekyylin aktiivisena ryhmänä, joka muodostuu, kun neljä protoporfyrini IX-ryhmää sitoutuu keskusrauta-atomiin. Hemi-ryhmä kiinnittyy proteiiniketjuun histidiinimolekyylin jäänteiden avulla.³⁴



Kuva 21: Hemi-molekyyli, keskellä keskusrauta-atomi, johon ylhäältä kiinnittyy histidiinihäntä. Histidiinin avulla molekyyli kiinnittyy hemoglobiiniin. Hapen liittyessä molekyyli sulkeutuu, kuin käsi, happimolekyylin ympärille.³⁵

Hemoglobiinin neljä proteiiniketjua eivät ole identtisiä. Tavallisimmat hemoglobiinin muodoista ovat HbA ($\alpha_2\beta_2$), joka koostuu kahdesta alfaketjusta ja kahdesta betaketjusta, HbA2 ($\alpha_2\delta_2$), mikä koostuu kahdesta alfaketjusta ja kahdesta deltaketjusta, sekä HbF ($\alpha_2\gamma_2$), mikä koostuu kahdesta alfaketjusta ja kahdesta gammaketjusta. Hemoglobiinin perusrakenne on esitetty kuvassa 22.³⁶



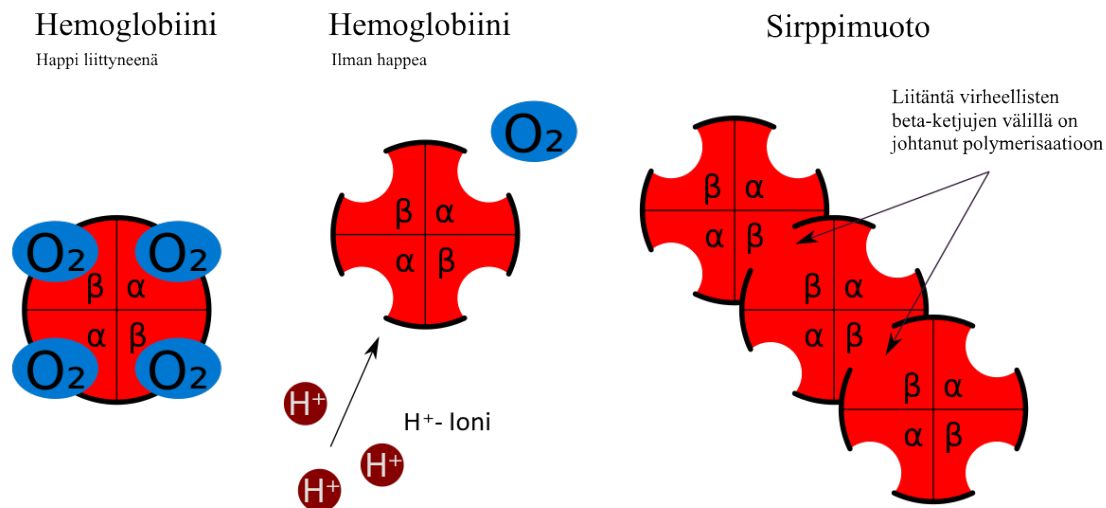
Kuva 22: Hemoglobiiniproteiini. Kokonaisen hemoglobiinin muodostavat neljä proteiiniketjua ovat merkitty eri väreillä ja hemiryhmät myös erikseen.³⁷

Hemoglobiinin neljä hemi-ryhmää eivät toimi toisistaan riippumattomasti. Toimiessaan yhteistoiminnallisesti O_2 -sitoutuminen kasvaa voimakkaasti, mikä on tärkeää, kun hemoglobiinin on tehokkaasti sidottava happea keuhkoissa. Sitä mukaan kun hemi-ryhmät sitovat O_2 -molekyylejä, saman hemoglobiinin tyhjien hemi-ryhmien O_2 -sitoutuvuus kasvaa siten, että neljännen hemi-ryhmän kyky sitoa happea on kasvanut noin 300-kertaiseksi verrattuna ensimmäisen hemi-ryhmän sidontakykyyn.³⁴

Tämänlainen "yhteistyö" voidaan ymmärtää proteiinin konformaation, eli muodon, vaihteluiden kautta; kun O₂ on sitoutunut yhteen hemi-ryhmään, sen proteiiniketjun muoto muuttuu vetäen rauta-atomin samaan tasoon porfyriinirenkään kanssa, joka vetää histidiini jäänteen kautta proteiiniketjua mikä muuttaa koko proteiinin rakennetta avaten muut hemi-ryhmät helpommin sitomaan happea.³⁴

Tämän myös vaikuttaa hapen luovutukseen siten, että yhden O₂ -molekyylin irtoaminen hemi-ryhmästä laukaisee muiden O₂ -molekyylin irtoamisen samasta hemoglobiinista. Koska myoglobiini koostuu yhdestä proteiiniketjusta, se ei käyttäydy yhteistoiminnallisesti, mutta molemmissa tapauksissa, sekä myoglobiinissa että hemoglobiinissa, O₂ -molekyylillä on steerisesti suojatussa kaviteetissa, eli häkissä jonka muodostavat ympäröivät molekyyliketjut.³⁴

Sirppisolutauti on geneettisestä mutaatiosta johtuva tauti, jonka johdosta veren punasolut ovat sirppimäisiä muodoltaan. Sirppimäinen muoto on punasoluille epäedullinen ja tekee niistä helpommin verisuoniin takertuvia, mikä nostaa infarktiriskiä. Muoto tekee sirppisoluista myös herkemmin tuhoutuvia, laskien punasolujen eliniän noin 90-120 vuorokauteen. Tauti johtuu hemoglobiini S:stä, mikä on mutatoitunut muoto normaalisti tavattavasta hemoglobiini A:sta. Hemoglobiinin S-muodossa betaketjuista toinen tai molemmat ovat mutatoituneet. Yksinkertainen pistemutaatio on muuttanut proteiinissa hydrofilisen aminohapon (glutaamihappo) hydrofobiseksi aminohapoksi (valiini). Tämä aikaansaa hydrofobisen pisteen betaketjussa, joka tarttuu kiinni viereisen hemoglobiinin betaketjun hydrofobiseen pisteeseen. Tämä polymerisoi punasolun hemoglobiinit, muodostaen jäykkiä ketjuja, mikä taivuttaa solun sirpiksi. Kuvassa 23 yksinkertaistettu esitys tästä.^{34,36}



Kuva 23: Hemoglobiinien polymeroituminen sirppisoluttaudin seurauksena. Pistemutaatio muuttaa beta-ketjun hydrofobiseksi ja saa sen muodostamaan molymeeriketjuja muiden hemoglobiinien kanssa, vähentäen hapenkanto kykyä.³⁸

Veren pH-tasapaino

Ennen kuin voidaan puhua ihmiselimistön happamuudesta, emäksisyydestä tai pH-tilan vaikutuksesta ihmisen fysiologiaan, pitää määritellä termit.

Termi pH määritellään

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (2)$$

eli vapaiden protonien negatiivinen logaritmi, yksinkertaistettuna se kuvaa vapaiden protonien molaarista konsentraatiota. Mitä pienempi pH-luku on, sitä useampi mooli vapaita protoneja tutkitussa systeemissä on ja sitä happamampi systeemi on.³⁹

Vastaavasti, kun pH-arvo kasvaa, H⁺ -ionien määrä vähenee ja happamuus laskee, OH⁻ -ionien määrä kasvaa ja emäksisyys kasvaa, sillä kaikissa vesiliuoksissa pätee 25 °C lämpötilassa

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad (3)$$

Tämä on johdettu veden autohydrolyysistä, eli veden taipumuksesta spontaanisti erota protoniksi ja hydroksyyli-ioniksi. Neutraalissa vesiliuoksessa kumpaakin ionia on karkeasti tasamäärä.²³

Veren happamuus tai emäksisyys voi johtaa hengenvaaralliseen tilaan. Veressä tavallisimmat happamuuteen vaikuttavat yhdisteet ovat:

- H_2CO_3 , hiilihappo
 - Hiilihappoa muodostuu veressä mm. kun aerobisesta soluhengityksestä muodostunut hiilidioksidi reagoi veden kanssa.
- NH_3 , ammoniakki
 - Ammoniakkia muodostuu elimistössä aineenvaihduntakierron yhteydessä. Suurin osa siitä muuttuu ureaksi.

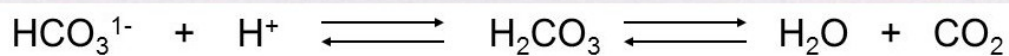
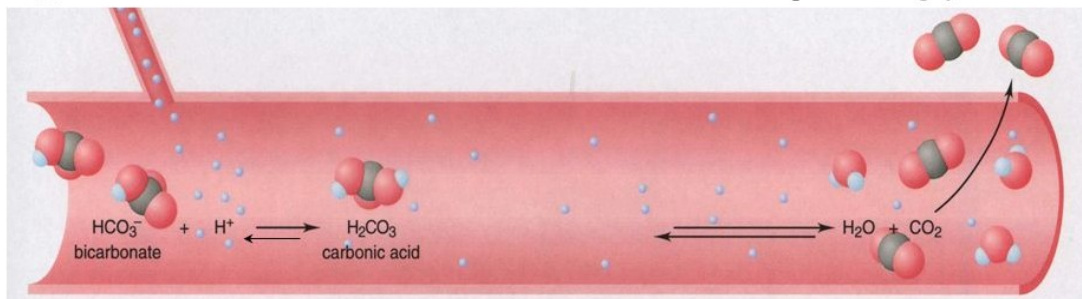
Ihmisveren pH on noin 7,4, eikä ihmisen fysiologia siedä suuria poikkeamia veren pH:ssa: ihmisen voidaan olettaa menehtyvän nopeasti mikäli veren pH putoaa alle 7 tai nousee yli 7,8.⁴⁰

Kun veren pH-arvo nousee ja muuttuu emäksisemmäksi, on kyseessä **alkaloosi**. Veren happamoitumista, eli pH-arvon putoamista, kutsutaan lääketieteellisellä termillä **asidoosi**. Asidoosi on myös syy minkä takia diabeetikoiden on vältettävä liian korkeaa veren sokeripitoisuutta, sillä ilman sokereiden määrää rajoittavaa insuliinia sokerit hajoavat orgaanisiksi hapoiksi ja nostavat veren happamuutta.^{23,40}

Veren puskurointikyky ja puskurointi ylipäänsä aiheutuu heikkojen happojen, emästen ja suolojen välisestä tasapainoreaktiosta. Ihmiselimistössä tasapaino on etusijassa hiilihapon, vetykarbonaatti-ionien ja veden välinen tasapainoreaktio. Verenkiertoon päässeet hapot neutraloituvat kuvan 24 mukaisesti, tasapainoreaktiossa vetykarbonaatin kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo puolestaan tasapainoreaktion kallistuessa kuvan mukaisesti reaktion oikealle puolelle hajoaa jatkuvasti enenevissä määrin vedeksi ja hiilidioksidiksi. Verenkierron päästyä keuhkojen kapilaareihin, hiilidioksidi poistuu elimistöstä uloshengityksen mukana.^{23,25}

Happoa tulee verenkiertoon

Hiilidioksidia poistuu hengityksen mukana



Keller, Carr, Scott, *Chemistry A World of Choices*, 1999, page 291 Modified for use in this work

Kuva 24: Vetykarbonaatti-ioni ylläpitää veren happamuus tasapainoa H^+ ja OH^- -ionien kanssa. Keuhkoissa vetykarbonaatti yhdistyy vetyionin kanssa, menettäen CO_2 -molekyylin, mikä poistuu hengityksen mukana.

5.4 Entsyymit

Entsyymit ovat kokonaisuutena erittäin laaja aihe, mutta se voidaan tiivistää lukiotarpeita vastaamaan. Näin supistettuna, se sopii yhteen KE2 kurssin, sekä BI3 kurssin sisällön kanssa.

Entsyymien määritelmä

Kemian näkökulmasta entsyymi voidaan määritellä katalyyttiseksi makromolekyyliseksi. Makromolekyyli on massiivinen molekyyli, joka koostuu tyypillisesti sadoista tai tuhansista atomeista. Iso osa entsyymeistä on proteiineja, mutta muutamia proteiinittomia entsyymejäkin on olemassa.^{23,25}

Jos kaikista olemassaolevista entsyymeistä otetaan alin yhteinen tekijä, se olisi katalyyysi. Monilla elämää ylläpitävillä reaktioilla on joko korkea aktivaatioenergia tai hidas reaktionopeus, mikä tekee kemiallisen reagoimisen vaikeaksi tai hitaaksi normaaliolosuhteissa. Tätä varten entsyymit ovat olemassa; ne tekevät mahdolliseksi tai nopeuttavat erittäin tärkeitä reaktioreittejä, jotka muutoin vaatisivat liikaa energiaa käynnistyäkseen tai olisivat liian hitaita.^{23,25}

Tästä esimerkkinä on sukroosin hydrolyyttinen hajoaminen glukoosiksi ja fruktoosiksi: huoneenlämpöisessä sterilissä vedessä reaktio on käytännössä pysähtynyt, vaikka reaktion pitäisi olla teoreettisesti spontaani. Lisättäessä sukraasi -entsyymiä reaktioastiaan, reaktio käynnistyy välittömästi ja reaktio kuluttaa sukroosin loppuun sekunneissa.¹⁰

Entsyymit voidaan jakaa kemiallisen toimintansa kautta kahteen joukkoon:²⁵

(a) *katabolisiin* entsyymeihin, jotka edesauttavat mm. ruuansulatusta katalysoimalla isojen yhdisteiden hajoamista pienemmiksi molekyyleiksi

vapauttaen energiaa, kuten edellämainittu sukroosin hydrosaatio.

(b) *anabolisiin* entsyymeihin, joiden katalyyysi käyttää energiaa biosynteettisesti isompien molekyylien rakentamiseen pienemmistä molekyyleistä.

Toiminta ja rakenne

Entsyyminen katalyyysi, ja katalyyysi ylipäänsä, on reaktion aktivaatioenergian madaltamista tai reaktionopeuden kiihdyttämistä. Se miten tämä tapahtuu, riippuu paljon reaktiosta ja entsymistä.^{24,25,39}

Kemiallisessa reaktiossa lähtöaineiden ja lopputuotteiden välinen energia, eli aktivaatioenergia, määrää reaktion tapahtumisen. Tästä reaktion kokonaisenergiasta käytetään kemiassa nimeä Gibbsin energian muutos ja siitä käytetään symbolia ΔG .²⁴

Kun Gibbsin energia on negatiivinen, reaktio voi tapahtua spontaanisti, eli käynnistyä ilman ulkopuolista vaikutusta. Tästä huolimatta jotkin reaktiot voivat tapahtua todella hitaasti vaikka reaktion ΔG olisikin negatiivinen, sillä Gibbsin energia ei suoraan vaikuta reaktionopeuteen.²⁴

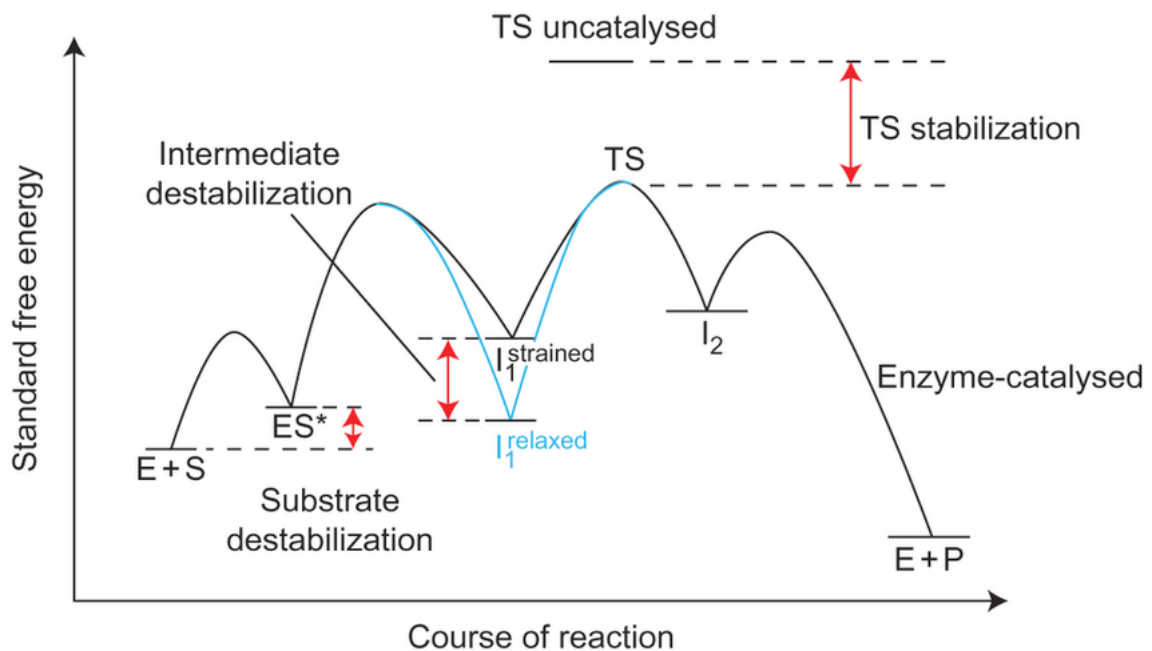
Korkea aktivaatioenergia kuitenkin voi rajoittaa reaktionopeutta. Entsyymien katalyyysi madaltaa tätä aktivaatioenergiaa niin paljon, että reaktio voi tapahtua riittävän nopeasti. Entsyymit suoriutuvat tästä esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Aktiivinen alue saattaa olla olosuhteiltaan suotuisampi substraatin reaktiolle, kuin substraatin normaali reaktioympäristö. Esim. aktiivinen alue voi toimia happamana alueena muutoin emäksisessä tai neutraalissa ympäristössä.²³
- Aktiivinen alue voi asennoida substraatin juuri sopivaan asentoon toisiinsa verraten, jotta reaktio voi tapahtua.²³

- Aktiivisen alueen aminohapot mekaanisesti vääntävät reaktiolle oleellisia sidoksia muotoon, missä reaktion on helpompi tapahtua. Näin vaadittava aktivaatioenergia pienentyy, sillä sidosten rikkomiseen vaadittava energia on suoraan verrannollinen aktivaatioenergiaan.²³

Näissä annetuissa esimerkeissä voidaan havaita kuvassa 25 havainnollistettavat kolme mekanismia, joihin entsyymien toiminta voidaan perustaa:

1. Reaktion välivaiheen epävakauttaminen
2. Substraatin ja tuotteen välisen siirtymätilan vakauttaminen
3. Substraatin lähtötilan tekeminen epävakaaaksi

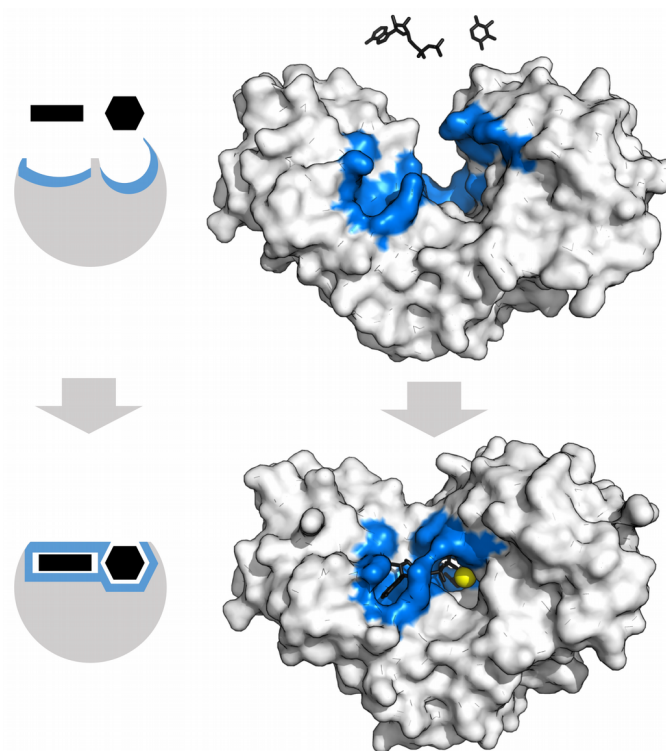


Kuva 25: Entsyymäattisen toiminnan kolme perusvaikutusta, substraatin lähtötilan epävakauttaminen, välivaiheen epävakauttaminen ja siirtymätilan vakauttaminen.⁴¹

Yleisesti entsyymillä on jokin tietty reagenssi, minkä reaktiota se katalysoi. Tätä reagenssia kutsutaan substraatiksi. Entsyymit ovat erittäin spesifisiä

katalysoimiensa reaktioiden suhteen; entsyymi ei reagoi edes yhdisteisiin, jotka ovat hyvin samankaltaisia entsyymin substraatin kanssa. Tätä kutsutaan *substraattispesifydeksi*. Entsyymi voi katalysoida reaktiota, joka käyttää kahta tai useampaakin substraattia.^{23,25}

Entsyymien spesifisyys johtuu osittain niiden kolmiulotteisesta rakenteesta. Valtaosa entsyymeistä on proteiineja ja proteiineilla on hyvin ainutlaatuiset kolmiulotteiset muotonsa ja konfiguraationsa, johtuen niiden aminohappojärjestyksistä. Näissä proteiinientsyymien massiivisissa kolmiulotteisissa rakennelmissa on tietty kohta, mikä sitoo substraatin itseensä. Tätä kohtaa kutsutaan *aktiiviseksi alueeksi*, mikä on tyypillisesti jonkinlainen kuoppa tai kolo entsyymin rakenteessa, kuten kuvasta 26 voidaan nähdä. Sen sijainti on tyypillisesti määräytynyt vain muutaman aminohapon vaikutuksesta.^{23,25}



Kuva 26: Heksokinaasi -entsyymi, missä sinisellä on merkitty aktiivinen alue. Tilanteet ennen ja jälkeen substraatin kiinnittymisen yksinkertaistetulla mallilla, sekä molekyyllimallinnetulla simulaatiolla.⁴²

Entsyymi vaihtelee asentoaan hyvin nopeasti ja lyhyin väliajoin, mikä johtuu molekyylin lämpöliikkeestä. Entsyymi liikkuu paikasta toiseen, lisäksi sen sisäisten atomien ja molekyylien väliset sidokset venyvät ja taipuvat. Tästä johtuen idea, että vain täsmällinen substraatin muoto voi aktivoida entsyymin, on vanhanaikainen vaikkakin se sopii yksinkertaistukseksi. Vallitsevan teorian vahvistavat havainnot kertovat, että entsyymeillä itselläänkin on transiitio-tila, mikä on yhteensopiva substraatin kanssa. Substraatissa vaikuttavat kemialliset ryhmät puolestaan myös muuttavat entsyymin aktiivisen alueen muotoa lähestyessään ja sovittautuessaan entsyymiin kiinni, mikä edesauttaa sopimista ja spesifisyyttä.^{23,25}

Katalyyysi

Entsyymaattisen katalyyysin alkaessa, entsyymi sitoutuu substraattiin muodostaen *entsyymi-substraatti kompleksin*. Useimmissa entsyymien katalysoimista reaktioista substraatti kiinnittyy heikoilla sidoksilla – kuten ionidipoli ja vetysidoksilla – entsyymiin. Paikalleen kiinnittyä aktiivisen alueen muodostavien aminohappojen funktionaaliset ryhmät katalysoivat substraatti-
lopputuote reaktion. Reaktion kuljettua loppuunsa, lopputuote irttaa aktiivisesta alueesta ja uusi substraatti tulee tilalle, reaktiokierron alkaessa uudestaan. Tässä reaktiokierrossa entsyymi – kuten kaikki katalyytit – ei muutu reaktion aikana muiksi aineiksi tai hajoa. Joissakin tapauksissa aktiivisen alueen aminohapot voivat kuitenkin osallistua substraatin reaktioon, mutta palautuvat reaktion jälkeen ennalleen. Tämä koko kierros voi toistua entsyymistä riippuen tuhansia kertoja sekunnissa.²³

Katalaasi -entsyymi, joka katalysoi vetyperoksidin hajoamista hapeksi ja vedeksi, on yksi nopeiten katalyyssikiertonsa toistavista entsyymeistä. Tämän reaktion pystyy havaitsemaan paljain silmin, kun vereen – mikä sisältää

katalaasientsyymiä – tiputtaa pisaran vetyperoksidia. Reaktio käynnistyy välittömästi ja muodostaa huomattavan määrän vaahtoa, mikä johtuu hapen muodostumisesta viskoosissa nesteessä.²³

Lämpötila ja pH

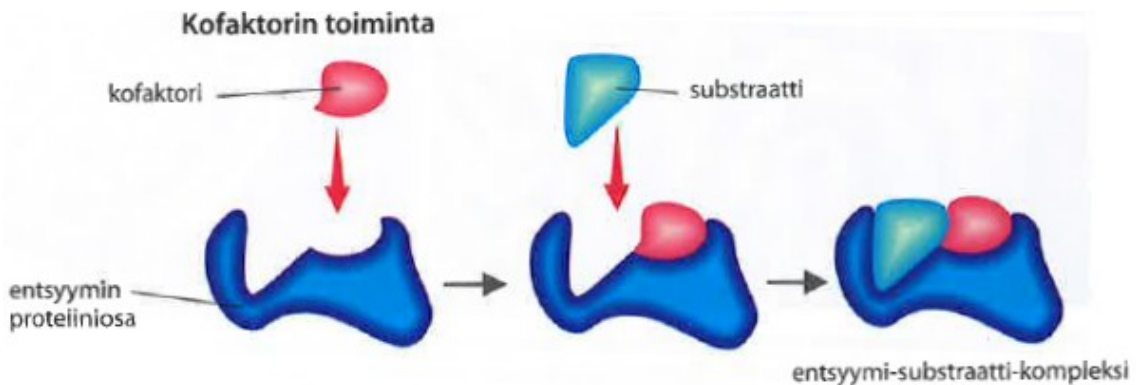
Entsyymit, kuten muutkin proteiinit, reagoivat herkästi ympäristönsä muutoksiin. Tämä johtuu niiden kolmiulotteisesta rakenteesta. Jokaisella entsyymillä on jokin tietty muoto, joka on kemiallisesti aktiivisin, tehokkain muoto.^{23,25}

Entsyymien reaktionopeus yleisesti nousee lämpötilan noustessa, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti. Tämä osittain johtuu siitä, että korkeissa lämpötiloissa molekyylien liike on nopeaa ja molekyylien välisiä törmäyksiä tapahtuu runsaammin. Kun lämpötila nousee tämän suositun lämpötilan ylitse, missä reaktionopeus on suurimmillaan, entsyymien aktiivisuus putoaa nopeasti, kun sen heikommät kemialliset sidokset alkavat rikkoutumaan, muuttaen entsyymien rakennetta. Tämä lopulta johtaa entsyymien rakenteen rikkoutumiseen, eli denaturaatioon. Tämä lämpötila on entsyymikohtainen. Esimerkiksi ihmisen elimistöistä löytyvät entsyymit ovat pääsääntöisesti aktiivisimpia 35-40 °C lämpötilassa, mikä on tyypillinen ihmisen kehonlämpö.^{23,25}

Lämpötilan tavoin kullekin entsyymille on ominainen ideaali pH-arvo, mikä on tyypillinen entsyymien esiintymisalueelle. Loistavat esimerkit ovat pepsiini ja trypsiini. Pepsiini on ruuansulatusentsyymi ihmisen vatsalaukussa, missä useimmat muut entsyymit hajoaisivat nopeasti. Pepsiinin rakenne on tehokkaimmillaan noin pH:ssa 2, joka on vatsalaukulle ominainen happamuusaste. Trypsiini, joka on pepsiinin tavoin ruuansulatus entsyymi, esiintyy ihmisen suolistossa, joka on muuta kehoa emäksisempi pH:ssa 8.^{23,25}

Kofaktorit ja inhibiittorit

Kofaktorit ovat yhdisteitä, jotka liittyvät entsyymiin edistäen sen reagointikykyä, kuvan 27 esittämällä tavalla. Tämä voi tapahtua väliaikaisesti osana katalyysiprosessia, tai pysyvästi. Kofaktorit ovat melko usein epäorgaanisia, kuten erilaisten metallien ioneja. Kupari, sinkki ja rauta ovat mainittu olevan joitakin tyypillisiä epäorgaanisia kofaktoreita.²³



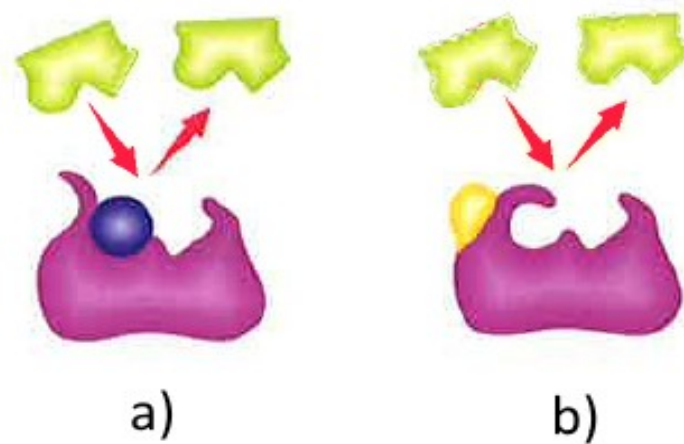
*Kuva 27: Kofaktori aktivoi entsyymien, jolloin entsyymi alkaa toimimaan katalysoiden substraattinsa reaktiota.*¹⁹

Orgaanisia kofaktorimolekyylejä kutsutaan nimellä *koentsyymi*. Termin avulla erotetaan epäorgaaniset ja orgaaniset entsyymein auttajamolekyylit tai -atomit toisistaan. Useat vitamiinit ovat koentsyymejä, kofaktoreita tai raaka-aineita, joista koentsyymejä rakennetaan kehossa. Ilman näitä keho ei kykene toimimaan. Tästä johtuen ne ovat elimistölle niin tärkeitä, että ovat saaneet nimen "vitamiini", mikä on lähtöisin latinankielen sanasta *vita*, eli "elämä".^{19,23,25}

Inhibiittorit ovat yhdisteitä, joiden toiminta estää tai hidastaa entsyymiaktiivisuutta, eli niiden toiminta on juuri päinvastaista kofaktorien kanssa. Inhibiittorit voivat sitoutua entsyymiin väliaikaisesti heikolla sidoksella tai pysyvästi, mikäli sitoutuminen tapahtuu kovalenttisesti.^{23,25}

Jotkin inhibiittorit toimivat olemalla niin samankaltaisia entsyymien substraatin

kanssa, että ne kykenevät liittymään entsyymin aktiiviseen alueeseen, mutta sen sijaan, että tämä sitoutuminen edistyisi katalyysiin, inhibiittori pysyy reagoimattomana, estäen entsyymin toiminnan. Tämänlaista inhibiittoria kutsutaan kilpailevaksi inhibiittoriksi. Visualisaatio tästä kuvassa 28.²³

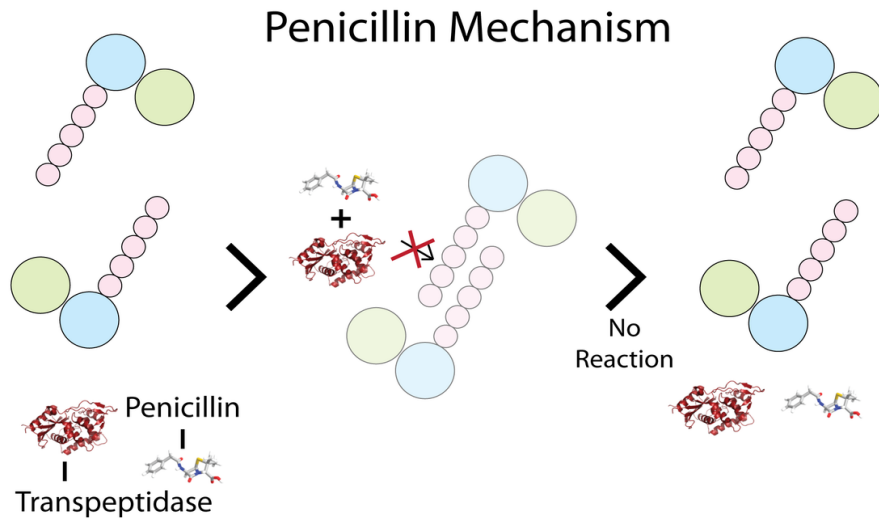


*Kuva 28: Inhibiittorien toiminta jakautuu kahteen päätyyppiseen mekanismiin: a) kilpaileva inhibiittori ja b) ei-kilpaileva inhibiittori.*¹⁹

Toisenlaiset inhibiittorit puolestaan voivat liittyä johonkin aivan muuhun kohtaan entsyymin rakentessa, mutta sitoutumalla sinne, se pakottaa entsyymin muodon sellaiseksi, että entsyymin aktiivinen alue painuu piiloon tai muulla tavoin vääntyy muotoon, joka ei pysty vastaanottamaan substraattia.²³

Myrkyt, toksiinit ja jotkin lääkkeet ovat esimerkkejä inhibiittoreista, jotka sitoutuvat pysyvästi entsyymiin. Esimerkkinä lääkkeestä *penisilliini* on inhibiittori, joka estää joidenkin bakteerien soluseinää muodostavien entsyymien toiminnan. Bakteerien soluseinä on jatkuvassa muutoksen tilassa, jossa yksi entsyymityyppi tuottaa lisää peptidoglykaania ja toinen hajottaa sitä. Penisilliini sitoutuu DD-transpeptidaasiin, jolloin DD-transpeptidaasi ei voi katalysoida soluseinän rakenteen muodostumista. Tämä johtaa hauraaseen

soluseinään, joka hajoaa solun sisäisestä paineesta. Kuvassa 29 esitetään visualisaatio tästä mekanismista.²⁵



Kuva 29: Penisilliinin toiminta mekanismi. Ihnibitoimalla bakteerin transpeptidaasientsyymiä, Penisilliini heikentää bakteerin soluseinän muodostumista, mikä lopulta johtaa soluseinän ratkeamiseen ja bakteerin kuolemaan.⁴³

Sariini puolestaan on äärimmäisen vaarallinen hermomyrkky, mikä inhibitoi asetyylikoliiniesteraasi-entsyymiä, sitoutumalla sen aminohappoketjuun. Asetyylikoliini on hermostokemikaali, mikä viestittää lihaksille supistumisviestiä. Asetyylikoliiniesteraasi katalysoi asetyylikoliinin hapettumista asetyylikoliiniesteriksi, ja entsyymin inhibitio johtaa hermostossa asetyylikoliinin kertymiseen, mikä pakottaa vaikutetut lihakset kramppiin, jolloin ne eivät voi rentoutua. Tämä on erityisen vaarallista, koska vaikutuksen alaisena ovat usein keuhkot, jolloin myrkytyksen saanut henkilö voi tukehtua.^{23,25,44}

6 Yhteenveto kirjallisesta osasta

Oppijan sisäinen motivaatio on oletettua vähäisempi tekijä oppimistapahtumassa. Sitä voidaan ehkä verrata paremminkin kynnykseen, jonka jälkeen oppimista tapahtuu normaalilla tahdilla. Kirjallisuuden mukaan oppijan oppimistehokkuutta edistävä motivaatio on ulkopuolelta tuleva, toisin sanoen opetuksen aikaansaama motivaatio, joka voi johtua opettajasta, opetusmenetelmästä, kavereista, aikataulusta tai jostakin muusta oppijan ulkopuolisesta vaikuttajasta.⁷

Eheyttävän opetuksen malleihin ei voida suoraan sitoa mielenkiintoisuutta tai pitkäväteisyyttä ilmaisevia kuvauksia, niiden mielenkiintoisuus tai pitkäväteisyys nousee siis opettajasta itsestään. Mitä eheyttävä opetus sensijaan tekee on, että se tarjoaa uusia lähestymistapoja tietoon. Nämä lähestymistavat tarjoavat oppijalle uudenlaisten kontekstin, missä tietoa voi prosessoida. Uusia tapoja voi myös lähestyä tietoa yhteisten ominaisuuksien kautta.¹¹

Näkemällä yhteneviä ominaisuuksia voi mahdollisesti saada oppijan kiinnostumaan asiasta ja prosessoimaan tietoa uudella tavalla, mikä voisi kenties johtaa syvempään oppimiseen. Tämä on yksi seikoista mitä tässä tutkimuksessa halutaan selvittää.

Tutkimalla kirjallisuutta oppikirjoista, tutkimuksista ja kurssikirjoista voidaan havaita, että luonnontieteet ovat erittäin eheytykelpoisia keskenään. Fysiikalla, kemialla ja biologialla on erittäin paljon keskenään limittyviä kohtia. Tällaiset limittymät tarvitsee vain etsiä ja sovitella yhteen, niin syntyy lähes valmis opetuskokonaisuus aiheesta.

Näiden huomioiden pohjalta vaikuttaa siltä, että kemian ja biologian välinen eheyttävä opetus ei ole nollasumma, missä positiiviset ja negatiiviset ominaisuudet kumoavat toisensa.

7 Kokeellisen osuuden toteutus

Tässä kappaleessa esitetään tutkimukseen johtaneet ajatukset, ydin ja kaikki kysymykset, joihin halutaan löytää vastaukset tämän tutkimuksen avulla ja avataan niiden merkitys sisällön lukijan avustamiseksi. Kysymysten ohessa vastataan kysymykseen hypoteesilla, joka tutkimuksen päätteeksi joko hylätään tai vahvistetaan, mikäli kysymykselle on hypoteesi ylipäänsä esitettävissä. Jotkin tutkimuksen osat lähtevät aivan alkutekijöistään ilman mitään oletuksia tai odotuksia ja siten niihin ei ole hypoteeseja sijoitettu.

7.1 Tutkimuksen tausta

Oppija on erityisesti fokuksessa tässä tutkimuksessa, jolloin oppilaiden näkökulmien huomiointi on tärkeä osa tutkimusta.

Tutkimuksen alkuvaiheessa suoritetuissa ennakkohaastatteluissa erään lukion opiskelijat kokivat eheytetyn oppitunnin positiivisena vaihteluna. Heidän näkemyksensä asiasta oli, että asiaan liittyvä toisen aineen näkemys antaisi lisää kontekstia tai aivan minimissään olisi viihdyttävä lisätietoa.

Lukion opiskelijoiden ajatuksena oli, että eheyttävä tunti olisi hyödyllinen niille opiskelijoille, jotka opiskelevat molempia aineita, mutta voi olla haastava opiskelijoille, jotka eivät opiskele toista ainetta. He huomauttivat kuitenkin, että integroitavat asiat tulisi sitoa kyseisen oppitunnin kontekstiin jouhevasti, jotta transitio asiasta toiseen ei aiheuttaisi hämmennystä. Eräs oppilaista mainitsi, että oli mielenkiintoista oli kuulla Michael Faradayn töistä sähkökemian tunnilla, mutta oppilaalla oli jonkin verran hankaluuksia käsittää miksi Faraday otettiin esille.

Opettaja ei suoranaisesti ole tutkimuksen keskiössä, mutta vaikuttaa paljon opetuksen eheyttämisen toteutumiseen. Koska tutkimuksen eräs tavoite on

selvittää, kuinka sujuvasti eheyttämistä eli integraatiota voi toteuttaa suomalaisissa oppilaitoksissa, on tärkeää selvittää kuinka paljon ylimääräistä vaivaa tämä voi opettajille aiheuttaa.

Lienee kohtuullista olettaa, että jaetun mallin integrointi voisi jopa vaatia jonkin verran erillistä opettajien koulutusta, että heidät saa sopeutettua menetelmälle tärkeään ajattelutapaan.¹¹

Tutkimuksessa toteutetussa opetuskokeilussa opettajana toimi tämän tutkimuksen tekijä itse. Opetuskokeilusta päädyttiin keräämään tietoa osallistavan havainnoinnin avulla.

7.2 Tutkimuksen tarkoitus

Eheyttävä opetus on noussut usein esille pedagogisissa piireissä ja Opetushallituskin on jo sisällyttänyt sen opetussuunnitelmaan. Opetussuunnitelmassa siitä käytetään termejä "Monialainen oppiminen tai opetus", joka edistää kaikenlaisten eri oppiaineiden ja aihekokonaisuuksien yhdistämistä tai "Ilmiölähtöinen oppiminen tai opetus", joka puolestaan on useiden oppiaineiden konteksteissa ilmiön tarkastelua.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vastata muutamaa keskeiseen kysymykseen eheyttävään opetukseen liittyen. Erityisesti keskiössä ovat kemian ja biologian opetuksen eheytyä edistävät ajatukset. Biologia liittyy varsin läheisesti kemian tietosisältöön, mikä tekee näistä aiheista hyvän eheytytutkimuksen kohteen. Tässä kappaleessa esitetään kysymykset lähtöhypoteeseineen, joihin vastataan tämän tutkimuksen yhteydessä.

1. Miten eheyttävä opetus vaikuttaa opiskelumotivaatioon?

Motivaatio on vahva muuttuja oppimisessa ja opetuksen sisäistämisessä, joten mikäli eheytyminen vaikuttaa negatiivisesti motivaatioon, se on uhkakuva jota ei voida ohittaa.

1.1 Ovatko koulussa hyvin menestyvät oppijat kiinnostuneempia laajemmasta opinkirjosta, vai uhkaako aihealueiden sekoitus heidän pärjäämistään?

Menestyvillä opiskelijoilla usein on jonkinlaisia pitkän tähtäimen tavoitteita, joten kurssien sisältöjen muutos on huomioitava seikka heidän opintomenestyksensä kannalta. Kenties jotkin opiskelijoista näkevät kurssisisältöjen lomittautumisen hyödyllisenä opintotyökaluna, tai ehkä se tuo turhaa vaivaa opiskelijalle joka haluaa paneutua yhteen tiettyyn oppiaineeseen?

2. Millä tavoin eheytetty opetus tehostaa oppilaan oppimiskykyä?

Hypoteesina on, että oppilaat, joita on opetettu eheyttävästi, saavat binokulaarisen kuvan opetetusta aiheesta. Tässä yhteydessä on käytetty sanaa "binokulaarinen" tarkoittaen kahden tai useamman oppiaineen tietämyksen muodostavaa toisiaan täydentävää yhteiskuvaa aiheesta, ikäänkuin kolmiulotteinen kuva, joka olisi mahdollista aikaansaada eheytyksen avulla. Fogartyn mallien kontekstissa tästä käytetään nimeä "jaettu malli" eli *shared model*.¹¹

3. Saako eheytetty opetus oppilaissa aikaan syväoppimista?

Mikäli ensimmäinen hypoteesi binokulaarisen kuvan saamisesta osoitetaan todeksi, se myös toimisi heikkona todisteena siitä, että syväoppimista tapahtuu, sillä jaetun eheytyksen tuottaman binokulaarisen oppimisen katsottiin tämän tutkimuksen yhteydessä antamaan valmiudet keskenäisvaikutuksien

ymmärtämiselle ja siten siirtämään oppimisen ymmärtämisen tasolta soveltamisen tasolle.¹ Oletus voi olla virheellinen ja binokulaarisen kuvan saaminen voi ainoastaan parantaa tiedon retentiota tai kenties sillä on vain häviävän pieni vaikutus oppimiseen? Tämä ero pyritään selvittämään tutkimuksen loppuvaiheessa opiskelijahaastattelun yhteydessä. Kenties kysymykseen on puhtaasti kehityspsykologinen, tai -biologinen, vastaus ja ennen tiettyä kehityksen vaihetta ihmisen aivot ovat vielä liian kypsymättömät siirtymään korkeammille ajattelun tasoille? Tähän tutkimus ei pysty ulottumaan, mutta se olisi mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe.

4. Millaisia edellytyksiä eheytetyn opetuksen toteuttamiselle on kouluissa?

Suomen Opetus- ja Kulttuuriministeriön keskimääräinen rahoitus lukio-opetuksessa on pysynyt vuosien ajan pitkälti samana. Vuonna 2013 lukio-opetuksen keskimääräinen hinta oppilasta kohden oli noin 7600 euroa ja vuonna 2018 noin 7700 euroa.⁴⁵ Eheytetyn opetuksen luonne on sisältökeskeinen ja vaikka se on helposti kokeellistettava lienee turvallista odottaa, ettei eheytetty opetus vaadi liikaa normaalista poikkeavia resursseja.

5. Millä tavoin eheyttävää opetusta olisi tehokasta käyttää opetuksessa?

Verrattaen uudenaikaisena opetusmenetelmänä eheyttävän opetuksen käyttö ei ole itsestään selvää kaikille opettajille. Tutkimuksen yhteydessä on tarkoitus arvioida tapoja ja aiheita, jotka toimisivat hyvin eheytetyn opetuksen toteuttamisessa.

7.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen toteuttaminen alkoi kirjallisuuden läpikäymisellä. Tutkimus

päätettiin pohjata Bloomin taksonomiaan ja syväoppiminen määriteltiin eteneminen Bloomin hierarkiassa ylöspäin yhdellä tai useammalla tiedon ulottuvuudella.^{1,2} Korkeammille tiedontasoille nouseminen on kuitenkin vaikeaa todeta lyhyellä aikavälillä, joten toinenkin kriteeri oli otettava. Toiseksi syväoppimiseen vaikuttavaksi tekijäksi havaittiin motivaatio. Erään tutkimuksen mukaan sisäisen motivaation osuus oppimisprosessiin olisi pieni, joten ulkoisen motivaation, toisin sanoen opettajan ja opetusmenetelmän vaikutusta oppijoiden oppimismotivaatioon, vaikutus otettiin pääasialliseksi havainnoinnin kohteeksi.⁷

Tutkimuksen toteutus päätettiin jakaa kolmeen osaan: ennakkohaastatteluun, osallistuvaan havainnointiin, sekä haastatteluun. Näiden avulla kerättäisiin tarpeellinen aineisto, josta voitiin johtaa tutkimuksen tulokset.

Ennakkohaastattelu toteutettiin tietä kartoittavana mielipidemittauksena. Sen tarkoitus oli antaa ensisilmäys oppilaiden suhtautumiseen eheyttävään opetukseen, sekä tarjota vertailukohde tulevaa opiskelijahaastattelua varten. Samanaikaisesti haastattelusta saatiin tietoa opiskelijoiden mielenkiinnosta eheyttävää opetusta kohden ja eheyttävän opetuksen haasteista.

Osallistuvan havainnoinnin tunnille päätettiin ottaa teemaksi veri ja sen ympärille rakentaa tuntisuunnitelma. Veri tarjosi osallistuville lukio opiskelijoille sopivan haasteen sekä biologisesti että kemiallisesti. Tämän aiheen nähtiin olevan tarpeeksi laaja, jotta opiskelijat eivät ole saaneet kaikkea sisältyvää tietoa oppitunneiltaan, mutta samalla puettu tarpeeksi yksinkertaiseen muotoon, jotta sisältö olisi opiskelijoiden ymmärrettävissä. Tuloksena oli liitteen 3 mukainen tuntisuunnitelma.

Havainnointi toteutettiin opetustilanteen yhteydessä yliopiston kemian opetuslaboratoriotiloissa. Haastattelut toteutettiin opetustilanteen jälkeen sovittuina ajankohtina alle viikon kuluttua opetustilanteesta lukion tiloissa.

7.4 Tutkimusmenetelmät

Ensimmäinen harkittu tutkimusmenetelmä oli kyselylomake oppilaille, joka hylättiin. Kyselylomake ei ole tarpeeksi mukautuva ja henkilökohtainen. Kyselylomakkeen pituus on myös rajallinen ja se rajaa tarvittavien kysymysten esitysmäärää ja yksityiskohtaistamista.

Toinen harkittu menetelmä oli kurssin loppukoe, joka olisi opettajasta riippuen sisällytettävissä tähän tutkimukseen. Laatomalla poikkitieteellistä tietoa testaava koetehtävä olisi mahdollista kerätä tietoa oppilaiden ratkaisumenetelmistä, mikä valaisisi oppilaan oppimistapaa ja ongelmaratkaisumenetelmiä. Pelkästään koetehtävää tarkastelemalla tutkimusmateriaalin kerääminen on kuitenkin hankalaa.

Pääasialliseksi materiaalinkeräysmenetelmäksi valittiin haastattelu muutamasta huomattavasta syystä. Näitä syitä olivat mm. osallistujien pieni lukumäärä, se että aihealueen luonne teki objektiiviset testit mahdottomiksi, lisäksi vastauksia haluttiin tulkita ja tutkittava alue oli jokseenkin henkilökohtainen.⁴⁶

Haastattelun tarkkuus riippui pitkälti haastattelun pituudesta, kysymysten laadusta ja haastateltavan yhteistyöstä. Haastattelu kuitenkin on aikaavievää ja rajoittaa otoksen kokoa. Haastattelussa vapaaehtoiset oppilaat kutsuttiin sopivina ajankohtina keskustelemaan tutkijan kanssa.

Haastattelun ohien päätettiin ottaa tukevaksi tiedonkeruumenetelmäksi osallistuva havainnointi, minkä avulla kerättiin tietoa eheyttävän opetuksen opettajaan kohdistamista haasteista.

Näin kerätyt tutkimusaineistot tulkittiin aineistolähtöisen sisällönanalyysin menetelmällä.

7.4.1 Ennakkohaastattelu

Tutkimusta pohjustamaan ja tarkentavan tiedon keruuta varten suoritettiin ennakkohaastattelu.

Ennakkohaastattelu tapahtui lukion kemian tunnin jälkeen. Tunnin lopussa oli pyydetty muutamaa vapaaehtoista pienimuotoiseen haastatteluun. Neljä oppijaa vastasi pyyntöön ja heitä haastateltiin yhdessä.

Ryhmähaastattelussa esitetyt kysymykset pyrkivät luotaamaan oppilaiden mielenkiintoa luonnontieteiden eheyttävää opetusta kohtaan. Esitetyt kysymykset olivat:

Mitä mieltä olitte tunnista [jonka aikana puhuttiin kahden oppiaineen aiheista samassa kontekstissa]?

Luuletteko sellaisen opetustavan olevan tehokkaampi [kuin oppiaineiden erillään pitäminen]?

7.4.2 Osallistuva havainnointi

Tavoitteena oli saada arvio eheyttävän opetuksen asettamista haasteista, rajoitteista ja mahdollisuuksista.

Osallistuva havainnointi valittiin toiseksi tiedonkeruumenetelmäksi, jonka pääasiallinen kohde oli eheyttelyn opetuksen opettajaan kohdistamat normaalista poikkeavat vaatimukset ja tarvittut resurssit. Kyseinen menetelmä sopi tilanteeseen, sillä sen avulla tutkija kykeni saamaan subjektivisen käsityksen konkreettisesta toiminnasta, mistä oli mahdollista johtaa muutama objektiivinen tosiasia, kun havainnot pelkistettiin pienimpiin osiinsa.⁴⁷

Tietoa kerättiin liitteen 3 mukaisen oppitunnin yhteydessä. Tutkija itse piti tunnin ja keräsi liitteen 2 kysymyksien nojalla tietoa. Tutkijan rooli osallistuvassa havainnoinnissa oli opettajan rooli. Hän laati tuntisuunnitelman havainnoiden tarvittavia resursseja, piti oppitunnin havainnoiden oppilaiden asenteita, tarvittavia resursseja ja opetukseen liittyviä materiaaleja.

7.4.3 Haastattelu

Haastattelu oli tyyliltään puoliavoin tai puolistrukturoitu, mikä sopi tilanteeseen hyvin haastateltavien pienen lukumäärän takia ja kerättävän tiedon luonteen takia. Tutkimusta varten haluttiin syvällisempää tietoa kuin mitä lomakehaastattelu olisi tarjonnut, johon kysymysten muotoilu ja avoimuus kontribuoivat huomattavasti.

Haastattelun tavoitteena oli saada yksityiskohtaista tietoa opiskelijoiden suhtautumisesta eheytettyyn eli integroituun opetukseen. Mikäli oppija oli ollut osana integroidun opetuksen kokeilua, haastattelulla yritettiin saada selville mahdolliset muutokset ajattelun tasossa Bloomin taksonomian mukaisesti. Mikäli ajattelutason muutokset olisivat epäselviä, yritettiin löytää epäsuoria merkkejä eheytyksen positiivisista vaikutuksista, nimellisesti kiinnostuksen ja opiskelumotivaation lisääntyminen. Yleisemmällä tasolla tavoitteena oli selvittää nostaako opetuksen eheytyminen opiskelijoiden ajattelun tasoa tai vaikuttiko se positiivisesti ajattelun kehitykseen. Haastattelun kysymykset löytyvät liitteestä 1.

Haastattelu toteutettiin yksi oppija kerrallaan erillään muista. Haastattelu tallennettiin äänitiedostona myöhemmää tulkintaa ja analyysia varten. Haastattelijalla teki tarpeen mukaan muistiinpanoja.

Haastatteluja ei litteroitu tutkimusta varten, sillä tutkimuksessa haluttiin kartoittaa oppilaiden kokemuksia ja mielipiteitä.

7.4.4 Aineistolähtöinen sisältöanalyysi

Aineistolähtöisyys merkitsee, että tutkimuksen pääpaino on aineistossa. Tällaisessa tutkimuksessa voidaan lähteä niinsanotusti puhtaalta pöydältä käsittelemään tutkimusta. Tällöin kerätystä aineistosta nousevat havainnot ja huomioitavat seikat induktiivisesti johtavat lukuisista yksittäisistä havainnoista yleisempiin väittämiin.^{47,48}

Sisällönanalyysissa tarkastellaan aineiston sisäisiä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia erotellen, etsien ja tiivistäen. Tämän tutkimuksen tapauksessa kyseessä on laadullinen sisällönanalyysi, missä lähtöaineisto on jaettu pieniin osiin, osat ovat tarkasteltu ja sopivat palat ovat harkinnanvaraisesti sovitettu kokonaisuuteen.⁴⁸

Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto on havainnoinnista ja haastatteluista kerätty materiaali, jonka pohjalta on sisältöanalyysi suoritettu.

7.5 Tutkimusaineisto

Ennakkohaastattelu kesti noin 20 minuuttia ja siihen otti osaa neljä opiskelijaa lukion kolmannelta vuosikurssilta.

Osallistuva havainnointi tehtiin oppitunnilla, jonka kesto oli noin 60 minuuttia

Ensimmäinen haastattelujoukko koostui seitsemästä lukio oppijasta eri vaiheissa opintojaan. Heidän haastattelunsa suoritettiin liitteen 1 oppijahaastattelurungon mukaisesti ja kunkin haastattelun kesto oli noin 10 minuuttia. Haastattelut suoritettiin 1-4 päivän kuluessa oppitunnin jälkeen.

8 Tulokset ja analyysi

Ennakkohaastattelu

Ennakkohaastattelussa ja palautteesta oppilailta havaittiin, että jo niinkin myöhään kuin lukion kolmannella vuodella iso osa lahjakkaistakaan opiskelijoista ei ole vielä siirtynyt pois tiedon raakakäsittelystä alemman tason ajattelutaitojen mukaisesti.

Ennakkohaastattelu paljasti myös oppilaiden arvostavan integraation tuomaa laajempaa näkökulmaa. Haastatellut oppilaat kuitenkin kiirehtivät huomauttamaan, että eheyttävä opetus pitää suunnitella huolella, jotta vältytään hajanaiselta ja epäkoherentilta selostukselta. Tämä johtaisi vain hämmennykseen ja vaikeuttaisi asian opetusta.

Näinpä siis voidaan havaita, että eheytettyyn opetukseen pätevät samat säännöt kuin yleiseen luonnontieteelliseen opetukseen, mutta sisällölliset yhteydet ovat sidottava yhteen ja esitettävä selkeämmin kuin normaalisti, jotta virhekesitysten syntyminen voidaan estää.

Oppilashaastattelu

Ensimmäinen haastattelijoukko haastateltiin 1-4 päivän kuluessa opetustilanteesta. Opetustilanne itse koostui liitteen 3 mukaisesta oppitunnista, joka oli mukautettu pienelle yliopiston tiloissa vierailevalle lukiolaisryhmälle aikataulu syistä.

Oppilaita oli kaikkiaan seitsemän, joista oppija 2 osallistui opetukseen vasta oppitunnin jälkimmäisellä puolikkaalla, teoriaosuuden jälkeen ja oppija 3 kokeellisen osuuden alkuvaiheeseen saakka. Heidätkin kuitenkin haastateltiin.

Haastatteluissa kävi ilmi, että haastatteluun osallistuneiden oppilaiden

opintomenestys oli varsin hyvä, arvosanojen hajontaväli luonnontieteellisten aineiden alueella oli 8-10. Useimmilla oli kertomansa mukaan myös runsaasti sisäistä motivaatiota opiskeluun. Tämä asettaa kyseisen haastatteluryhmän kyvykkyyden puolesta valtakunnalliseen kärkijoukkoon, joka vaikuttaa tulosten sovellettavuuteen.

Ensimmäisen kysymyksen avulla selvitettiin oppilaiden mielipiteitä oppiaineita yhdistävästä opetusmallista. Halusimme selvittää heidän saamansa käsityksen mallista ja erityisesti silmiinpistävimät ominaisuudet jotka nousivat opetuksen yhteydessä esiin opiskelijoille.

Kaikki oppijat (7/7) olivat yhtä mieltä, että menetelmä on luultavasti hyödyllinen toisiaan tukevien aineiden yhteydessä.

Eräs oppijoista (1/7) huomioi, että kaikki oppiaineet eivät ole keskenään yhteensopivia eheytykseen.

Eräs oppija (1/7) nosti esille ajatuksen, että eheyttävässä opetuksessa toisen tai molempien aineiden sisältöopetuksen määrä tai laatu saattaa kärsiä. Huomio on aiheellinen tilanteessa, jossa eheyttävä opetus alkaa syrjäyttämään ainekohtaisen opetuksen, mikä ei ole haluttu tavoite tämän tutkimuksen puitteissa.

Toisena kysymyksen tarjoutus oli saada selville oppilaiden kiinnostus ja asenteet eheyttäviä aineita kohden.

Monen opiskelijan mielestä liitteen 3 mukaisella tunnilla opetus biologian ja kemian välillä oli tarpeeksi saumatonta, että aineopetusta ei nähty toisistaan erillisenä. Tämä sai heidät näkemään tunnin jokseenkin erillisenä kummastakin oppiaineesta ja siten inhokki- tai suosikkiosa ei erityisesti noussut esille.

Muutamalla (3/7) kiinnostus oli jokseenkin passiivista luonnontieteiden opiskelua kohtaan. Oppilaan 2 kuvailu mielenkiinnosta luonnontieteiden

opiskelusta summaa melko tehokkaasti yleiskuvan heidän kiinnostuksestaan:

"siis tavallaan ihan kiinnostunut [olen luonnotieteiden opiskelusta], mutta en ihan täysin kiinnostunut, sillei että ihan hyödyllistä [se on]."

Lopuilla (4/7) oppilaista oli selkeä kiinnostuksen kohde ja motivaatiota yhdestä tai useammasta luonnotieteellisestä aineesta.

Kolmas kysymys kartoitti oppilaiden aiemmin kokemiensa oppituntien ja eheytetyn oppitunnin välisiä eroavaisuuksia.

Osa opiskelijoista (3/7) koki tunnin tuntuvan hyvin erilaiselta verrattuna tavallisiin oppitunteihin. Tämä saattoi johtua poikkeavasta oppiympäristöstä tai tunnin rakenteesta itsestään, mutta opiskelijat ainakin tiedostivat sisällön olevan normaalista poikkeava

Kaikki oppilaat (7/7) vaikuttivat motivoituvan kokeellisesta osasta. Käytännön työt jotka vaativat aktiivista työskentelyä, mutta erityisesti epätavallinen mikroskopiointi olivat asioita, jotka saivat oppilaat aktivoitumaan.

Neljännellä kysymyksellä selvitimme suoraan kysyen opiskelijalta millä tavoin oppitunti oli vaikuttanut hänen ajatteluunsa. Osatarkoituksena oli luodata opiskelijan metakognitiivista tasoa, osasiko hän tarkastella omaa ajatteluaan.

Ainakin yksi ilmiselvä binokulaarisen oppimisen tapaus havaittiin:

Opiskelija 1 totesi:

"No, ehkä osas paremmin yhittää niitä opittuja tietoja, että joitakin tietoja oli oppinu kemian tunnilla ja toisia biologian tunnilla ja nyt huomaa, et ne oli niinku sama asia ja pysty niinku yhittämään niitä tietoja."

Opiskelija 4 totesi oppitunnin johtavan enemmän tulevaisuuden ajatuksiin, eli minkäläistä yliopisto-opiskelu on tai minkäläistä työllistyminen yliopistosta

valmistumisen jälkeen on.

Viidennen haastattelukysymyksen aikana tutkimme metakongitiota hieman syvällisemmin kysymällä opiskelijalta, oliko eheytetty opetus selkeyttänyt hänen saamaansa kuvaa käsitelystä aihealueesta.

Tämän kysymyksen kohdalla oli huomautettu muutamaan kertaan, että oppilas oli jo tuottanut vastauksen tähän kysymykseen aikaisemman kysymyksen pohjalta.

Haastattelut antoivat käsityksen, että opiskelijoiden käsitys aiheesta oli jokseenkin selkeytynyt voimakkaammin painotetuilla alueilla, kuten veren hyytymisessä fibriinin muodostuessa tai veren proteiinien denaturoituessa.

Kuudentena ja viimeisenä kysymyksenä halusimme selvittää oliko opiskelija kokenut jo aikaisemmin eheytettyä oppimista ja minkälaisessa kontekstissa.

Opiskelijat kertoivat, että heidän lukiossaan tapahtuu joko hyvin vähäistä tai ei ollenkaan eri oppiaineiden eheyttävää käsittelyä luonnontieteiden oppitunneilla. Opiskelijat (7/7) mainitsivat, että joillakin luonnontieteiden tunneilla on toisinaan lyhyesti sivuttu toisia luonnontieteitä, mutta valtaosan mukaan (5/7) eheytyks on niin vähäistä tai skaalassa pientä, että esimerkkitapauksia oli hankala muistaa.

Erityisesti biologian tunneilla, opiskelijan 4 mukaan, opettajat ovat vastahakoisia käsittelemään biologiaa kemiallisesta näkökulmasta yhtään enempää kuin ohimenevästi.

Osallistuva havainnointi

Eheyttävään opetukseen tässä tutkimuksessa sovellettiin luvussa 3 todetuin perustein Fogartyn jaettua eheytyksmallia.¹¹ Jaettu malli on yksinkertaisesti sanottuna yhteisen aiheen kautta kahden oppiaineen opetusta, jolloin oppija voi havaita oppiaineet yhdistäviä siltoja yhteisestä kontekstista.

Lyhyesti kerraten, eheytyksmallin valintaan johtaneet perusteet olivat mallin yksinkertainen toteutettavuus, sovellettavuus suomalaisessa lukio-opetuksessa, ja menetelmän yksinkertaisuus, joka ei aseta liikaa vaatimuksia oppilaille tai opettajille.

Havainnointi tapahtui liitteen 3 tuntisuunnitelman mukaisella oppitunnilla, mikä oli hieman muokattu vastaamaan erikoiskurssin tarpeita, lyhentäen käytettyä aikaa tiivistämällä teoritunti viidentoista minuutin Powerpoint-esitykseen ja vapauttaen toisen tunnin laboratoriovierailulle. Tunnilla tutkittiin veren sisältöä pyrkien näyttämään, että veri oli kokoelma erilaisia kemiallisia yhdisteitä jotka reagoivat eri tavoin ympäristönsä muutoksiin. Eräs tunnilla käsitellyistä asioista oli miten eräs veren sisältämistä entsyymeistä selviää pitkään kemiallisen luonteensa ansiosta ja toimii katalyyttinä hajottaen peroksiedeja.

Eheyttävän opetuksen laadullinen uskottavuus oli seikka, mitä aivan ensinnä oli tutkittava; onko eheyttävä opetus todellakin aiheellinen, vai onko se vain hetkellinen trendi ilman syvempää vaikutusta? Tähän havainnointi vastasi varsin selkeästi. Eheyttämisen soveltamista oli jo aloitettu harjoittamaan ja sitä esiintyi jonkin verran sekä opetussuunnitelmassa että tuoreissa oppikirjoissa. Tätä tärkeämpi havainto oli, että oppilaat vaikuttivat käyttävän enemmän aikaa asioiden keskinäisten yhteyksien pohtimiseen, mikä sai aikaan vaikutelman, että eheyttävä opetus toimii syventämään oppilaiden oppimista.

Toinen pohdittava seikka mihin osallistuvalla havainnoinnilla pyrittiin saamaan vastaus oli kuinka eheyttämistä voisi soveltaa opetukseen

hyödyllisesti? Eheyttämisen käyttö ainoastaan sirkustempuna on kaukana menetelmän optimaalisesta käytöstä. Eheytystä on mahdollista käyttää tekemään selkeitä yhteyksiä eri oppiaineiden välillä, mikä voi saada oikeanlaisen asenteen omaavan oppilaan erittäin kiinnostuneeksi aiheesta. Se myös tarjoaa useamman aineen perspektiivistä tarkastelukohteeseen.

Eheyttävän opetuksen käyttäminen eroaa perinteisestä opetuksesta, joten nousi tarve selvittää viekö eheyttävä opetus enemmän aikaa oppitunneilla. Tämän havaittiin riippuvan paljon opettajasta itsestään, mutta keskimääräisesti siihen kulunee enemmän aikaa, sillä onhan kokonaan toinen perspektiivi tarkasteltavissa. Tästä johtuen yksittäisiä aiheita lienee syytä pilkkoa pienemmiksi paloiksi

Havainnoinnin yhteydessä tarkasteltiin myös erilaisia asioita, mitkä ovat huomioitava eheyttelyn oppitunnin suunnittelun yhteydessä. Selkeyden havaittiin olevan suorastaan kriittinen piste. Oppiaineiden väliset eheyttävät yhteydet on esitettävä selkeästi, tavalla jonka jokainen oppija voi käsittää ja ymmärtää, vaikkei opiskelisiakaan paljoa toista aihetta.

Oppitunnin suunnittelunkin havaittiin tulevan viemään hieman enemmän aikaa, kun sopivia yhteyksiä ja siltoja pitää etsiä ja sovitella. Tämän jälkeen nämä yhteydet pitää vielä pukea muotoon, joka on jokseenkin yksinkertaista käsittää kummalta tahansa eheytyistä puolista. Tietenkin suunnittelu alussa vie enemmän aikaa, silloin kun ensimmäistä kertaa tuntia alkaa eheyttämään, eikä ole valmiita ideoita tai materiaalia.

Havainnoinnin yhteydessä nousi esille mahdollisesti tarvittavien opetusresurssien määrä. Oppilastöitä ja demonstraatioita tehdään tai ollaan tekemättä eheytyksestä huolimatta. Niiden laatu muuttuu kyllä, mutta sen ei pitäisi merkittävästi vaikuttaa tarvittavien opetusresurssien määrään ainakaan kemian osalta katsottuna. Tämä olettaa, että eheytystä ei käytetä syynä nostaa kokeellisten töiden määrää.

9 Pohdinta

Kysymykset haastattelua varten eivät olleet täydellisiä; haastateltavat tulivat vastanneeksi myöhempiin kysymyksiin aikaisempien kysymysten aikana ja joissakin tapauksissa eivät taysin ymmärtäneet kysymystä ilman lisäselvitystä.

Otanta oli verraten pieni, mutta tästä huolimatta, tulokset viittaavat siihen, että luonnontieteitä opiskelevilta lukiolaisilta on odotettavista positiivista asennetta ja suhtautumista eheyttävään opetukseen toisten luonnontieteiden yhteydessä.

Laajemman otannan jatkotutkimukset voivat luultavasti paremmin vastata tutkimuksen aikana nousseisiin kysymyksiin.

1. Vaikuttaako eheytytys opiskelu motivaatioon?

1.1 Ovatko parempia arvosanoja saavat oppijat kiinnostuneempia laajemmasta opinkirjosta, vai uhkaako aihealueiden keskenäinen sekoitus heidän menestystään?

Havaittu tulos: Ennakkohaastattelun, ennakkohaastatteluun johtaneen tunnin, osallistuvan havainnoinnin ja haastattelun yhteydessä tuli ilmi, että oppilaat olivat enemmän kiinnostuneita eheytytyksestä oppimateriaalista, kuin perinteisestä oppimateriaalista. Mielenkiinto saattoi olla uutuuden viehätystä, mutta haastattelun perusteella voitane sanoa, että se on uutuuden viehätysten lisäksi myös mielenkiintoisempaa yleisellä tasolla.

Negatiivisin asia, minkä oppilaat nostivat haastatteluista jaetun mallin¹¹ käyttöön liittyen, oli huoli siitä miten kaikkia oppiainesisältöjä ehdittäisiin käsittelemään. Eheytytyksessä opetuksessa tulee enemmän sisältöä ja siten huoli on perusteltu. Tähän huoleen on kunkin eheyttävää opetusta harkitsevan opettajan keksittävä sopiva tasapaino oppiainesisällön ja eheyttävän sisällön kanssa. Ennakkohaastattelun ja sitä edeltäneen opetuksen

yhteydessä havaittiin, että eheytyksellä saattaa olla polarisoiva vaikutus opiskelijoihin. Kaikki eivät välttämättä arvosta, että heidän inhoamansa tai suosimansa oppiaine tuodaan toiseen oppiaineeseen mukaan.

Johtopäätös: Eheyttävän opetuksen itsensä ei välttämättä voida odottaa vaikuttavan opiskelijan oppimismotivaatioon, vaan tämän vaikutuksen luultavasti tuottaa opettajan käyttämä eheytyksen sovellus. Eheyttävä opetus oli nostanut haastateltujen opiskelijoiden mielenkiintoa asiaan, joten lienee turvallista olettaa eheytyksen vaikuttavan opiskelijoiden sisäiseen motivaatioon positiivisesti.

Haastatellut oppilaat olivat varsin lahjakkaita lukiolaisia, joten haastattelujen pohjalta heidän kaltaisillaan hyvin menestyvillä opiskelijoilla voitane odottaa olevan positiivinen asenne jaettua mallia kohden. Eheytettyyn opetukseen liittyvät negatiiviset vaikutukset, kuten mielipiteen polarisaatio tai asiasisällön tiivistyminen eivät ole täysin selkeitä uhkakuvia ja tämän selkeyttäminen vaatisi lisää tutkimusta.

2. Millä tavoin eheyttävä opetus voi tehostaa oppilaan oppimista?

Havaittu tulos: Osa oppilaista havaitsi kokeneensa binokulaarisen tai siihen verrattavan oppimiskokemuksen tutkimuksen yhteydessä. Kokemus ei ollut universaali, sillä pieni osa oppijoista oli jo ennen opetuskokeilua havainnut yhteyden ja osasi jo käyttää binokulaarista oppimista hyödykseen. Binokulaarinen oppimiskokemukseksi kutsumme tilannetta jossa oppilas näkee molempien luonnontieteiden väliset vuorovaikutukset tarkastellussa asiassa.

Johtopäätös: Jaetun mallin mukainen opetus nostaa esiin yhteyksiä opetettavien

aiheiden välillä ja tämä vaikuttaa johtavan tehostuneeseen oppimiseen aiheesta. Opiskelijat olivat maininneet huomanneensa pieniä määriä eheyttävää opetusta normaalissa kouluopetuksessaan, joten tästä voidaan induktiivisesti päätellä eheytyksen nostamien oppiaineiden välisten yhteyksien jäävän mieleen helpommin tai eheyttävän opetuksen itse olevan esiin pistävä.

3. Saako eheyttävä opetus oppilaissa aikaan syväoppimista tai tehostunutta oppimista?

Havaittu tulos: Opiskelijoiden motivaatio oli tutkimuksena aikana kohdallaan, oppilaiden motivointi veren tutkimiseen tuli sisältä päin esille voimakkaasti, joten oli vaikeaa nähdä saiko opettaja tai opetusmenetelmä itse aikaan ulkopuolista motivointia. Haastattelujen perusteella opiskelijat vaikuttivat kiinnostuneilta menetelmästä ja kertoivat nauttineen tunnin erilaisuudesta, joka voidaan tulkita ulkoisen motivaation lähteeksi. Näiden havaintojen perusteella motivaation osuus syväoppimiseen voidaan katsoa tapahtuneen.⁷

Tieto ja kokemus oli selkeästi jäänyt oppilaille muistiin ja oppilaat kykenivät tietoisesti tutkimaan omaa oppimiskokemustaan. Tämän voi lukea heikoksi todisteeksi syväoppimisesta, mutta varmuuteen siitä ei tämän tutkimuksen puitteissa tutkimuksessa päästy.

Johtopäätös: Motivaation vaikutusta oppimiskokemukseen on hankala päätellä. Kirjallisuuden mukaan⁷ oppilaasta ulkopuoleinen motivaatiolähde vaikuttaa positiivisesti oppimistuloksiin ja sisäisen motivaation vaikutus on vaikeasti havaittavissa. Tämän tutkimuksen yhteydessä sitä on vaikea todeta.

Tiedon ulottuvuuksien osalta opiskelijat osasivat tutkia omaa oppimistaan, mutta ilman laajempaa tutkimusta on vaikea sanoa onko vaikutus tuore vai jo aiemmin aikaan saatu. Haastattelujen perusteella oli mahdollista havaita

kuitenkin eheyttämisen katalysoiva vaikutus syvempään oppimiseen johtavan ajattelun käytössä.

4. Minkälaisia edellytyksiä eheyttävän opetuksen toteuttaminen vaatii opetuslaitoksilta?

Havaittu tulos: Eheytetty opetus ei vaadi suuria summia rahaa ollakseen toteutuskelpoinen malli. Ainoastaan kokeellisuus kuluttaa varoja eheyttävässä opetuksessa. Suurin kulutettu resurssi on opettajan henkilökohtainen aika, mitä kuluu oppitunnin suunnittelemisessa. Valmiita eheytetyn opetuksen oppimateriaaleja ei ole lukuisia määriä, joten aikaa tulee kulumaan uuden materiaalin tuottamisessa, samoin kuin kirjantekijöiden vaivaa.

Johtopäätös: Suomessa luonnontieteiden opettajilla on lähes säännönmaisesti kaksi tai useampia opetettavia aineita, joista matematiikka, fysiikka ja kemia ovat varsin tyypillinen yhdistelmä kahden tai useamman välillä. Kemia ja biologia ovat harvinaisempi yhdistelmä mikä hankaloittaa hieman eheytyä, mutta kemia ja fysiikka ovat varsin mainiosti keskenään eheyttävissä tietyillä alueilla.

Olemassaoleva oppimateriaali sisältää jo jonkin verran eheytettyä materiaalia kemian ja biologiankin välillä ja lisää lienee tulossa. Näin johtopäätöksenä todetaan eheytetyn opetuksen olevan hyvin toteutettavissa,

5. Millä tavoin eheyttämistä olisi tehokasta käyttää opetuksessa?

Havaittu tulos: Kokeellinen opetus on havaittu tehokkaaksi tavaksi nostaa yhteyksiä oppilaan omin toimin. Tältä pohjalta oppilaslähtöisten kokeiden ja itsenäisten tutkimuksien voitane sanoa tehokkaiksi tavoiksi hyödyntää eheyttävää opetusta. Teoreettisen opetuksen voitane tutkimuksen yhteydessä

sanoa olevan heikompia tuloksia tuottanut opetusmenetelmä.

Johtopäätös: Oppilaslähtöinen ja kokeellinen opetus ovat eheyttävän opetuksen kannalta hyvin toimivia tapoja. Opiskelijoiden on saatava itse nostaa esiin oppiaineiden väliset yhteydet, mistä binokulaarisen oppimisen "ahaa!" -elämys voi nousta. Tässä työssä on avattu kolme kappaletta biologian ja kemian välisiä eheytykselle sopivia alueita. Ne on suunniteltu biologian ja kemian eheyttävää opetusta varten.

Limittämällä opetuksessa oppilaslähtöisiä opetusmenetelmiä, kokeellisuutta ja teoriaa saadaan jopa saavutettua Fogartyn mukainen syventynyt (*immersed*) malli.¹¹

10 Kirjallisuus

1. Krathwohl, David, R., A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview, *Theory Pract.*, **2002**, 41.
2. Bloom, B. S.; Krathwohl, D. R. ja Masia, B. B., *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*, David McKay, Yhdysvallat, **1956**.
3. Deeper Learning Competencies, **2013**. https://hewlett.org/wp-content/uploads/2016/08/Deeper_Learning_Defined__April_2013.pdf
4. Deng, L. & Yu, D., *Deep Learning: Methods and Applications, Foundations and Trends in Signal Processing*, Redmond, USA, **2014**.
5. Wilson, L., Anderson & Krathwohl - Bloom's Taxonomy Revised - The Second Principle, <https://thesecondprinciple.com/teaching-essentials/beyond-bloom-cognitive-taxonomy-revised/> (20.2.2019).
6. Kruit, P. M.; Oostdam, R. J.; van den Berg, E. ja Schuitema, J. A., Assessing students' ability in performing scientific inquiry: instruments for measuring science skills in primary education, *Research in Science & Technological Education.*, **2018**, 36(4), 413-439 , DOI: [10.1080/02635143.2017.1421530](https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1421530) .
7. Jay Libao, N. P.; John Sagun, J. B.; Tamangan, E. A.; Pattalitan, A. P.; Elena Dupa, M. D. ja Bautista, R. G., Science learning motivation as correlate of students' academic performances, *Journal of Technology and Science Education JOTSE*, **2016**, 6, 2016–2022.
8. Shoemaker, B. J. E., *Integrative Education: A Curriculum for the Twenty-First Century*, *OSSC Bull.*, **1989**, 33.
9. Costley, K. C., *Research Supporting Integrated Curriculum: Evidence for Using This Method of Instruction in Public School Classrooms.*, **2015**.
10. Shoemaker, B., *Integrative Education: A Curriculum for the Twenty-First Century*, *OSSC Bull.*, **1989**, 33.
11. Fogarty, R., *How to integrate the curricula: the mindful school*, 3. painos, Corwin Press, Thousand Oaks, California, **2009**.
12. Anderson, D. M., *Overarching Goals, Values, and Assumptions of*

- Integrated Curriculum Design, *Schole: A Journal of Leisure Studies and Recreation Education.*, **2013**, 28, 1–10.
13. Guzey, S. S.; Moore, T. J.; Harwell, M. ja Moreno, M., STEM Integration in Middle School Life Science: Student Learning and Attitudes, *Journal of Science Education and Technology*, **2016**, 25, 550–560.
 14. Fu, Y. ja Sibert, S., Teachers' Perspectives: Factors That Impact Implementation of Integrated Curriculum in K-3 Classrooms, *International Journal of Instruction*, **2017**, 10, 169–186.
 15. Drake, S. M. ja Burns, R. C., *Meeting standards through integrated curriculum*, Association for Supervision and Curriculum Development, Washington, Yhdysvallat, **2004**.
 16. Opetushallitus, Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015, **2015**.
https://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf (16.5.2019)
 17. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014.
http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf (16.5.2019)
 18. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003, **2003**.
https://www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf (16.5.2019)
 19. Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. ja Venäläinen, J., *BIOS 3 - Solu ja Perinnöllisyys (LOPS 2016)*, 5. painos, Sanoma Pro, **2018**.
 20. Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. ja Venäläinen, J., *BIOS 4 - Ihmisen Biologia (LOPS 2016)*, 19. painos, Sanoma Pro, **2018**.
 21. Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L., *MOOLI 2 - KE2: Ihmisen ja Elinympäristön kemiaa (LOPS 2016)*, 3. painos, Otava, **2016**.
 22. Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L., *MOOLI 5 - KE5: Reaktiot ja Tasapaino*, Otava, **2018**.
 23. Campbell, N. A. ja Reece, J. B., *Biology: a global approach*, 10. painos, Pearson, Harlow, England, UK, **2015**.

24. Clayden, J.; Greeves, N. ja Warren, S., *Organic Chemistry*, 2. painos, Oxford University Press, **2012**.
25. Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Morgan, D.; Raff, M.; Roberts, K. ja Walter, P., *The Cell, Molecular biology of*, 6. painos, Garland Science, Washington, USA, **2015**.
26. Penn State University - Oxidative Phosphorylation, <https://wikispaces.psu.edu/display/230/Oxidative+Phosphorylation> (30.4.2019).
27. Blood - Basicmedical Key image, <https://basicmedicalkey.com/wp-content/uploads/2016/05/F500323f20-01-9780323096003.jpg> (10.5.2019).
28. Erythrocyte gas exchange image, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/2319_Fig_23.19.jpg (10.5.2019).
29. Marcovitch, H., Toim., *Black's Medical Dictionary*, 41. painos, **2005**.
30. Saladin, K., *Anatomy and Physiology: the Unit of Form and Function*, 6. painos, McGraw-Hill Education, London, USA, **2012**.
31. Hematopoiesis image, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f0/Hematopoiesis_simple.svg/2000px-Hematopoiesis_simple.svg.png (10.5.2019).
32. Mosser, D. M. ja Edwards, J. P., Exploring the full spectrum of macrophage activation., *Nature reviews. Immunology*, **2008**, 8, 958–69.
33. Blood Clotting image, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/1909_Blood_Clotting.jpg (10.5.2019).
34. Housecroft, C., Sharpe, A., *Pearson - Inorganic Chemistry*, 4. painos, Pearson, Cambridge, Iso-Britannia, **2012**.
35. Heme molecule image, https://dcdn.de/pictures.doccheck.com/images/349/903/349903fccf199f5d5640de7490f54351/44961/m_1407855130.jpg (10.5.2019).
36. Thom, C. S.; Dickson, C. F.; Gell, D. A. ja Weiss, M. J., Hemoglobin Variants: Biochemical Properties and Clinical Correlates, *Cold Spring*

- Harbor Perspectives in Medicine*, **2013**, 3, a011858–a011858.
37. Hemoglobin structure image,
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Heme2.jpg>
(10.5.2019).
 38. Hämoglobin bei der Sichelzellenanämie image,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hämoglobin_bei_der_Sichelzellenanämie.svg (10.5.2019).
 39. Tro, N. J., *Chemistry: A Molecular Approach*, 3. painos, Pearson, New Jersey, USA, **2008**.
 40. Porter, R. S.; Kaplan, J. L.; Lynn, R. B.; Reddy, M. T. ja Merck & Co., *The Merck manual of diagnosis and therapy*, 20. painos, Elsevier Health Sciences, London, UK, **2018**.
 41. Lüdtke, S.; Neumann, P.; Erixon, K. M.; Leeper, F.; Kluger, R.; Ficner, R. ja Tittmann, K., Sub-ångström-resolution crystallography reveals physical distortions that enhance reactivity of a covalent enzymatic intermediate, *Nature Chemistry*, **2013**, 5, 762–767.
 42. Hexokinase induced fit image,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hexokinase_induced_fit.svg
(11.5.2019).
 43. Simple penicillin mechanism image,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simple_penicillin_mechanism.png (11.5.2019).
 44. Abu-Qare, A. W. ja Abou-Donia, M. B., Sarin: health effects, metabolism, and methods of analysis, *Food and Chemical Toxicology*, **2002**, 40, 1327–1333.
 45. Opetus- ja kulttuuritoimen rahoitusjärjestelmän raportit,
<https://vos.oph.fi/rap/> (3.4.2019).
 46. Metsämuuroinen, J., *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*, Gummerus Kirjapaino, Helsinki, Suomi, **2009**.
 47. Eskola, J. ja Suoranta, J., *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*, 7. painos, Gummerus Kirjapaino, Tampere, Suomi, **2005**.
 48. Saaranen-Kauppinen, A. ja Puusniekka, A., Aineistolähtöinen

Sisällönanalyysi,
https://www.fsd.uta.fi/metelmaopetus/kvali/L2_3_2_3.html
(10.4.2019).

Liitteet

LIITE 1.

Haastattelurunko

Esittäytyminen

Haastattelu alkaa esittäytymisellä, missä läpikäydään olennaiset seikat:

- Haastattelijan itse (nimi, koulutustausta ja oppilaitos)
- Haastattelun syy (gradua varten, ei kuitenkaan kerrota tarkkaa graduaihetta)
- Anonymiteetti (haastattelu materiaali pysyy nimettömänä, sitä ei jaeta ja se hävitetään kun siitä on kerätty tarpeellinen tieto)

Haastattelu

Haastattelu tilaksi valitaan jokin mukavan yksityinen paikka, missä oppilaan ei tarvitse huolehtia yksityisyyden suojastaan.

Yritetään rikkoa ilmapiirin jäähmeys ja saada oppija rentoutumaan, tulosten luotettavuuden parantamiseksi.

Haastattelukysymyksiä oppijoille:

- taustakysymykset

Kuinka paljon olet opiskellut kemiaa, biologiaa, fysiikkaa, matikkaa jne.?

Haluatko kertoa minkälaisia arvosanoja niistä olet saanut?

Mikä niissä on mielenkiintoista? Mikä erityisesti kemiassa? Biologiassa?

- asiakysymykset

Mitä mieltä olet tästä opetusmenetelmästä, jossa käydään läpi aihealuetta kahden oppiaineen kautta?

(johdatteleva) Onko tämä menetelmä mielenkiintoinen / omituinen, millä tavalla?

Ovatko integroitavat aineet itsellesi mieluisia tai epämiellyttäviä, kiinnostavia tai tylsiä? Vain toinen vai molemmat?

Vaikuttaako se oppitunnin tuntumaan erilaiselta? Millä tavoin? (muutetaan hieman avoimemmaksi kysymykseksi)

Johtiko tunnin erilaisuus erilaiseen ajatteluun? Millä tavoin erilaiseen?

Selkeyttikö menetelmä aiheita jollakin tavalla? Miten?(ensin avoin kysymys, jota

seuraa tarkentava)

Onko eri aineiden käsittely yhdessä tuttua?, onko aineiden välistä ajattelua tultu harrastettua muutoin? (opettajat , kirjat lähteenä?)

Havainnollistava opetuskokeilu

Ohessa kysymykset joihin tutkija vastaa opetuskokeilun kokemuksiansa ja havaintojensa perusteella

Mielipiteitä eheyttävästä/integroivasta opetuksesta? Vain trendi vai onko enemmän?

Millätavoin eheytyksen/integraatio vaikuttaa omaan opetustyöhösi?

Miten hyödynnät eheytyksen/integraatiota omassa opetuksessasi?

Vaatiiko integroitu tunti enemmän aikaa asian läpikäymiseksi?

Pidentäisikö eheytyksen/integraatio tuntien suunnittelu aikaa haittaavasti?

Millä tavoin tunnit tulisi suunnitella erilaisilla integraation tapauksessa?

Veisikö eheyttävä opetus liikaa aikaa?

Vaativatko integroidut tunnit enemmän resursseja kuin integroimattomat?

Millätavoin opettajan näkökulmasta oppilaat suhtautuvat integraatioon/eheytykseen?

Tuntisuunnitelma BI + KE yhteistunti, aiheena veri

Rakenne:

1. opettajajohtoinen teoriaosuus, 1. osa
2. oppijaaktiviteetti, esim. tiedonhakua
3. opettajajohtoinen teoriaosuus, 2. osa
4. kokeellinen osuus
5. kokeellisen osuuden tulosten koonti ja tarkastelu

75 min tunti, aiheena veri.

Sisältää yhden oppilastyön, jolle varataan tunnin toinen puolikas. Tunnin ensimmäinen puolikas on opettajajohtoista teoriaa, missä läpikäydään veren koostumus. Teoriaosa kannattaa jakaa useampiin osiin oppijälähtöisillä tiedonhaku- tai ryhmäkeskusteluja aktiviteeteilla aiheesta.

Oppilastyön voi korvata oppijälähtöisellä tutkimuksella, jossa oppilaat esittävät ryhmänä tiedonhakunsa tulokset muille oppilaille, mikäli kokeellista osuutta ei tehdä syystä tai toisesta.

Tämä paketti on suunniteltu siten, että opettaja voi tahtonsa mukaisesti valita mieleisensä menetelmät oppijan aktivoimiseksi teoriaosuuden aikana, tai sen jälkeen.

Oppimistavoite tässä suunnitelmassa on saada oppilaille "binokulaarinen" kuva luonnontieteistä, eli lisää ulottuvuutta tietoon, joka on lähtöisin kemiasta tai biologiasta asettamalla molemmat aineet yhteiseen kontekstiin. Yhteisessä kontekstissa kemian ja biologian näkökulmat täydentävä toisiaan yhteisestä aiheesta tarjoten paljon syvemmän oppimiskokemuksen. Hypoteesin mukaisesti tämänlaisen binokulaarisen kuvan kehittäminen auttaisi syventämään oppilaan tietoutta asiasta ja luomaan oppiaineiden välisiä yhteyksiä. Tämä täyttää opetussuunnitelman tavoitteen asioiden välisten yhteyksien, vuorovaikutussuhteiden ja keskinäisriippuvuuksien ymmärtämisen laajentamisesta, (LOPS2015 kappale 5.2 s. 35) sekä kemian ja biologian ainekohteiset tavoitteet kemian ja biologian tietotaidon soveltamisesta erilaisissa tilanteissa ja eri aloilla.

Vaihe 1. Veren koostumus. Kesto ~30 + 45 min, yht. 75 min

- Solukko (s. 25-26)
 - punasolut ~5 min
 - punasolun rakenne
 - hemoglobiini ja hapen kuljetus
 - valkosolut ~15 min
 - fagosyytit, syöjäsolut
 - lymfosyytit,

- vasta-aineet
- verihiutaleet
- plasma (s. 25, 27-28) ~10 min
 - plasman koostumus
 - vesi, proteiinit, vasta-aineet, kuona-aineet, mineraalit jne.
 - veren suolat ja happamuus

Taktiikoita opetukseen:

- Teoriaosuus on valtava, joten se on hyvä pilkkoa pienemmiksi osiksi ryhmitöillä, pohdintasessioilla tai muilla vastaavilla oppijaa aktivoivilla aktiviteeteilla.

Kysymyksiä tuntia ja mahdollisia aiheita oppiaslähtöistä aktiviteettia varten:

- Mitä hiilihappo tekee veressä? (muisti, huomio)
- Voisiko hiilihapon korvata suolahapolla tässä tilanteessa? (vahva/heikko emäs ja puskurointi)
- Mitä tarkoittaa hydrofilinen / hydrofobinen?
 - Miten yhden aminohapon muuttuminen hydrofobiseksi vaikuttaisi proteiinitäydä jossä toisessa päässä on luonnostaan toinen hydrofobinen aminohappo? (edistyneempi)
- Jos veressä olevien vetyionien määrä kasvaa mitä tapahtuu verelle tapahtuu? (pH käsitteen ymmärtäminen)
- Kuinka solut varastoivat happea? (solun molekyyliarakenteen ymmärtäminen)
- Miksi veren happamuus pysyy jatkuvasti noin pH 7:ssä? (pH -tasapaino)
- Miten veri hyytyy haavassa? (verihiutaleet ja fibriini)
- Mitä tapahtuu verelle kun se tulee kosketuksiin vetyperoksidin kanssa? (peroksidaasi entsyymi ja sen katalysoima hapetus-pelkistys reaktio)
- Miksi korkea kuume on ihmiselle hengenvaarallinen? (proteiinien denaturaatio)

oppijälähtöiset opiskeluaiheet:

1. Ryhmätutkimus aiheesta
 - Tämä olisi hieman laajempi tiedonhaku- ja organisointiprojekti oppilaille, jossa he etsivät, tulkitsevat ja esittävät tiedon muille oppilaille.
2. Keskustelua ryhmässä aiheesta

- Ryhmäkeskustelussa oppilaat kokoavat tietonsa ja käyvät aiheen läpi vertaisina pienessä 2-3 oppilaan ryhmässä, jonka jälkeen esittävät johtopäätöksensä. Soveltuu hyvin hypotettisiin kysymyksiin ja aiheisiin.
3. Tiedonhaulla vastaus kysymykseen
- Oppilaat saavat käyttää tiedonhakuvälineitä etsiäkseen lyhyen vastauksen yhteen tai useampaan kysymykseen. Tässä voidaan myös harjoittaa lähdekritiikkiä.
4. Inkvisiittio
- Oppilaat kehittävät pienryhmissä yhden kysymyksen aiheesta, per ryhmä, jonka kuvittelevat olevan sellainen, ettei opettaja osaa siihen vastata. Näihin opettaja pyrkii vastaamaan parhaansa mukaan.

Oppilastyö 1, veren tutkimista

Tarvikkeet:

- mikroskooppi
- koeputkia näytteille
- koeputkiteline kullekin ryhmälle
- näytelevyjä mikroskoopille
- pipettejä tai jotain jolla ottaa näytteitä
- elintarvike verta
- lansetteja

Tämän työn tutkimus on kaksiosainen:

1. Veren sisällön tutkiminen mikroskoopilla. Tähän soveltuu todellisuutta vastaavaksi näytteeksi vain tuore veri, joten halukkaat oppilaat saavat tutkia omaa vertaan käyttämällä lansettia näytteenottoon.
2. Pakastetun veren ja tuoreen veren erot. Tässä voi nousta esille mm. veren hyytyminen (*fibriini ja verihiutaleet*), punasolujen hajoaminen (*veden kiteytyminen tai apoptoosi*) tai solujen kummallinen muoto (*osmoottinen paine, sirppisolutauti tai solun kuolema*)

Sulatetaan verta jonkin verran etukäteen, tarpeeksi että jokaiselle oppilaalle tai oppijaryhmälle on noin 5-10 cm verta koeputkessa (tarpeeksi että erottuminen näkyy selkeästi).

Pakasteverenäytteitä sentrifuugataan vähintään 15 min, joten fuugaamisen aikana, oppilaat voivat valmistella työpisteensä, hakemalla mikroskoopin, näytelevyt ym. Tarvikkeet valmiiksi ryhmälleen ja aloittaa tutkimalla tuoretta

verta. Mikään ei tietenkään estä, että oppilaat tutkisivat sulatettua pakastevertakin mikroskoopilla; siitäkin saa hyvää dataa.

Työn eteneminen:

1. Tutkitaan verta mikroskoopilla.
 - Kuvaile vihkoon tai paperin kääntöpuolelle mitä näet, tunnistatko solukkoa, onko solukossa jotain poikkeavaa tai mielenkiintoista, jne.
 - Vertaillaan tuoretta verta kerättyinä lansetilla ja pakastettua verta. Näkyykö eroja?
2. Lisätään tutkittavaan verinäytteeseen pasteur -pipetillä pieni tippa HCl -liuosta ja toiseen näytteeseen NaOH -liuosta. Seurataan mitä tapahtuu ja kirjataan havainnot.
 - Mitä mikroskoopin alla veressä näyttäisi tapahtuvan?
 - Onko tuoreella näytteellä ja pakastetulla näytteellä eroja?
3. Otetaan uusi näyte uudelle alustalle. Lisätään uuteen näytteeseen pieni tippa vetyperoksidia.
 - Mitä havaitset tapahtuvan? Mistä tämä johtuu?
 - Onko tuoreella näytteellä ja pakastetulla näytteellä eroa?
4. Oppijat tekevät havaintoja verinäytteiden eroavaisuuksista. Erojen syitä on hyvä antaa heidän pohtia. Tästä saa vaikkapa hyvän kotitehtävän, mikäli aika ei riitä asian läpikäyntiin

Huomioita:

- Työ kestää nopealta yksinään työskentelevältä oppijalta noin 15-20 min, pienryhmissä aikaa kuluu enemmän. Aikaa saa helposti pidennettyä antamalla oppijoiden tutkia näytteitä mielensä mukaan.
- Tarvitsee mikroskoopin jossa minimissään x400 suurennus, x1000 jotta näkee verisolut selkeästi. Tämä on aivan kaupallisten, koulukäyttöön sopivien mikroskooppien ylärajalla, mutta mahdollista, sillä kykenevät mikroskoopit ovat juuri sen hintaisia, että hieman budjettia säättämällä saa koulu hankittua sellaisia.
- Pakasteveri ei välttämättä sovellu mikroskopointiin: pakastaminen on voinut rikkoa veren solukon niin hyvin, ettei siitä saa selvää. Lisäksi

sellaiseen vereen on voitu lisätä hyytymisenestoainetta. Ainoa suora keino minkä näen on, että oppilaat testaavat ja tutkivat omaa vertansa keräämällä sitä sormineuloilla.

- Sentrifugaamisen tarkoitus on erottaa punasolut plasmasta ja valkosoluista, jotta niitä voisi nähdä erillään. Se ei ole tarpeellista, mikäli halutaan vain nähdä veren sisältöä. Sentrifugaaminen on lisätty työhön, esittelemään oppilaille uusi erotusmenetelmä.
 - Tämän työn voi liittää myös helposti fysiikan tuntiin, kun aiheena on liikkeen jatkuvuus ja keskihaku-/keskipakoisvoima.
 - Sentrifugaus ei toimi elintarvikevereen, sillä siihen on lisätty emulsioaineita, jotka estävät veren erottumisen. Veren olisi oltava tuoretta ja sitä tulisi olla noin 10-20 ml jotta erottuminen näkyy. Tämä tekee työstä hankalasti toteutettavan.

Muita työideoita:

Rautapitoisuuden määrittäminen verestä (tähän sopii naudun veri hyvin). Lukiolaisten kanssa voisi rautapitoisuudesta arvioida punasolujen määrän näytteestä.

Denaturointi? Voisi toimia, jos sitä lähestytään lämpöhalvauksen, kuumeen tai ympäristön lämpötilan kautta. (proteiiniluonne)

Tippakokeita hapoilla, emäksillä, vetyperoksidilla. (happamuuden vaikutus vereen, toimisi loistavasti mikroskopoinnin yhteydessä)