

# Proteiinien integroiva opetus lukion kemiassa ja biologiassa

Pro gradu -tutkielma  
Jyväskylän yliopisto  
Kemian laitos  
Kemian opettajankoulutus  
26.6.2022  
Tuuli M. Koski

## Tiivistelmä

Kirjallisessa osassa käsitellään tärkeitä proteiineihin liittyviä asiasisältöjä niin kemian kuin biologiankin aiheista. Tämän jälkeen perehdytään erilaisiin aktivoiviin opetusmenetelmiin, joita proteiinien integroivassa opetuksessa voidaan hyödyntää. Opetussuunnitelmasta on kerätty proteiineihin ja integrointiin liittyviä kokonaisuuksia sekä esitetty mahdollisuuksia proteiinien käyttämiseksi teemana. Lopuksi on perehdytty tarkemmin integroinnin mahdollisuuksiin, erilaisiin tapoihin toteuttaa integraatiota sekä integroinnin hyötyihin ja haittoihin.

Integroimalla kemian ja biologian sekä mahdollisesti myös muiden aineiden opetusta proteiineja käsiteltäessä on mahdollista tarjota opiskelijoille kokonaisvaltaisempi kuva proteiineista ja niiden toiminnasta. Samalla voidaan hyödyntää myös useita erilaisia aktivoivia opetusmenetelmiä. Integroinnista on paljon hyötyä niin opettajille kuin opiskelijoillekin, mutta sillä on myös kääntöpuolensa. Suurin osa integroinnin haasteista liittyy kuitenkin resurssien puutteeseen, mikä olisi helposti korjattavissa.

Kokeellisessa osassa haastateltiin kolmea kemian tai biologian opettajaa. Haastattelututkimuksessa selvitettiin heidän käsityksensä proteiinien opetuksesta, heidän käyttämistään opetusmenetelmistä kuin integroinnistakin. Heidän vastauksensa analysoitiin laadullisella sisällönanalyysillä, jossa etsittiin erityisesti tietoa siitä, mitä lukiolaisen olisi hyvä proteiineista osata, miten hyvin integrointi toimii proteiinien opetuksessa ja voitaisiinko integrointia jotenkin lisätä.

Haastatellut olivat samoilla linjoilla opetussuunnitelman kanssa siitä, mitä proteiineista pitäisi osata. Integrointia opettajat yleisesti pitivät hyvänä ja toimivana asiana, mutta he huomasivat integroinnin toteuttamisessa myös haasteita niin oppilaiden kuin itsensäkin näkökulmasta. Haastateltavien mielestä integrointia pitäisi lisätä, mutta se vaatisi lisää resursseja sekä täydennyskoulutusta. Myös oppimateriaali voisi toimia integroinnin lisäämisessä, mutta sen tuottaminen vaatisi resursseja ja laajempaa pohdintaa sopivan tyyppisestä materiaalista.

## Esipuhe

Omana lukioaikani olin kiinnostunut niin kemiasta kuin biologiastakin. Tämä kiinnostus on säilynyt myös yliopisto-opinnoissani. Lukiossa itse huomasin, kuinka aina välillä kemian opettaja saattoi mainita, että jokin asia käydään biologian tunnilla ja vastaavasti toisin päin. Välillä saattoi käydä niin, että jotakin asiaa ei käyty oikein lainkaan. Itselleni esimerkiksi proteiineista jäi aika vähän mieleen lukioaikana enkä koskaan oppinut yhdistämään asioita, joita olin oppinut proteiineista kemian tunneilla ja biologian tunneilla. Kun vielä myöhemmin tutustuin ajatukseen, että muissa maissa näitä molempia opiskellaan yhtenä oppiaineena muiden luonnontieteiden kanssa, kiinnostuin toden teolla ajatuksesta, että näin olisi hyvä tehdä ainakin jollain tasolla myös Suomessa. Koska tuntirakennetta ei kuitenkaan todennäköisesti tulla muokkaamaan, on integrointi eri oppiaineiden välillä välttämätöntä.

Asiasisältöjen osalta kirjallisuutena olen hyödyntänyt yliopiston perusopintojen ja aineopintojen kurssien kirjallisuutta. Opetussuunnitelma on ollut myös tärkeässä roolissa, jotta on ollut mahdollista nähdä, mitä lukio-opiskelijan tulisi osata. Integroinnista ja aktivoivista opetustavoista olen etsinyt tietoa niin kansainvälisistä kuin suomalaisistakin tutkimuksista.

Kiitokset ohjaajalleni Jouni Välisaarelle kärsivällisestä suhtautumisesta välillä takkuisestikin sujuneeseen kirjoittamiseen sekä mahtavasta tsemplistä silloinkin, kun on tuntunut, ettei mikään etene. Kiitokset haastatteluihin osallistuneille. Kiitokset myös parin vuoden aikana kohtaamilleni työkavereille, jotka ovat jaksaneet kannustaa minua jatkamaan. Heiltä olen myös saanut perspektiiviä tutkimukseen, mikä on helpottanut työn loppuun saattamista. Suuret kiitokset vielä omalle perheelleni sekä ystäväilleni, jotka ovat jaksaneet tukea minua koko ajan. Viimeisenä vielä kiitokset koiralleni Niiskulle tarpeellisten taukojen luomisesta, rentouttavien hetkien tarjoamisesta sekä ajatusten purun mahdollistamisesta.

10.6.2022

Tuuli Koski

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	i
Esipuhe.....	ii
Sisällysluettelo.....	iii
1 Johdanto.....	1
2 Eliöiden ja virusten rakenne ja toiminta.....	1
2.1 Deoksiribonukleiinihapon ja ribonukleiinihapon rakenne.....	1
2.2 Solun rakenne ja lisääntyminen.....	4
2.3 Solun rakenteen tutkiminen laboratoriossa.....	11
2.4 Viruksen rakenne ja lisääntyminen.....	14
3 Proteiinit.....	18
3.1 Proteiinien rakenne.....	19
3.2 Proteiinien toiminta.....	29
3.3 Proteiinien reaktioita.....	32
3.3.1 Atomien väliset sidokset.....	33
3.3.2 Molekyylisen väliset sidokset.....	33
3.3.3 Polymeerit.....	34
4 Ihmiskehon puolustusjärjestelmä.....	35
4.1 Solut puolustajina.....	36
4.2 Patogeenien tunnistaminen.....	41
4.3 Virusten aiheuttamat taudit eläimillä.....	42
5 Aktivoivat opetusmenetelmät.....	45
5.1 Aktivoivien opetusmenetelmien hyödyt ja haitat.....	47
5.2 Aktivoivien opetusmenetelmien soveltamisen haasteet.....	50
5.3 Aktivoivien opetusmenetelmien arviointi.....	52
6 Lukion opetussuunnitelma.....	53
6.1 Kemia.....	54
6.2 Biologia.....	55
6.3 Oppiaineiden integrointi.....	57
7 Integrointi opetuksessa.....	58
7.1 Luonnontieteiden integrointi Suomessa ja maailmalla.....	59
7.2 Kemian ja biologian integrointi.....	59
7.3 Integroinnin haasteet.....	61
8 Tutkimuskysymykset.....	62

9 Tutkimusmenetelmät.....	62
10 Tutkimusaineisto.....	63
11 Tutkimustulokset.....	63
11.1 Taustatiedot.....	63
11.2 Proteiinien opetus.....	64
11.3 Integrointi.....	65
12 Yhteenveto.....	69
12.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin.....	69
12.2 Tutkimuksen luotettavuuden ja eettisyyden arviointi.....	70
12.3 Pohdinta.....	71
12.4 Jatkotutkimuskysymykset.....	72
13 Kirjallisuusluettelo.....	73
Liitteet	

## 1 Johdanto

Kandidaatin tutkintooni tein tutkielman proteiineihin liittyen. Koska proteiinit ovat kiinnostaneet minua, pohdin, että voisi olla mukavaa tehdä jotakin niihin liittyvää myös nyt. Kun tuli aika valita aihe pro gradu -tutkielmaan, pohdin sitä ja muistelin omia lukioaikojani. Minusta tuntui silloin, että moni asia kemian ja biologian yhteydessä oli tullut esiin molemmissa oppiaineissa, mutta niitä ei käsitelty kokonaisuutena, vaan ne jäivät melko irrallisiksi. Päädyin siihen, että haluan tehdä jotakin, missä saisin aihealueesta muodostettua opiskelijoille kokonaiskuvan.

Koska integraatio on puhututtanut suomalaisessa koulumaailmassa jo jonkin aikaa ja keskustelu on vain kiihtynyt lukion uuden opetussuunnitelman suunnittelun myötä, on aihe hyvin ajankohtainen. Myös aktivoivia opetusmenetelmiä suositellaan käytettäväksi kouluissa enemmän opiskelijoiden mielenkiinnon lisäämiseksi. Päädyin siis yhdistelemään näitä ja ajatusten tarkentuessa, päätin hyödyntää opintojani biologian parissa sekä mielenkiintoani tauteja ja niiden torjumista vastaan. Kun vielä keväällä 2020 maailmalla lähti leviämään pandemia, jonka seuraukset ovat olleet unohtumattomat, oli päätökseni aihealueesta erittäin selkeä.

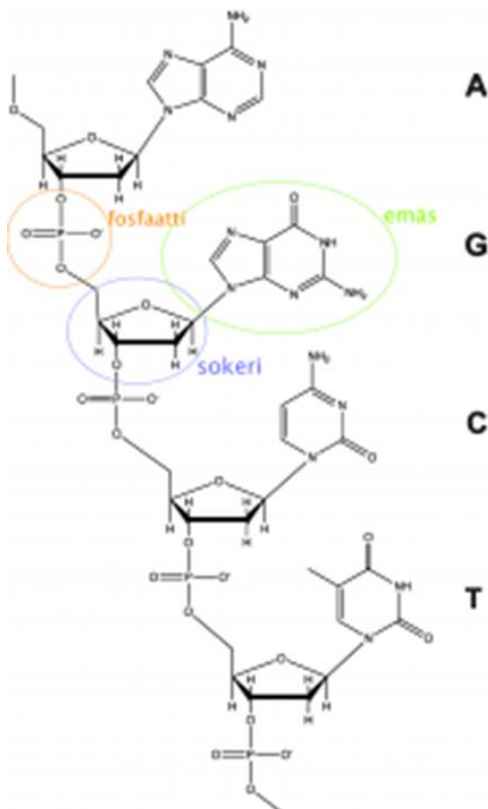
## 2 Eliöiden ja virusten rakenne ja lisääntyminen

Eliöt koostuvat kaikki samantyyppisistä molekyyleistä koostuvista rakenteista, soluista. Pieniä eroja on eri eliöryhmien välillä. Eri eliöryhmiä ovat eläimet, kasvit, sienet, alkueläimet, bakteerit ja arkit. Eliöiden lisäksi on olemassa viruksia, jotka koostuvat myös molekyyleistä. Niitä ei lasketa eliöihin, koska ne eivät pysty lisääntymään itsenäisesti, vaan tarvitsevat jonkinlaisen isäntäsolun voidakseen lisääntyä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

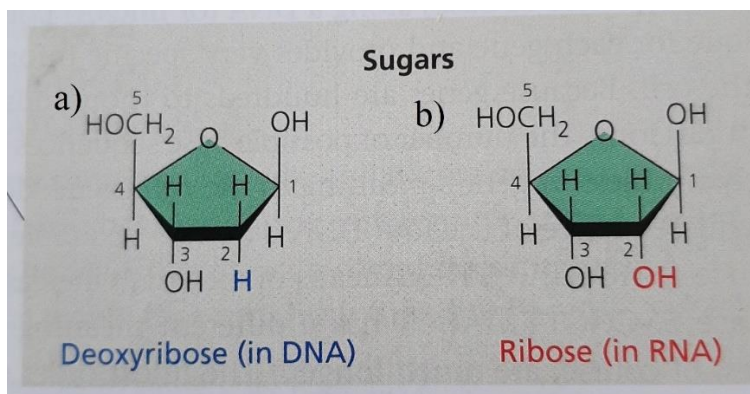
### 2.1 Deoksiribonukleiinihapon ja ribonukleiinihapon rakenne

Kaikilla eliöillä geneettinen eli periytyvä materiaali on säilöttynä DNAhan (kuva 1) ja myös monien virusten perimä on DNAta. DNA koostuu kahdesta toisiinsa kiinnittyneestä juosteesta, paitsi osalla viruksista perimä voi olla myös yksijuosteista DNAta. Nämä juosteet koostuvat nukleotideista, jotka koostuvat rungosta, joka sisältää fosfaattiryhmän ja

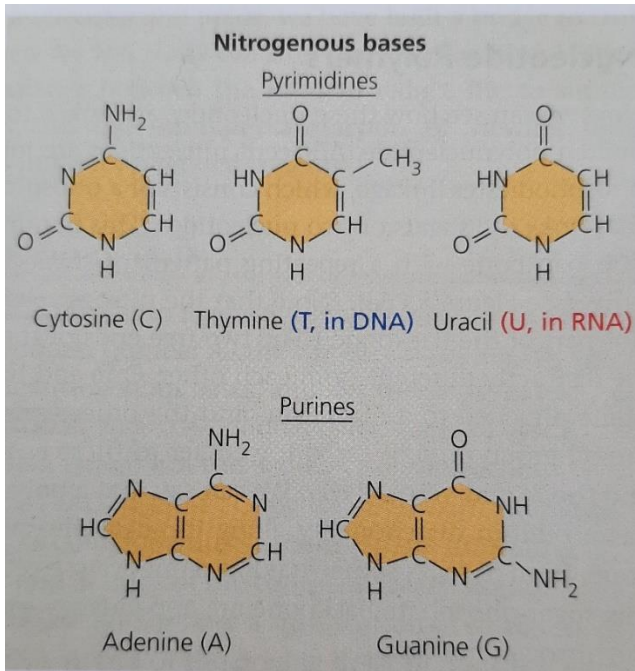
deoksiriboosin (kuva 2a) eli viisirenkaisen sokerin eli pentoosi-sokerin. Lisäksi runkoon on yhdistyneenä jokin neljästä tyypeä sisältävästä emäksestä (kuva 3): adeniini (A), guaniini (G), sytosiini (C) ja tymiini (T). Näistä syaniini ja tyrosiini ovat kemialliselta rakenteeltaan pyrimidiinejä ja adeniini ja guaniini puriineja. DNA-juosteparia muodostaessa nämä emäkset liittyvät toisiinsa vetysidoksilla. Ne pariutuvat aina samalla tavalla niin, että adeniini ja tymiini muodostavat parin sitoutuen kahdella vetysidoksella toisiinsa sekä sytosiini ja guaniini muodostavat parin sitoutuen kolmella vetysidoksella toisiinsa. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 1. DNAn rakenne. (Wikipedia: DNA n.d)



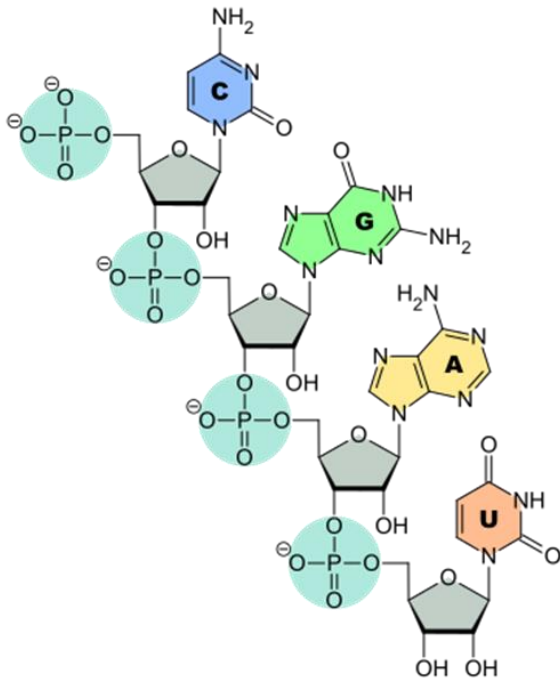
Kuva 2. Deoksiriboosin ja riboosin rakenne. (Reece *et al.* 2011)



Kuva 3. Typeä sisältävien DNAn ja RNAn emästen rakenne. (Reece *et al.* 2011)

Soluissa esiintyy myös paljon RNAta (kuva 4). Sitä esiintyy lähetti-RNAna, joka kuljettaa DNAn informaatiota tumasta soluun, ribosomaalisena RNAna, josta koostuvat proteiinisynteesin kannalta tärkeät ribosomit sekä siirtäjä-RNAna, joka siirtää aminohappoja ribosomille. Myös joidenkin virusten perimä voi olla yksi- tai kaksijuosteista RNAta. RNAn perusrakenne on hyvin samanlainen kuin DNAn, mutta sokerina on deoksiriboosin sijaan riboosi (kuva 2b), joka on myös pentoosi-sokeri. Emäkset ovat lähes samat, mutta tyymiinin korvaa pyrimidiineihin kuuluva urasiili (U) (kuva 3), joka pariutuu adeniinin kanssa. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

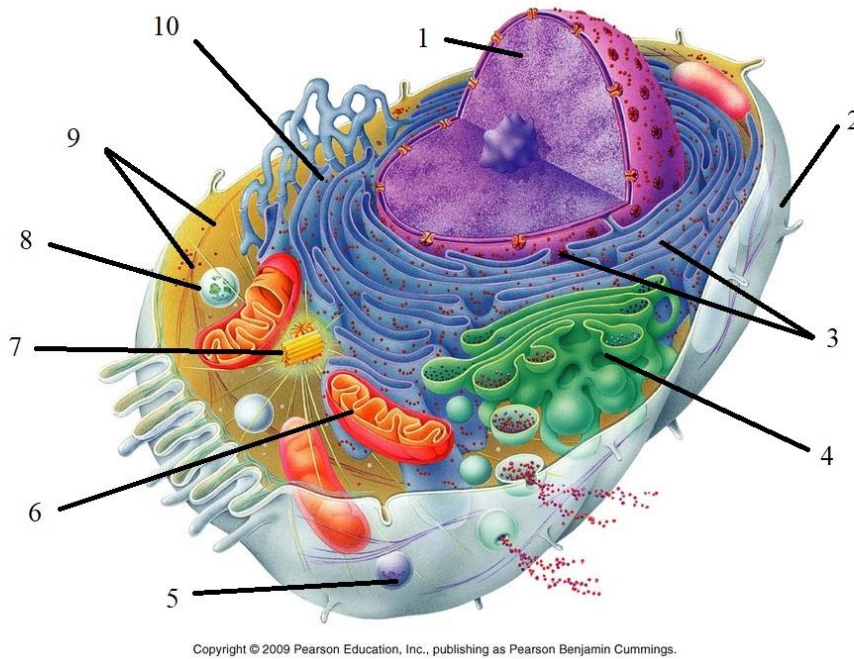




Kuva 4. RNA:n rakenne. (Wikipedia – vapaa tietosanakirja, RNA n.d)

## 2.2 Solun rakenne ja lisääntyminen

Kaikki eliöt koostuvat soluista. Eri eliöryhmien välillä soluissa on eroja, mutta niillä on myös paljon yhteisiä piirteitä. Pääsääntöisesti soluissa on samat soluelimet, mutta niiden suhde voi vaihdella riippuen solun tehtävästä. Eläinsolussa (kuva 5) on tuma, joka koostuu tuman keskellä sijaitsevasta tumajyvästä sekä sitä ympäröivästä tumakotelosta, jossa on aukkoja, joita kutsutaan tumahuokosiksi. Tuman sisällä on eläimen perimä DNA:sta ja proteiineista koostuvina kromatiiniryhminä, jotka solun jakautuessa muodostavat kromosomeja. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Copyright © 2009 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Kuva 5. Solun rakenne: 1. tuma, 2. solukalvo, 3. ribosomit, 4. Golgin laite, 5. lysosomi, 6. mitokondrio, 7. sentrosomi, 8. peroksisomi, 9. solun tukiranka ja 10. solulimakalvosto. (Eläinsolun rakenne 2020 kuvasta muokattu)

Solun sisällä on ribosomaalisesta RNAsta ja proteiineista koostuvia ribosomeja, jotka ovat tärkeässä roolissa proteiineja syntetisoitaessa. Ribosomeja esiintyykin paljon soluissa, jotka valmistavat paljon proteiineja, kuten haimasoluissa. Ribosomit valmistetaan tumajyväsessä ja ne voivat olla joko irrallaan solulimassa tai kiinnittyneinä solulimakalvostoon. Kaikkien ribosomien rakenne on samanlainen, joten ne voivat myös vaihdella kiinnittymisen ja vapaina olon välillä. Vapaina olevien ribosomien proteiinit jäävät usein solulimaan. Sen sijaan kiinnittyneiden ribosomien proteiinit kulkeutuvat joko muille soluelimille esimerkiksi muokattavaksi tai suoraan solukalvolle eritettäväksi. Soluissa, jotka erittävät paljon proteiineja, kuten haimasoluissa, on paljon myös kiinnittyneitä ribosomeja. Golgin laite osallistuu molekyylien syntetisoimiseen, muokkaukseen ja lajitteluun sekä tuottaa kuljetusrakkuloita, joissa molekyylit voidaan kuljettaa joko muualle soluun tai solukalvolle eritettäväksi ulos solusta. Solulimakalvosto on kalvomaisten pussien ja putkien muodostama verkosto. Se on aktiivinen kalvosynteesissä sekä muissa valmistus- ja aineenvaihduntaprosesseissa. Solulimakalvosto jaetaan kahteen osaan: karkeaan solulimakalvostoon, johon on kiinnittynyt ribosomeja sekä sileään solulimakalvostoon, jossa ribosomeja ei ole. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

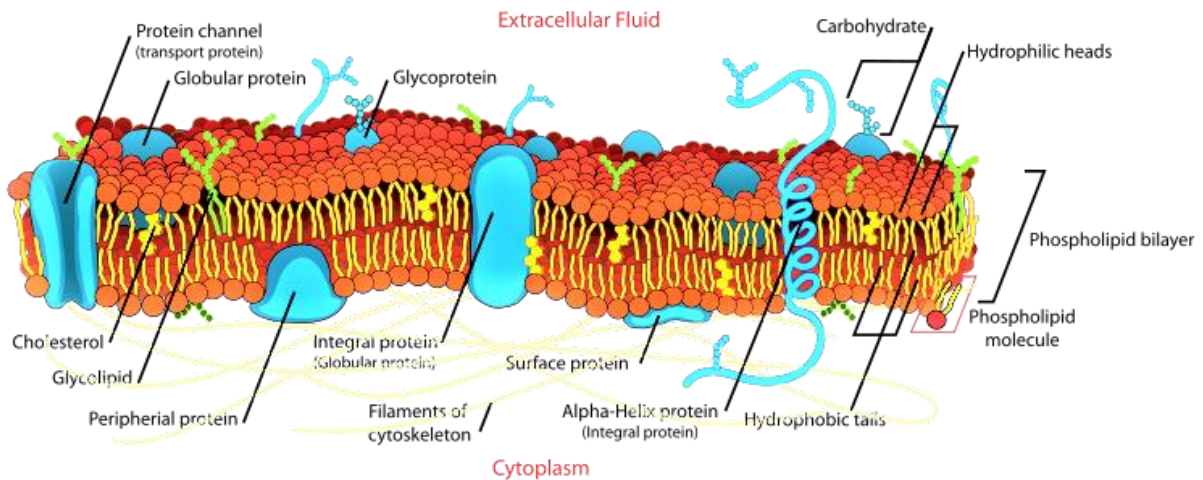
Lysosomit ovat solujen hajotuskeskuksia, joihin makromolekyylit kuljetetaan hydrolysoitaviksi. Hajotus tapahtuu usein entsyymien avulla, jotka ovat erikoistuneet toimimaan lysosomin happamassa ympäristössä. Tällöin lysosomin revetessä entsyymit eivät vahingoita solua niin paljon, koska ne eivät toimi yhtä hyvin soluliman neutraalissa ympäristössä. Jos useampi lysosomi hajoaa samanaikaisesti, voi solu kuitenkin kuolla. Mitokondrioissa tapahtuu soluhengitys, jossa glukoosi hajotetaan hiilidioksidiksi ja vedeksi, jolloin vapautuu energiaa, ATP-molekyylejä, solun käyttöön. Sentrosomista löytyvät sentriolit eli keskusjyväset, joilla on tärkeä rooli solun jakautumisessa. Peroxisomit toimivat solulle haitallisten aineiden muokkaajina. Niiden sisällä tapahtuu hapetusreaktioita, joiden sivutuotteena syntyy vetyperoksidia, josta ne ovat saaneet nimensä. Vetyperoksidi hajotetaan entsyymien avulla edelleen vedeksi. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solun tukiranka nimensä mukaisesti tukee solun rakennetta. Lisäksi se osallistuu solujen liikkumiseen sekä solukalvon liikkeisiin esimerkiksi vesikkeleitä eli kalvorakkuloita fagosytoitaessa. Tukiranka koostuu erikokoisista proteiineista muodostuneista säikeistä: mikroputkista, keskikokoisista säikeistä sekä mikrosäikeistä. Mikroputket koostuvat tubuliinimolekyyleistä ja niitä esiintyy myös solujen sentrioleissa sekä siimoissa ja ripsissä. Mikroputkien tehtäviin kuuluvat solun muodon ylläpitäminen estämällä sen kokoonpuristumista, solun ja soluelinten liikuttaminen sekä kromosomien liikuttaminen solun jakautumisen aikana. Keskikokoiset säikeet ovat säiemäisiä superkierteisiä proteiineja, jotka ovat muodostaneet paksumman kaapelin. Eri solutyypeissä ne voivat koostua yhdestä tai useammasta säietyypistä. Keskikokoisten säikeiden tehtäviä ovat solun muodon ylläpitäminen muodostaen jännitystä kestäviä elementtejä sekä vetäviä voimia, tuman sekä joidenkin muiden soluelinten ankkurointi paikoilleen sekä tumaa tukevan tumalevyn muodostuminen. Mikrosäikeet eli aktiinisäikeet muodostuvat kahdesta toisiinsa punoutuneesta aktiinijuosteesta. Aktiinisäikeet voivat muodostaa myös verkkoja. Mikrosäikeiden tehtäviä ovat solun muodon ylläpitäminen, solun muodon muutosten aikaansaaminen, lihassolujen supistuminen yhdessä myosiinimolekyylin kanssa, solun jakautumisuran muodostuminen sekä solun liike pseudopodien eli valejalkojen avulla. Lisäksi kasvisoluilla mikrosäikeet saavat aikaan soluliman virtauksen. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Siimat ja ripset ovat solun ulokkeita ja ne osallistuvat solujen liikuttamiseen. Ripset osallistuvat lisäksi solun ympäristön havainnoimiseen ja esimerkiksi selkärankaisilla on yksi ripsi, jonka kautta solu voi reagoida muuttuvaan ympäristöön. Siimat ovat yleensä ripsiä pidempiä ja niitä on solussa yleensä vain yksi tai korkeintaan muutamia. Siimat ja ripset

eroavat myös liikuttamistapansa perusteella. Siimat liikuttavat solua liikkumalla liikkumisakselin suuntaisesti vastaavalla tavalla kuin kala. Ripset taas liikuttavat solua liikkumalla poikittaisesti liikkumissuuntaan nähden, jolloin niillä vuorottelee voima- ja palauttamisveto, kuten airolla soudettaessa. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solua ympäröi solukalvo (kuva 6), joka on kaksikerroksinen fosfolipidikerros. Solukalvo koostuu fosfolipidimolekyyleistä, jotka ovat asettuneet niin, että niiden hydrofobiset hännät eli lipidiketjut ovat kerrosten välissä ja hydrofiiliset päät eli fosfaattiosat ovat kalvon molemmilla reunoilla. Toinen reunoista on solun sisäpuolella ja toinen solujen välisessä tilassa. Solukalvoon on kiinnittyneenä proteiineja sekä hiilihydraatteja. Hiilihydraatit ovat yleensä lyhyitä ja haaroittuneita. Ne voivat olla sitoutuneena joko solukalvon lipideihin eli muodostaa glykolipidejä tai solukalvoon kiinnittyneisiin proteiineihin (glykoproteiinit). Glykoproteiineista yleisin on kollageeni, joka muodostaa vahvoja kuituja solun ulkopuolelle. Ihmisen proteiinikoostumuksesta jopa 40 % koostuu kollageenista. Hiilihydraatit voivat olla erilaisia lajista tai yksilöstä riippuen. Jopa osassa yksilön soluista koostumus voi vaihdella. Esimerkiksi ihmisen veriryhmät (A, B, AB ja 0) määräytyvät tiettyjen glykoproteiinien hiilihydraattiosien erojen perusteella. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 6. Solukalvon rakenne. (Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Solukalvo n.d)

Jokaisella solutyypillä on omanlaisensa kalvoproteiinit. Kalvoproteiinit ovat päävastuussa solukalvon toiminnoista. Solukalvoon kiinnittyneet proteiinit voivat olla kiinnittyneenä kalvon pintaan (perifeeriset proteiinit) tai läpäistä koko solukalvon (integraaliset proteiinit). Osa proteiineista voi myös olla osittain solukalvon sisällä. Kalvon proteiineissa on yleensä

sekä hydrofiilinen että hydrofobinen osa, jolloin hydrofobinen osa sijoittuu kalvokerroksen sisälle ja hydrofiilinen osa on pinnalla kosketuksissa joko solulimaan tai solujen väliseen nesteeseen. Solun sisäpuolella kalvoproteiinit kiinnittyvät usein myös solun tukirangan säikeisiin ja solun ulkopuolella soluvälitilan säikeisiin. Integraalisissa proteiineissa voi olla myös hydrofiilinen kanava, jotka pitkin hydrofiiliset aineet voivat kulkea soluihin tai niistä pois. Perifeeriset proteiinit voivat myös olla fosfolipidikalvon sijaan kiinnittyneinä integraalisiin proteiineihin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solukalvon proteiinit voivat esiintyä joko yksittäin tai paikoittaisina ryppäinä. Ne voivat myös vaihtaa paikkaa kalvolla ajautumalla paikasta toiseen. Osa myös liikkuu määrätietoisesti paikasta toiseen solutukirangan säikeiden mukaisesti. Niitä ohjaavat moottoriproteiinit, jotka ovat kiinnittyneet kalvoproteiinin soluliman puoleiseen pintaan. Osa proteiineista pysyy myös täysin paikoillaan, joka ilmeisesti johtuu niiden liitoksista solun sisäisiin tai ulkopuolisiin säikeisiin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solukalvo on selektiivisesti läpäisevä kalvo eli osa aineista pääsee suoraan sen läpi ja osa ei. Tässä tapauksessa poolittomat molekyylit pystyvät läpäisemään solukalvon itsenäisesti. Kalvon läpi suoraan tapahtuva kuljetus on aina passiivista kuljetusta eli se tapahtuu aineen suuremmasta konsentraatiosta pienempään. Ionit ja pooliset aineet sen sijaan eivät läpäise kalvoa kovin nopeasti sen hydrofobisen osan takia. Esimerkiksi glukoosi ja muut sokerit, sekä vesi läpäisevät kalvon hyvin hitaasti. Varatut molekyylit läpäisevät kalvon vielä poolisiakin aineita huonommin. Koska myös pooliset aineet ja ionit ovat soluille tärkeitä, pystyvät ne siirtymään kalvon toiselle puolelle kalvoproteiinien avulla. Tällaisia kalvoproteiineja kutsutaan kuljetusproteiineiksi ja ne voivat olla joko kanavaproteiineja, joiden läpi kulkee hydrofiilinen kanava tai kantajaproteiineja, jotka muuttavat muotoaan aineen kulkiessa niiden läpi. Fasilitoitunut diffuusio eli avustettu diffuusio on passiivista kuljetusta, jossa proteiinit auttavat aineiden siirtymistä kalvon toiselle puolelle. Myös avustetussa diffuusiossa aineet kulkevat suuremmasta konsentraatiosta pienempään. Avustetussa diffuusiossa apuna voivat olla niin kanava- kuin kantajaproteiinitkin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Toinen kuljetuksen muoto on aktiivinen kuljetus, jossa liuenneita aineita kuljetetaan pienemmästä konsentraatiosta suurempaan. Tämä vaatii energiaa, jonka lähteenä useimmiten toimii ATP, joka voi esimerkiksi luovuttaa yhden fosfaattiryhmistään kuljetusproteiinille. Aktiivisessa kuljetuksessa toimivat proteiinit ovat aina kantajaproteiineja. Aktiivinen kuljetus mahdollistaa aineen solun sisäisen konsentraation pysymisen pienenä, vaikka ympäristössä

ainetta olisi paljon. Ionipumppu käyttää aktiivista kuljetusta, tällaisia ovat esimerkiksi eläinsoluissa natrium-kaliumpumput, jotka ylläpitävät solun suurta kaliumkonsentraatiota ja pientä natriumkonsentraatiota siirtämällä kaliumia sisälle soluun ja natriumia solusta ulos. Kasvisoluilla yleinen ionipumppu on protonipumppu, joka pumppaa protoneita eli vetyioneja ulos solusta. Kuljetusproteiinien lisäksi kalvoproteiinit voivat olla reseptoriproteiineja, entsyymejä, signaalin viestinviejä tai osallistua solu-solu-tunnistukseen, solujen välisiin liitoksiin tai toimia kiinnityskohtana solutukirankaan tai solun ulkopuoliseen matriksiin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

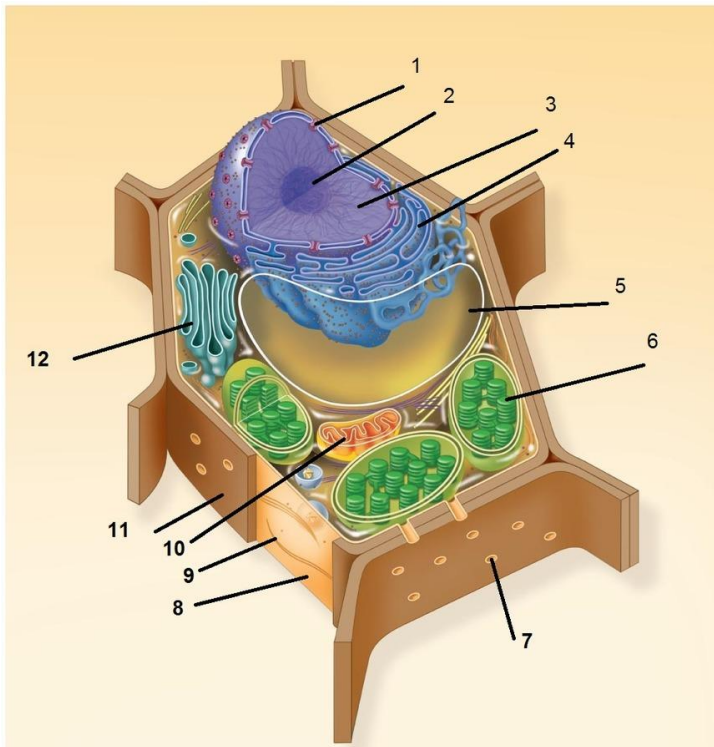
Olomuodoltaan solukalvo on nestemäinen, mutta se muuttuu kiinteäksi kun lämpötila laskee riittävästi. Nestemäisyyteen vaikuttavat monet rakenteet solukalvossa. Fosfolipidien hydrofobiset osat muodostuvat hiilivedyistä, jolloin ne eivät pakkaudu niin helposti ja kiinteytymislämpötila laskee. Kalvon viskositeettia saadaan parannettua lisäämällä tyydyttyneiden hiilivetyketjujen määrää fosfolipidien hydrofobisiin osiin. Nestemäisyyttä saadaan solun normaalilämpötilassa laskettua lisäämällä solukalvoon fosfolipidien tilalle kolesterolia, jolloin fosfolipidit pääsevät liikkumaan vähemmän. Matalissa lämpötiloissa kolesteroli taas estää kiinteytymistä häiritsemällä fosfolipidien tavanomaista pakkautumista. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solukalvolla sinne saapuvat kuljetusvesikkelit fuusioituvat solukalvon kanssa ja vapauttavat näin kuljetettavan aineen, kuten solun ulkopuolelle päätyvät proteiinit, solujenväliseen nesteeseen eksosytoosiksi kutsutussa tapahtumassa. Solu voi myös ottaa aineita sisäänsä muodostaen niiden ympärille vesikkelin, tätä kutsutaan endosytoosiksi. Endosytoosilla on useita toimintatapoja: fagosytoosi, pinosytoosi sekä reseptorivälitteinen endosytoosi. Fagosytoosissa solu ottaa sisäänsä jonkin melko suuren molekyylin tai esimerkiksi ravintoa, jolloin syntyy ruokavakuoli. Pinosytoosissa solu ottaa sisäänsä solujenvälisestä nestestä, johon liuenneina haluttavat molekyylit ovat. Pinosytoosia varten otettavien aineiden konsentraation on oltava melko suuri solun ulkopuolella. Reseptorivälitteisessä endosytoosissa otettava aine sitoutuu solukalvolla oleviin reseptoriproteiineihin ja solu muodostaa vesikkelin, jonka sisään jäävät sekä reseptoriproteiinit että otettavat molekyylit. Tällöin molekyylin konsentraation ei tarvitse olla solun ulkopuolella niin suuri kuin pinosytoosiin vaadittaisiin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solut tuottavat paljon aineita, joita ne erittävät solun ulkopuolelle tai solukalvon ulkopinnalle. Solujen ulkopuolella eläimillä on solun ulkopuolinen matriksi, joka koostuu pääasiassa

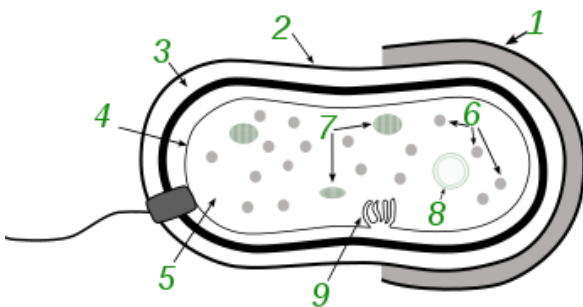
glykoproteiineista sekä muista solun erittämistä hiilihydraatteja sisältävistä molekyyleistä. Yleisin näistä on kollageeni, jonka ympärillä risteilee proteoglykaanikompleksien muodostama verkko. Proteoglykaanit koostuvat pienestä keskusproteiinista, johon on kovalenttisellä sidoksella liittynyt hiilihydraatteja. Molekyylistä jopa 95 % voi olla hiilihydraatteja. Proteoglykaanikompleksit koostuvat sadoista proteoglykaanimolekyyleistä, jotka ovat sitoutuneet heikkojen sidosten avulla yhteen pitkään polysakkaridimolekyyliin. Solun ulkopuolinen matriksi on myös kytkeytyneenä glykoproteiiniensa, kuten fibronectiinin, avulla solukalvon proteiineihin (integriineihin). Integriinit ovat solun sisällä kytkeytyneet toisten proteiinien välityksellä solutukirankaan, joten ne välittävät signaaleja solun ulkopuolen ja sisäpuolen välillä ja voivat näin vaikuttaa ulko- ja sisäpuolella tapahtuviin olosuhteiden muutoksiin. Solut ovat myös aina kytköksissä toisiinsa erilaisten soluliitosten avulla. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Edellä esitelty solu on eläinsolu, mutta soluja on myös muissa eliöissä. Kaikkien eliöiden soluilla on paljon yhteisiä piirteitä, mutta myös eroavaisuuksia. Kaikilla soluilla on solulima sekä solukalvo, joka koostuu kahdesta kerroksesta fosfolipidejä ja johon on kiinnittyneenä kalvoproteiineja. Kaikilta eliöiltä löytyy myös proteiinien tuoton kannalta tärkeitä ribosomeja. Eläinsolu kuuluu eukaryoottisoluihin, kuten kasvi- (kuva 7), alkueliö- ja sienisolukin. Tämä tarkoittaa, että niiden kromosomisto on suojattu erillisellä kalvorakenteella. Toisenlaisia soluja ovat prokaryoottisolut, joiden kromosomit sijaitsevat solulimassa eli niillä ei ole erillistä tumaa. Prokaryoottisoluja ovat bakteerit (kuva 8) ja arkit. Prokaryoottisoluilla ei myöskään ole soluelimiä ja ne ovat yleensä huomattavasti pienempiä kuin eukaryoottisolut. Prokaryoottisoluilla, kuten myös kasvi- ja sienisoluilla, solukalvoa ympäröi lisäksi soluseinä, jonka koostumus kuitenkin vaihtelee eliöryhmien välillä. Sen tehtävä on ylläpitää solun muotoa sekä suojella solua mekaanisilta vaurioilta. Osaa bakteereista suojaa lisäksi vielä kapseli. Kasvisolut poikkeavat myös eläinsoluista soluseinän lisäksi muilla tavoin. Niillä ei ole sentrosomeja eikä siimoja, joita voi kuitenkin esiintyä joidenkin kasvien siittiösoluilla. Kasvisolujen Golgin laitetta voidaan kutsua myös diktyosomiksi. Lisäksi kasvisoluilla on vakuoli, plasmodesmoja sekä viherhiukkasia. Vakuolin tehtävänä on varastoida aineita sekä hajottaa jätetuotteita ja hydrolysoida makromolekyylejä. Plasmodesmat taas ovat solulimakanavia kasvisolujen välillä ja kulkevatkin myös soluseinän läpi. Viherhiukkanen on fotosynteesin soluelin eli sen sisällä kasvi muuttaa auringonvalon kemialliseksi energiaksi, joka varastoidaan sokerimolekyyleinä. Fotosynteesireaktioita katalysoivat entsyymit. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



kasvisolu

Kuva 7. Kasvisolun rakenne. 1. tumahuokonen, 2. tumajyvänen, 3. tuma, 4. solulimakalvosto, 5. vakuoli, 6. viherhiukkanen, 7. plasmodesmi, 8. solukalvo, 9. solun tukiranka, 10. mitokondrio, 11. soluseinä, 12. diktyosomi. (BIOS 3 Kpl 7 Kasvisolu 2018)



Kuva 8. Bakterisolun rakenne. 1. kapseli, 2. ulompi solukalvo, 3. soluseinä, 4. sisempi solukalvo, 5. solulima, 6. ribosomi, 7. vararavintoa, 8. kromosomi ja 9. mesosomi. (Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Bakteerit n.d)

### 2.3 Solun rakenteen tutkiminen laboratoriossa

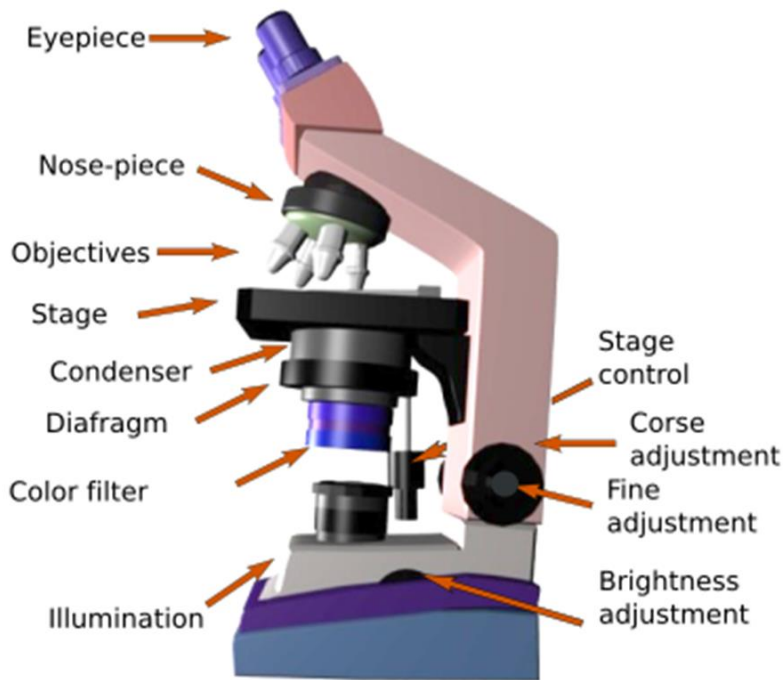
Laboratoriossa soluja voidaan tutkia erilaisilla mikroskoopeilla. Valomikroskoopilla (kuva 9) voidaan tutkia eukaryoottisoluja. Valomikroskoopissa näkyvä valo kulkee näytteen läpi ja siitä lasilinsseille ja linssien kautta silmille. Linssit taittavat valoa niin, että näyte näyttää



isommalta silmillä katsottaessa tai kameralla kuvattaessa (kuva 10). Linsseistä lähempänä näytettä oleva on objektiivi ja lähellä silmää tai kameraa oleva on okulaari. Kolme linssiin liittyvää tärkeää ominaisuutta ovat suurennos, joka kertoo kuinka moninkertaiseksi mikroskooppi suurentaa näytteen, tarkkuus, joka kertoo, miten terävänä kuva nähdään sekä kontrasti, joka viittaa erotuskykyyn eli millaisia rakenteita voidaan erottaa toisistaan. Valomikroskoopin hyvä puoli on, että sillä voidaan tutkia eläviä soluja. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Yleisesti valomikroskoopin tarkkuus ei riitä soluelinten tutkimiseen, mutta tätä voidaan helpottaa erilaisin keinoin. Tällainen on esimerkiksi fluoresenssimikroskopointi, jossa fluoresoivilla eli UV-valoa heijastavilla aineilla voidaan saada eri molekyylien sijainnit selville. Superresoluutiomikroskopiassa voidaan tarkastella fluoresoivia molekyyliä sekä määrittää niiden sijainti. Siinä voidaan myös yhdistää eri molekyylien informaatiota eri sijaintipaikoissa, jolloin saadaan aikaiseksi tarkempi kuva. Valomikroskopoinnin erikoismuoto on kirkkaan kentän mikroskopointi, jossa valo kulkee suoraan näytteen läpi. Värittömillä näytteillä näissä on usein huono kontrasti, mutta värjäämällä näytettä, saadaan myös kontrastia paremmaksi. Värjäysmenetelmät vaativat kuitenkin usein säilöttyjä soluja. Faasi-kontrastimikroskopiassa (*phasecontrast microscopy*) näytteen tiheyserot saavat aikaan paremman kontrastin. Se on käytännöllinen erityisesti elävien pigmentoimattomien solujen tutkimisessa. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Valomikroskoopilla voidaan saada aikaan myös kolmiulotteista kuvaa. Tällaisia valomikroskopoinnin erikoistekniikoita on kolme: Nomarskin mikroskopointi eli DIC-mikroskopointi (*differential-interference-contrast microscopy*), konfokaalimikroskopia (*confocal microscopy*) sekä dekonvoluutiomikroskopia (*deconvolution microscopy*). Nomarskin mikroskopiassa optiset muokkaukset saavat näytteeseen aikaan tiheyseroja, jolloin kuva on kolmiulotteisen oloinen. Konfokaalimikroskopiassa laserin avulla saadaan häivytettyä tarpeeton valo, minkä vuoksi paksut näytekerrokset näkyvät ohuina levyinä. Käyttämällä useita eri levyjä saadaan aikaiseksi kolmiulotteinen kuva. Dekonvoluutiomikroskopiassa useiden eri polttopistelevyjen aikaansaamia kuvia analysoidaan digitaalisella ohjelmalla, jolloin lopputuloksena on terävä kolmiulotteinen kuva. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 9. Valomikroskooppi. (Megías M *et al.* 2019)



Kuva 10. Näyte valomikroskoopilla katsottuna. Näytteenä on ihmisen posken soluja, jotka on värjätty metyleenisinisellä. (BBC Bitesize n.d)

Soluelinten tutkimiseen vaaditaan elektronimikroskooppia. Niissä elektronisäde kulkee joko aineen läpi tai pyyhkäisee sen pintaa. Elektronimikroskoopeilla ei voida tutkia eläviä soluja, sillä solu kuolee näytettä valmistettaessa. Elektronimikroskoopit on jaettu kahteen päätyyppiin: pyyhkäisyelektronimikroskoopeihin (*scanning electron microscope*, SEM) ja läpivalaisuelektronimikroskoopeihin (*transmission electron microscope*, TEM). Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla tutkitaan näytteen pintaa, joka usein näytettä valmisteltaessa pinnoitetaan ohuella kultakerroksella. Saatu kuva on kolmiulotteinen kuva näytteen pinnasta (kuva 11a). Saadut kuvat ovat mustavalkoisia, mutta ne värjätään usein keinotekoisesti, jolloin saadaan korostettua tiettyjä haluttuja rakenteita.

Läpivalaisumikroskoopilla voidaan tutkia myös solun sisäisiä rakenteita, sillä elektronisäde kulkee ohuen näytekerroksen läpi samaan tapaan kuin valo valomikroskoopissa. Solunäytteeseen lisätään yleensä raskasmetalleja, jotka kiinnittyvät tiettyyn solun rakenneosaan. Tällöin raskasmetalleja kertyy enemmän juuri niiden rakenneosien ympärille, jolloin alueiden tiheys on suurempi kuin muualla solussa. Tällaisten alueiden läpi kulkee siis vähemmän elektroneja, jolloin ne näyttävät tummemmilta. Syntyvä kuvio on läpikulkeneiden elektronien muodostama kuvio (kuva 11b). Läpivalaisumikroskoopissa linssinä toimivat elektromagneetit, jotka saavat aikaan elektronien kulkureitin muuttumisen niin, että kuvio saadaan näkyviin näytölle. Lopputulokseen voidaan vaikuttaa valmisteluilla, esimerkiksi leikkaussuunta vaikuttaa. Leikkaussuunnaksi voidaan valita joko pitkittäinen tai läpileikkaus. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 11. Värjätyt kuvat, jotka on otettu pyyhkäisyelektronimikroskoopilla ja läpäisyelektronimikroskoopilla tarkastelluista punasolunäytteistä. (Happonen *et al.* 2009)

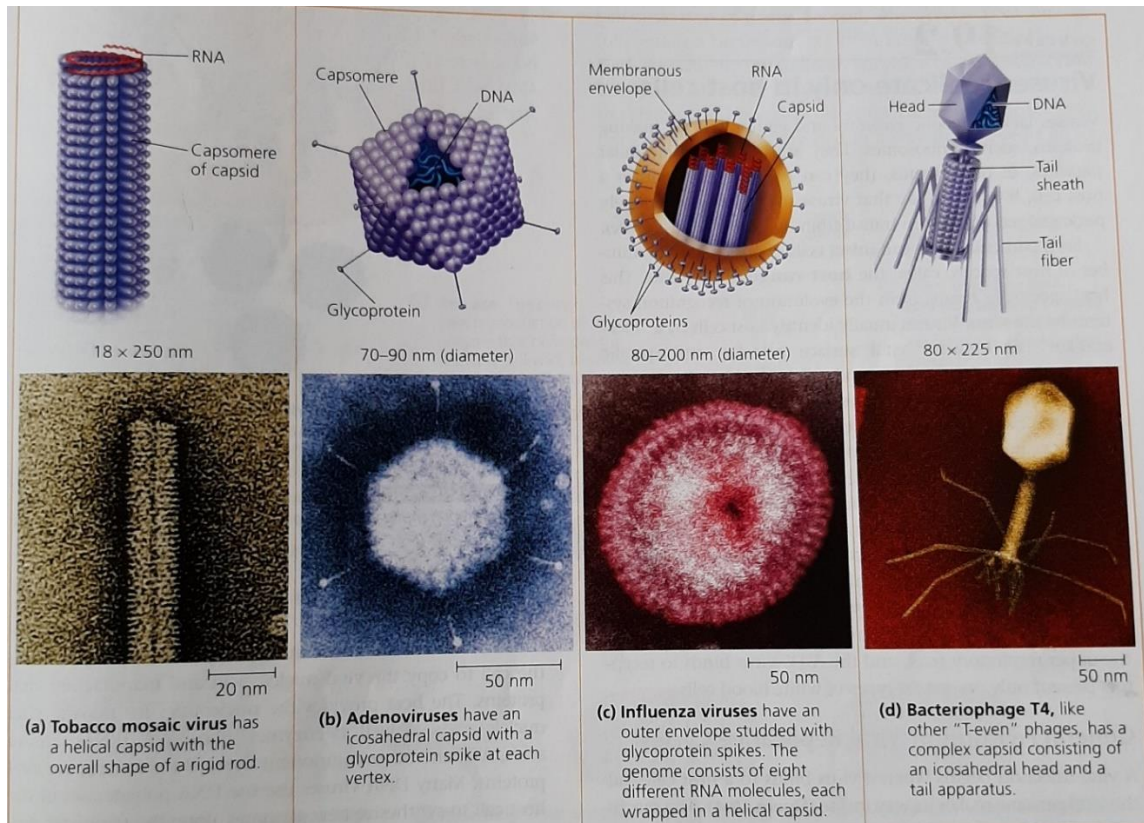
## 2.4 Viruksen rakenne ja lisääntyminen

Eliöryhmäluokittelun ulkopuolelle jäävät virukset, sillä ne eivät pysty lisääntymään ilman jonkin eliön apua. Niillä ei myöskään ole omaa aineenvaihduntaa. Ne ovat paljon eliöitä pienempiä, jotkut jopa ribosomia pienempiä. Virukset toimivat yleensä patogeneinä eli taudinaiheuttajina ja jokaisella viruksella on tietty eliö eli isäntä, jonka sisällä se voi lisääntyä. Esimerkiksi tupakan mosaiikkivirus voi lisääntyä vain tupakkakasveissa, tietty bakteriofagi voi lisääntyä vain tiettyntyyppisen bakteerin sisällä ja tuhkarokkivirus vain ihmisessä. Osa viruksista voi kuitenkin lisääntyä myös useammassa saman eliötyypin eliöissä, vaikkapa eläimissä tai nisäkkäissä. Tällaisia ovat esimerkiksi aivotulehdusta hyttysillä, linnuilla, hevosilla ja ihmisillä aiheuttavat Länsi-Niilin virus sekä hevoseläinten aivotulehdusta

aiheuttavaan virusheimoon kuuluvat virukset. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Yleensä virukset ovat erikoistuneet eliön tiettyihin soluihin, kuten flunssavirus, joka on erikoistunut lisääntymään ylähengitysteiden soluissa tai HI-virus, joka lisääntyy vain tiettytyypisissä valkosoluissa. Eläimillä virukset voivat myös mutatoitua niin, että jokin virus kykeneekin sairastuttamaan toisen eläimen, kuten ihmisen. Näin on esimerkiksi influenssavirusten sekä koronavirusten kohdalla. Virus koostuu nukleiinihaposta sekä sitä ympäröivästä proteiinikapsidista. Nukleiinihappona voi toimia niin DNA kuin RNAkin ja molemmat voivat esiintyä sekä kaksi- että yksijuosteisina. Esimerkiksi herpesviruksilla on kaksijuosteinen DNA ja parvoviruksilla yksijuosteinen DNA. Suurin osa DNA-viruksista kulkeutuu soluissa tumaan, jotta ne voivat lisääntyä. Kaksijuosteista RNAta löytyy esimerkiksi ihmisillä ripulia aiheuttavasta rotaviruksesta ja yksijuosteista RNAta retroviruksilta, kuten HI-virukselta. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

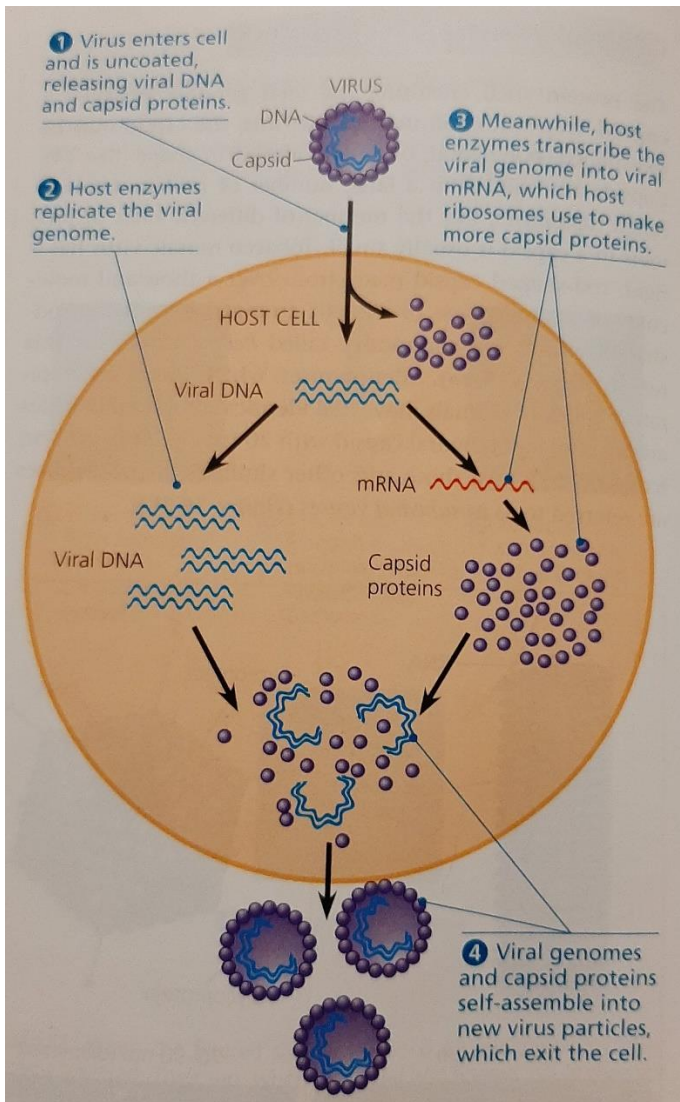
Perimää ympäröivä proteiinikapsidi voi olla eri virustyypeillä (kuva 13) eri mallinen. Esimerkiksi tupakan mosaiikkivirus on sauvamainen ja usein heliksiksi kiertynyt (kuva 13a), kun taas adenovirus on kahdestakymmenestä säännöllisestä kolmiosta muodostuva monitahokas ikosaedri (kuva 13b). Joillakin viruksilla kapsidia ympäröi vielä isäntäsolun lipideistä ja proteiineista koostuva vaippa, johon on usein kiinnittyneenä myös viruksen proteiineja ja glykoproteiineja. Sen tarkoituksena on helpottaa isännän tartuttamista. Tällainen virus on esimerkiksi influenssavirus (kuva 13c). Pinnan proteiinit ovat joko hemagglutiineja (H) tai neuraminidaaseja (N). Hemagglutiineja on 16 erilaista ja ne auttavat virusta kiinnittymään isäntäsoluun. Neuraminidaaseja on vain 9 erilaista ja ne toimivat entsyyminä, joka helpottaa uusien virusten vapauttamista isäntäsolusta. Vesilinnuilla esiintyy kaikkia mahdollisia kombinaatioita näistä. Proteiinikapsidin rakenne voi olla myös huomattavasti monimutkaisempi, kuten bakteriofagi T4:llä (kuva 13d). (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 13. Erilaisia viruksia. a) heliksimäinen tupakan mosaikkivirus, b) ikosaedranmuotoinen adenovirus, c) influenssavirus, jolla on myös erillinen proteiineista ja lipideistä koostuva vaippa, d) bakteriofagi T4. (Reece *et al.* 2011)

Viruksen lisääntymisen ideana on, että se saa solun tuottamaan viruksen osia, joista solu sitten kokoaa vielä uusia viruksia. Tätä kutsutaan viruksen replikaatioksi (kuva 14). Viruksen lisääntyminen solussa vaikuttaa yleensä eniten viruksen proteiinisynteesiin, koska viruksen infektoima solu tuottaa viruksen tarvitsemia proteiineja. Virus sitoutuu isäntäsoluun ja viruksen genomi siirtyy solun sisälle. Virukset siirtyvät soluun sisälle eri tavoin virustyyppin mukaan vaihdellen. Ihmisten virukset siirtyvät solun sisään useimmiten joko endosytoosilla tai lipidikalvolla. Virukset voivat myös sulautua solukalvoon niin, että viruksen perimä vapautuu sisälle soluun. Virus ottaa solussa vallan ja alkaa ohjata solua kopioimaan viruksen nukleiinihappoja ja tuottamaan viruksen proteiineja, joihin isäntäsolu tarjoaa raaka-aineet. Luodut viruksen osat yhdistyvät kokonaisuksi viruksiksi ja poistuvat isäntäsolusta levitäkseen uusiin soluihin. Tämä voi tapahtua joko siten, että isäntäsolu säilyy ehjänä tai niin, että virukset hajottavat isäntäsolun solukalvon. Jälkimmäinen tapa tuhoaa isäntäsolun, mikä saa aikaan ison osan oireista. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)





Kuva 14. Viruksen replikaatiokierto. (Reece *et al.* 2011)

Edellä esiteltyyn replikaatiokiertoon vaikuttaa esimerkiksi viruksen perimä. Eläinten DNA-virusten perimä kulkeutuu solun sisällä tumaan, jossa se voi joko liittyä osaksi eläimen perimää, jota solu sitten kopioi tai vaihtoehtoisesti toimia erillisenä minikromosomina, jota kopioidaan. Osa minikromosomeista voi myös jäädä tumaan parantumisen jälkeenkin, kuten herpesviruksella, jonka perimä on kaksijuosteista DNAta. Tämän vuoksi fyysinen tai henkinen stressi voi laukaista herpesviruksen tuottamat oireet koko ihmisen eliniän ajan. Kopiointientsyiminä DNA-virukset käyttävät isäntäsolun DNA-polymeraasia, joka tavallisestikin huolehtii solussa DNAn kopioimisesta solujen jakautuessa. Eläinten RNA-virusten perimä jää solulimaan, jossa sitä voidaan käsitellä virustyyppin mukaan kolmella eri tavalla. Se voi toimia itse lähetti-RNAna, jota kopioidaan proteiinien tuottamiseksi tai sitä voidaan käyttää mallijuosteena lähetti-RNAn luomiseksi solussa. Nämä virukset kuljettavat mukanaan RNA-polymeraasia, joka voi käyttää mallijuosteena RNAta. Kolmas vaihtoehto on,

että RNA voidaan muuttaa käänteiskopioijaentsyymien avulla DNAksi. Näin toimivia viruksia sanotaan retroviruksiksi, sillä yleensä voidaan tuottaa vain DNAsta RNA:ta, mutta nämä virukset toimivatkin päinvastoin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Lähes kaikilla ihmisen RNA-viruksilla on lipidikalvo, mutta on myös DNA-viruksia, joilta se löytyy. Yleensä lipidikalvo irtoaa solukalvosta, vaikkakin siinä on mukana myös viruksen genomien määräämiä rakenteita. Lipidikalvon luominen ei välttämättä tapa isäntäsolua. Vaihtoehtoisesti kalvo voi olla myös esimerkiksi tumakotelosta muodostunutta kalvoa tai Golgin laitteelta irronnut kalvo. Esimerkiksi herpesviruksen genomi saa ensin tumasta poistuessaan ympärilleen yhden kalvon tumakotelosta, joka solulimaan päätyessään hajoaa. Tämän jälkeen herpesvirukset kootaan Golgin laitteessa, josta se saa uuden kalvon. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3 Proteiinit

Proteiinit ovat elimistön rakennusaineita, jotka koostuvat aminohapoista. Osa aminohapoista on välttämätöntä saada ravinnon mukana ja osan elimistö pystyy itse tuottamaan. Ihmisillä aikuisten on saatava ravinnosta kahdeksan aminohappoa ja lasten vielä yksi enemmän, histidiini. Eläinravintoa syödessä ravinnosta saatavia aminohappoja on aina oikeassa suhteessa ja niistä saadaan kaikkia tarvittavia aminohappoja eli niiden proteiinit ovat täydellisiä. Sen sijaan kasviravinnon proteiinit ovat epätäydellisiä eli ainakin yhtä aminohappoa saadaan liian vähän tai ei lainkaan. Esimerkiksi maissista saadaan liian vähän tryptofaania ja lysiniä, kun taas pavuissa on liian vähän metioniinia. Sen vuoksi kasvissyöjien on tarkkailtava saamiensa aminohappojen monipuolisuutta ja riittävyyttä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Vitamiinit ovat toinen tärkeä ravintoaineryhmä. Osa vitamiineista on rasva- ja osa vesiliukoisia. Rasvaliukoisiin kuuluvat A-, D-, E- ja K-vitamiinit ja vesiliukoisiin B- ja C-vitamiinit. Vitamiinien rakenne on hyvin vaihteleva, mutta osa niistä on rakenteellisesti proteiineja. Esimerkiksi B<sub>2</sub>-vitamiini muutetaan elimistössä flaviiniadeniinukleotidiksi (FAD), joka toimii koentsyyminä aineenvaihdunnan prosesseissa. B-vitamiinit ovatkin yleisesti koentsyymejä, jotka proteiiniin liittyneenä saavat aikaan toimivan entsyymin. Ihminen tarvitsee lisäksi myös välttämättömiä rasvahappoja sekä pieniä määriä mineraaleja kehon toiminnan takaamiseksi. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

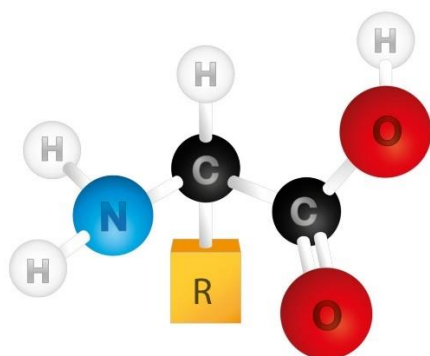
Ihmiskehossa proteiinit pilkotaan ensin vatsassa, jossa pepsiinientsyymi paloittelee ne pieniksi polypeptideiksi. Nämä siirtyvät ohutsuoleen, jossa haiman tuottamat trypsiini- ja kymotrypsiinientsyymit katkaisevat sidoksia tiettyjen aminohappojen vierestä ja hajottavat näin polypeptidit entistä pienemmiksi. Tämän jälkeen haiman erittämät karboksipeptidaasientsyymit pilkkovat ne joko pieniksi peptideiksi tai yksittäisiksi aminohapoiksi. Seuraavaksi suolen epiteelin tuottamat dipeptidaasit karboksipeptidaasi ja aminopeptidaasi irrottavat peptideistä yhden aminohapon kerrallaan aloittaen peptidin vastakkaisista päistä, jolloin tuloksena on yksittäisiä aminohappoja. Proteiinien pilkkominen siis vaatii paljon entsyymejä, jotka usein koostuvat myös proteiineista. Proteiinien pilkkomisen lisäksi entsyymit ovat tärkeitä myös muita ravintoaineita, kuten hiilihydraatteja, nukeliinihappoja ja rasvahappoja pilkottaessa. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Eliöistä löytyviä proteiineja voidaan hyödyntää evoluution tutkimisessa ja lajien välisten suhteiden määrittämisessä. Esimerkiksi hemoglobiinimolekyylissä  $\beta$ -polypeptidissä on ihmisen ja gorillan välillä vain yhden aminohapon ero. Ihmisen ja sammakon  $\beta$ -polypeptideissä ero on 67 aminohappoa. Tämän perusteella voidaan päätellä, että ihminen ja gorilla ovat läheisempää sukua keskenään kuin ihminen ja sammakko. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3.1 Proteiinien rakenne

Aminohapot koostuvat hiilestä (C), typestä (N), vedystä (H) ja hapesta (O). Niissä on aina keskushiileen eli  $\alpha$ -hiileen sitoutuneena vety (-H), aminoryhmä (-NH<sub>2</sub>) sekä karboksyyliiryhmä (-COOH). Lisäksi keskushiileen on liittyneenä jokaiselle aminohapolle ominainen sivuryhmä (-R) (kuva 15), joka voi olla yksinkertaisimmillaan vety, kuten glysiinillä. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)





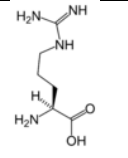
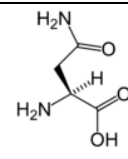
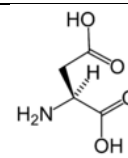
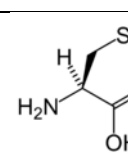
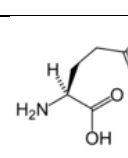
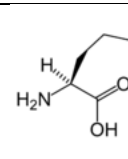
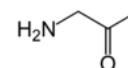
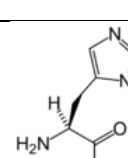
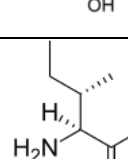
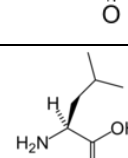
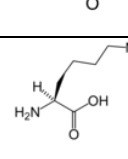
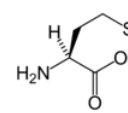
Kuva 15. Aminohapon rakenne. (Pedanet Forssa n.d)

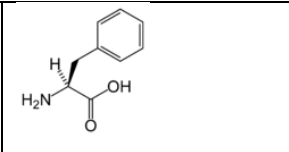
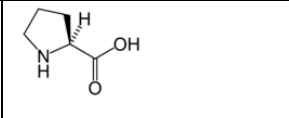
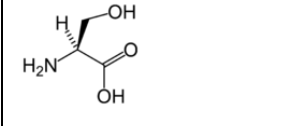
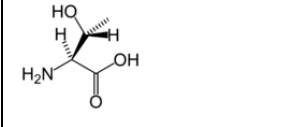
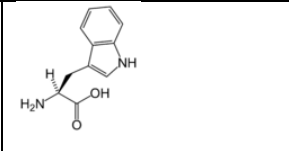
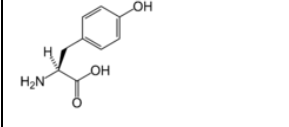
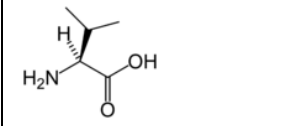
Aminohapot voivat toimia niin vedyn vastaanottajina kuin luovuttajinakin. Fysiologisessa liuoksessa, jonka pH on noin 7,4, ne esiintyvät useimmiten kahtaisionina, jossa karboksyyliiryhmän vety on siirtynyt aminoryhmään eli karboksyyliiryhmä kutistuu  $\text{COO}^-$ :ksi ja aminoryhmästä tulee  $\text{NH}_3^+$ . Kahtaisionista voidaan käyttää myös termejä dipolaarinen ioni tai zwitterioni. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Erilaisia aminohappoja, joita koodaa jokin geneettinen koodi, on 20 erilaista (Taulukko 1). Ne eroavat toisistaan vain sivuryhmän rakenteen perusteella. Sivuryhmän fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet määrittävät aminohapon yksilölliset piirteet ja vaikuttavat siten niiden rooliin polypeptidissä. Sivuryhmiä on usein suhteessa niin paljon, että ne määräävät koko molekyylin kemiallisen luonteen. Proteiineissa esiintyy vain L-enantiomeerejä aminohapoista. Aminohapot on jaettu neljään eri ryhmään sivuryhmän ominaisuuksien perusteella. Näitä ryhmiä ovat poolittomat, pooliset, happamat ja emäksiset aminohapot. Aminohapoille on käytössä nimien lisäksi yksi- ja kolmikirjaimiset lyhenteet. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

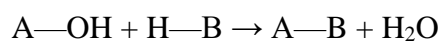
Taulukko 1. Aminohappojen nimet, rakenteet sekä kolmi- ja yksikirjaimiset lyhenteet sekä sivuryhmän luokittelu.

Aminohappo	Rakenne (Wikipedia- vapaa tietosanakirja, Aminohapot n.d)	Kolmi- kirjaiminen lyhenne	Yksi- kirjaiminen lyhenne	Sivu- ryhmän luokittelu
Alaniini		Ala	A	pooliton

Arginiini		Arg	R	emäs
Asparagiini		Asn	N	poolinen
Asparagiinihappo		Asp	D	happo
Kysteiini		Cys	C	poolinen
Glutamiini		Gln	Q	poolinen
Glutamiinihappo		Glu	E	happo
Glysiini		Gly	G	pooliton
Histidiini		His	H	emäs
Isoleusiini		Ile	I	pooliton
Leusiini		Leu	L	pooliton
Lysiini		Lys	K	emäs
Metioniini		Met	M	pooliton

Fenyylialaniini		Phe	F	pooliton
Prolini		Pro	P	pooliton
Seriini		Ser	S	poolinen
Treoniini		Thr	T	poolinen
Tryptofaani		Trp	W	pooliton
Tyrosiini		Tyr	Y	pooliton
Valiini		Val	V	pooliton

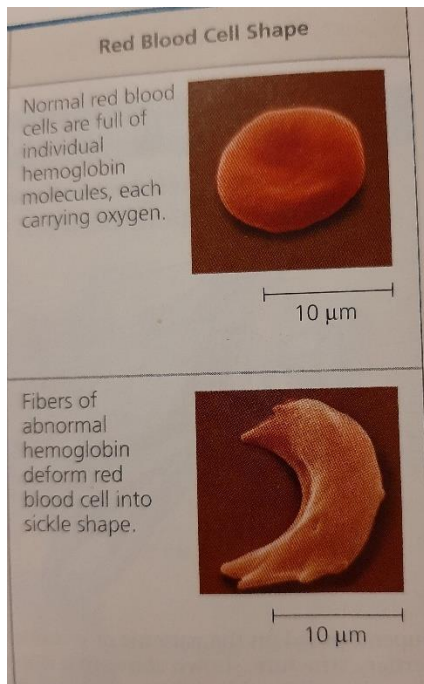
Aminohapot liittyvät toisiinsa peptidisidoksilla muodostaen aminohappoketjun eli polypeptidin. Peptidisidoksen muodostumiseen tarvitaan kaksi aminohappoa. Toisen aminohapon aminoryhmä reagoi toisen aminohapon karboksyyli ryhmän kanssa, reaktiossa lohkeaa vettä (kuva 16). Syntyneen dipeptidin päätä, jossa on aminoryhmä sanotaan aminopääksi ja päätä, jossa on karboksyyli ryhmä karboksyyli pääksi. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 16. Yksinkertaistettu peptidisidoksen muodostuminen.

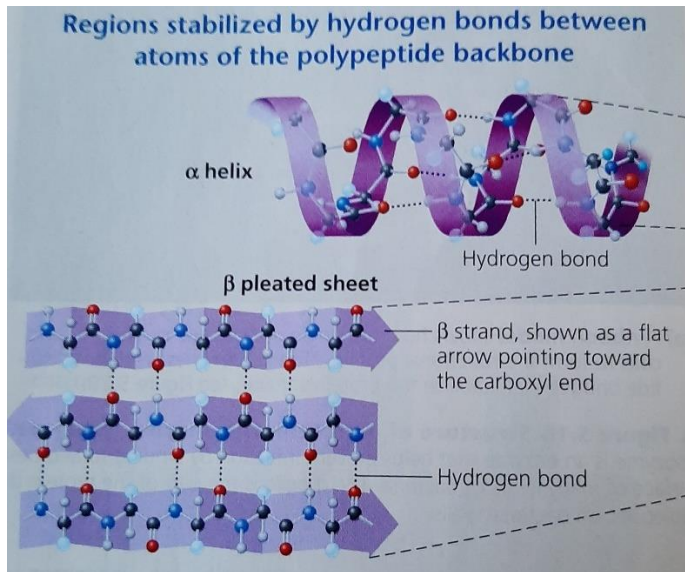
Aminohappoketju on proteiinien primaarirakenne, jonka aminohappojärjestys on jokaisella proteiinilla erilainen. Virhe proteiinin aminohappojärjestyksessä voi johtaa vakaviinkin sairauksiin. Esimerkiksi sirppisoluanemiassa yksi hemoglobiinin aminohappoketjun aminohapoista on vaihtunut toiseen, tarkemmin valiini on vaihtunut glutamiinihappoon. Tästä seuraa, että hemoglobiini ei laskostu oikein ja punasolut ovat sirppimäisiä eivätkä pyöreitä,

kuten normaalisti (kuva 17). Sirppisoluanemiaa sairastavan punasolut voivatkin jäädä jumiin ohuisiin hiussuoniin. Lisäksi niiden hapenkuljetuskyky on heikompi kuin normaaleiden punasolujen. Sirppimäiset punasolut ovat kuitenkin malaria-alueella hyödyllisiä, sillä malarialoiset eivät pysty lisääntymään niissä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



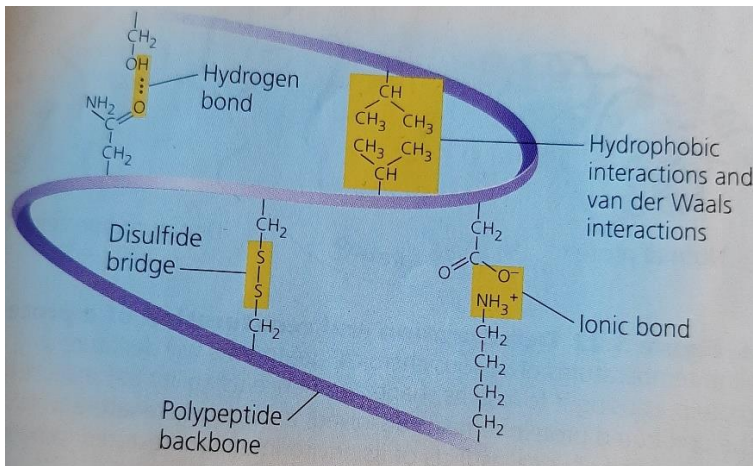
Kuva 17. Normaali (yläpuolella) ja sirppisoluanemiaa sairastavan (alapuolella) punasolu. (Reece *et al.* 2011)

Proteiinien sekundaarirakenteessa aminohappoketju laskostuu peptidirungon välisten vetysidosten avulla. Sekundaarirakenteella on kaksi eri muotoa:  $\alpha$ -kierre ja  $\beta$ -laskos (kuva 18). Useimmiten proteiinissa esiintyy molempia, mutta niiden suhteet voivat vaihdella huomattavasti. Esimerkiksi hiusten rakenteen proteiini  $\alpha$ -keratiini on lähes täysin  $\alpha$ -kierrettä kun taas esimerkiksi hämähäkin verkkojen silkki on lähes kokonaan  $\beta$ -laskosta.  $\alpha$ -kierteessä joka neljännen aminohapon väliin muodostuu vetysidos. Rakenne on melko heikko.  $\beta$ -laskoksessa aminohappoketjun kaksi kohtaa asettuvat vierekkäin ja näiden vierekkäisten ketjun osien väliin muodostuu vetysidoksia. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



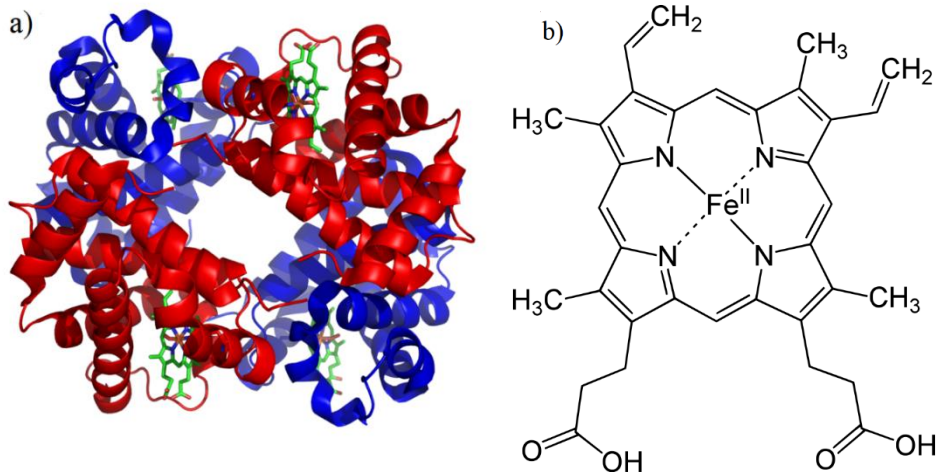
Kuva 18. Proteiinien sekundaarirakenteen  $\alpha$ -kierre ja  $\beta$ -laskos. (Reece *et al.* 2011)

Proteiinien rakenteen kolmas taso eli tertiaarirakenne on proteiinin kolmiulotteinen muoto, joka muodostuu, kun sivuketjujen välille syntyy vuorovaikutuksia. Nämä stabilisoivat rakenteen niin, että proteiinista tulee toimiva. Mahdollisia vuorovaikutuksia on useita erilaisia (kuva 19). Hydrofobiset vuorovaikutukset muodostuvat aminohappojen, joiden sivuketju on hydrofobinen, välille. Vuorovaikutus syntyy van der Waalsin vuorovaikutusten avulla kahden lähekkäin olevan sivuketjun väliin. Hydrofobiset sivuketjut ryhmittyvät lähekkäin proteiinin laskostuessa toimivaan muotoonsa. Poolisten sivuketjujen välille syntyy vetysidoksia ja positiivisten ja negatiivisten sivuketjujen välille ionisidoksia. Kaikki muodostuvat vuorovaikutukset ovat heikkoja vuorovaikutuksia, mutta niiden yhteisvaikutus saa aikaan proteiinin toimivan rakenteen. Lisäksi rakennetta voivat joissain proteiineissa vahvistaa kahden kysteiinin välille syntyvät rikkisillat. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

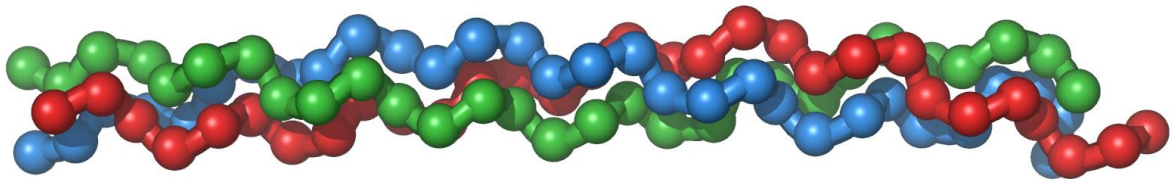


Kuva 19. Tertiaarirakenteen stabilisoivat sivuketjujen vuorovaikutukset. (Reece *et al.* 2011)

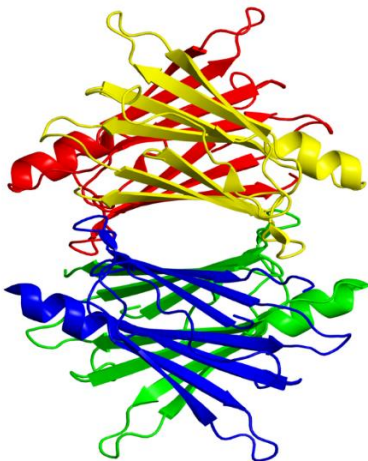
Proteiinin kvaternaarirakenteella tarkoitetaan useiden polypeptidien muodostamaa kokonaisuutta, joka on toimiva proteiini. Osa proteiineista koostuu kahdesta tai useammasta polypeptidiketjusta, jotka on heikkojen vuorovaikutusten avulla liitetty yhteen toimivaksi makromolekyyliksi. Nämä polypeptidiketjut voivat olla keskenään samanlaisia tai erilaisia. Tällaisia proteiineja ovat esimerkiksi hemoglobiini (kuva 20), kollageeni (kuva 21) ja transtyretiini (kuva 22). Hemoglobiini (kuva 20a) on pallomainen proteiini, joka koostuu kahdesta  $\alpha$ -osasta ja kahdesta  $\beta$ -osasta, jotka molemmat ovat pääsääntöisesti  $\alpha$ -heliksiä. Lisäksi jokaiseen osaan on kiinnittynyt hemiryhmä (kuva 20b), jonka keskellä on myös happea kuljettava rauta-atomi. Kollageeni on säiemäinen proteiini, joka koostuu kolmesta keskenään samanlaisesta kolmoiskierteellä olevasta osasta, jotka on kuvassa merkitty selvyuden vuoksi eri väreillä. Transtyretiini on pallomainen proteiini, joka koostuu neljästä keskenään samanlaisesta polypeptidiketjusta. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 20. Hemoglobiinin ja sen osan hemiryhmän rakenne. (Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Hemoglobiini n.d)



Kuva 21. Kollageenin rakenne. (Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Kollageeni n.d)

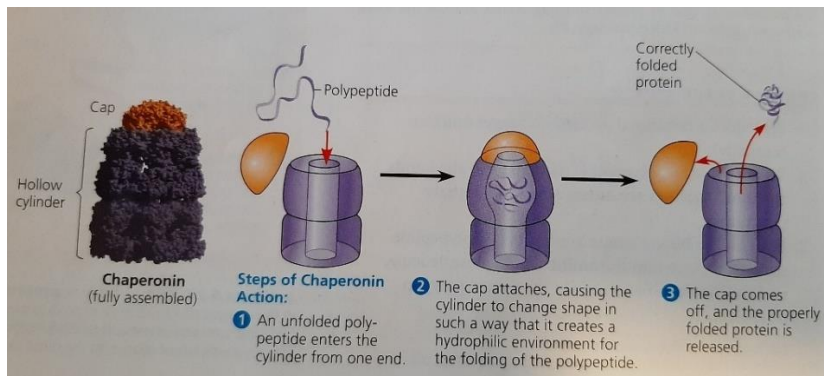


Kuva 22. Transtyretiinin rakenne. (Wikipedia – The Free Encyclopedia, Transthyrethin n.d)

Proteiinien laskostumiseen soluissa vaikuttavat muut proteiinit, joita kutsutaan saperoniproteiineiksi tai esiliinaproteiineiksi. Saperoniproteiinit eivät määrittele polypeptidin lopullista rakennetta, vaan ne pitävät polypeptidin eristettynä optimaalisissa oloissa, kun polypeptidi laskostuu spontaanisti. Osa esiliinaproteiineista esimerkiksi ottaa polypeptidin sisäänsä laskostumisen ajaksi (kuva 23). Saperoneissa on lisäksi molekyylijä, jotka



tarkistavat, että saperonin sisällä oleva proteiini laskostuu oikein. Jos proteiini on laskostunut väärin, se voidaan ohjata joko hävitettäväksi tai laskostumaan uudelleen.



Kuva 23. Saperonin toiminta. (Reece *et al.* 2011)

Proteiinien laskostumiseen vaikuttavat myös fysikaaliset ja kemialliset olosuhteet. Jos olosuhteet eivät ole optimaaliset, voivat heikot sidokset ja vuorovaikutukset hävitä, jolloin proteiini purkautuu ja menettää luonnollisen muotonsa eli denaturoituu. Siinä olosuhteiden muutos häiritsee vetysidosten, ionisidosten ja disulfidisiltojen vuorovaikutuksia, jotka saavat aikaan proteiinin luonnollisen muodon. Denaturoitunut proteiini on biologisesti inaktiivinen eli se ei toimi. Tällaisia olosuhteiden muutoksia ovat muutokset happamuudessa, suolapitoisuudessa, lämpötilassa ja liuoksen koostumuksessa. Lämpötilan muutoksena varsinkin lämpötilan nostaminen on proteiineille tuhoisaa. Toisaalta lämpötilan nostoa hyödynnetään esimerkiksi kananmunia keitetessä, jolloin kananmunan valkuaisen proteiinit muuttuvat liukenemattomiksi ja kiinteiksi. Toisaalta korkea kuume on ihmiskehon elimistön proteiineille huono, sillä denaturoitumisen myötä ne eivät enää toimi. Solujen liuos on vesiliuos ja näin ollen proteiineille luonnollinen ympäristö on poolinen liuos. Jos proteiinit siirretään poolisesta poolittomaan liuokseen, kuten eetteriin tai kloroformiin, ne laskostuvat uudelleen niin, että hydrofobiset osat ovat ulospäin eli kohti liuotinta ja hydrofiiliset osat sisäänpäin. Mikäli proteiini säilyy olosuhteiden muuttuessa liuenneena, on mahdollista, että se olosuhteiden palatessa normaaleiksi renaturoituu eli laskostuu uudelleen luonnolliseen muotoonsa. Tämä on mahdollista, koska proteiinin rakenteen tietyissä olosuhteissa määrää aminohappojärjestys. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

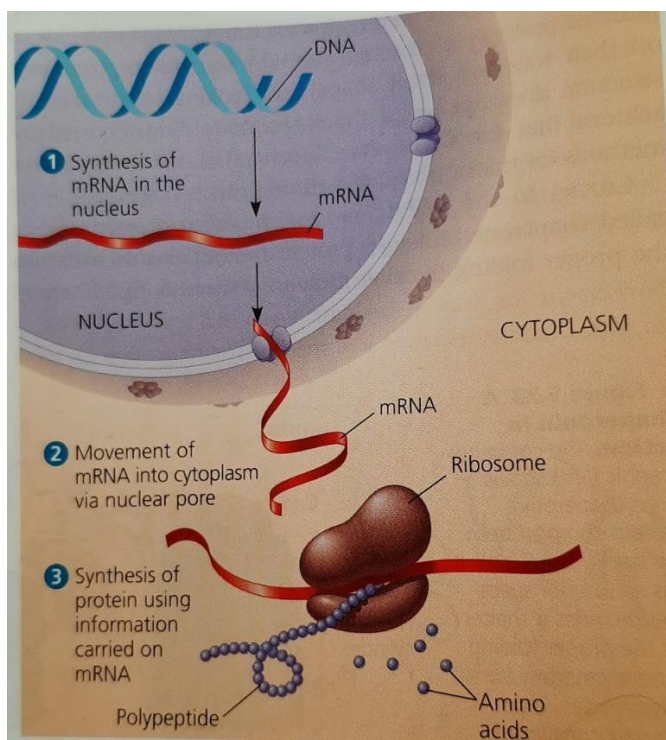
Joskus proteiinit voivat kaikesta huolimatta laskostua soluissa väärin. Tämä aiheuttaa ongelmia. Esimerkiksi transtyretiinin väärin laskostuminen aiheuttaa erästä dementian tyyppiä. Myös väärinlaskostuneiden proteiinien kasaantuminen voi aiheuttaa useita sairauksia



kuten Alzheimerin tautia, Parkinsonin tautia ja hullun lehmän tautia. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Laboratoriossa proteiinien kolmiulotteisen rakenteen määrittämiseen käytetään kolmea tekniikkaa, jotka täydentävät toisiaan ja auttavat ymmärtämään proteiinien rakennetta ja toimintaa. Ensimmäinen näistä on röntgenkristallografia, jonka avulla on saatu pääteltyä hemoglobiinin ja sen sukulaisproteiinien rakenne vuonna 1959. Toinen vaihtoehto on NMR-spektroskopia, joka ei vaadi proteiinien kristalloitumista ja kolmantena vaihtoehtona käytetään bioinformatiikkaa, jossa tietokone ennustaa proteiinin kolmiulotteisen rakenteen sen aminohappojärjestyksestä. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solussa proteiinisynteesissä (kuva 24) solu tuottaa aminohappoketjun geenien ohjeiden mukaisesti. Geenit ovat osa kromosomeja, jotka muodostuvat DNA:sta. Proteiinisynteesissä geneistä muodostetaan tumassa lähetti-RNA silmukoinnilla. Lähetti-RNA kulkeutuu solulimaan ja siellä ribosomeihin. Ribosomeissa aminohappoketju muodostuu, kun siirtäjä-RNA kuljettaa paikalle aminohappoja, joiden kiinnittymistä toisiinsa lähetti-RNA ohjaa. Myös prokaryoottisolut, joilla tumaa ei ole, käyttävät lähetti-RNAta proteiinien tuottamiseen. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 24. Proteiinisynteesi solussa. (Reece *et al.* 2011)

## 3.2 Proteiinien toiminta

Ihmiskehossa proteiineilla on monia tärkeitä tehtäviä. Ne esimerkiksi osallistuvat kemiallisten reaktioiden nopeuttamiseen, elimistön puolustamiseen, aineiden varastointiin ja kuljetukseen, solujen väliseen kommunikointiin, kehon liikkumiseen ja rakenteen tukemiseen. Sama proteiini voi myös osallistua usean tehtävän hoitamiseen. Varastoproteiinit ovat aminohappovarastoja. Niitä ovat esimerkiksi kaseiini, joka on maidon proteiini, kasvien siementen proteiinit sekä ovalbumiini, jota löytyy kananmunan valkuaisesta. Proteiini voi myös toimia kiinnityspintana, johon toinen molekyyli kiinnittyy tai jonka ympärille toinen molekyyli kiertyy. Jälkimmäisestä tapauksesta esimerkkinä on kromosomi, jossa DNA-molekyyli on kiertyneenä histoni-proteiinien ympärille. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Supistumiskykyiset ja moottoriproteiinit osallistuvat eliön liikkeen tuottamiseen. Esimerkiksi moottoriproteiinit ohjaavat karvojen ja siimojen sekä vastaavien rakenteiden liikettä ja esimerkiksi ihmisellä aktiini ja myosiini saavat aikaan lihasten supistumisen. Tukiproteiinit nimensä mukaisesti tukevat rakenteita eliöissä. Niitä ovat esimerkiksi hiusten, sarvien, höyhenien ja muiden iholisäkkeiden keratiini, silkkikuidut hyönteisten ja hämähäkkien koteloissa ja verkoissa sekä eläinten sidekudoksen syisen rungon muodostavat kollageeni ja elastaaniset proteiinit. Puolustusjärjestelmän proteiinit osallistuvat kehon suojelemiseen erilaisia patogeenien eli taudinaiheuttajien aiheuttamia sairauksia vastaan. Esimerkiksi vasta-aineet tekevät toimintakyvyttömiksi ja auttavat tuhoamaan viruksia ja bakteereja. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Elimistössä reaktioita nopeuttavat entsyymit, joista suurin osa on proteiineja. Ne katalysoivat reaktioita eli nopeuttavat niitä kulumatta itse samalla. Soluissa niitä on usein osana solukalvoa tai soluelinten kalvorakenteita. Solukalvon kalvoproteiinit voivat toimia entsyymeinä, joiden aktiivinen alue on solun ulkopuolisessa matriksissa ja niihin voivat sitoutua solun ulkopuoliset molekyylit. Joskus useampi entsyymi voi myös muodostaa entsyymiketjun, jolloin ensimmäisen entsyymin katalysoima tuote siirtyy seuraavalle entsyymille, joka katalysoi uutta reaktiota. Tällaiset entsyymiketjut ovat tärkeitä osia metabolisissa reiteissä. Esimerkiksi ruoansulatusjärjestelmän entsyymit katalysoivat sidosten hydrolysoitumista ruoka-ainemolekyyleissä. Entsyymit toimivat myös esimerkiksi DNA:n kahdentuessa sekä

muodostamassa uutta DNA-juostetta että korjaamassa jo tehtyyn juosteeseen tulleita virheitä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Kuljetusproteiinit huolehtivat nimensä mukaisesti aineiden kuljetuksesta. Kuljetusproteiineja ovat esimerkiksi hemoglobiini, joka kuljettaa veren mukana happea ympäri elimistöä sekä erilaiset kalvon kuljetusproteiinit, jotka kuljettavat molekyyliä solukalvon läpi joko sisään tai ulos solusta. Jotkin kuljetusproteiinit pystyvät kuljettamaan vain yhtä ainetta, mutta osa voi kuljettaa myös kahta tai useampaa ainetta samanaikaisesti. Osa kuljetusproteiineista on kanavaproteiineja, joilla on hydrofiilinen kanava, jonka läpi kuljetettavat aineet kulkevat. Jokaisen kanavan läpi voi kulkea vain tiettyjä vesiliukoisia aineita. Tällaisia proteiineja ovat esimerkiksi veden kuljetukseen erikoistuneet akvaporiniitit. Ihmisillä akvaporiniineja on paljon punasoluissa ja munuaissoluissa. Mikäli esimerkiksi munuaisten akvaporiniitit eivät toimisi, munuaiset eivät pystyisi säilömään vettä elimistöön vaan ihmisen erittäisi 180 litraa vettä joka päivä. Saman verran olisi tietenkin myös juotava, jotta elimistö pystyy toimimaan. Myös ionien kuljetukseen voidaan käyttää kanavaproteiineja, joista monet ovat porttikanavia. Porttikanavat avautuvat saatuaan jonkin ärsykkeen, joka voi olla esimerkiksi sähköinen ärsyke tai kuljetettavan molekyylin tai muun molekyylin kiinnittyminen porttikanavaproteiiniin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Toinen kuljetusproteiinien tyyppi ovat kantajaproteiinit, jotka kuljettavat molekyylin toiselle puolelle kalvoa muuttamalla muotoaan. Muodon muuttaminen saattaa vaatia energiaa ja kuljetusta voidaan tehdä myös konsentraation vastaisesti eli pienemmästä konsentraatiosta suurempaan. Kantajaproteiinit ovat spesifisiä joko jollekin tietylle aineelle tai tietylle aineryhmälle. Esimerkiksi punasolujen glukoosia kuljettavat kantajaproteiinit eivät pysty kuljettamaan fruktoosia, vaikka se on glukoosin rakenneisomeeri. Kantajaproteiinien toimimattomuudesta johtuva sairaus on esimerkiksi kystinuria, jossa munuaissolujen kysteiiniä sekä joitakin muita aminohappoja kuljettava proteiini puuttuu. Yleensä munuaissolut ottavat nämä aminohapot virtsasta ja palauttavat ne verenkiertoon. Kystinuriaa sairastavalla aminohapot kuitenkin kerääntyvät ja kristallisoituvat kivuliaiksi kiviksi munuaisiin. Kalvoproteiinien avulla tapahtuva kuljetus voi olla fasilitoitunutta diffuusiota tai aktiivista kuljetusta. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Signaalin viestinviejinä toimivat proteiinit, kuten reseptoriproteiinit ja hormonaaliset proteiinit. Näiden sitoutumisalueet ovat spesifejä eli niihin sopii vain tietty kemiallinen lähetti, kuten hormoni. Kalvoproteiinit osallistuvat toisten solujen tunnistamiseen sekä solujen

kiinnittymiseen toisiinsa ja solujenväliseen matriksiin tai solutukirankaan. Toisten solujen tunnistus perustuu siihen, että osa solukalvon glykoproteiineista voi toimia tunnistusmerkkeinä, joita toisten solujen kalvoproteiinit ovat erikoistuneet tunnistamaan. Esimerkiksi immuunijärjestelmän toiminta perustuu pääsääntöisesti toisten solujen tunnistamiseen, jolloin oman kehon ulkopuoliset solut voidaan tuhota. Tällainen tunnistaminen kestää yleensä vain hyvin vähän aikaa. Pidempikestoinen keino kommunikoida toisen solun kanssa on solujen välinen liitos. Tällöin vierekkäisten solujen kalvoproteiinit voivat kietoutua toisiinsa muodostaen esimerkiksi aukkoliitoksia tai tiiviitä liitoksia. Näiden liitosten kautta solut voivat esimerkiksi vaihtaa aineita keskenään. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Kalvoproteiinien ja solun ulkoisen matriksin väliset vuorovaikutukset voivat koordinoida niin solun ulkoisia kuin sisäisiäkin muutoksia. Solujen kalvoproteiinien ja solutukirangan mikrosäikeiden vuorovaikutukset auttavat solun muodon ylläpitämisessä sekä pitävät osan kalvoproteiineista paikoillaan. Solun ulkopuolinen molekyyli voi saada aikaan esimerkiksi solun muodon muutoksen, jota kalvoproteiini hyödyntää kuljettaakseen viestin solun sisälle. Reseptoriproteiinit reagoivat kemialliseen ärsykkeeseen. Ne vastaanottavat solun ulkopuolisia signaaleja. Tällaisia ovat esimerkiksi hermosolujen kalvoproteiinit, jotka havaitsevat läheisten hermosolujen vapauttamat signaalimolekyylit. Hormonaaliset proteiinit osallistuvat organismin toimintojen säätelyyn. Sellainen on esimerkiksi insuliini, joka lisää muiden kudosten kykyä ottaa talteen sokeria ja säätelee sen avulla veren sokeripitoisuutta. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solujen välistä säätelyä välittävät useimmiten kemialliset signaalit. Solujen ulkopinnan molekyylit kiinnittyvät toisiinsa ja välittävät näin viestejä solulta toiselle. Säätelyyn kuuluu kolme vaihetta: vastaanottaminen (*reception*), muuttuminen (*transduction*) ja vastaus (*response*). Vastaanottamisvaiheessa signaalimolekyyli kiinnittyy solun pintaproteiiniin. Muuttumisvaiheessa pintaproteiini muuttaa muotoaan jollakin tavalla, mikä siirtää signaalin samalla eteenpäin solulle useimmiten muiden molekyyliden välityksellä. Vastausvaiheessa solu reagoi signaaliin jollakin tavalla. Erilaisia reagoititapoja ovat esimerkiksi entsyymikatalyyysi, solutukirangan muuttuminen tai proteiineja tuottavien geenien aktivointi tumassa. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solujen välistä säätelyä tapahtuu paikallisesti ja pitkällä välimatkalla toisiinsa olevien solujen välillä. Paikallista säätelyä esiintyy toistensa läheisyydessä olevilla soluilla eli parakriinisesti.

Siinä signaalimolekyylit, kuten kasvutekijät, vapautetaan soluvälitilaan. Paikallista säätelyä on esimerkiksi synaptinen signaali hermosoluissa. Niissä hermosolu vapauttaa sähköisen signaalin saavuttua neurotransmitterit, jotka siirtyvät synapsin läpi kohdesolun pinnalle. Paikallinen säätely vaikuttaa usein fysiologisiin prosesseihin, kuten verenpaineeseen, hermoston toimintaan ja lisääntymiseen. Solu voi myös säädellä omaa toimintaansa, jolloin puhutaan autokriinisestä säätelystä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Pitkän matkan säätely on usein hormonien välittämää eli endokriinista säätelyä. Se toimii yhdessä hermoston kanssa, joka on elimistön toinen suuri kommunikaatio- ja kontrollijärjestelmä. Rakenteellisesti hormonit ovat hyvin laaja joukko, jotka voivat olla pienimmillään kuusiatomisia hiilivetyjä ja suurimmillaan tuhansista atomeista koostuvia proteiineja. Yleisimmin hormonit ovat joko polypeptidejä, steroideja tai amiineja. Hormonit säätelevät elimistössä niin lisääntymistä, kehitystä, energia-aineenvaihduntaa, kasvua kuin käyttäytymistäkin. Vain osa elimistön soluista tuottaa hormoneja, mutta kaikkiin soluihin vaikuttaa jokin hormoni. Hormoneita tuottavista soluista koostuvia elimiä kutsutaan umpieritysrauhasiksi (*endocrine gland*) ja niiden muodostamaa kokonaisuutta umpieritysjärjestelmäksi (*endocrine system*). Hormoneita erittävät solut vapauttavat hormonit verenkiertoon, jonka mukana ne kulkeutuvat kohdesolujen luo. Hormonit pääsevät kulkeutumaan minkä tahansa solun luo, mutta vain kohdesoluilla on niille sopivat reseptorit. Sen vuoksi vain kohdesolut reagoivat hormonin välittämään viestiin. Hermosolut voivat välittää viestejä myös eri puolilla kehoa neuroendokriinisen viestinnän avulla. Siinä neurohormonit, kuten antidiureettinen hormoni, siirtyvät hermosolusta verenkiertoon ja kulkeutuvat sen mukana kohdesolulle. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3.3 Proteiinien reaktioita

Proteiinien reaktiot liittyvät usein erilaisten kemiallisten sidosten katkeamiseen tai muodostumiseen. Atomit esiintyvät useimmiten jalokaasurakenteena, jolloin vedyllä ja heliumilla on kaksi ulkoelektronia ja muilla kahdeksan. Tämän rakenteen tavoittelusta käytetään nimitystä oktettisääntö, mitä voidaan hyödyntää esimerkiksi reaktiotuotteita mietittäessä. Seuraavissa luvuissa käsitellään polypeptideissä tai niiden välillä esiintyviä vuorovaikutuksia. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3.3.1 Atomien väliset sidokset

Yleisin atomien väliltä proteiineista löytyvä sidos on kovalenttinen sidos. Siinä atomit jakavat yhdestä kolmeen elektroniparia keskenään. Näiden jaettujen elektroniparien voidaan ajatella olevan molempien atomien käytössä. Yhden elektroniparin keskenään jakavien atomien välillä sanotaan olevan yksöissidos, kaksi elektroniparia jakavien välillä kaksoissidos ja kolme elektroniparia jakavien välillä kolmoissidos. Molekyylien rakenteet vaihtelevat, koska ne koostuvat eri atomeista, atomeita voi olla eri määrät tai ne voivat olla sitoutuneet toisiinsa eri tavalla. Kovalenttiset sidokset jaetaan poolisiin ja poolittomiin sidoksiin. Lukion kemiassa tätä jakoa kuvataan usein elektronegatiivisuusarvoilla, jotka kuvastavat, miten vahva ioniluonne jollakin atomilla tai molekyylin osalla on. Poolisen sidoksen elektronegatiivisuusarvot eroavat toisistaan ja poolittoman sidoksen elektronegatiivisuusarvot ovat lähes samat. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Toinen proteiinien tai niiden osien välillä esiintyvä sidos on ionisidos. Ionisidoksessa toinen atomi luovuttaa kokonaan ainakin yhden elektronin toiselle atomille. Syntyy kahdenlaisia ioneja, kationeja ja anioneja. Kationit ovat luovuttaneet vähintään yhden elektronin pois, jolloin niillä on jäljellä enemmän positiivisia protoneja ytimessä kuin negatiivisia elektroneja on elektronipilvessä. Tämän vuoksi kationeja kutsutaan positiivisiksi ioneiksi ja niiden kemiallisen merkin yhteyteen merkitään yläindeksiksi +-merkki. Esimerkiksi natrium luovuttaa yhden elektronin, jolloin syntyy natriumioni eli  $\text{Na}^+$ -ioni. Vastaavasti syntyy negatiivisia anioneja, joiden yläindeksissä on --merkki. Negatiivinen ioni on esimerkiksi kloorista syntyvä kloridi-ioni eli  $\text{Cl}^-$ -ioni. Ionyhdisteet, joita ionisidos yhdistää, esiintyvät usein kiteinä, kuten natrium- ja kloridi-ionien muodostama yhdiste natriumkloridi ( $\text{NaCl}$ ) eli ruokasuola. Ionyhdisteen kaava kertoo, missä suhteessa eri alkuaineita yhdisteessä on. Esimerkiksi natriumkloridissa natriumin ja kloorin suhde on 1:1 ja magnesiumkloridissa ( $\text{MgCl}_2$ ) magnesiumin ja kloorin suhde on 1:2. Myös molekyylit voivat muodostaa ioneja. Tällainen on esimerkiksi ammoniakista ( $\text{NH}_3$ ) muodostunut ammoniumioni ( $\text{NH}_4^+$ ). (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3.3.2 Molekyylien väliset sidokset

Molekyylien välillä voi sähköisten vuorovaikutusten lisäksi olla myös muunlaisia vuorovaikutuksia. Ne ovat voimakkuudeltaan heikompia kuin atomien väliset sidokset, mutta ne vaikuttavat valtavasti elämälle välttämättömiin ominaisuuksiin. Heikot vuorovaikutukset

voivat muodostua myös molekyylin osien välille, jolloin ne saavat aikaan molekyylin kolmiulotteisen rakenteen. Esimerkiksi monet suuret biomolekyylit, kuten proteiinit, pysyvät toiminnallisessa muodossaan heikkojen sidosten avulla. Joskus vuorovaikutukset ovat kestollisesti melko pysyviä, mutta usein ne säilyvät vain hetken aikaa. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Vahvin näistä heikoista vuorovaikutuksista on vetysidos. Siinä vedyllä on positiivinen osittaisvaraus, kun se on kovalenttisesti sitoutuneena voimakkaasti elektronegatiiviseen atomiin. Tällaisia ovat esimerkiksi elävissä soluissakin esiintyvät happi (O) ja typpi (N). Vedyn positiivinen osittaisvaraus saa aikaan sen, että vety vetää puoleensa toista lähetyvillä sijaitsevaa elektronegatiivista atomia. Tämä atomi voi sijaita muualla samassa molekyyllisessä tai olla osa toista molekyyliä. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Toinen proteiineissa esiintyvistä heikoista sidoksista on van der Waalsin vuorovaikutus eli dispersiovoimat. Ne perustuvat siihen, että kovalenttisen sidoksen atomeilla elektronipilvet liikkuvat, jolloin elektronit eivät välttämättä ole koko ajan jakautuneet tasaisesti. Tällöin syntyy hetkellisiä positiivisia ja negatiivisia kohtia molekyyliin. Tällaiset hetkelliset muutoksetkin riittävät saamaan aikaan vetovoiman kahden molekyylin välillä eli molekyylit voivat sitoutua toisiinsa lyhyiksi hetkiksi. Dispersiovoimien muodostuminen on mahdollista vain, kun atomit tai molekyylit ovat lähekkäin. Jos kahden molekyylin välissä on paljon dispersiovoimia samanaikaisesti, saadaan aikaan melko voimakas vuorovaikutus. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### 3.3.3 Polymeerit

Polymeerit ovat pitkiä molekyyliketjuja, jotka koostuvat samantyyppisistä tai identtisistä molekyyleistä. Polymeerin yksittäinen osa nimeltään monomeeri. Esimerkiksi aminohappoketju on polymeeri, joka muodostuu yksittäisistä aminohapoista. Aminohappoketjut muodostuvat kahden aminohapon väliin syntyvillä peptidisidoksilla. Peptidisidoksen muodostuminen on esimerkki dehydraatioreaktiosta. Dehydraatioreaktiossa kaksi molekyyliä liittyy yhteen kovalenttisella sidoksella. Sivutuotteena lohkeaa vettä, kun toisen molekyylin päästä irtoava hydroksyyliiryhmä (-OH) ja toisen molekyylin päästä irtoava vety (-H) liittyvät yhteen. Dehydraatioreaktio on yleinen myös muiden polymeerien syntymisessä. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Dehydraatioreaktiolle vastakkainen reaktio on hydrolyysi, jossa polymeeriin liittyvä vesi saa polymeerin hajoamaan kahdeksi molekyyliksi. Tällaisia reaktioita ovat esimerkiksi ruoansulatuksen reaktiot, joissa isot orgaaniset molekyylit hajotetaan pienemmiksi, jotta ne mahtuvat soluihin. Monomeereiksi hajotetut molekyylit kulkeutuvat verenkierron mukana soluihin, joissa niistä voidaan tarpeen mukaan rakentaa uusia polymeerejä. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Molekyylien kokoamista ja hajotusta voidaan nopeuttaa erilaisilla entsyymeillä, jotka ovat luonnon katalyyttejä eli reaktiota nopeuttavia aineita. Entsyymien nimet loppuvat usein päätteeseen -aasi, esimerkiksi peptidaasi tai sakkaraasi. Katalyyttien tehtävä on madaltaa reaktion aktivaatioenergiaa, jolloin reaktion käynnistyminen helpottuu. Monet elimistön reaktioista eivät tapahtuisi lainkaan tai olisivat liian hitaita, jos entsyymejä ei olisi. Reaktioita voitaisiin vaihtoehtoisesti nopeuttaa esimerkiksi lämpötilaa nostamalla, mutta tämä nopeuttaisi kaikkia reaktioita eikä vain niitä, joita halutaan nopeuttaa. Tämän lisäksi lämpö on yksi proteiineja denaturoivista tekijöistä, joten proteiineista tulisi käyttökelvottomia. (Reece *et al.* 2011, Smith 2006, Tro 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

#### **4 Ihmiskehon puolustusjärjestelmä**

Patogeenit ovat eliöitä, viruksia tai prioneita, jotka aiheuttavat tauteja. Prionit ovat muodostuneet, kun normaali solun proteiini laskostuu väärin. Ihmisen tai muun eläimen ruumis on patogeeneille loistava ympäristö olosuhteidensa puolesta. Niinpä eläimille on evoluutiossa kehittynyt sopeutumia, jotka suojelevat niitä tunkeutujilta. Tällaisia sopeumia ovat muun muassa makrofagit eli eräät valkosolut, jotka voivat ”syödä” esimerkiksi hiivasoluja endosytoosilla sekä tietyt proteiinit, jotka puhkaisevat aukkoja bakteerisolujen solukalvoihin tai estävät virussolujen pääsyn eläimen soluihin. Tällaiset keinot muodostavat elimistön immuunijärjestelmän. Patogeeneilla evoluutio on edistänyt myös sopeutumia, joilla immuunijärjestelmää voidaan estää toimimasta. Tällaisia ovat esimerkiksi osalla bakteereista esiintyvät ominaisuudet, kuten ulompi kapseli sekä hajoamisen vastustaminen lysosomeissa. Ensimmäistä esiintyy esimerkiksi *Streptococcus pneumoniae* -bakteerilla, mikä haittaa niiden tunnistamista ja endosytoosia, ja jälkimmäistä esimerkiksi tuberkuloosia aiheuttavalla bakteerilla, joka ennemminkin kasvaa ja lisääntyy lysosomeissa, joissa se on suojassa kehon synnynnäiseltä immuunipuolustukselta. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



## 4.1 Solut puolustajina

Ihmisten immuunipuolustus koostuu kahdesta osasta synnynnäisestä immuniteetista ja hankitusta immuniteetista. Synnynnäinen eli luontainen immuniteetti on näistä evolutiivisesti vanhempi ja se löytyy kaikilta eläimiltä, kasveilta, sieniltä ja alkukantaisilta monisoluisilta eliöiltä. Muokkautuva eli hankittu immuniteetti on olemassa vain selkärangkaisilla eläimillä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Synnynnäinen immuniteetti aktivoituu heti infektion alussa ja se reagoi kaikkiin tunkeutujiin samalla tavalla riippumatta siitä, onko elimistö kohdannut saman patogeenin jo aiemmin. Yksi synnynnäisen puolustuksen tärkeimpiä osia on ulkopinta, kuten iho tai kuori, joka toimii selvänä raja-aitana estäen mikrobien pääsyn kehon sisäpuolelle. Koko kehoa ei kuitenkaan voida tehdä täysin läpäisemättömäksi, sillä esimerkiksi kaasujen vaihto, ravinto ja lisääntyminen vaativat avoimia kohtia. Ruoansulatusputkisto, ilmatiet sekä muut kehon alueet, joissa tapahtuu aineiden vaihtoa, toimivat myös raja-aitoina infektioille. Näitä sisään- ja ulosmenoaukkoja suojaavat kemialliset eritteet, jotka vangitsevat tai tappavat sisään pyrkivät mikrobit. Osa limakalvojen soluista tuottaa läpinäkyvää nestettä, limaa, johon mikrobit tarttuvat. Eritteiden tarkoituksena on myös luoda mikrobeille epämiellyttävä ympäristö. Eritteistä löytyvä lysosyymi-entsyymi hajottaa bakteereiden soluseiniä, mikä tappaa bakteerit. Myös vatsan hapan ympäristö tappaa suurimman osan niellyistä mikrobeista, jolloin ne eivät pääse elävinä suolistoon. Iholla olevat rasva- ja hikirauhaset saavat aikaan ihon happaman pH:n, mikä estää monien bakteerien kasvun iholla. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Osa mikrobeista onnistuu kuitenkin ohittamaan tämän suojauksen, jolloin keholla on oltava myös muita keinoja patogeenien tuhoamiseen. Kehon immuunijärjestelmän on tällöin kyettävä erottamaan kehon ulkopuolelta tulleet partikkelit ja solut kehon omista soluista. Tunnistaminen perustuu molekulaariseen tunnistamiseen, jossa solujen pinnalla olevat reseptorimolekyylit sitoutuvat erityisesti molekyyliin, jotka ovat peräisin toisen eliön soluista tai viruksista. Reseptorimolekyylit ovat yleensä pieni ennalta kehitetty ryhmä reseptoriproteiineja, jotka sitoutuvat erityisesti molekyyliin, joita ei ole eläinkehossa, mutta jotka ovat yleisiä viruksille, bakteereille tai muille mikrobeille. Tämä saa kehon sisäisen puolustuksen käynnistymään. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Luontaisella immunitetilla on kolme keinoa puolustautua mikrobeja vastaan, solujen synnynnäinen puolustus, antimikrobiaaliset peptidit ja proteiinit sekä tulehdusreaktio. Solujen synnynnäinen puolustus perustuu kahdenlaisiin soluihin, fagosytoiviin ja luonnollisiin tappajiin. Fagosytoivista soluista yleisimpiä ovat neutrofiilit ja makrofagit, mutta myös dendriittisolut ja eosinofiilit voivat ”syödä” mikrobeja. Neutrofiilit kiertävät normaalisti kehoa veren mukana ja niitä ohjaavat signaalit, joita lähettävät infektoituneet kudokset. Makrofageista osa on liikkuvia ja osa odottelee jatkuvasti elimissä ja kudoksissa, joissa ne todennäköisesti törmäävät patogeeneihin. Osa niistä on pernassa, jossa vereen päätyneet patogeenit havaitaan. Dendriittisoluja on kudoksissa, jotka ovat yhteydessä ympäristöön, kuten ihokudoksessa. Dendriittisolut voivat ”syödä” mikrobisolun, jonka jälkeen ne kulkeutuvat imusolmukkeisiin ja vaihtavat siellä informaatiota ”syödystä” patogeenista muiden immuunisolujen kanssa. Näin ne kiihdyttävät hankitun immunitetin syntymistä. Eosinofiilejä löytyy usein limaa tuottavien pintojen alta ja ne fagosytoivat patogeeneja vain harvoin. Ne ovat kuitenkin tärkeitä monisoluisia tunkeutujia, kuten loismatoja, vastaan puolustauduttaessa. Eosinofiilit voivat tällöin erittää patogeeneja tuhoavia entsyymejä. Solun sisään mennessään fagosytoosin aikana patogeeni vangitaan vakuoliin, joka yhdistyy lysosomin kanssa. Lysosomissa syntyneet kaasut myrkyttävät nielaistut patogeenit, jonka jälkeen lysosyymi ja muut lysosomin entsyymit hajottavat patogeenien rakenneosat. Luonnolliset tappajasolut kiertävät ympäri kehoa pyrkien tunnistamaan virusinfektoituja ja syöpäsoluja. Luonnolliset tappajasolut eivät nielaise sairauden vaivaamia soluja, vaan tappavat ne vapauttaen kemikaaleja, jotka saavat aikaan solun kuoleman. Näin virus tai syöpä ei pääse leviämään uusiin soluihin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Solujen tunnistettua elimistön sisään päässeeseen patogeenin lisääntyy antimikrobiaalisten peptidien ja proteiinien tuottaminen ja vapauttaminen soluissa. Antimikrobiaaliset peptidit ja proteiinit hyökkäävät patogeenien kimppuun tai häiritsevät niiden lisääntymistä. Osa peptideistä ja proteiineista vahingoittaa laajaa patogeeniryhmää heikentämällä niitä suojaavan kalvon rakennetta ja tehden siihen aukkoja. Tällaisia peptidejä ja proteiineja toimii kaikilla eläimillä. Selkärangkaisilla toimii lisäksi interferoneita ja komplementtiproteiineja, joiden toimintaperiaate on erilainen. Interferonit ovat proteiineja, joita viruksen infektoimat solut erittävät. Infektoidut solut jakavat näin tietoa terveille soluille, jolloin viruksen leviäminen saadaan estettyä. Myös osa valkosoluista voi erittää erilaisia interferoneita, joiden tarkoitus on aktivoida makrofagien solusyöntikykyä. Erilaisten virusinfektioiden, kuten hepatiitti C:n hoidossa voidaan antaa keinotekoisia interferoneja myös lääkkeenä. Komplementtisysteemi koostuu noin 30 komplementtiproteiinista veriplasmassa. Proteiinit kiertävät elimistöä

epäaktiivisessa tilassa ja aktivoituvat monien mikrobien pinnalla olevista molekyyleistä. Aktivoituminen saa aikaan biokemiallisten reaktioiden ketjun, mikä voi johtaa esimerkiksi solun kuolemaan. Komplementtiproteiinit osallistuvat myös tulehdusreaktion syntymiseen sekä hankitun immunitetin toimintaan. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

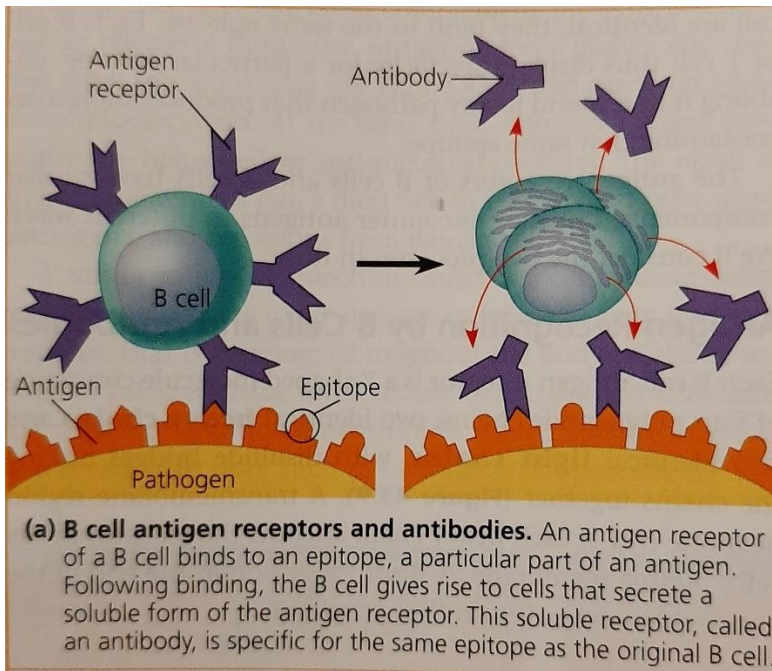
Kun esimerkiksi tikku menee ihon läpi, alkaa läpäisykohtaan sattua ja se alkaa punoittaa ja turvota. Kyseessä on paikallinen tulehdusreaktio, joka on yksi synnynnäisen immunitetin puolustautumiskeinoista. Tulehdusreaktion saavat aikaan erilaiset viestimolekyylit, kuten histamiini ja sytokiinit. Histamiinia erittävät sidekudoksen syöttösolut, joissa se varastoidaan vesikkeleihin. Histamiini saa aikaan vaurion lähellä olevien verisuonten laajenemisen, jolloin niiden läpi pääsee kulkemaan suurempi määrä verta. Makrofagit ja neutrofiilit erittävät sytokiineja, jotka nopeuttavat immuunivasteen syntymistä. Sytokiinit kiihdyttävät verenkiertoa vaurioituneelle tai tulehtuneelle alueelle, mikä aiheuttaa alueen punoituksen ja lämmön. Verta täynnä olevat hiussuonet kuitenkin vuotavat nestettä niitä ympäröiviin kudoksiin, jolloin kudoksiin syntyy turvotusta. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Tulehdusreaktiossa komplementtiproteiinien aktivoituminen vaurioituneella alueella ylläpitää histamiinin vapauttamista syöttösoluista, jolloin alueelle saapuu enemmän fagosytoosiin kykyneviä soluja. Tulehdusreaktion myötä lisääntynyt verenkierto auttaa toimittamaan alueelle antimikrobiaalisia peptidejä. Tulehdusalueen solut erittävät molekyylejä, jotka kiihdyttävät neutrofiilien vapauttamista luuytimeästä. Tulehdusalueelle syntyy myös mätää, joka koostuu suuresta määrästä valkosoluja, kuolleita patogenejä sekä vahingoittuneista kudoksista syntynyttä solujätettä. Vakavampi vahingoittuminen tai infektio voi johtaa myös koko kehon kattavaan tulehdusreaktioon. Tällaisia vakavaa, laajaa tulehdusreaktiota aiheuttavia infektioita ovat esimerkiksi meningiitti eli aivokalvontulehdus sekä umpilisäkkeen tulehdus. Jotkin bakteri-infektiot voivat myös estää tällaisen koko kehon kattavan tulehdusreaktion syntymisen, mikä johtaa hengenvaaralliseen septiseen sokkiin, jonka merkkejä ovat korkea kuume, matala verenpaine ja heikko hiussuonten verenkierto. Tulehdus voi olla myös krooninen ja kontrolloimattomana uhata ihmisen terveyttä, kuten Chronin tauti ja haavainen koliitti, joissa suolisto ei toimi. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Hankittu immunitetti koostuu suuresta määrästä erilaisia lymfosyyttejä ja reseptoreita, jotka mahdollistavat aiemmin kohtaamattomien patogeenien havaitsemisen. Yleensä järjestelmä ei reagoi eläimen omiin molekyyleihin ja soluihin, mutta poikkeuksena tästä ovat syöpäsolut

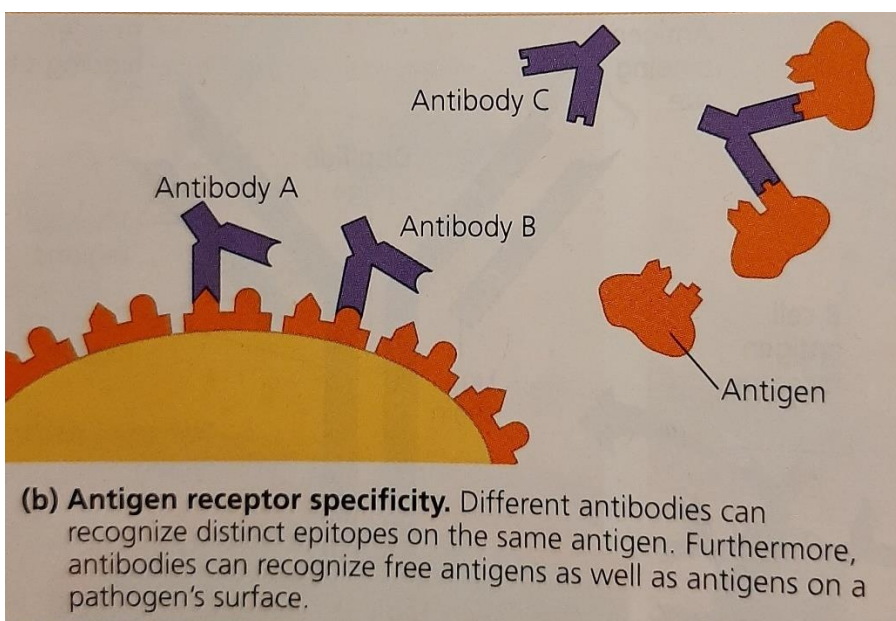
sekä autoimmuunisairaudet, kuten nivelreuma, MS-tauti ja tyypin 1 diabetes. Joskus järjestelmä kuitenkin reagoi myös liian herkästi, mistä johtuvat erilaiset allergiat. Hankittu immuniteetti aktivoituu synnynnäistä immuniteettia hitaammin ja vastekin on hitaampi. Termit muokkautuva ja hankittu immuniteetti viittaavat siihen, että immuunivaste kehittyy, kun patogeeni kohdataan. Syntyy immunologinen muisti, jolloin aiemmin kohdattua patogeenia vastaan voidaan reagoida nopeammin ja voimakkaammin. Immuunivaste voi myös sopeutua. Tällaisia vasteita ovat esimerkiksi bakteerien tuottamia toksineja tuhoavien proteiinien synteesi sekä virusinfektoidun kehon oman solun tappaminen. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Lymfosyytit ovat verisolujen kantasoluista luuytimessä muodostuvia valkosoluja. Ne voidaan jakaa kolmeen solutyypiin: T- ja B-soluihin sekä kolmansiin, joista kehittyy luonnollisia tappajasoluja. B-solut jäävät luuytimeen (*bone marrow*). B-solujen pinnalla on antigeenireseptoreita, jotka osallistuvat muiden solujen tunnistamiseen. Antigeenireseptorit ovat Y:n muotoisia ja koostuvat neljästä polypeptidiketjusta, joista kaksi ovat samanlaisia raskasketjuja ja kaksi samanlaisia kevytketjuja. Ketjut kiinnittyvät toisiinsa rikkisilloilla (kuva 25) ja solukalvoon, kun toinen raskasketju läpäisee solukalvon ja yltää osittain myös solulimaan. Sekä raskas- että kevytketjuissa on vakioalue, jonka aminohapposekvenssit eri B-solujen reseptorien välillä ovat lähes samanlaisia. Näihin vakioalueisiin kuuluvat solukalvon läpäisevä osa, solulimaan yltävä häntäosa sekä kaikki rikkisillat. Y:n päiden lähellä on sekä raskas- että kevytketjuissa vaihtuva alue, missä aminohapposekvenssit eri B-solujen välillä eroavat toisistaan paljon. Yhdessä raskas- ja kevytketjun vaihtuvat alueet saavat aikaan asymmetrisen sitoutumiskohdan antigeenille. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



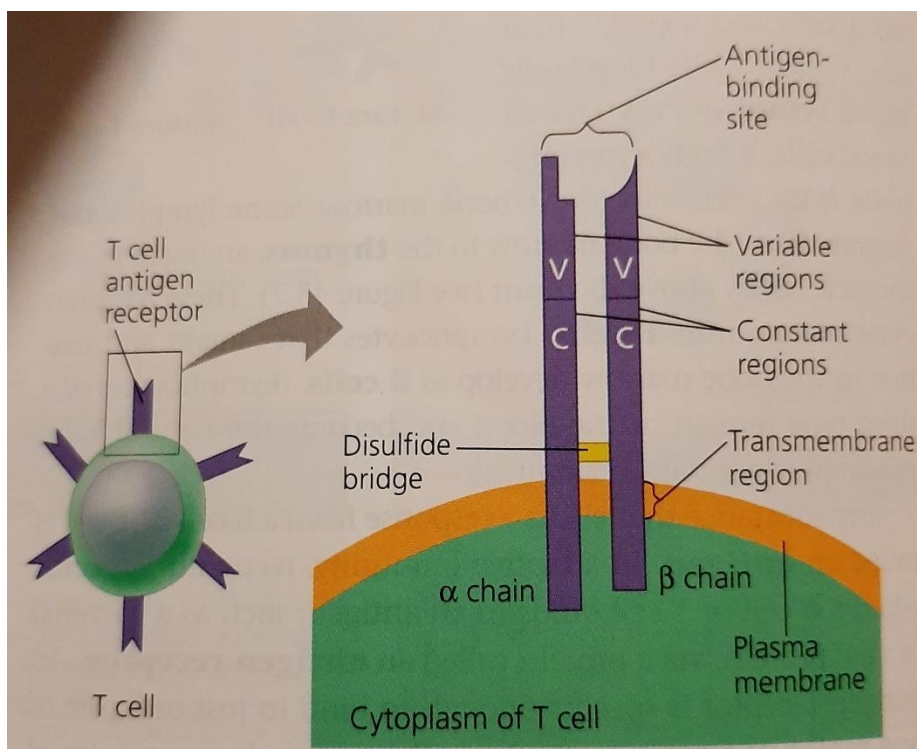
Kuva 25. B-solun ja B-solun antigeenireseptorin rakenne. (Reece *et al.* 2011)

Antibodit (kuva 26) eli immunoglobuliinit ovat B-solusta irrotettuja antigeenireseptoreita, jotka kykenevät toimimaan myös itsenäisesti, joskus jopa aktiivisemmin kuin kiinnittyneinä B-soluun. Antigeenien sitoutumiskohta ja antibodi ovat muodoltaan uniikkeja ja sopivat vain tiettyyn epitooppiin, kuten avain ja lukko. Antigeenireseptorit ja immunoglobuliinit sitoutuvat vahingoittumattomaan antigeeniin veressä ja imunesteessä. Sitoutuminen on mahdollista niin vapaana oleviin kuin kalvoon kiinnittyneisiin antigeeneihin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 26. Antibodien rakenne ja toiminta. (Reece *et al.* 2011)

T-solut kulkeutuvat luuytimeistä kateenkorvaan (*thymus*), jossa ne odottelevat toiminnan alkua. T-solun antigeenireseptori koostuu kahdesta erilaisesta polypeptidiketjusta,  $\alpha$ -ketju ja  $\beta$ -ketju, jotka kiinnittyvät toisiinsa rikkisillalla. T-solussa antigeenireseptorit kiinnittyvät solukalvon kalvon läpi kulkevalla osalla. Antigeenin sitoutumiskohta muodostuu vaihtelevista alueista molemmissa ketjuissa sekä vakioalueesta (kuva 27). Toimintatapa eroaa B-solun toimintatavasta täysin, vaikka rakenne onkin hyvin samankaltainen. Kun patogeeni tai patogeenin osa infektoi solun tai isäntäsolu ”syö” patogeenin, solun sisällä olevat MHC-proteiinit (*major histocompatibility complex*) kiinnittyvät antigeenifragmenttiin ja työntävät sen mukanaan solun pinnalle. T-solut sitoutuvat näihin antigeenien fragmentteihin ja MHC-proteiiniin. Immunitetin aktivoiminen kiihdyttää immuunipuolustuksen solujen lisääntymistä ja kasvattaa näin suuresti antigeenille spesifien B- ja T-solujen määrää. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Kuva 27. T-solun ja T-solun antigeenireseptorin rakenne. (Reece *et al.* 2011)

## 4.2 Patogeenien tunnistaminen

Patogeenien tunnistaminen perustuu yleensä solun tai patogeenin pinnalla olevien molekyylien tunnistamiseen. Puolustusjärjestelmän eri osilla on kuitenkin hiukan eroja siinä, mitä ja miten ne tunnistavat patogeenit. Fagosytoottiset solut tunnistavat sieni- ja

bakteerisolut tai virukset erilaisten reseptorityyppien avulla (TLR, *toll-like receptor*). Näitä on useampia ja niiden sijannit vaihtelevat. Esimerkiksi TLR3, jota löytyy fagosytoosissa muodostuneiden vesikkeliin sisäpinnalta, tunnistaa kaksoisjuosteisen RNAn, joka on joidenkin virusten tyypillinen geneettinen materiaali. TLR4, jota on immuunijärjestelmän solujen solukalvoilla, tunnistaa lipopolysakkaridit bakteerien pinnalta. TLR5, joka on myös solukalvoon kiinnittyneenä immuunijärjestelmän soluissa, tunnistaa flagelliinin, bakteerisolujen siimojen pääproteiinin. Kaikille näille yhteistä on, että niitä ei löydy selkärankaisten soluista, mutta ne ovat oleellinen osa näiden patogeenien rakennetta. Synnynnäiseen immunitettiin liittyy myös toisia soluja, luonnollisia tappajasoluja. Ne kiertävät ympäri kehoa ja pyrkivät tunnistamaan virusinfektoidut solut ja syöpäsolut niiden pintaproteiinien avulla. Pintaproteiinit ovat joillakin virusinfektoiduilla soluilla ja syöpäsoluilla järjestäytyneet toisin kuin normaalisti. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Hankitun immunitetin solut käyttävät molekulaarista tunnistamista hiukan eri tavoin kuin synnynnäinen immunitettijärjestelmä. Patogeenien pinnalla tai niiden vapauttamana soluvälitilassa on antigeenejä; isoja molekyyliä, kuten proteiineja tai polysakkarideja. Kaikki aineet, jotka saavat aikaan jonkin vasteen B- tai T-solulta ovat antigeenejä. Antigeenissa on kohta, johon sitoutuu B- ja T-solujen antigeenireseptori. Tätä kohtaa kutsutaan epitoopiksi eli antigeenideterminantiksi. Antigeenireseptori ovat spesifisiä tietyn epitoopin suhteen. Elimistö pystyy tuottamaan valtavan kaluston erilaisia reseptoreita, joista jokainen tunnistaa rakenteen, joka löytyy yleensä vain tietyn patogeenin tietyn molekyylin tietystä osasta eli ne ovat erittäin spesifisiä. Yleensä B-solut ja antiodit pystyvät tunnistamaan solun ulkoiset patogeenit, toinen T-solutyyppi auttaja-T-solut pystyvät tunnistamaan lähes kaikki antigeenit kun taas sytotoksiset T-solut pystyvät tunnistamaan infektoidut solut. Vaikka erilaisia antigeenireseptoreita on paljon, yhden B- tai T-solun pinnalla olevat reseptorit ovat kaikki identtisiä keskenään. Yhden B- tai T-solun pinnalla on yleensä noin 100 000 antigeenireseptoria. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

### **4.3 Virusten aiheuttamat taudit eläimillä**

Eläimillä virukset voivat aiheuttaa erilaisia tauteja, jotka ilmenevät useina eri oireina. Osa oireista, kuten kuume ja nuha, johtuu puolustusjärjestelmän yrityksistä puolustaa elimistöä taudinaiheuttajilta. Elimistössä virukset voivat vahingoittaa tai tappaa soluja vapauttamalla lysosomeista hydrolyyttisiä entsyymejä ja saada solut tuottamaan toksineja, jotka saavat

oireet aikaan. Joissakin viruksissa voi olla myös toksisia osia, kuten lipidikalvon proteiineja. Oireiden vakavuus riippuu isäntäkudoksen uusiutumiskyvystä, esimerkiksi hengitysteiden pintasolut uusiutuvat tiheästi, jolloin flunssasta paranee hyvin, sen sijaan kypsät hermosolut eivät jakaudu, joten polion aiheuttamat vauriot jäävät pysyviksi. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Virustauteja pyritään ehkäisemään rokotteilla. Rokotteet ovat harmiton osa patogeeniä, joka saa immuunipuolustuksen reagoimaan, jolloin syntyy muistisoluja. Tämä nopeuttaa ja vahvistaa puolustautumisreaktiota, mikäli eläin altistuisi samalle haitalliselle patogeenille myöhemmin. Maailman terveysjärjestön (WHO, *World Health Organization*) rokoteohjelman avulla on saatu hävitettyä isorokko kokonaan maailmasta. Tässä tärkeää on, että eläimiä, jotka voivat sairastua tautiin, on rajallisesti. Esimerkiksi isorokko tarttuu vain ihmisiin. Tällä hetkellä pyritään hävittämään rokotuksilla myös polio ja tuhkarokko. Rokotteita käytetään myös esimerkiksi vihurirokon, sikotaudin ja hepatiitti B:n ehkäisemisessä. Aina rokotteet eivät kuitenkaan toimi tai rokotetta ei kyseistä virusta vastaan ole. Tällöin puolustusjärjestelmä ryhtyy toimiin. Puolustusjärjestelmää tukemaan voidaan käyttää myös antiviraalisia lääkkeitä, jotka muistuttavat usein rakenteeltaan nukleosideja ja estävät näin virusten nukleiinihapposynteesin isäntäsoluissa. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös lääkkeitä, jotka estävät proteaasin toiminnan. Bakteeritaudeissa käytettävät antibiootit estävät bakteerien entsyymien toiminnan ja tappavat näin bakteerit. Virustauteja vastaan ne eivät toimi, sillä viruksilla ei entsyymejä ole. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Virukset leviävät pääsääntöisesti kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on mutaatio viruksen genomissa. Tämä on yleistä varsinkin RNA-viruksilla, joiden replikaatiovirheitä ei tarkisteta. Ihmisten viruksista esimerkiksi kausi-influenssaa aiheuttavat virukset toimivat näin, mikä aiheuttaa sen, että ihminen voi sairastua kausi-influenssaan joka vuosi uudelleen. Toinen tapa on viruksen leviäminen pienen ihmispopulaation ulkopuolelle. Esimerkiksi AIDS levisi ensin pienessä ihmispopulaatiossa piilossa vuosikymmeniä. AIDS:in leviämistä nopeuttivat kansainvälinen matkustus, verensiirrot, seksuaalinen siveettömyys ja suonensisäisten huumeiden väärinkäyttö. Kolmas tapa on olemassa olevan viruksen leviäminen muista eläimistä ihmiseen. Jopa noin 75 % virustaudeista on todennäköisesti syntynyt näin. Virukset elävät eläimissä sairastuttamatta näitä eli eläimet ovat virusten kantajia. Esimerkiksi vuonna 2009 levinnyt H1N1-virus eli ”sikainfluenssa” siirtyi todennäköisesti sioista ihmisiin. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)



Influenssaa aiheuttavia viruksia on kolmea tyyppiä, joista B- ja C- tyyppiä esiintyy vain ihmisillä eivätkä ne ole aiheuttaneet epidemioita eli laajoja sairastumisia. Sen sijaan A-tyypin virukset, joita esiintyy isolla joukolla eläimiä, muun muassa linnuilla, sioilla, hevosilla ja ihmisillä, ovat aiheuttaneet neljä isoa epidemiaa viimeisen noin 100 vuoden aikana. Näistä pahin on vuosina 1918–1919 maailmaa kiertänyt espanjantauti, joka tappoi 40 miljoonaa ihmistä mukaan lukien ensimmäiseen maailmansotaan osallistuneita sotilaita. Kaikissa näissä virus todennäköisesti mutatoitui siirtyessään isäntäeläimestä toiseen. Mahdollisesti myös kahden tai useamman viruksen perimät sekoittuivat. Esimerkiksi sikainfluenssaviruksessa on niin linnun, sian kuin ihmisenkin influenssavirusten perimää. Sekä sikainfluenssa että espanjantauti ovat H1N1-viruksia ja lintuinfluenssavirus on H5N1-virus. Lintuinfluenssan kaltaiset H5N1-virukset ovat ihmiselle pahempi uhka kuin H1N1-virukset. Kuolleisuus on näiden aiheuttamissa sairauksissa korkea, mutta virus onneksi harvoin siirtyy ihmisestä ihmiseen. Kuitenkin sairastuneiden määrän kasvaessa myös eri linjojen sekoittumistodennäköisyys kasvaa. Tällöin on mahdollista, että syntyy mutaatio, joka helpottaa ihmisestä ihmiseen siirtymistä, mikä kasvattaa epidemian todennäköisyyttä. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

Sairauksia aiheuttavat myös kasveja tartuttavat viroidit ja eläimiä sairastuttavat prioni. Viroidit ovat kasvitauteja aiheuttavia RNA-molekyylejä ja prionit väärin laskostuneita proteiineja, jotka saavat aikaan toisen samanlaisen proteiinin laskostumisen uudelleen väärään muotoon. Nämä väärin laskostuneet proteiinit voivat myös klusteroitua eli kiinnittyä toisiinsa. Prionit ovat vastuussa useista eläinten aivoja rappeuttavista sairauksista, kuten lampailta esiintyvistä skrapista, hullun lehmän taudista ja ihmisillä havaittavista Creutzfeldt-Jakobin taudista ja kurutaudista. Tauti voi siirtyä eläimestä ihmiseen tai ihmisestä toiseen esimerkiksi ravinnon välityksellä, kuten Uuden Guinean alkuperäisväestössä kannibalismin myötä levinnyt kuru. Prioneilla on kaksi haastavaa piirrettä: ne toimivat hyvin hitaasti ja ovat käytännössä tuhoamattomia. Prionien tartuntalähteiden selvittäminen on hankalaa, sillä oireet alkavat vasta kymmenen vuotta tartunnan saamisen jälkeen. Ne eivät tuhoutu tai menetä aktiivisuuttaan kuumentamalla normaalissa kiehumislämpötilassa. Prionitauteihin ei ole olemassa hoitokeinoa, vaan ainoa keino on yrittää hillitä tartuntoja. (Reece *et al.* 2011, Buxbaum 2007, Nelson 2013)

## 5 Aktivoivat opetusmenetelmät

Aktivoivilla opetusmenetelmillä tarkoitetaan joukkoa menetelmiä, joissa opetus tapahtuu oppilaita aktiivisesti eli vastuuta oppimisesta on siirretty myös opiskelijoille. Opetus voi olla täysin opiskelijälähtöistä tai opettaja voi olla aktiivisesti mukana. Opettajan rooli ei kuitenkaan ole tarjota valmiita vastauksia, kuten perinteisemmässä opettajajohtoisessa opetusmenetelmässä, vaan toimia ohjaajana. Koska aktivoivia opetusmenetelmiä on paljon, myöhemmin keskitytään erityisesti tutkivaan oppimiseen. (Salo 2016, Bell *et al.* 2005, Prince ja Felder 2007)

Aktivoiviin opetusmenetelmiin kuuluvat tutkiva oppiminen, projektioppiminen, ongelmalähtöinen oppiminen, ilmiölähtöinen oppiminen ja kontekstilähtöinen oppiminen. Salo (2016) mukaan tutkivassa oppimisessa opiskelijat matkivat tieteellistä tutkimusta ja yrittävät selvittää itse päättämänsä tai opettajan antaman tutkimuskysymyksen. Opiskelijat kehittävät itse menetelmän, jolla saavat tutkittua asiaa ja kokoavat sitten tulokset yhteen. Tärkeänä osana tutkivaan oppimiseen kuuluu myös tutkimustulosten analysointi ja pohdinta. (Salo 2016, Rita 1998)

Thomasin (2000) mukaan projektioppimisessa oppilaille annetaan myös tehtävä tai ongelma ratkaistavaksi. Tehtävän ratkaisu vaatii yleensä ongelmanratkaisukykyä, suunnittelemissa, päätöksentekoa ja tiedonhakua. Tuloksena on usein jonkinlainen todellinen tuotos tai esitys (Mononen 2018, Hankaniemi 2020). Projektioppimisessa ideaalista olisi, että projektin aihe tulisi opiskelijoilta itseltään.

Ongelmalähtöinen oppiminen (Asikainen 2016, Kabata 2014, Rautiainen 2016) alkaa opettajan antamasta oikeaan elämään liittyvästä ongelmasta, jota opiskelijat lähtevät ratkaisemaan. Opiskelijat pohtivat ensin, mitä he jo aiheesta tietävät ja jäsentävät sen jälkeen tietoa. Tämän jälkeen he pohtivat, mistä vielä tarvitsevat tietoa ja hankkivat sen etsimällä sitä. Toisin kuin tutkivaan oppimiseen ja projektioppimiseen, ongelmalähtöiseen oppimiseen ei usein liity kokeellista työskentelyä, kuten laboratoriotyötä.

Ilmiölähtöinen oppiminen (Kärnä ja Nuutinen 2017) pohjautuu arkielämän havainnoitaviin ilmiöihin. Niitä lähdetään pilkkomaan pienemmiksi paloiksi ja pohtimaan ilmiöihin vaikuttavia tekijöitä. Joitakin asioita voidaan myös testata kokeellisesti.

Kontekstilähtöisessä oppimisessa (Keppo 2017, Laasala 2018, Lohenoja 2012) esimerkiksi kemian aihetta käsitellään kontekstin eli käyttökohteen avulla. Ideana on yhdistää aihe opiskelijan jokapäiväiseen elämään tai luontoon. Kontekstina voi olla esimerkiksi keittiökemia eli ruoanlaittoon liittyvä kemia, kuten Laasalan (2018) tutkimuksessa.

Tutkivaan oppimiseen Bell *et al.* (2005) ovat määritelleet eri tasoja, joissa opettajan antaman ohjauksen ja informaation määrä vaihtelee. Alimmalla eli ensimmäisellä tasolla opiskelijat saavat opettajalta valmiin tutkimuskysymyksen sekä vastaamiseen tarkoitetun tutkimusmenetelmän, kuten työhöjeen. Myös vastaus kysymykseen tai tutkimuksen tulos on ennalta tiedossa. Tasosta käytetään nimitystä vahvistaminen (*confirmation*). Toisella tasolla eli jäsennellyssä tutkivassa oppimisessa (*structured inquiry*) on myös annettu tutkimuskysymys ja -menetelmä, mutta tutkimuksen tulos tai kysymyksen vastaus ei ole etukäteen tiedossa. Kolmannella tasolla eli ohjatussa tutkivassa oppimisessa (*guided inquiry*) on edelleen annettu valmis tutkimuskysymys, mutta opiskelijat itse kehittävät tutkimusmenetelmän ja pyrkivät löytämään ratkaisun. Neljännellä eli korkeimmalla tasolla, josta käytetään nimitystä avoin tutkiva oppiminen (*open inquiry*), opiskelijat määrittävät itse myös tutkimuskysymyksen. Sekä Bell *et al.* (2005) että Salo (2016) suosittelevat, että tutkivan oppimisen tasoista valittaisiin opiskelijoiden tieto- ja taitotasoon sopiva ja niissä edettäisiin vähitellen ensimmäiseltä tasolta neljännelle jatkumomaisesti. Liian haastava taso voi olla opiskelijan oppimiselle haitallinen, sillä opiskelija voi turhautua, jos hänestä tuntuu, ettei hän osaa ratkaista annettua tehtävää.

Samantyyppisiä menetelmiä käytetään myös induktiivisessa oppimisessa, jossa perusajatuksena on, että opiskelijat saavat ensin jonkinlaisen tehtävän, jota he lähtevät ratkaisemaan. Aktivoivista opetusmenetelmistä tutkiva oppiminen, ongelmalähtöinen oppiminen ja projektioppiminen toistuvat myös induktiivisessa oppimisessa samantyyppisillä määritelmillä kuin aiemmin (Prince ja Felder 2007). Prince ja Felder (2007) ovat määritelleet myös muita induktiivisen oppimisen menetelmiä seuraavasti. Löytämällä oppimisessa (*discovery learning*) opiskelijat etsivät tiedon itse ja opettaja antaa palautetta tuotoksista, mutta ei ohjaa tai ohjaa vain hyvin vähän oppilaita tuotosten teon aikana. Löytämällä oppimisessa kokeilun ja erehdyksen kautta oppimisella on tärkeä rooli. Ohjatussa löytämällä oppimisessa, joka on edellisen muunnos, opettaja antaa jonkin verran ohjausta tuotoksen teon aikana. Tämä muunnos voidaan kuitenkin usein luokitella myös jonkin muun tyyppin alle. Tapauslähtöisessä opetuksessa (*case-based teaching*) käytetään alkutehtävänä historiallisia tai hypoteettisia tapauksia, joita myöhemmin mahdollisesti kohdattaisiin. Opiskelijoita

haastetaan tutkimaan olemassa olevia ennakkokäsityksiään ja muokkaamaan niitä tapausten realiteettien mukaiseksi. Erona ongelmalähtöiseen oppimiseen on se, että tapaukset ovat hyvin rakennettuja ja niissä on paljon kontekstuaalisia yksityiskohtia. Opiskelijat myös soveltavat ennalta tunnettua materiaalia, joten tiedonhaku jää pois. Tapauslähtöistä opetusta on käytetty useilla eri aloilla niin kemiassa, muissa luonnontieteissä kuin esimerkiksi lääketieteessä, psykologiassa ja insinöörikoulutuksessa. Just-in-time-oppimisessa (*just-in-time teaching*) sähköisillä laitteilla vastataan tunnin alussa käsitteellisiin kysymyksiin. Vastausten perusteella opettaja sopeuttaa tunnin asioita niin, että opiskelijoiden virhekäsitykset saadaan käsiteltyä. Koska käsitteelliset kysymykset käsittelevät opiskelijoille uusia aiheita, voidaan menetelmä määritellä induktiiviseksi. Menetelmää on käytetty lähinnä yliopistotasolla fysiikassa, biologiassa ja kemiassa, mutta voisi mahdollisesti olla sovellettavissa myös lukioon.

Monia asioita, jotka pätevät tutkivaan oppimiseen, voidaan soveltaa myös muihin aktivoiviin menetelmiin. Aktivoivia opetusmenetelmiä voidaan myös yhdistää keskenään tai muihin menetelmiin, myös perinteiseen menetelmään, jolloin kurssin kokonaisuudesta saadaan vaihtelevampi ja opiskelijoiden kannalta mielenkiintoisempi (Salo 2016). Aktivoivia opetusmenetelmiä voidaan esimerkiksi hyödyntää paljon eri oppiaineiden integroinnissa eli yhdistelyssä, mitä käydään läpi oppiaineiden integrointi -osiossa.

## **5.1 Aktivoivien opetusmenetelmien hyödyt ja haitat**

Tutkiva oppiminen, kuten myös muut aktivoivat opetusmenetelmät, tarjoaa paljon hyötyjä opiskelijoille, mutta myös opettajille. Yksiä tärkeimmistä hyödyistä ovat, että se lisää opiskelijoiden motivaatiota kemian opiskelua kohtaan ja antaa opiskelijoille kokemuksia, jotka he muistavat jälkikäteen (Salo 2016, Hankaniemi 2020, Asikainen 2016, Keppo 2017, Rautiainen 2016, Lohenoja 2012, Rita 1998). Tämän lisäksi pohditaan tässä luvussa tutkivan oppimisen hyötyjä ja haittoja opiskelijoiden oppimistulosten, opitun tiedon ymmärtämisen ja soveltamisen sekä oppilaan ongelmanratkaisutaitojen ja metakognitiivisten taitojen kehittymisen näkökulmasta.

Tutkivan oppimisen on myös monissa tutkimuksissa todettu parantavan opiskelijoiden oppimistuloksia eli koe- ja kurssiarvosanoja, kun sitä on toteutettu kurssilla sopivassa määrin. On ollut myös tutkimuksia, joissa oppimistulokset ovat heikentyneet, mikä on voinut johtua esimerkiksi opettajan perehtyneisyydestä tai liian vaikeista tutkimuskysymyksistä. Eroja tutkimusten välillä voivat aiheuttaa myös opiskelijoiden tuntemukset siitä, että tutkiva

oppiminen ei ole mukavaa tai on mukavaa. Yksi syy tähän voivat olla juuri liian vaikeatasoiset tutkimukset, mutta myös ryhmädynamiikan toimivuus ja oppilaan aktiivinen rooli tutkimuksen tekemisessä voivat jakaa opiskelijoita ainakin kahteen ryhmään. Opiskelijat oppivat paremmin rentoutuneena kuin jännittyneenä ja rentoutumista tuo joillekin se, kun pääsee tekemään itse ja omaehtoisesti ja päättämään asioista, kun taas toinen pelkää sitä, että pitäisi itse tietää, mitä tehdä. Eräässä tutkimuksessa on myös huomattu eroja eri tutkivan oppimisen tasojen välillä ja on todettu, että ohjaus tutkivassa oppimisessä on tärkeää. (Salo 2016, Asikainen 2016, Kabata 2014, Thomas 2000, Rita 1998)

Oppimistuloksia vertailtaessa on myös huomioitava tarkasti, mitä tuloksia käyttää vertailussa. Esimerkiksi eräässä tutkimuksessa vertailtiin monivalintatestien tuloksia ja kurssiarvosanoja. Monivalintatestien tulokset eivät näyttäneet eroa tutkivan oppimisen ja perinteisen menetelmän välillä kumpaankaan suuntaan. Sen sijaan kurssiarvosanat olivat tutkivan oppimisen ryhmällä huomattavasti paremmat. Kun opettaja muotoili monivalintatestin kysymykset tutkivaan oppimiseen sopivaksi, opiskelijat pärjäsivät paremmin. Myös tulosten hajonta oli tutkivassa ryhmässä pienempää, joten varsinkin heikot opiskelijat vaikuttavat hyötyvän tutkivasta oppimisestä. (Salo 2016)

Opitun tiedon ymmärtämisellä ja soveltamisella tarkoitetaan sitä, että tietoa ei muisteta vain irrallisena faktatietona, vaan tiedon muodostama kokonaisuus hahmotetaan ja mahdollisuudet uuden tiedon luomisessa tiedostetaan. Useammassa tutkimuksessa on huomattu, että tutkiva oppiminen auttaa, niin kemiassa kuin muissakin oppiaineissa, ymmärtämään teoreettisia käsitteitä ja tiettyjen rakenteiden tarpeellisuutta sekä soveltamaan saatua tietoa esimerkiksi ennusteita tekemällä tai uusia asioita suunnittelemalla. (Salo 2016, Asikainen 2016, Thomas 2000)

Tutkiva oppiminen tarjoaa opiskelijoille myös mahdollisuuden tehdä virheitä ja oppia niistä. Jos opiskelija tekee virheen, hän yleensä tulee pohtineeksi, miksi näin tapahtui. Tarkastellaan esimerkiksi kaliumnatriumtartraatin hygroskooppisuutta. Kun opiskelija valmistaa kaliumnatriumtartraattia itse kehittämällään menetelmällä ja määrittää prosessin saantoprosentin, hän huomaa, että saantoprosentti on suurempi kuin on mahdollista saavuttaa. Opiskelija voi päätellä, että kaliumnatriumtartraatti on imenyt kosteutta ilmasta ennen punnitusta, jonka jälkeen hän kehittää aiemmin suunnittelemaansa menetelmää. Jos sen sijaan opiskelijalle olisi annettu valmis keittokirjamainen työohje, jossa hygroskooppisuus olisi

otettu huomioon, ei hän todennäköisesti olisi edes kiinnittänyt asiaan huomiota, koska virheellistä saantoa ei olisi tullut eli virhettä ei olisi tapahtunut. (Salo 2016)

Tutkivan oppimisen mukanaan tuoma lisääntynyt yhteistyö opiskelijoiden välillä mahdollistaa toisten opiskelijoiden auttamisen sekä avun saamisen, kun useampi eri selitystapa auttaa ymmärtämään asian. On kuitenkin huomattu, että pelkästään tutkivan oppimisen soveltamisen määrän lisääminen ei johda laajempaan ymmärtämiseen. Ymmärryksen saavuttamiseksi tarvitaan myös muita metakognitiota vaativia tehtäviä laboratoriotyöskentelyn ohella. Kuten monessa muussakin asiassa, niin myös tutkivassa oppimisessa laatu ja monipuolisuus korvaavat määrän eli kannattaa enemmän pohtia onko jokin osuus kannattavaa tehdä tutkivalla oppimisella. Eri aktivoivia menetelmiä kannattaa hyödyntää, jolloin opetuksesta saadaan vaihtelevaa, ja myös perinteisellä opetuksella on oppimisessa paikkansa. (Salo 2016, Prince ja Felder 2007, Asikainen 2016, Kabata 2014, Rautiainen 2016)

Opiskelijan ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen vaatii, että opiskelija asetetaan tilanteeseen, jossa ongelmanratkaisutaitoja tarvitaan. Tutkivassa oppimisessa tällainen vaihe on, kun kehitetään ja valitaan sopivaa ratkaisumallia tai tutkimusprosessia. Henkilö, jolla on hyvät ongelmanratkaisutaidot, osaa siirtää aiemmin löytämiään ratkaisumalleja uusiin tilanteisiin. Ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä tukevat osittain myös tutkivan oppimisen eri tasot. Alemmalta tasolta voi jäädä mieleen esimerkiksi koejärjestelyjä, joita voidaan myöhemmillä tasoilla soveltaa. Avoimuuden lisääntyessä tutkivassa oppimisessa tulee useammin vastaan tilanteita, joissa ongelmanratkaisutaitoja tarvitaan. Ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä koskevia tutkimustuloksia on hyvin vähän. Tutkimuksissa on haastavaa erottaa tutkivan oppimisen kehittämät taidot opiskelijan jo ennalta olemassa olevista taidoista. Tutkivalla oppimisella ja muilla aktivoivilla menetelmillä olisi siis potentiaalia kehittää ongelmanratkaisutaitoja, mutta tätä varmuudella tukevia tutkimustuloksia ei ole. (Salo 2016, Hankaniemi 2020, Asikainen 2016, Thomas 2000)

Metakognitiivisilla taidoilla tarkoitetaan opiskelijan tietoisuutta omasta oppimisestaan ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Oppimisen prosessiin liittyviä metakognitiivisia taitoja ovat kysymysten esittäminen, tehdyn työn arviointi ohjeisiin perustuen, virheiden ja puutteiden korjaaminen, mielipiteiden ja työtapojen perustelu, uusien toimintatapojen ja tutkimusprosessien kehittäminen sekä yleisluontoisen strategian kehittäminen ennen toimintaa. Opiskelijan tulisi kyetä arvioimaan omaa ymmärrystään opetuksen aikana ja

ohjaamaan tietoisesti omaa ajatteluaan tiettyyn suuntaan. Ymmärtääkseen opitun on tärkeää olla tietoinen omista ajatuksistaan. (Salo 2016, Asikainen 2016, Keppo 2017)

Metakognitiivisten taitojen hallinnassa kehittyminen vaikuttaa myös muiden taitojen kehitykseen, kuten ongelmanratkaisutaitoihin. Vuorovaikutuksen avulla saadaan metakognitiiviset taidot käyttöön esimerkiksi ongelmaa ratkaistaessa. Tutkimuksissa on havaittu, että erityisesti ohjattu tutkiva oppiminen haastaa opiskelijat metakognitiiviseen tekemiseen eli ohjauksen merkitys korostuu jälleen. Opettajan ohjauksen avulla metakognitiiviset taidot kehittyvät, mikä havaittiin kommunikaation muutoksena; opiskelijat esittivät kysymyksiä ja ideoita liittyen tutkimuskysymykseen, eivät vain kysymyksiä annetusta tehtävästä. Jatkuva ohjaaminen ei kuitenkaan kehitä taitoja, vaan pienikin lapsi oppii ohjaamaan itseään vähemmän ohjatuissa aktiviteeteissa. (Salo 2016)

## **5.2 Aktivoivien opetusmenetelmien soveltamisen haasteet**

Tutkimusten mukaan isoimpia haasteita tutkivan oppimisen soveltamiseen opettajan näkökulmasta ovat ammatilliseen osaamiseen liittyvät haasteet, työyhteisöön ja oppilaiden vanhempiin liittyvät ongelmat sekä resurssipula. Ammatilliseen osaamiseen liittyviä haasteita ovat opettajan rajoittunut kyky opettaa konstruktiiivisesti, opettajan rajoittuneisuus oppikirjan sisältöihin, arviointiin liittyvät haasteet, riittämätön käytännön harjoittelu koulutusvaiheessa tai opettaja ei tunne menetelmää kunnolla. Menetelmän tuntemisen heikkoudet tekevät siitä haastavan ohjata, eikä opettaja välttämättä tunne vaikutuksia opettamiseen ja oppiaineeseen. Menetelmän heikko tuntemus voi myös johtaa uskomuksiin, joilla ei välttämättä ole mitään perää. Tällaisia uskomuksia ovat esimerkiksi se, että opettajat arvelevat, että opiskelijat eivät ole tasoltaan riittävän hyviä soveltamaan tutkivaa oppimista tai heille voi jäädä sitä sovellettaessa väärinkäsityksiä. (Salo 2016, Hankaniemi 2020, Asikainen 2016, Thomas 2000)

Työyhteisöön ja opiskelijoiden vanhempiin liittyviä haasteita ovat luokan hallinnan ongelmat, sekä työturvallisuuden haasteet. Ensimmäiseen vaikuttavat suuret luokkakoot sekä se, että tutkivassa oppimisessa kontrollia siirretään opettajalta opiskelijalle, jolloin opettaja ei voi suoraan hallita, mitä opiskelija tekee. Suuret luokkakoot voivat olla riippuvaisia myös resurssipulasta eli ei ole riittävästi varoja tai opettajia opettamaan pienempiä ryhmiä. Työturvallisuuden haasteiksi koetaan, että opiskelija voi suunnitella turvattoman tutkimusmenetelmän. Tätä voidaan kuitenkin välttää sillä, että opettaja tarkistaa menetelmät

ennen kuin opiskelijat pääsevät soveltamaan niitä käytännössä. (Salo 2016, Hankaniemi 2020, Thomas 2000)

Resurssipula voi viitata myös ajankäytön haasteisiin. Tutkivassa oppimisessa aikaa voi mennä enemmän niin suunnitteluun kuin toteutukseenkin. Koska arvioitavaa materiaalia syntyy enemmän, myös arviointiin kuluu enemmän aikaa. Opiskelijat tarvitsevat myös enemmän aikaa tutkimusprosessin suunnitteluun ja hienosäätöön sekä tulosten tulkitsemiseen ja niiden esittämisen pohtimiseen. Ajankäytön haasteita voidaan helpottaa esimerkiksi valitsemalla suppeampaa tutkivaa oppimista eli aina ei tarvitse valita kaikkein avoiminta tutkivaa oppimista vaan tärkeintä on tarjota opiskelijoille erilaisia kokemuksia. Voidaan myös toteuttaa lyhyempiä tutkimusprojekteja. Lisäksi opiskelijat voivat jakaa mittaustuloksensa koko ryhmälle ennen varsinaista tiedon tulkintaa. Tällöin esimerkiksi kuvaajaa varten saadaan mahdollisimman paljon havaintoja tai datapisteitä, jolloin päätelmien tekeminen helpottuu. Tämä mahdollistaa virheellisten tai poikkeavien havaintojen erottamisen jo ennen tulkintaa, mikä helpottaa ja nopeuttaa tulkinnan tekemistä. (Salo 2016, Asikainen 2016, Hankaniemi 2020, Thomas 2000)

Isoissa opiskelijaryhmissä tutkivan oppimisen soveltamista helpottaa ja nopeuttaa, kun hyvin valitut ryhmät pohtivat tutkimuskysymystä ja kehittävät tutkimusprosesseja, jonka jälkeen ryhmät tai osa ryhmistä esittelee ideat suullisesti muille ryhmille. Tämä mahdollistaa opettajalta ja muilta opiskelijoilta tarkentavien kysymysten esittämisen. Tämän jälkeen voidaan eri ryhmien ideoiden pohjalta koota yhteinen tutkimusprosessi, jolla jatketaan. Tämä sallii opettajalle enemmän hallintaa, kun kaikilla opiskelijoilla ei ole eri tutkimukset ja myös vaaratilanteita on vähemmän. Myös erilaisia välineitä on tutkimuksissa vähemmän, jolloin toteutus ei ole yhtä kaoottista ja erilaisten laboratoriotarvikkeiden tarve vähenee. Opettajan voi olla mahdollista testata etukäteen tutkimusprosessia tai sen osia, jos hän pystyy ennakoimaan, mihin tutkimusprosessiin päädytään tai haluaa ohjata päätöstä tiettyyn suuntaan. Tämä mahdollistaa myös toteutuksen keston arvioinnin tarkemmin. (Salo 2016)

Tutkimustilanteita on helpompi hallita myös antamalla opiskelijoille arviointikriteerit etukäteen. Tämä vähentää epäoleellisia kysymyksiä. Myös opettaja tietää tällöin, mitä arvioi ja voi tehdä esimerkiksi havaintoja tai muuta arviointia jo opetustilanteen yhteydessä. Se helpottaa arviointia, kun ei tarvitse yrittää muistella asioita jälkikäteen. (Salo 2016)



Myös opiskelijat voivat kohdata tutkivassa oppimisessa haasteita. Niitä esiintyy erityisesti, jos he eivät ole tottuneet käyttämään tutkivaa oppimista. Haasteita voivat olla esimerkiksi vastustus tutkivaa oppimista kohtaan, vaikeudet ryhmätyöskentelyssä, turhautuminen työhjeiden puuttumiseen tai ettei tiedä, mistä aloittaa. Myös se voi olla joillekin opiskelijoille haasteellista, että kaikki tekeminen on itsestä kiinni eli mitään ei tapahdu, jos ei itse toimi. (Salo 2016, Thomas 2000)

### **5.3 Aktivoivien opetusmenetelmien arviointi**

Tutkivan oppimisen arviointi voi koostua opiskelijoiden työnteon havainnoinnista, heidän tekemiensä esitelmien ja raporttien arvioinnista sekä yhdestä tai useammasta kokeesta, joiden kysymykset on pohdittu tutkivaan oppimiseen sopiviksi. Opiskelijat tekevät usein tuotoksena jonkinlaisen suullisen esitelmän tai kirjallisen raportin, joissa voidaan arvioida esimerkiksi asiasisältöä tai sitä, olisiko tutkimus toistettavissa raportin avulla. Kokeen tai kokeiden kysymykset voivat olla niin monivalintatehtäviä kuin avoimia tehtäviäkin. Näistä avoimet tehtävät antavat usein paremman kuvan opiskelijan osaamisesta, mutta ovat työläämpiä arvioida. Myös aineiston tulkintaa voidaan testata kokeessa. Sisällöllisesti kysymykset testaavat yleensä enemmän käytännön osaamista kuin valmiin tiedon hallintaa. (Salo 2016, Asikainen 2016, Mononen 2018, Kärnä ja Nuutinen 2017)

Opiskelijoiden työnteoa voidaan havainnoida esimerkiksi vaadittavien taitojen listan avulla. Tällaisen listan on kehittänyt esimerkiksi Hofstein (2004), jonka mukaan vaadittaviin taitoihin kuuluu kysymysten esittäminen ja hypoteesin muodostaminen, tutkimuksen suunnittelu ja toteutus, tuloksien analysointi ja pohdinta sekä tulosten esittely tieteellisellä tavalla. Opiskelija on myös hyvä ottaa mukaan arviointiin, jolloin arviointi voidaan tehdä esimerkiksi arviointilomakkeen avulla. Tällöin arviointilomake voi koostua esimerkiksi listasta arvioinnin kriteerejä, joiden vieressä on tilaa opiskelijoiden omalle ja opettajan arviolle. Vastauksena kriteereihin toimivat parhaiten joko sellaiset, joihin voi vastata kyllä tai ei, tai pisteytys esimerkiksi pisteillä 1–5. Kriteerit voivat vaihdella työn mukaan. Jotta arviointi olisi työnteon havainnointia, tulisi se täyttää joko työn aikana tai heti työnteon jälkeen. (Salo 2016, Mononen 2018, Kärnä ja Nuutinen 2017)

Opiskelijat voivat myös tehdä pikaraportteja, joihin he kirjaavat tekemänsä havainnot, joita he myös analysoivat tekstissä. Tämän lisäksi kirjataan heränneet kysymykset, tehdyt hypoteesit sekä tutkimuksen jatkokehitysideat. Nämä kaikki kerätään portfolioksi, jonka opettaja voi

arvioida. Opettaja myös havainnoi työskentelyä. Opiskelijat voivat myös kirjoittaa laboratoriopäiväkirjaa, jonka opettaja voi arvioida. (Salo 2016, Mononen 2018, Kärnä ja Nuutinen 2017) Käytännössä tutkivan oppimisen tai muun aktivoivan opetusmenetelmän arviointi toimii yleensä osana muuta arviointia ja tuo lisätietoa opiskelijan osaamisesta.

## 6 Lukion opetussuunnitelma

Lukion opetussuunnitelmaa uudistettiin yhdessä lukiolain kanssa. Uusien opetussuunnitelman perusteiden mukaan suunnitellut lukion opetussuunnitelmat tulivat käyttöön elokuussa 2021. Tärkein muutos uusissa opetussuunnitelman perusteissa liittyy kurssien jakamiseen moduuleiksi, joita voidaan sitten yhdistellä opintojaksoiksi lukion haluamalla tavalla joko yhden oppiaineen moduuleista tai useamman oppiaineen moduuleista. Moduulien työmäärää kuvataan opintopisteillä siten, että yksi opintopiste vastaa 19 pituudeltaan 45 minuutin oppituntia tai 11,4 pituudeltaan 75 minuutin oppituntia. Moduulien laajuudet vaihtelevat yhdestä kolmeen opintopisteeseen. Kemiassa ja biologiassa kaikki moduulit ovat joko yhden tai kahden opintopisteen laajuisia. Lukion oppimäärä muuttui 75 kurssista 150 opintopisteeseen eli yksi vanha kurssi vastaa kahta opintopistettä. Uusien opintojaksojen laajuudet voivat kuitenkin vaihdella eli ne eivät välttämättä ole kahden opintopisteen laajuisia. (Opetushallitus 2015, Opetushallitus 2019).

Lukiouudistuksen tavoitteita sekä keinoja tavoitteiden saavuttamiseksi kuvataan opetussuunnitelman perusteissa seuraavasti:

*Lukiouudistuksen tavoitteena on nostaa kansakunnan koulutustasoa, jotta Suomi menestyisi mahdollisimman hyvin tulevina vuosikymmeninä. Korkeakoulutettujen osuus 25–34-vuotiaiden ikäluokasta halutaan nostaa vuoteen 2030 mennessä 50 prosenttiin lain laatimishetken 41 prosentista. Tulevaisuudessa tarvitaan vahvaa asiantuntijaosaamista ja nykyistä enemmän korkeakoulutettua työvoimaa varsinkin kasvualoilla. Siksi uudistuksella halutaan lisätä lukiokoulutuksen vetovoimaa yleissivistävänä, korkeakouluihin jatko-opintokelpoisuuden antavana koulutusmuotona, vahvistaa koulutuksen laatua ja oppimistuloksia sekä sujuvoittaa siirtymistä toisen asteen opinnoista korkeasteelle. Yksilöllisemmät ja joustavammat opintopolut, niiden vaatima ohjaus ja tuki, oppiainerajat ylittävät opinnot sekä korkeakouluyhteistyö ovat keskeisiä keinoja tavoitteiden saavuttamiseksi. (Opetushallitus 2019)*

Lukio-opetus perustuu samoihin periaatteisiin koko maassa. Lukiokoulutus on perinteisesti ollut mahdollisuus päästä kohtaamaan asioita eri näkökulmista ja oppia asioista, joista yleisesti puhutaan. Tämä halutaan edelleen säilyttää ja pitää huolta, että Suomessa on myös tulevaisuudessa ihmisiä, jotka ymmärtävät asioita, joista päättävät. Lukiokoulutus on tarjonnut ja tarjoaa mahdollisuuden päästä opiskelemaan korkeakouluun ja tätä halutaan vielä vahvistaa parantamalla koulutuksen laatua ja oppimistuloksia sekä ottamalla huomioon erilaiset oppijat.

## 6.1 Kemia

Opetussuunnitelman perusteissa on kuvattu kemian opetuksen tavoitteita seuraavalla tavalla:

*Kemian opetus tukee opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä. Se ohjaa ymmärtämään kemian ja sen sovellusten merkitystä jokapäiväisessä elämässä, yhteiskunnassa ja ympäristöhaasteiden ratkaisemisessa. ... Opiskelijan luonnontieteellinen lukutaito kehittyy, mikä auttaa opiskelijaa arvioimaan kriittisesti erilaisia arjen valintoja sekä näkökulmia yhteiskunnallisessa keskustelussa. Opetus herättää kiinnostusta kemian opiskelua ja kemian alan ammatteja kohtaan sekä antaa valmiuksia menestyä jatko-opinnoissa luonnontieteellisillä ja luonnontieteitä soveltavilla aloilla. ...*

*Kemian opetus tukee opiskelijan käsitteiden ja ilmiöiden ymmärtämistä siten, että niiden makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso muodostavat loogisen kokonaisuuden. (Opetushallitus 2019)*

Opetuksessa tulisi käyttää erilaisia opetus- ja opiskelumenetelmiä, ja erityisesti kokeellisuus sekä tutkimuksen teko painottuvat opetussuunnitelman perusteissa:

*Kemian opetuksessa käytetään vaihtelevia ja monipuolisia opetus- ja opiskelumenetelmiä, joilla kehitetään opiskelijan käsitteellistä ja menetelmällistä osaamista. Opetuksen keskeisiin lähtökohtiin kuuluu havainnointi ja tutkiminen. Kokeellisuus eri muodoissaan tukee käsitteiden*

*omaksumista ja ymmärtämistä, tutkimisen taitojen oppimista ja luonnontieteiden luonteen hahmottamista. ...*

*Opiskelun edetessä tutkimisen taidot kehittyvät sekä kokonaisvaltaisesti että kunkin moduulin keskeisten sisältöjen osalta. Tutkimisen taitojen perustana on kysymysten ja havaintojen tekeminen. Mittaaminen, luokittelu ja muut tutkimisen taidot kehittyvät erilaisten menetelmien harjoittelun kautta. Myös opiskelijan tiedon käsittelyn ja esittämisen taidot karttuvat. Kokeellisen työn taidot etenevät kohti oman tutkimuksen suunnittelua. Samalla opiskelija oppii tekemään johtopäätöksiä sekä arvioimaan ja argumentoimaan tutkimuksen tuloksia. (Opetushallitus 2019)*

Kemian kokonaisuus muodostuu yhteensä kuudesta moduulista, joista kaksi on yhden opintopisteen ja neljä kahden opintopisteen laajuisia. Moduulit ovat Kemia ja minä, Kemia ja kestävä tulevaisuus, Molekyylit ja mallit, Kemiallinen reaktio, Kemiallinen energia ja kiertotalous sekä Kemiallinen tasapaino. Proteiineihin liittyviä sisältöjä löytyy moduuleista Molekyylit ja mallit sekä Kemiallinen reaktio ja terveysvaikutuksiin liittyviä sisältöjä erityisesti moduulista Kemiallinen tasapaino. Muissa moduuleissa on myös paljon pohjatietoja, joita näiden ymmärtämiseksi vaaditaan. (Opetushallitus 2019)

Moduulissa Molekyylit ja mallit käsitellään hiilten yhdisteiden kemiaa, joihin proteiinitkin kuuluvat. Proteiinien kannalta keskeisiä sisältöjä tässä moduulissa ovat hapettuminen ja pelkistyminen hiilen happiyhdisteissä, hiilen yhdisteiden rakenteiden mallintaminen ja ominaisuuksien selittäminen rakenteen avulla sekä stereoisomeria hiiliyhdisteissä. Kemiallinen reaktio -moduulissa käsitellään esimerkiksi hydrolyysiä hiiliyhdisteillä ja yleisimpien biomolekyylien, kuten proteiinien, muodostumista. Kemiallinen tasapaino -moduulin yksi tavoitteista on kemian merkityksen tunnistaminen terveyteen ja ympäristöön liittyvien ongelmien ratkaisemisessa ja tällaisiin ratkaisuihin tutustuminen on samassa moduulissa mainittu keskeisenä sisältönä. (Opetushallitus 2019)

## **6.2 Biologia**

Biologian opetuksen tavoitteita kuvataan opetussuunnitelman perusteissa seuraavasti:

*Biologia on luonnontiede, joka tutkii elämään liittyviä ilmiöitä molekyyli- ja solutasolta biosfääriin. Biologian opetuksen tarkoituksena on herättää kiinnostusta bio- ja ympäristötieteisiin ja tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä. Opetus vahvistaa opiskelijan käsitystä biologian merkityksestä osana luonnontieteellisen maailmankuvan rakentumista. Luonnontieteellinen maailmankuva perustuu tieteelliseen tutkimukseen ja auttaa siten opiskelijaa tarkastelemaan maailmaa tietoperustaisesti. Biologian opetus ohjaa opiskelijaa ymmärtämään elollisen luonnon rakennetta, toimintaa ja vuorovaikutussuhteita sekä evoluution merkityksen eliökunnan kehittymisessä. (Opetushallitus 2019)*

Biologian oppiaine auttaa opiskelijaa ymmärtämään ympäröivää maailmaa ja pärjäämään elämässä.

*Biologian oppiaine antaa opiskelijalle valmiuksia arkielämään, työelämään ja jatko-opintoihin. Biologian opetuksessa opiskelijalle välittyy kuva siitä, että biotieteet ovat nopeasti kehittyviä tieteenaloja, joiden sovelluksia hyödynnetään monin tavoin esimerkiksi lääketieteissä, teollisuudessa sekä maa- ja metsätaloudessa. Biologian opetus auttaa opiskelijaa ymmärtämään biotieteiden tarjoamia mahdollisuuksia edistää ihmiskunnan, muun eliökunnan ja elinympäristöjen hyvinvointia. (Opetushallitus 2019)*

Biologian opetuksessa tutkimuksen opettelu on tärkeää ja aktivoivat ja vuorovaikutteiset työtavat ovat sille ominaisia.

*Biologian opetukselle on ominaista havainnointiin ja kokeellisuuteen perustuva tiedonhankinta, tutkimuksellisuus sekä aktivoivat ja vuorovaikutteiset työ- ja toimintatavat. Biologian opetuksessa tehdään laborointeja ja työskennellään myös digitaalisissa ja koulun ulkopuolisissa opiskeluympäristöissä. Opiskelun edetessä kokeellisen työskentelyn taidot monipuolistuvat ja syventyvät. (Opetushallitus 2019)*

Biologian kokonaisuus muodostuu kuudesta moduulista, joista kaksi on yhden opintopisteen ja neljä kahden opintopisteen laajuisia. Moduulit ovat Elämä ja evoluutio, Ekologian perusteet, Ihmisen vaikutukset ekosysteemeihin, Solu ja perinnöllisyys, Ihmisen biologia sekä

Biotekniikka ja sen sovellukset. Proteiineihin, eliöiden ja virusten rakenteeseen sekä elimistön puolustautumisjärjestelmään liittyviä sisältöjä löytyy moduuleista Solu ja perinnöllisyys, Ihmisen biologia sekä Biotekniikka ja sen sovellukset. Muista moduuleista löytyy myös aihealueisiin liittyvää pohjatietoa. (Opetushallitus 2019)

Moduulissa Solu ja perinnöllisyys käydään läpi tumallisten solujen rakennetta ja toimintaa sekä biomolekyylejä. Ihmisen biologia keskittyy ihmisen rakenteisiin sekä ihmiskehon toimintaan. Proteiinien merkitys eri muodoissaan korostuu tässä moduulissa, sillä ne toimivat ihmiskehossa monella osa-alueella. Myös puolustusjärjestelmän toiminta kuuluu moduulin sisältöihin. Biotekniikka ja sen sovellukset -moduulissa käydään läpi eri mikrobien, kuten virusten, rakenteita ja lisääntymistä. (Opetushallitus 2019)

### 6.3 Oppiaineiden integrointi

Yhtenä keinona päästä tavoitteisiin opetussuunnitelman perusteissa mainitaan oppiainerajat ylittävät opinnot. Uusissa opetussuunnitelman perusteissa tätä on yritetty edistää mahdollistamalla erilaiset opintojaksot, jotka voivat koostua myös useamman oppiaineen moduuleista. Biologian osalta tätä yhteistyötä painotetaan vielä erikseen:

*Opetuksessa tehdään monipuolisesti yhteistyötä muiden oppiaineiden kanssa. Biologian opetukseen sisältyviä ilmiöitä tarkastellaan erityisesti maantieteessä, kemiassa, fysiikassa, psykologiassa ja terveystiedossa kullekin oppiaineelle ominaisella tavalla. (Opetushallitus 2019)*

Tämän lisäksi opetussuunnitelman perusteissa on kuvailtu laaja-alaiset opinnot, joista erityisesti monitieteinen ja luova osaaminen pohjautuu kemian ja biologian sekä muiden luonnontieteiden integrointiin. Laaja-alaiset opinnot käsittelevät taitoja, joita tarvitaan tavallisessa elämässä, mutta ne usein yhdistelevät eri tieteenalojen tai oppiaineiden tietoja ja taitoja.

*Lukiokoulutuksessa paitsi edistetään oppiaineiden tavoitteiden ja keskeisten sisältöjen hallintaa myös kehitetään laaja-alaista osaamista. Lukiokoulutuksen eheyttämiseksi lukion opetussuunnitelman perusteisiin on muotoiltu laaja-alaisen osaamisen osa-alueet, jotka muodostavat kaikkien oppiaineiden yhteiset tavoitteet: 1) hyvinvointiosaaminen, 2) vuorovaikutusosaaminen, 3)*

*monitieteinen ja luova osaaminen, 4) yhteiskunnallinen osaaminen, 5) eettisyys ja ympäristöosaaminen sekä 6) globaali- ja kulttuuriosaaminen. Laaja-alainen osaaminen auttaa suuntaamaan oppiaineissa opittuja tietoja ja taitoja käytännön elämään. Laaja-alainen osaaminen viittaa oppimisen ja osaamisen perustana oleviin kognitiivisiin taitoihin, metataitoihin sekä ominaisuuksiin, joita tarvitaan opiskelussa, työssä, harrastuksissa ja arjessa. Se luo myös edellytykset tiedoille ja taidoille, joiden avulla voidaan hallita muutosta digitalisoituvassa ja monimutkaistuvassa maailmassa. (Opetushallitus 2019)*

Monet elämän ilmiöt linkittyvät useaan oppiaineeseen, joista jokaisessa tarkastellaan ilmiötä hiukan eri näkökulmasta. Esimerkiksi proteiinien kohdalla kemiassa tarkastellaan proteiinien rakennetta ja reagoimista muiden aineiden kanssa, biologia proteiinien toimintaa ja terveystieto proteiinien merkitystä ravinnon osana. Yhdistämällä nämä näkökulmat saadaan kokonaiskuva proteiineista. Samalla voidaan kehittää taitoja, joita opiskelijat tarvitsevat jokapäiväisessä elämässä, kuten erilaisten kaavioiden lukeminen tai tiedon hakeminen. Opetuksen integroinnin hyödyistä ja haitoista sekä erilaisista malleista kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

## **7 Integrointi opetuksessa**

Integroinnilla tarkoitetaan kahden asian yhdistämistä. Opetuksessa integrointia voidaan hyödyntää niin oppiaineen sisällä kuin eri oppiaineiden välilläkin. Oppiaineet voivat olla molemmat luonnontieteitä tai esimerkiksi toinen voi olla luonnontiede ja toinen humanistinen tiede. Esimerkkinä oppiaineen sisäisestä integroinnista voi olla esimerkiksi kemiassa erilaisten sidostyyppien opettelu, joiden asiasisältö yhdistetään esimerkiksi aineen olomuotoihin ja ominaisuuksiin. Luonnontieteitä integroiva esimerkki voisi olla vaikkapa entsyymit, joiden rakenne on usein proteiinimolekyylin rakenne, ja jotka ovat biologiassa tärkeässä roolissa eliöissä tapahtuvien reaktioiden nopeuttajina eli katalyyteinä. Luonnontiedettä ja humanistisia tieteitä yhdistävä aihe on esimerkiksi vesi, jolloin voidaan käsitellä kemian näkökulmasta veden rakennetta ja ominaisuuksia, biologian näkökulmasta veden tarvetta eliöille ja yhteiskuntatieteiden näkökulmasta veden riittävyyttä maapallolla ja sen mukanaan tuomia ongelmia. Integroinnin laajuus voi vaihdella huomattavasti. Integrointia voi toteuttaa yksi opettaja, joka tuo tunneilla esiin myös muiden saman oppiaineen osa-alueiden sovelluksia tai muiden oppiaineiden näkökulmia käsiteltävään asiaan. Laajimmillaan integrointia voidaan toteuttaa usean opettajan yhteistyönä, mikä toisaalta vaatii

kommunikointia toisten opettajien kanssa enemmän, mutta mahdollistaa opiskelijalla laajemman näkökulman asioihin. Integrointia voidaan toteuttaa pieninä osina oppitunneilla tai esimerkiksi teemapäivinä tai yhteisinä kursseina. Integroinnin tavoitteena on esimerkiksi saada opiskelijat ymmärtämään kokonaisvaltainen näkemys aihealueesta, parantaa oppimisen laatua sekä tehdä opiskelusta mielekkäämpää. Integroinnilla pyritään myös havainnollistamaan eri tieteiden välisiä suhteita. (Karppinen 2019, Rita 1998, Rauma *et al.* 2006, Koskinen 2016)

## 7.1 Luonnontieteiden integrointi

Luonnontieteitä eli esimerkiksi kemiaa, biologiaa, fysiikkaa ja maantiedettä voidaan integroida helposti muun muassa matematiikkaan, terveystietoon tai kotitalouteen, joissa käsitellään samoja sisältöjä hieman eri näkökulmasta. Fysiikassa ja kemiassa esimerkiksi monet suureet ovat suoraan tai kääntäen verrannollisia toiseen suureeseen nähden. Biologiassa voidaan puhua liikunnan ja levon tärkeydestä samalla kun käydään läpi esimerkiksi lihassolun toimintaa ja orgaanisessa kemiassa käsiteltäviä ravintoaineita pohditaan myös terveystiedossa terveellistä ravintoa pohdittaessa ja kotitaloudessa ruokaa valmistettaessa. Luonnontieteitä on integroitu myös esimerkiksi taiteiden kanssa. Myös yhteiskunnallisten ongelmien, kuten veden riittävyyden, käsittely luo samalla integroinnin esimerkiksi yhteiskuntatiedon kanssa ja esimerkiksi alkuaineiden löytäjiin tutustuminen yhdistää mukaan myös historiaa varsinkin, jos pohditaan millaisissa olosuhteissa ihmiset, jotka ne ovat löytäneet, ovat eläneet. Luonnontieteitä voidaan integroida myös keskenään. Joissakin maissa se on toteutettu yhdistämällä kaikki samaksi oppiaineeksi (*science*) tai Suomessa alakoulun puolella ympäristöopiksi, mutta integrointia voidaan toteuttaa myös muuten. Keskitytään seuraavassa luvussa siihen, miten kemiaa ja biologiaa voidaan integroida. (Karppinen 2019, Torkar ja Koch 2012, Rauma *et al.* 2006)

## 7.2 Kemian ja biologian integrointi

Kemian ja biologian integrointia voidaan soveltaa useammilla integroinnin tasoilla. Opettajalle helpoin keino voi olla käyttää esimerkkejä toisesta aiheesta tai yhdistää erilaisten kysymysten avulla esimerkiksi biologian tunnilla opittuja asioita kemian tunnilla opeteltavaan asiaan tai päinvastoin. Laajempaa kemian ja biologian integrointia voi olla esimerkiksi



opettajien yhdessä pitämä kurssi, jossa asioita pohditaan sekä kemian että biologian näkökulmasta. (Karppinen 2019, Rita 1998)

Karppinen (2019) on valmistellut lukioon sopivan yhden oppitunnin (75 minuuttia) mittaisen integroivan kokonaisuuden verestä valmiin tuntisuunnitelman sekä tutkimusideoiden kanssa. Siinä ideana on, että osa oppitunnista on opettajajohtoista teoriaa, joka käytäisiin kahdessa osassa. Näiden välissä olisi opiskelijajohtoinen aktiviteetti, joka voi sisältää esimerkiksi tiedonhakua tai ryhmätyön tekemistä. Teoriaosuuksien jälkeen tehtäisiin kokeellinen osuus, jossa opiskelijat pääsevät tutkimaan verta. Ensimmäisessä osassa opiskelijat tutkivat verta mikroskoopilla. Koska mikroskoopilla tutkittavaksi soveltuu vain tuore veri, päästäisiin samalla harjoittelemaan lansetilla verinäytteen ottamista itseltä. Toisessa osassa perehdytään tuoreen veren ja pakastetun veren eroihin. Lopussa on vielä mainittu muutamia muita työideoita opiskelijatöiksi, kuten rautapitoisuuden määrittäminen verestä ja denaturointi, jossa päästäisiin tutkimaan esimerkiksi lämpöhalvauksen tai kuumeen vaikutuksia elimistöön. Lisäksi suunnitelmia löytyy samanlaisiin kokonaisuuksiin entsyymeistä ja adenosiinitrifosfaatista, jotka molemmat yhdistävät vahvasti kemiaa ja biologiaa. Näistä entsyymiaiheisella kokonaisuudella on mahdollisuus integrointiin erityisesti proteiinien osalta, sillä entsyymit ovat yleensä rakenteeltaan proteiineja.

Esimerkiksi Ritan (1998) artikkelissa kuvaillaan lukiotasolla luonnontieteiden integroidulla kurssilla toteutettuja kolmea konstruktivistiseksi muokattua laboratoriotyötä. Ensimmäisenä työnä käsiteltiin kaasulakeja hyödyntäen antasidia, joka on mahan happoja neutraloiva lääkeaine. Työssä käytettiin myös ilmapalloa, vettä ja lasipulloa. Ideana oli, että antasidi tuottaa reagoidessaan kaasuja, jotka täyttävät lasipullon suulle kiinnitetyn ilmapallon. Ilmapallon ympärysmittan kautta päästään kiinni kaasulakeihin. Opiskelijoiden selityksissä havainnoille paljastui virhekäsityksiä, jotka pyrittiin korjaamaan.

Toisessa työssä (Rita 1998) kasvatettiin bakteereita kasvatusmaljalla. Ideana oli vertailla erilaisten saippuoiden vaikutusta bakteerien kasvuun ja pohtia erityisesti antibakteeristen saippuoiden käytön hyötyä. Petrimaljalle tehdyt kasvatusalustat jaettiin kuuteen samansuuruiseen sektoriin, joille pyyhkäistiin bakteereja. Viiteen sektoreista laitettiin kuhunkin eri kemikaalia ja yksi sektori jätettiin verrokiksi. Kemikaaleina bakteerien kasvua estämään käytettiin 3 % vetyperoksidia, 1 M suolahappoa, valkaisuainetta, pesualkoholia, nestemäistä käsisaippuaa ja antibakteerista nestemäistä käsisaippuaa. Opiskelijat huomasivat, että käytetyissä aineissa oli eroja; osa oli happoja, osa emäksiä ja osa muuten bakteereille

haitallisia aineita. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluneet aineet saattoivat esimerkiksi toimia hajottamalla bakteereiden solukalvot. Tutkimuksen lopussa mitattiin, kuinka isolta alalta bakteerit olivat hävinneet käsittelyn jälkeen.

Kolmannessa työssä (Rita 1998) tutkittiin simpukan ja kananmunan kuoren kalsiummääriä. Kyseinen työ oli jo aiemmin ollut melko konstruktivistinen, mutta nyt työhön haluttiin lisätä integraatiota. Alkuperäisessä työssä opiskelijat pohtivat työssä ensin ruokasoodan, kalsiumkloridin ja veden reagoissa tapahtuvia reaktioita sekä reaktioissa syntyviä tuotteita. Nämä reaktiot ja tuotteet toimivat hypoteeseina myöhemmässä tutkimuksessa. Hypoteesia testattaessa tarkoituksena oli, että opiskelijoille jäi jäljelle yksi tai kaksi hypoteesia, joita todisteet tukivat. Yksi mahdollisista syntyvistä tuotteista on veteen liukenematon kalsiumoksidi, joka saatiin punnittua ja laskettua kalsiumoksidin saanto reaktiossa. Muokatussa työssä aloitettiin tutkimus kyselemällä, mitä yhtäläisyyksiä on simpukan ja kananmunan kuorilla. Tavoitteena oli saada opiskelijat pohtimaan asioita enemmän itse ja samalla saatiin tuotua esille myös kalsiumin tärkeys ihmisen luustolle ja lihasten toiminnalle.

### **7.3 Integroinnin haasteet**

Integroinnissa voi olla haasteita niin opettajilla kuin opiskelijoillakin. Opiskelijoiden haasteita voivat olla esimerkiksi uuden oppimistavan opetteluun liittyvät haasteet tai resurssien riittämättömyyden haasteet. Uuden oppimistavan opetteluun liittyviä haasteita on esimerkiksi mielenkiinnon puute toista oppiainetta tai oppiaineiden integrointia kohtaan. Resurssien puute opiskelijoiden kohdalla viittaa erityisesti ajanpuutteeseen, sillä oppiaineiden integrointi voi vaatia opiskelijalta enemmän aikaa, varsinkin, jos hän ei ole aiemmin opiskellut molempia integroitavia aineita. (Karppinen 2019, Rita 1998)

Opettajilla haasteet voivat liittyä niin ammattitaitoon kuin resursseihinkin. Osa opettajista ei välttämättä tunne toisen aineen sisältöjä, jolloin itsenäinen aineiden integrointi on haastavaa. Täydennyskoulutusta on joissain tapauksissa ollut tarjolla, mutta opettajalla ei välttämättä ole mahdollisuutta osallistua näihin esimerkiksi aikataulujen vuoksi. Toisaalta yhteistyö toisen opettajan kanssa ei aina ole helppoa ja kokonaisuuden suunnittelu ja toteutus vie paljon aikaa. Myös muiden kuin aikaresurssin puute voi tuoda haasteita mukanaan. Esimerkiksi laitteiden tai tarvikkeiden riittävyys tai hankinnan hinta voi tuoda mukanaan haasteita. (Torkar ja Koch 2012, Rita 1998, Karppinen 2019)

## 8 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset muotoutuivat seuraaviksi:

1. Mitä lukio-opiskelijan tulisi oppia proteiineista?
2. Miten kemian ja biologian integrointi vaikuttaa proteiinien opiskeluun?
3. Millaisia haasteita lukion opettaja kohtaa proteiinien integroivassa opetuksessa?

## 9 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä hyödynnettiin haastattelututkimusta. Tutkimusaineisto muodostui lukiossa opettavien opettajien haastatteluista. Tutkimusaineisto analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Haastattelututkimuksessa tarkoitus on yleensä kahden ihmisen välisellä keskustelulla selvittää esimerkiksi haastateltavan mielipiteitä, käsityksiä, havaintoja, asenteita, arvoja tai kokemuksia. Koska tässä tutkimuksessa oli tarkoitus saada selville opettajien kokemuksia ja havaintoja integraatiosta, valittiin haastattelututkimus menetelmäksi.

Haastattelututkimukset voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin; avoimeen, strukturoituun ja puolistrukturoituun haastatteluun. Avoimessa haastattelussa käydään vapaata keskustelua valitusta aihepiiristä. Strukturoidussa haastattelussa kaikille haastateltaville esitettiin samat kysymykset samassa järjestyksessä. Usein ainakin osaan kysymyksistä on myös valmiit vastausvaihtoehdot. Puolistrukturoitu haastattelu on jotakin näiden kahden välimaastosta. Kysymykset on usein laadittu valmiiksi, mutta niitä ei välttämättä kysytä kaikilta samassa järjestyksessä. Tässä tutkimuksessa käytettiin nimenomaan puolistrukturoitua haastattelua, sillä kysymyksiä oli kyllä mietitty valmiiksi, mutta niitä kysyttiin hiukan eri järjestyksessä. Jokaiselta haastateltavalta saatettiin kysyä myös haastattelurungon (Liite 1) ulkopuolisia täydentäviä kysymyksiä. Haastattelututkimuksen hyvä puoli on se, että haastattelut voidaan nauhoittaa, jolloin tilanteeseen on helppo palata nauhoitteen kautta. Näin tehtiin myös tässä tutkimuksessa eli haastattelut äänitettiin haastateltavien suostumuksella. Haastattelututkimuksessa on sille ominaisia tutkimukseen virhettä tuovia tekijöitä. Tällaisia ovat esimerkiksi haastateltavan kiusaantuminen joutuessaan observoinnin tai testauksen kohteeksi, haastateltavan oletetut tai todelliset roolit, prosessin vaikutus haastateltavaan, vallitsevat stereotypiat ja preferenssit sekä haastattelijan ja haastateltavan välinen vuorovaikutus. (Anttila 1998, Saaranen-Kauppinen ja Puusniekka 2006, Hyvärinen *et al.* n.d.)

Laadullisen sisällönanalyysin avulla analysoitiin tutkimusaineisto. Haastattelujen osalta analysoitiin, mitä haastatellut ovat sanoneet. Sen sijaan sisällönanalyysissä ei puututa siihen, miten asia on ilmaistu. Haastattelujen lisäksi laadullista sisällönanalyysiä voidaan käyttää myös muille tutkimusaineistoille, kuten kirjoitetulle tekstille, nauhoitetulle puheelle tai tekstiä, ääntä ja kuvaa yhdistelevälle materiaalille. Sisällönanalyysi aloitetaan koodauksella eli aineistosta tunnistetaan ja nimetään sisällöllisiä elementtejä. Tarkoitus on löytää aineistosta niin samankaltaisuuksia kuin myös eroja. Analyysin tuloksena saadaan selkeässä ja tiiviissä muodossa aineiston sisältämät tutkimuksen kannalta tärkeät asiat sekä näistä tehdyt johtopäätökset. (Vuori n.d, Anttila 1998)

## **10 Tutkimusaineisto**

Tutkimusaineisto koostui kolmesta lukion kemiaa tai biologiaa opettavan opettajan haastattelusta. Haastattelut kestivät noin 15–20 minuuttia ja ne pidettiin videopuhelusovellusten välityksellä touko-kesäkuussa 2020. Haastatteluissa käytetty haastattelurunko on liitteenä (Liite 1).

## **11 Tutkimustulokset**

### **11.1 Taustatiedot**

Yksi opettajista oli maantiedon ja biologian opettaja, toinen opetti fysiikkaa ja kemiaa ja kolmas matematiikkaa ja kemiaa. Opettajat olivat eri kouluista. Kaikki olivat toimineet opettajan työssä jo vähintään kymmenen vuoden ajan, ja lukiokokemusta oli yhtä haastateltavaa lukuun ottamatta myös jo vähintään kymmenen vuoden ajalta ja kolmannellakin vähintään viiden vuoden ajalta.

Oppimateriaalina haastatellut käyttivät pääasiassa eri kustantajien oppikirjoja sekä internet-lähteitä. Lisäksi materiaalia oli voinut kertyä erilaisista täydennyskoulutuksista tai sitä oli tehty itse. Jonkin verran haastatellut opettajat käyttivät myös yhteistä materiaalia muiden opettajien kanssa. Näitä voivat olla esimerkiksi monisteet, kokeet tai Pedanet-ympäristöt. Myös lehtien ja dokumenttien käyttämisestä oppimateriaalina tuli mainintoja.

## 11.2 Proteiinien opetus

Haastateltavien mielestä tärkeimmät asiat proteiinien opetuksessa olivat kemian näkökulmasta kemiallinen rakenne ja sidokset sekä reaktiot ja denaturoituminen. Biologian näkökulmasta tärkeimmiksi koettiin proteiinien tarpeellisuus ihmiselle ja toiminta ja vaikuttavuus kehossa sekä erityisesti proteiinisynteesi. Lisäksi esille nostettiin terveystiedon näkökulma, eli miten proteiinit vaikuttavat ihmisen hyvinvointiin. Jotta proteiineista saataisiin mahdollisimman kokonaisvaltainen kuva, tarvitaan integrointia. Karppisen (2019) tutkimuksessa mainituista integrointimalleista proteiinien opetuksessa tarvitaan niin oppiaineen sisäisiä integrointia kuin oppiaineiden välistäkin integrointia.

*”Toiminnallisuus eli, mikä sen vaikuttavuus kehossa on ja totta kai se kemiallinen rakenne ja sit sen kemiallisen rakenteen reaktion kautta ne muuntautumiset ja sit se kehollinen toiminta. Tämmönen terveystieteellinen näkökulma ett fysiologiaaki tulee tarkasteltuu. Kyllä se lähtee siitä peruskemiasta eli rakenteista ja reaktioista ja muuntautumisista.”*

Haastateltujen mukaan oppimateriaaleina käytettiin useimmin oppikirjaa ja monisteita tai videoistopalveluista löytyviä asiaa selittäviä videoita. Osa käytti myös MarvinSketch-ohjelmistoa, joka ylioppilaskokeessakin on opiskelijoiden hyödynnettävissä proteiinien piirtämiseen (Ylioppilastutkintolautakunta, n.d). Materiaalia oli saatettu kerätä myös esimerkiksi terveystiedon materiaaleista, lehdistä, kustantajien muista materiaaleista tai sitä oli saatu erilaisista koulutuksista.

Opetusmetodina kaikki haastatellut opettajat käyttivät ainakin osittain opettajajohtoista luennoivaa opetustapaa, jonka jälkeen mahdollisesti tehtiin jonkinlaista opiskelijajohtoisempaa työskentelyä. Opiskelijajohtoisempi osio sisälsi kuitenkin usein opettajan valmistamia monisteita, joissa harjoiteltiin teoriaosuuden asiaa. Kemian opetuksessa saatettiin toteuttaa myös kokeellisuutta esimerkiksi todentamalla proteiinien olemassaolo jossakin materiaalissa tai tutustumalla proteiinien reaktioherkkyyteen erilaisissa ympäristöissä. Myös projektioppimista esiintyi jonkin verran, jos opiskelija ilmaisi halunsa yhdistää saatua tietoa esimerkiksi urheiluharrastukseensa. Joskus proteiineja käsittelevät kurssit ovat kemiassa myös olleet niin kiireisiä, että on päädytty ratkaisuun, jossa opiskelija on opiskellut koko aiheen itsenäisesti. Opettajien mainitsemisissa opetusmetodeissa esiintyvät

useimmat aiemmassa tutkimustiedossa esiintyneet aktivoivat opetusmenetelmät, mutta myös perinteinen opettajajohtoinen opetus. (Salo 2016, Thomas 2000)

### 11.3 Integrointi

Integroinnin määrä ja laatu sekä integroitavat oppiaineet määräytyvät vahvasti opettajan pätevyyden ja mielenkiinnon mukaisesti. Osa haastelluista käyttää vain esimerkkejä ja osa yhdistää eri oppiaineita tai saattaa käyttää muiden oppiaineiden tai oppiaineita yhdistävää materiaaliakin apuna. Karppisen (2019) tutkimuksessakin esitellyistä integroinnin eri malleista esiintyy siis myös haastatteluissa useita.

*”Kyl mä pyrin käyttää ihan mahollisimman laajasti kaikkii eri käsitteit oli ne nyt sitten ihan tota yhteiskunnallisii termei tai tota biologisii termei”*

Usein hyödynnetään myös muiden aineiden opettajia esimerkiksi pyytämällä kysymään heiltä tai varmistamalla heiltä asioita tai pitämällä jopa tunteja heidän kanssaan yhdessä. Sanastossa hyödynnetään melko hyvin myös eri oppiaineiden sanastoa ja käsitteiden selittäminen ylipäätään koetaan tärkeäksi. Yleisesti luonnontieteiden opetuksessa kolmitasomallia haastatellut hyödyntävät melko hyvin eli teemoja käydään läpi niin makro-, mikro- kuin symbolisella tasolla. Usein jokin näistä jää kuitenkin vähemmälle huomiolle ja joskus opettajankin voi olla vaikeaa tunnistaa, mihin kolmesta tasosta jokin sisällön osa kuuluisi. Mikrotason asioita pidettiin vaikeana opettaa, sillä opiskelijoilla ei ole aina riittävää teoriapohjaa niiden käsittelemiseen. Mallien käyttämisestä opettajat kertomansa mukaan mainitsevat, että ne ovat aina yleistyksiä ja eivät kuvaa todellisuutta täydellisesti.

Proteiinien opetuksessa integrointia hyödynnetään jonkin verran. Proteiinien rakennetta käsiteltiin usein lähinnä oman oppiaineen näkökulmasta, sillä opettajien oma tietotaito ei heidän mukaansa riittänyt toisen oppiaineen näkökulman käsittelyyn. Tämä on todettu haasteeksi myös aiemmissa tutkimuksissa, tosin kotitalouden ja luonnontieteiden välillä (Torkar ja Koch 2012). Suomessa samoja haasteita voi kuitenkin esiintyä myös kahden luonnontieteen välillä, koska opettajien aineyhdistelmät ovat usein kemia ja fysiikka tai maantiede ja biologia, kemia ja biologia yhdistelmän jäädessä vähemmistöön.

*”enpä juurikaan, koska kemia nyt ei oo itelle se vahvin, biologia on se kakkosaine”*

Biologiaa integroitiin myös pohtimalla, miten proteiinit vaikuttavat kehossa ja mistä niitä löytyy. Suoran biologiaan integroinnin lisäksi oli mahdollista, että integroitiin myös terveystietoon, joka osittain hyödyntää biologian näkökulmaa, mutta joka voi tuoda myös uusia näkökulmia, jos pohditaan vaikkapa yhteiskunnallisesta näkökulmasta asioiden terveyshyötyjä tai -haittoja.

Opettajia pyydettiin myös pohtimaan integrointia opiskelijoiden näkökulmasta. Osa opettajista mainitsi, että opiskelijoiden pitäisi oppia biologian sanasto kurssin aikana, joten ei kannata tuoda lisäksi opeteltavaksi kemiankin sanastoa. Vastaavasti opiskelijoilla voi olla liian vähän tietoja kemiasta, jotta opetukseen voitaisiin integroida biologian sisältöjä.

*”ei niis kauheen syvälle kyllä viel päästä ja kyl mä koen, ett se syvällisempi asian käyminen vaatis vähän enemmän pohjatietoo ihan kemian oppiaineesta”*

Usein opiskelijoiden mielenkiintoa oppiaineiden integrointiin määrittää se, aikovatko he osallistua kemian tai biologian ylioppilaskirjoituksiin. Jos opiskelija osallistuu vähintään toisen aineen ylioppilaskirjoituksiin, on integrointi hänelle yleensä mielenkiintoista ja tärkeää. Tähän varmasti vaikuttaa se, että ylioppilaskokeen tehtävissä on usein myös oppiainerajat ylittäviä tehtäviä (Ylioppilastutkintolautakunta, 2022). Opettajat kokivat, että opiskelijat saavat paremmin kokonaiskuvasta käsityksen integroinnin avulla, mutta se vaatii kuitenkin, että opiskelijoita molemmat oppiaineet kiinnostavat ja he opiskelevat syventäviä opintojaksoja molemmista oppiaineista.

*”Jos ne opiskelijat lukee niit aineita ristiin, niin kyl ne paremmin hahmottaa niit asioit, jotka tulee molemmilt puolilt, yleensä. Ja kokee ehkä jopa mielekkäämmiksi sitä kautta.”*

Opettajien mukaan opiskelijat kokevat integroinnin usein joko todella mielenkiintoisena tai vaihtoehtoisesti se ei kiinnosta heitä lainkaan. Opettajat ovat myös havainneet, että opiskelijoille integroinnista mielenkiintoista tekee se, kun he pääsevät oman toimintansa näkökulmasta syventymään asioihin, mikä voi liittyä esimerkiksi aiemmissakin tutkimuksissa mainittuun ilmiölähtöiseen oppimiseen (Kärnä ja Nuutinen, 2017). Aiemmissa tutkimuksissa on myös huomattu se, että osa opiskelijoista kokee integroinnin hyvänä asiana ja osa ei (Salo 2016).

*”Kysymyksen asettelu lähtee ehkä siitä käytännön esimerkkien kautta. Et miten se sitten toimii, kun ollaan tällasessa ja tällasessa tilanteessa ja mitä sitte tapahtuu ja minkämoisena rasvana se sitte kerääntyy proteiinit kehoon ja tällaisia välillisiä kysymyksiä.”*

Haastatellut opettajat ovat huomanneet opiskelijoilla myös haasteita integroinnissa. Haasteena on eri kemiallisen tiedon tasojen välillä kulkeminen eli eräänlaisen kokonaiskuvan luominen asiasta. Voi olla, että opiskelija ymmärtää reaktioyhtälön, toiminnallisuuden ja miten kehon toiminta muuttuu, mutta ei ymmärrä, että jokin reaktio saa muutoksen aikaan niin rakenteessa kuin kehon toiminnassakin. Haasteita tuovat myös mielenkiinnon puute, jos toinen oppiaine ei kiinnosta tai siitä ei ole osaamista sekä sen unohtaminen, että kemian tehtävän vastaus vaatii aina myös kemiaa eikä pelkällä biologialla pärjää. Opiskelijoiden kokemat haasteet ovat siis pitkälti samoja kuin Ritan (1998), Torkarin ja Kochin (2012) sekä Karppisen (2019) tutkimuksissaan huomaamat.

*”No ehkä haasteet ja ongelmathan tulee sitten hyvin pitkälti niiden reaktioitten kautta. Et siinä vaiheessa, ku mietitään, että mitä se kemiallinen reaktio sitte synnyttää uutta. ... Kyl sitte kemiallinen reaktio, toiminnallisuus ja muuntautuminen kehossa tuottaa kyllä osalle isoja haasteita.”*

Haastateltujen opettajien mukaan opiskelijat usein esittävät myös itse integroivia kysymyksiä. Integroivat kysymykset liittyvät usein arkielämän havaintoihin tai toisessa oppiaineessa käsiteltyihin asioihin.

Haastateltavien annettiin myös pohtia, miten integraatiota olisi mahdollista lisätä ilman, että resursseja lisätään. Useampi haastateltavista kertoi, että heidän koulussaan järjestetään jo nyt yhteisiä kursseja, joissa integroidaan eri oppiaineita. Usein nämä kurssit sisältävät myös jonkinlaista kokeellisuutta eli ovat tutkivaa oppimista hyödyntäviä. Näitä voitaisiin kuitenkin kehittää myös eteenpäin. Osa opettajista nosti esiin aiemmissa lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2015) olevat teemaopinnot, joihin liittyen voitaisiin lisätä korkeakouluyhteistyötä sekä yhteistyötä eri lukioden välillä. Uusissa lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus, 2019) nämä löytyvät nimellä temaattiset opinnot ja niitä voidaan suunnitella paikallisesti.



*”Meilläki omassa koulussa on integraatiokurssi, jossa on oman kehon mittaamista. Eli siin on hyvin vahvasti terveystieto ja terveystietäminen, unen vaikutus, ruoan vaikutus, asiantuntijaluennointia. Kyl se on tän päivän lukio-opetusta, et oppilaalle tuodaan sekä tieteellinen yhteistyörakenne ja yhteistyömallit ja sitte tää yritys- ja yksityisen sektorin ja tutkimuksen tuomat näkökulmat sinne luokkatilaan tai sitten luokkatilan ulkopuolella. Ja resursseja, jos ei tuu lisää, niin se on aika luontainen tapa.”*

Opettajat huomasivat, että omassakin tuntien suunnittelussa integrointia voisi huomioida paremmin. Esimerkiksi simulaatioita ja kokeellisia töitä hyödyntämällä, dokumenttien pohjalta syvemmän keskustelun aikaansaamisella sekä itse eri näkökulmiin perehtymällä ja niitä oppitunneilla jakamalla integraatiota olisi haastateltujen opettajien mielestä helppo lisätä.

Opettajat kokivat myös valmiin oppimateriaalin hyvin integrointia lisääväksi, mutta huomasivat sen käyttämisessä myös haasteita. Resurssien puuttuessa pohdittiin, että kuka oppimateriaalia tekisi, sillä opettajat kokivat, että heillä itsellään ei sellaiseen ollut energiaa. Jos tekijöitä löytyisi, tulisi oppimateriaalin olla tasoltaan sopivaa eikä mennä liian syvälliseksi. Haastetta toisi myös se, että oppimateriaali ei välttämättä olisi looginen jatkumo asian aiemmalle käsittelylle. Koettiin, että opiskelijat kaipaavat materiaalia, joka olisi helposti sisäistettävissä ja siitä olisi helppo poimia perusasiat. Jos oppimateriaali olisi syventävämpää, sen olisi hyvä olla erillinen materiaali, jota opettaja voisi jakaa eteenpäin opiskelijoille, jotka siitä hyötyvät. Opettajat nostivat myös esiin, että materiaalin olisi hyvä olla projektioppimista tukevaa esimerkiksi jonkinlaisen työskentelyalustan muodossa. Materiaali voisi myös koostua työkokonaisuuksista, joita yhteisen kurssin sijaan voitaisiin toteuttaa eri oppiaineiden tunneilla. Tämä ei vaatisi niin paljon yhteistyötä useamman opettajan välillä, mutta kuitenkin enemmän kuin omilla tunneilla toteutettu integraatio.

*”Ehkä semmosia työalustoja, et sul ois niin, ku projektioppimiseen liittyviä kokonaisuuksia, joissa voidaan toteuttaa ainerajat ylittävästi...Voi olla työkokonaisuuksia, jotka toteutetaan eri oppiaineiden yhteydessä. Vähän niin, ku ilmiöoppimisen osalta niin ku laajemmassa kontekstissa. Ei se materiaali itsessään synnytä sitä paloa tai halua.”*

Opettajilta tiedusteltiin vielä voisiko täydennyskoulutus helpottaa integraation lisäämistä. Kaikki haastatellut kannattivat täydennyskoulutuksen lisäämistä, mutta huomauttivat, että se

tulisi suunnitella huolellisesti. Aiheena nostettiin esimerkiksi ainerajat ylittävät työtavat ja työmuodot. Toivottiin myös, että täydennyskoulutus ei olisi vain muutaman tunnin mittainen puhetuokio, vaan päästäisiin yhdessä kehittämään integrointimenetelmiä.

*”No varmaan, jos ne on hyvii ne koulutukset. Monenlaisii koulutuksii on nähty ja semmone muutaman tunnin jaarittelu ei johda mihinkään. Pitäis olla yhteist kehittämist tai jotai. Toistaseks en oo kokenu, ett ois ollu mitää kauheen hyväii koulutuksia.”*

Lopuksi haastatelluille annettiin vielä vapaa sana integroinnista, jossa nousi vielä esiin resurssien lisäyksen ja opettajien välisen yhteistyön tärkeys. Lisäksi toivottiin, että integrointi huomioitaisiin vielä paremmin opetussuunnitelmassa.

*”Siinä ois paljon potentiaalia, mutta jotta se saatais tehokkaasti toteutettua, niin tarvittais myös resurssia. Meillä esimerkiksi on suunniteltu, et ois biologian ja kemian välillä tämmöstä integraatiota, mut tällä hetkellä sit puhutaan rahasta, et miten se homma toteutetaan niin ettei työmäärä suhteessa palkkaan lisäännny.”*

*”Erittäin kannatettavaa! Se ois hyvä, ku sitä mahdollistettaisii laajemminki, että opettajat oppii kyllä toisiltaanki. Koulun sisällä opetuksellista asiantuntijuutta on erittäin haastavaa jakaa työn yhteydessä, mutta sitte jos se intressi on yhteinen, se on tosi hyvä oppimisen paikka opettajille ja täydennyskoulutuksen paikka. Ehdottoman kannatettavaa!”*

Haastatteluissa nousivat esiin hyvin Karppisenkin (2019) tutkimuksessa mainitut integraation eri mallit oppiaineen sisäisestä integraatiosta oppiaineiden väliseen integraatioon.

## **12 Yhteenveto**

### **12.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin**

1. Mitä lukio-opiskelijan tulisi oppia proteiineista?

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus, 2019) ja haastattelujen perusteella opiskelijan tulisi lukiossa oppia proteiineista useita asioita eri näkökulmista. Kemian näkökulmasta oleellisimpia ovat proteiinien rakenne ja niiden muodostumiseen vaadittavat sidokset. Myös proteiinien reaktiot, kuten hapettuminen ja pelkistyminen ovat tärkeitä. Lisäksi opiskelijan tulisi ymmärtää, mitä tarkoittaa proteiinien denaturoituminen. Biologian näkökulmasta tärkeintä on hallita proteiinien toiminta ja vaikutukset ihmiskehossa sekä proteiinien rakentuminen soluissa. Proteiinien tärkeyttä ihmiskehon toiminnalle tulisi myös käsitellä.

## 2. Miten kemian ja biologian integrointi vaikuttaa proteiinien opiskeluun?

Kemiaa ja biologiaa integroimalla proteiineista on helpompi muodostaa kokonaiskuva. Integrointi on myös luonnollista, sillä ymmärtääkseen joitakin kemian näkökulman asioita on osattava biologian näkökulman asioita ja päinvastoin. Opiskelijoille, jotka aikovat osallistua ylioppilaskirjoituksiin jommassa kummassa aineessa, on integroinnista myös paljon hyötyä, sillä ainerajat ylittäviin kysymyksiin vaaditaan myös tiedon integrointia. Varsinkin kemian tunneille biologian integrointi lisää myös mielenkiintoa, kun on mahdollisuus tuoda esimerkkejä opiskelijan arkielämästä. Aiempien tutkimusten perusteella integroimalla kemiaa ja biologiaa, voidaan aihetta käsitellä useammasta näkökulmasta ja eri näkökulmia myös yhdisteltyä. Integroinnilla aihealueita voidaan myös käsitellä joissakin tapauksissa opiskelijalähtöisemmin ja yhteyksiä opiskelijan arkielämään on helpompi huomata. (Karppinen 2019, Rita 1998)

## 3. Millaisia haasteita lukion opettaja kohtaan proteiinien integroivassa opetuksessa?

Haastattelututkimuksen ja aiempien tutkimusten mukaan yleisiä haasteita proteiinien integroivassa opetuksessa ovat resurssien puute ja opettajan oman tietotaidon puute. Resursseja puuttuu niin oppimateriaalin kuin työstä saatavan korvauksen muodossa. Opettajan omaa tietotaitoa olisi myös mahdollista kehittää, mikäli resursseja lisättäisiin. Haasteita tuovat myös opiskelijoiden heikot tiedot toisesta tai molemmista integroitavista aineista. Integrointi on myös opiskelijoille haastavaa, jos pohjatiedot ovat heikot, mikä näkyy myös mielenkiinnon puutteena. Aiempien tutkimusten perusteella on myös havaittu, että kaikilla opettajilla ei ole ollut mahdollisuutta osallistua tarjottuihin täydennyskoulutuksiin, jos esimerkiksi aikataulut eivät ole sopineet. Aiemmissä tutkimuksissa on lisäksi todettu, että kaikilla kouluilla ei ole tarvikkeita ja laitteita riittävästi tai niiden hankintahinta on liian korkea, mikä rajoittaa myös integroinnin mahdollisuuksia (Torkar ja Koch 2012, Rita 1998, Karppinen 2019)

## 12.2 Tutkimuksen luotettavuuden ja eettisyyden arviointi

Kuten Anttilan (1998) artikkelissa on kerrottu, haastattelututkimukseen sisältyy useampia virhelähteitä. Osa haastateltavista on mahdollisesti ollut hiukan kiusaantuneita, kun heiltä on kysytty asioita, mikä voi varsinkin haastattelun alussa näkyä pienenä varovaisuutena vastauksissa. Tämän tutkimuksen haastattelua tehdessä oletettiin, että haastateltavalle biologian opettajalle tietyt termit olisivat tuttuja, mutta näin ei aina ollutkaan, vaan joitakin termejä jouduttiin selittämään kesken haastattelun. Nämä uudet termit saattoivat myös saada haastateltavalle epävarman olotilan. Haastateltaviin olisi ollut helpompi luoda toimivampaa suhdetta, jos heidät olisi päässyt tapaamaan kasvokkain. Tämä saattoi myös haastateltavilla vaikuttaa heidän varmuuteensa, kun ei päässyt kunnolla kohtaamaan henkilöä, jonka kanssa keskusteli. Otokseltaan tutkimus jäi pieneksi, joten tulokset eivät ole yleistettävissä. Tämän vuoksi olisi tärkeää, että monista aihepiireistä tehtäisiin tarkempaa tutkimusta.

Eettisyyden arviointi on tehty Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohjeen (2019) mukaisesti. Haastateltuja on informoitu tutkimuksen tarkoituksesta ja tekotavasta etukäteen. Haastattelun alussa heille on mainittu, että haastattelu äänitetään sekä kerrottu mahdollisuudesta jättäytyä tutkimuksesta pois milloin tahansa. He ovat osallistuneet tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heidän suostumuksensa on vahvistettu vielä haastattelutilanteessa. Haastatteluäänitteet on säilytetty vain tutkijan hallussa ja ne tuhoetaan heti tutkimuksen valmistuttua.

## 12.3 Pohdinta

Keväällä 2020 koulut olivat siirtyneet nopeasti tietokoneiden välityksellä tehtävään etäopetukseen koronaviruksen leviämisen hidastamiseksi. Opettajat joutuivat opettelemaan uuden tavan tehdä töitä, mikä rasitti monia opettajia enemmän kuin normaali opetus, jossa opettaja ja opiskelijat ovat samassa tilassa. Tämä vaikutti varmasti ainakin tämän tutkimuksen haastateltavien määrään. Toisaalta se nopeutti digiloikkaa kouluissa, joten oppimateriaalia on jatkossa helpompi jakaa myös erilaisten alustojen kautta.

Opettajien haastatteluissa taustalla havaittiin käsitys, että integrointi tarkoittaisi vahvasti esimerkiksi yhteisen kurssin tai vähintään omilla kursseilla yhteisten tehtävien tekoa, jotka molemmat vaativat aika paljon resursseja useammalta opettajalta. Opettajien tietoisuuden

lisääminen integroinnin eri tavoista olisi tärkeää, jotta he voivat huomata, kuinka helposti integrointia voisi lisätä myös omiin oppitunteihin.

Resurssien puute on opettajien mielestä isoimpia kynnyksiä integraation lisäämiseen. Olisiko resursseja siis mahdollista lisätä? Myös valmis oppimateriaali, jota opettajat voisivat soveltaa auttaisi varmasti integroinnin lisäämistä, kunhan oppimateriaalille löytyisi tekijä. Täydennyskoulutuksia tulisi myös kehittää opettajien mielipiteiden pohjalta hyödyllisemmiksi sekä tarjota niitä mahdollisimman laajasti, myös mahdollisesti verkkokoulutuksina. Täydennyskoulutuksia voisi myös tarjota ristiin eri luonnontieteellisten aineiden opettajille, jolloin opettajilla olisi mahdollisuus syventää myös muiden aineiden hallintaa. Nämä yhdessä voisivat rohkaista opettajia hyödyntämään integrointia omassa opetuksessaan.

## **12.4 Jatkotutkimuskysymykset**

Jatkossa voisi olla hyvä tutkia, millaista täydennyskoulutusta oppiaineiden integroinnista kannattaisi järjestää, jotta se vastaisi opettajien tarpeita. Integroinnin käsitettä opettajien näkökulmasta olisi myös hyvä selvittää tarkemmin ja miettiä, miten käsitettä saataisiin opettajien mielikuvissa laajennettua koskemaan myös muita integroinnin muotoja. Voitaisiin myös selvittää, millainen oppimateriaali tukisi parhaiten integroivaa proteiinien opetusta opettajien ja opiskelijoiden näkökulmasta. Olisi myös hyvä selvittää tarkemmin sekä opettajien että opiskelijoiden kokemia haasteita erilaisissa integrointimalleissa.

## 13 Kirjallisuusluettelo

Anttila, P. (1998), *Tutkimisen taito ja tiedonhankinta*, Metodix – metoditietämystä kaikille, <https://metodix.fi/2014/05/17/anttila-pirkko-tutkimisen-taito-ja-tiedon-hankinta>,

viitattu 31.05.2022

Asikainen, T. (2016), *Kehittämistutkimus: Muovien kierrätyksen opettaminen ongelmalähtöisen oppimisen avulla lukio-opetuksessa*, Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos

BBC Bitesize, n.d, KS3 Cells to systems,

<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z9hyvew/revision/2>, viitattu 23.5.2020

Bell, R.L., Smetana, L. & Binns, I. (2005), Simplifying Inquiry Instruction, *The Science Teacher*, 72 (7), s. 30–33

BIOS 3 Kpl 7 Kasvisolu (2018), palvelussa Quizlet,

<https://quizlet.com/311203145/bios-3-kpl-7-kasvisolu-diagram/>, viitattu 18.5.2020

Buxbaum, E. (2015), *Fundamentals of Protein Structure and Function*, 2. painos, Springer, Sveitsi, s. 3–5, 9–10, 15–16, 20–27, 32–33, 37–38, 42–43, 65, 67–70, 78–79, 97, 100, 163, 165, 177–179, 203–220, 225–226, 287, 323–324, 343–344

Eläinsolun rakenne (2020), palvelussa Quizlet,

<https://quizlet.com/469087565/elainsolun-rakenne-diagram/>, viitattu 25.3.2020

Hankaniemi, H. (2020), *Terveyskasvatus lukion kemian projektimaisessa opetuksessa: esimerkkinä ravinnon rasvat*, Helsingin yliopisto, Kemian osasto

Happonen, P., Holopainen, M., Sotkas, P., Tenhunen, A., Tihtarinen-Ulmanen, M. & Venäläinen, J. (2009), *BIOS 2 Solu ja perinnöllisyys*, 4.–5. painos, WSOYpro, Helsinki

Hofstein, A. (2004), The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research, *Chemistry Education: Research and*

*Practice*, 5 (3), s. 247–264.

Hyvärinen, M., Suoninen, E., & Vuori, J., n.d, Haastattelut, teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/>, viitattu 31.05.2022

Kabata, L (2014)., *Kehittämistutkimus: Verkkomateriaali jätevedenpuhdistuksen ongelmalähtöiseen opetukseen*, Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos

Karppinen, J.P.I. (2019), *Eheyttävä opetus luonnontieteiden opetuksessa*, Pro gradu tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos

Keppo, M. (2017), *Harvinaiset maametallit kiertotalouden kontekstilähtöisessä oppimisessa*, Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos

Koskinen, R. (2016), *Mielekäs oppiminen matematiikan opetuksen lähtökohtana*, Systemaattinen analyysi Journal for Research in Mathematics aikakauslehden artikkelien pohjalta, <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/230140>, viitattu 10.6.2022

Kärnä, P. & Nuutinen, M. (2017), Ilmiöt ja niiden havainnoiminen fysiikan ja kemian opetuksessa, *LUMAT-B International Journal on Math, Science and Technology Education*, 2 (1), s. 35–48

Laasala, R. (2018), *Keittiökemian soveltaminen kontekstilähtöisessä monialaisessa kemian opetuksessa*, Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos

Lohenoja, J. (2012), *Alkoholien opetus peruskoulussa*, Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, Kemian laitos

Megías, M., Molist, P. & Pombal, MA. (2019). *Atlas of plant and animal histology, Histological techniques*, <http://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/1-introduccion.php>, viitattu 23.5.2020

Mononen, M. (2018), *Oppimisen arviointi LUMA-projektioppimisessa*, Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos

- Nelson, D.L. & Cox, M.M. (2013), *Lehninger Principles of Biochemistry*, 6. painos, International Edition, Macmillan Higher Education, USA, s. 15, 27–28, 31, 75–100, 115, 151, 157, 184, 387, 1114–1115
- Opetushallitus (2015), *Opetussuunnitelman perusteet*, <https://www.oph.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/julkaisut/lukion-opetussuunnitelman-perusteet-2015>, viitattu 16.8.2020
- Opetushallitus (2019), *Opetussuunnitelman perusteet*, <https://www.oph.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/julkaisut/lukion-opetussuunnitelman-perusteet-2019>, viitattu 16.8.2020
- Pedanet Forssa Kuhalan koulu, n.d, Aminohapot ja proteiinit, <https://peda.net/forssa/perusopetus/kuhala/oppiaineet2/kemia/oppikirjat/III2/14>, viitattu 1.6.2022
- Prince, M.J. & Felder, R.M. (2006), The Many Faces of Inductive Teaching and Learning, *Journal of College Science Teaching*, 36 (5), s. 14–20
- Rauma, A-L., Himanen, R. & Väisänen, P. (2006) Integration of Science and Mathematics into Home Economics Teaching – A Way to Improve the Quality of Learning?, *Journal of Family and Consumer Sciences Education*, 24 (1), s. 27–36
- Rautiainen, J. (2016), Ongelmalähtöinen kemian opetus, *LUMAT-B International Journal on Math, Science and Technology Education*, 1 (2), s. 59–62
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. & Jackson, R.B. (2011), *Campbell Biology*, 9. painos, Global Edition, Pearson, USA, s. 78, 84–88, 104, 108–109, 114–115, 123–133, 136, 140–186, 188–189, 198–207, 252–272, 357–369, 371–395, 427–440, 922–942, 975–998, 1020–1040
- Rita, R.D. (1998), Integrated constructivism – Open-ended laboratory exercises promote student inquiry, *The Science Teacher*, 65 (5), ProQuest, s. 24–27



- Saaranen-Kauppinen, A., & Puusniekka, A. (2006), *KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto*, Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>, viitattu 31.05.2022
- Salo, S. (2016), *Tutkiva oppiminen kemian opetuksessa – mahdollisuudet tukea oppimista ja opiskelua*, Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos,
- Smith, J.G. (2011), *Organic Chemistry*, 3. painos, International Edition, McGraw Hill, Singapore, s. 710–713, 7911, 855–856, 1075–1077, 1086–1087, 1091–1093, 1101–1105
- Thomas, J.W. (2000), *A Review of Research on Project-based Learning*, San Rafael, CA: Autodesk Foundation
- Torkar, G. & Koch, V. (2012), Factors Hindering Teachers from Integrating Natural Sciences and Mathematics into Home Economics Courses, *Journal of Baltic Science Education*, 11 (3), s. 216–223
- Tro, N.J. (2011), *Chemistry – A Molecular Approach*, 2. painos, International Edition, Pearson, USA, s. 1–2, 459–466, 597, 963–974, 976
- Tutkimuseettinen neuvottelukunta (2019), *Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakoarviointi Suomessa*, Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisut 03/2019, <https://tenk.fi/fi/ohjeet-ja-aineistot>, viitattu 4.6.2022
- Vuori, J., n.d, Laadullinen sisällönanalyysi, teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/>, viitattu 31.05.2022.
- Wikipedia – The Free Encyclopedia, Transthyrethin, n.d, <https://en.wikipedia.org/wiki/Transthyretin>, viitattu, 11.3.2020
- Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Aminohapot, n.d, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Aminohapot>, viitattu, 1.6.2022
- Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Bakteerit, n.d, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Bakteerit>,

viitattu 18.5.2020

Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Hemoglobiini, n.d,

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hemoglobiini>, viitattu 21.3.2020

Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Kollageeni, n.d, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kollageeni>,

viitattu 11.3.2020

Wikipedia – vapaa tietosanakirja, RNA, n.d, <https://fi.wikipedia.org/wiki/RNA>, viitattu

19.5.2020

Wikipedia – vapaa tietosanakirja, Solukalvo, n.d, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Solukalvo>,

viitattu 25.3.2020

Ylioppilastutkintolautakunta, Koejärjestelmässä käytettävissä olevat ohjelmat, n.d,

<https://www.ylioppilastutkinto.fi/ylioppilastutkinto/digitaalinen-ylioppilastutkinto/koejarjestelman-ohjelmat>, viitattu 1.6.2022

Ylioppilastutkintolautakunta (2022), Ylioppilastutkintolautakunnan yleiset määräykset ja ohjeet,

[https://www.ylioppilastutkinto.fi/images/sivuston\\_tiedostot/Ohjeet/Yleiset/yleiset\\_maaraykset\\_ja\\_ohjeet.pdf?v=120422](https://www.ylioppilastutkinto.fi/images/sivuston_tiedostot/Ohjeet/Yleiset/yleiset_maaraykset_ja_ohjeet.pdf?v=120422), viitattu 1.6.2022

## **Liitteet**

Liite 1. Haastattelurunko



- iii. Käytätkö sanastona vain ”oman” alasi sanastoa vai esitteletkö opiskelijoille myös toisen alan sanastoa?
  - iv. Käytkö asioita läpi makrotasolla, mikrotasolla sekä symbolisella tasolla eli huomioiden niin silmillä nähtävissä olevat asiat kuin esimerkiksi kemiaan liittyvät rakennekaavat?
6. Miten mielestäsi opiskelijat kokevat oppiaineiden välisen integraation? Hallitsevatko he sen tai onko ongelmia? Miten opiskelijat suhtautuvat integraatioon? Ottavatko opiskelijat itse esiin biologian sisältöjä kemian tunnilla/kemian sisältöjä biologian tunnilla?
7. Oletetaan, että resursseja ei ole lisättäväksi, miten voisit lisätä oppiaineiden (erityisesti ke-bi) integrointia opetuksessasi?  
Olisiko apua
- oppimateriaalista?
  - täydennyskoulutuksesta?
8. Onko sinulla vielä muuta sanottavaa integroinnista?

Kiitos haastattelusta!