

BIOINFORMATIIKAN HYÖDYNTÄMINEN LUKION  
BIOLOGIAN OPETUKSESSA

IIDA PIRINEN

Pro-gradu tutkielma  
Itä-Suomen yliopisto  
Ympäristö- ja biotieteiden laitos  
Biologia  
2019

ITÄ - SUOMEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja biotieteiden laitos, biologia

PIRINEN, IIDA: Bioinformatiikan hyödyntäminen lukion biologian opetuksessa.

Pro gradu -tutkielma (40op), 72s., liitteitä 4

Kesäkuu 2019

.....  
Avainsanat: Bioinformatiikka, biologiset tietokannat, biologinen data, opetus

Bioinformatiikka on tieteenala, joka tallentaa ja säilöö biologisista makromolekyyleistä, kuten geeneistä ja proteiineista saatua tietoa ja kehittää välineitä tiedon käsittelyyn, analysointiin ja esittämiseen. Molekyylibiologisten tutkimusmenetelmien kehityksen myötä biologisen datan määrä on kasvanut valtavaksi. Bioinformatiikka tarjoaa työkaluja suurien tietomäärien järjestelmälliseen käsittelyyn ja uudenlaisten biologisten analyysien toteuttamiseen. Bioinformatiikalla on erittäin keskeinen rooli modernissa luonnontieteellisessä ja lääketieteellisessä tutkimustyössä. Bioinformatiikan merkityksellinen asema on herättänyt keskustelua siitä, pitäisikö bioinformatiikkaa ottaa mukaan toisen asteen biologian opetukseen. Nuorille pitäisi antaa todenmukaista kuvaa siitä, mitä biologinen data on ja miten suuria datamääriä hyödynnetään modernissa biologisessa tutkimuksessa.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan bioinformatiikan tämänhetkistä roolia Suomessa lukion biologian opetuksessa ja selvitetään bioinformatiikan käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia sekä sopivuutta lukion biologian opetuksen apuvälineeksi. Tämän tutkimuksen aineisto koostuu lukion biologian opetussuunnitelman ja lukion biologian oppikirjojen analyysistä, lukion biologian opettajille järjestetystä kyselystä sekä lukiolaisille järjestetyistä biologisten tietokantojen näytetunneista ja niistä saadusta palautteesta.

Tutkimuksen perusteella bioinformatiikan tämänhetkinen rooli lukion biologian opetuksessa on hyvin vaihteleva. Lukion opetussuunnitelma sisältää monia sellaisia tavoitteita, joiden opiskeluun bioinformatiikka soveltuisi erinomaisesti. Bioinformatiikkaa ei kuitenkaan suoraan mainita opetussuunnitelmassa. Biologian oppikirjoissa bioinformatiikalle annettu rooli vaihtelee suuresti. Myös opettajien välillä havaittiin suuria eroja heidän bioinformatiikan osaamisessaan. Vain suhteellisen harvat opettajat olivat hyödyntäneet bioinformatiikkaa opetuksessaan. Opiskelijan saama käsitys bioinformatiikasta ja sen roolista biologisen datan hyödyntämisessä voikin vaihdella suuresti riippuen siitä, minkä oppikirjan avulla hän opiskelee ja millaiset bioinformatiikan tietotaidot hänen opettajallaan sattuu olemaan.

Bioinformatiikan havaittiin sopivan erinomaisesti lukion biologian opiskelun apuvälineeksi. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä monia opetussuunnitelman määräämiä biologian tiedollisia ja taidollisia tavoitteita voidaan opiskella uusilla tavoilla. Biologisten tietokantojen ja bioinformatiikan apuohjelmien käyttäminen ei ole lukiolaisille liian vaikeaa, mikäli he saavat tehtävien suorittamiseen hyvät ohjeet sekä apua ja tukea opettajaltaan. Opettajat ja opiskelijat osoittivat varsin suurta kiinnostusta bioinformatiikan opetuskäyttöä kohtaan. Tämän tutkimuksen perusteella bioinformatiikan hyödyntämistä lukion biologian opetuksessa voidaan suositella. Bioinformatiikan integroiminen osaksi lukion opetussuunnitelmaa ja biologian opettajille järjestettävä ammatillinen koulutus ovat ensimmäisiä tärkeitä askelia bioinformatiikan käyttöönotossa.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND

Department of Environmental and Biological Sciences, biology

PIRINEN, IIDA: Exploiting bioinformatics on secondary school biology education

MSc. Thesis (40 cp), 72 pp., Appendices 4

June 2019

.....  
Key words: Bioinformatics, biological databases, biological data, education

Bioinformatics is a branch of science concerned with the recording and storage of information attained from biological macromolecules such as genes and proteins. Bioinformatics develops tools and methods to organize, analyze and present biological information. As the molecular biology research methods have developed, the amount of biological data has become immense. Bioinformatics offers tools to handle this “big data” and it makes new kinds of analysis possible. The integral part of bioinformatics in modern life sciences has raised discussion whether bioinformatics should be integrated into biology education on upper secondary school level. Students should get a realistic understanding of what biological data is and how this “big data” is used in modern biological research.

The aim of this study is to investigate the current role of bioinformatics in upper secondary school biology teaching in Finland and to explore the possible exploitation and implementation possibilities and applicability of bioinformatics into biology education. The research was done by analyzing the Finnish upper secondary school biology curriculum and biology text books, by organizing a questionnaire to biology teachers and by organizing example lessons of biological databases for upper secondary school students and assessing their feedback.

The role of bioinformatics in current upper secondary school biology education was found to be varying. The biology curriculum contains multiple educational aims in which bioinformatics could be used as a beneficial aid. However, bioinformatics is not directly mentioned in the curriculum. The role of bioinformatics varied greatly in biology text books. Significant differences were also found in biology teachers` understanding of bioinformatics, with only few teachers applying bioinformatics into their teaching. Students could attain a very different kind of understanding of bioinformatics and its role in biological research depending on which text book the school is using and how well their teachers perceive the role of bioinformatics.

Bioinformatics was found to be an excellent aid to upper secondary school biology teaching. Multiple curriculum-based knowledge and know-how skills could be studied in new ways with the help of bioinformatics. The use of biological databases and bioinformatics tools is not too difficult for the upper secondary school students as long as they get good instructions and support from their teachers. Both teachers and students presented interest towards the idea of using bioinformatics as an educational tool. Based on the outcomes of this study, the use of bioinformatics in upper secondary school biology education can be suggested. The first steps to achieve this are to integrate bioinformatics into the biology curriculum and to arrange proper bioinformatics training for biology teachers.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	5
2 BIOINFORMATIIKKA TIETEENALANA .....	6
3 BIOINFORMATIIKKA JA BIOLOGIAN OPETUS.....	9
3.1 Bioinformatiikka opetuskäytössä.....	9
3.2 Miksi bioinformatiikkaa pitäisi ottaa mukaan lukiokoulutukseen? .....	11
3.3 Miten bioinformatiikkaa tulisi käyttää biologian opetuksen apuvälineenä? .....	13
4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	16
5 AINEISTO JA MENETELMÄT .....	17
5.1 Biologian opetussuunnitelman tarkastelu.....	17
5.2 Oppikirja-analyysi .....	18
5.3 Kysely lukion biologian opettajille .....	19
5.4 Bioinformatiikan näytetunnit.....	24
6 TULOKSET .....	27
6.1 Bioinformatiikan sisällyttäminen opetussuunnitelman mukaiseen lukion biologian opetukseen.....	27
6.1.1 BI3 Solu ja perinnöllisyys .....	27
6.1.2 BI5 Biologian sovellukset .....	29
6.1.3 Bioinformatiikan hyödyntäminen muilla biologian kursseilla.....	30
6.2 Oppikirja-analyysi .....	31
6.3 Lukion biologian opettajien näkemyksiä ja kokemuksia bioinformatiikasta .....	32
6.3.1 Vastaajien taustatiedot.....	32
6.3.2 Opettajien bioinformatiikan tuntemus .....	34
6.3.3 Bioinformatiikan hyödyntäminen opetuksessa.....	42
6.3.4 Bioinformatiikan kiinnostavuus ja täydennyskoulutuksen tarve.....	45
6.4 Bioinformatiikan soveltuvuus lukioikäisten käyttöön - Näytetuntien palaute. ....	47
6.4.1 Opiskelijoiden taustatiedot .....	47
6.4.2 Opiskelijoiden kokemuksia näytetunnilla tehdyistä tehtävistä .....	49
6.4.3 Opiskelijoiden halukkuus käyttää biologisia tietokantoja jatkossa biologian opiskelussa. ....	53
7 TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA.....	55
7.1 Bioinformatiikan nykyinen rooli lukion biologian opetuksessa. ....	55
7.1.1 Bioinformatiikan sopivuus opetussuunnitelman mukaiseen biologian opetukseen.....	55
7.1.2 Bioinformatiikan rooli oppikirjoissa .....	57
7.1.3 Lukion biologian opettajien bioinformatiikan tuntemus.....	58

7.1.4 Bioinformatiikan hyödyntäminen opetuksessa ja opettajien täydennyskoulutuksen tarve.....	60
7.2 Bioinformatiikan soveltuvuus lukioikäisten käyttöön.....	62
7.2.1 Näytetunnin rakenteen ja tehtävien toimivuus .....	62
7.2.2 Opiskelijoiden kokemuksia biologisten tietokantojen käytön vaikeustasosta.....	62
7.2.3 Opettajan roolin ja ohjeiden vaikutus.....	63
7.2.4 Opiskelijoiden kokemuksia biologisten tietokantojen käytön kiinnostavuudesta...	64
7.2.5 Näytetuntien vertaus aikaisempiin tutkimuksiin .....	65
8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	67
KIITOKSET.....	70
LÄHDELUETTELO.....	70
LIITTEET .....	73

## 1 JOHDANTO

Biologinen tutkimus on muuttunut oleellisesti viimeisten vuosikymmenten aikana (Machluf & Yarden 2013). Uudet geenitekniikan menetelmät ja niiden avulla kerätyt laajat biologiset data-aineistot ovat tulleet keskeiseksi osaksi monia biologian tutkimusaloja. Biologisen datan määrän kasvaessa nopeasti on tärkeää, että dataa voidaan tallentaa, organisoida, säilyttää ja hyödyntää järjestelmällisesti. Tätä tarvetta varten kehittyi bioinformatiikka, moderni tieteenala, joka kehittää menetelmiä biologisen tiedon tallentamiseen ja käsittelyyn (mm. Luscombe ym. 2001, Marques ym. 2014). Biologiset tietokannat ja bioinformatiikan kehittämät apuohjelmat ovat keskeisiä työkaluja modernissa biologisessa tutkimuksessa. Uusien lääketieteellisten hoito- ja tutkimusmenetelmien, geenitiedon käyttöä koskevan julkisen keskustelun sekä markkinoille tulevien uusien tuotteiden, kuten kaupallisten geenitestien kautta bioinformatiikka tulee osaksi tavallisten kansalaisten elämää. Nykyajan nuoret kasvavat maailmassa, jossa biologisen datan ymmärtäminen on yhä tärkeämpää. Nuorten tulee saada todenmukainen kuva siitä, mitä biologinen data on, miten sitä kerätään, säilytetään ja hyödynnetään, jotta he voivat huolehtia omasta yksityisyydestään ja ottaa kantaa yhteiskunnassa esiin nousevaan keskusteluun biologisen datan käytöstä.

Lukion uuden opetussuunnitelman (Opetushallitus 2015) mukaan lukiokoulutuksen tulee syventää opiskelijoiden kiinnostusta tieteisiin ja kehittää heidän valmiuksia jatko-opiskeluun ja työelämään. Ainekohtaisessa opetuksessa opiskelijat tulee tutustuttaa tieteenaloille tyypillisiin tiedonhankinta ja tutkimusmenetelmiin sekä data-aineistoihin ja niiden käsittelyyn. Bioinformatiikan kasvava rooli ja merkitys on herättänyt keskustelua siitä, pitäisikö bioinformatiikkaa integroida osaksi toisen asteen biologian opetusta (mm. Wood & Gebhardt 2013, Machluf ym. 2017). Biologiset tietokannat ja niiden apuohjelmat tarjoavat uuden digitaalisen oppimisympäristön, jossa opiskelijat pääsevät käsittelemään aitoa biologista tutkimusdataa aidoilla tutkijoiden käyttämillä menetelmillä. Bioinformatiikan kautta nuoret voivat tutustua moderniin biologiseen tutkimukseen ja samalla kehittää käsitystään siitä, mitä biologinen data on ja miten sitä hyödynnetään. Bioinformatiikan integroimista biologian opetukseen on testattu jo useissa tutkimuksissa (mm. Gelbart & Yarden 2006, Gallagher ym. 2011, Marques ym. 2014) Bioinformatiikan hyödyntämisen on havaittu kehittävän nuorten tieteellistä ajattelua ja ongelmanratkaisukykyä sekä edistävän genetiikan oppisisältöjen ja tieteellisten tutkimuskäytänteiden ymmärrystä (mm. Gelbart & Yarden 2006, Marques ym. 2014). Bioinformatiikkaan tutustuminen hyödyttäisi kaikkia nuoria, mutta erityisesti siitä

hyötyisivät ne nuoret, jotka suunnittelevat jatko-opintojaan luonnontieteiden tai lääketieteen parissa. On tärkeää, että nuoret saisivat todenmukaista ja ajankohtaista kuvaa siitä, millaista näiden tieteenalojen opiskelu on ja millaisia uramahdollisuuksia niiden parista voi löytää.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella bioinformatiikan tämänhetkistä roolia Suomessa lukiotason biologian opetuksessa sekä selvittää bioinformatiikan käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia sekä soveltuvuutta lukion biologian opetukseen. Tutkimuksen alussa tarkastellaan bioinformatiikkaa tieteenalana sekä luodaan katsaus bioinformatiikan opetuskäytöstä tehtyihin tutkimuksiin ja niistä saatuihin tuloksiin. Opinnäytetyön varsinainen tutkimusosuus koostuu lukion opetussuunnitelman ja lukion biologian oppikirjojen analyysistä, suomalaisille lukion biologian opettajille järjestetystä kyselystä sekä lukiolaisille pidetyistä bioinformatiikan näytetunneista ja niistä saadusta palautteesta. Opinnäytetyössä annetaan myös ideoita ja esimerkkejä bioinformatiikan hyödyntämiseen biologian opetuksen apuvälineenä.

## 2 BIOINFORMATIikka TIETEENALANA

Bioinformatiikka on saanut alkunsa proteiinisekvenssien tutkimuksesta (Claverie & Notredame 2003). Vuonna 1951 saatiin selville ensimmäisen proteiinin, insuliinin, aminohappojärjestys (Sanger & Tuppy 1951). Tutkijat ympäri maailmaa alkoivat selvittää proteiinien aminohappokoostumuksia ja tuloksia tallennettiin manuaalisiin tietokantoihin. Sekvenssidatan keräys muutti biologista tutkimusta kvantitatiiviseen (määrälliseen) suuntaan. Aineiston säilytyksessä ja tulkinnassa alettiin hyödyntää apuna yhä enemmän tilastotiedettä ja matematiikkaa. Sekvenssitietokantojen koon kasvaessa tiedon manuaalisesta käsittelystä tuli vaikeaa (Tuimala 2005). Tietokoneiden kehittyminen tarjosi tutkijoille oivan apuvälineen ongelmaan. Tietokoneita alettiin hyödyntää sekvenssien tallennukseen ja käsittelyyn. Ensimmäisiä algoritmeja kehitettiin tiedon analysoimista, etsimistä ja esittämistä varten. Ensimmäiset tehokkaat DNA:n sekvensointimenetelmät kehittyivät 70-luvulla (Claverie & Notredame 2003). Sekvensointimenetelmien nopea kehitys ja DNA:n sekvenssitiedon karttumisen kasvatti nopeasti biologisen tutkimustiedon määrää. 90-luvulta lähtien on pystytty sekvensoimaan lajien kokonaisia genomeja. Ensimmäinen perimältään kokonaan sekvensoitu organismi oli *Haemophilus influenzae* - bakteeri, jonka geneettinen koodi saatiin selville vuonna 1995 (Fleischmann ym. 1995). Seuraavan vuonna selvitettiin ensimmäisen eukaryootin, hiivan (*Saccharomyces cerevisiae*) genomi (Goffeau ym. 1996). Ihmisen genomien ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2001 ja lopullinen versio valmistui vain pari vuotta

myöhemmin vuonna 2003 (NIH 2016). 2000 -luvun uudet sekvensointimenetelmät ovat nopeuttaneet entisestään sekvensointia ja laskeneet kustannuksia. Biologisen tiedon määrä on kasvanut niin suureksi, että sen käsittely ja tulkinta ilman tietokoneita olisi nykyään käytännössä mahdotonta.

Biologisen tiedon säilyttämistä ja käsittelyä tietokoneiden avulla alettiin kutsua bioinformatiikaksi. Bioinformatiikalla viitattiin alunperin nimenomaan biologisten sekvenssiaineistojen käsittelyyn tietokoneavusteisin menetelmin (Tuimala 2005). Myöhemmin bioinformatiikka on laajentunut sisältämään muun muassa genomiikkaa, geenikartoitusta, molekyylihallinnusta ja toiminnallista genetiikkaa. Bioinformatiikan tutkimuskenttä on nykyään hyvin laaja, minkä vuoksi bioinformatiikan yksiselitteinen määrittely ei ole helppoa. Bioinformatiikka voidaan määritellä informaatioteknologian alueeksi, jonka tehtävänä on tallentaa, ylläpitää ja analysoida biologista informaatiota (Tuimala 2005). Se on tieteenala, joka pyrkii kehittämään informaatio- ja tietoteknisiä välineitä biologisten ongelmien ratkaisemiseksi. Bioinformatiikka voidaan määritellä myös tieteenalaksi, joka käsittelee makromolekyylien, kuten DNA:n ja proteiinien sisältämää informaatiota (Luscombe ym. 2001). Bioinformatiikassa biologisia makromolekyyliä ja niiden sisältämää informaatiota järjestellään, analysoidaan ja tulkitaan käyttäen apuna tietotekniikkaa, matematiikkaa ja tilastotiedettä. Tässä tutkimuksessa bioinformatiikka määritellään tieteenalana, joka tallentaa ja säilöö biologisista makromolekyyleistä saatua tietoa sekä kehittää välineitä tiedon käsittelyyn, analysointiin ja esittämiseen.

Bioinformatiikalla on kolme keskeistä tavoitetta (Luscombe ym. 2001). 1. Bioinformatiikka pyrkii organisoimaan biologista dataa siten, että aineisto on helposti saatavilla ja täydennettävissä uusilla tutkimustuloksilla. 2. Bioinformatiikka kehittää työkaluja, jotka helpottavat suurien datamäärien käsittelyä ja analysoimista. 3. Bioinformatiikka pyrkii mahdollistamaan biologisten tutkimusaineistojen uudenlaisen analysoinnin ja biologisten merkitysten selvittämisen tarjoamalla tutkijoiden käyttöön työkaluja ja laajoja tietoresursseja. Bioinformatiikka kehittää menetelmiä hyvin monimuotoisen biologisen data-aineiston käsittelyyn. Bioinformatiikalla on kolme pääasiallista datatyyppiä: Sekvenssidata, makromolekyylien rakennedata ja toiminnallisten genomitutkimusten tuloksena saatu data (Luscombe ym. 2001). Sekvenssidata koostuu DNA:n ja RNA:n nukleotidisekvensseistä ja proteiinien aminohapposekvensseistä. Tyypillisiä sekvenssidatan analyysimuotoja ovat erilaiset sekvenssien vertailut sekä DNA:n, RNA:n ja proteiinien toiminnan kannalta keskeisten sekvenssialueiden tunnistaminen ja kartoittaminen. Makromolekyylien rakennedata tarkoittaa tietoa DNA:n, RNA:n ja proteiinien ylemmän tason rakenteista. Tähän kuuluu



esimerkiksi makromolekyylien kolmiulotteisen rakenteen tutkiminen sekä toiminnan kannalta tärkeiden rakenteiden kartoittaminen. Toiminnallisten genomitutkimusten tuloksiin kuuluvat puolestaan erilaiset makromolekyylien toimintaa mittaavat tutkimukset, kuten geenien ilmenemisen ja siihen vaikuttavien tekijöiden hahmottaminen. Näiden kolmen päädatatyypin lisäksi bioinformatiikka käsittelee myös monenlaista muuta informaatiota, jota on tuotettu esimerkiksi genomien ja metabolisten reittien tutkimuksissa. Yksi bioinformatiikan keskeisistä haasteista on kehittää menetelmiä ja työkaluja, joiden avulla eri datatyypin sisältämää informaatiota voidaan yhdistää ja vertailla (Tuimala 2005). Biologiset aineistot liittyvät toisiinsa monilla tavoilla. Esimerkiksi DNA-sekvenssit toimivat ohjeina aminohappoketjujen rakentamiselle. Aminohappoketjuista muodostuu toiminnallisia proteiineja niiden laskostuessa kolmiulotteiseen muotoonsa. Osa proteiineista voi vaikuttaa toiminnallaan muiden geenien ilmenemiseen ja siten toisten proteiinien valmistamiseen. Geenien säätelyverkkojen, metabolisten reittien ja yleisesti ottaen kaikenlaisten biologisten toimintojen syvälinen tutkiminen vaatiikin kykyä löytää yhteyksiä eri datatyypin väliltä.

Biologisen tietomäärän kasvamisen ja jatkuvasti kehittyvien analyysimenetelmien ansiosta bioinformatiikan avulla ei enää vain tulkita tietoa, vaan tietoa voidaan myös ennustaa (Tuimala 2005). Suurien data-aineistojen pohjalta voidaan ennustaa esimerkiksi tuntemattomia genejä DNA-sekvenssistä sekä proteiinien rakenteita ja toimintaa aminohapposekvenssien perusteella. Dataan pohjautuva ennustaminen nopeuttaa ja helpottaa tutkimustyötä.

Bioinformatiikan kehittyminen on olennaisesti muuttanut biologista tutkimusta (Machluf & Yarden 2013). Bioinformatiikka tarjoaa työkaluja suurien datamäärien käsittelyyn ja analysointiin ja uudenlaisten biologisten ongelmien ratkaisuun. Internetissä olevat avoimet biologiset tietokannat ovat tärkeässä asemassa nykyajan biologisessa tutkimuksessa (Joannefox 2006). Niiden kautta tutkimuksissa saatu biologinen tieto on kaikkien hyödynnettävissä. Biologisen tutkimuksen lisäksi bioinformatiikalla on nykyään keskeinen rooli myös muun muassa bioteknologisessa ja lääketieteellisessä tutkimuksessa (Machluf & Yarden 2013). Uusien keksintöjen ja lääketieteellisten hoitojen myötä bioinformatiikka vaikuttaa kaikkien kansalaisten elämään.

## 3 BIOINFORMATIIKKA JA BIOLOGIAN OPETUS

### 3.1 Bioinformatiikka opetuskäytössä

Bioinformatiikan integroiminen toisen asteen biologian opetukseen on saanut alkunsa yksittäisten opettajien ja tutkimusryhmien työstä vuosituhaten vaihteessa. Opetussuunnitelmista alettiin etsiä sellaisia biologian oppisisältöjä ja opetuksen tavoitteita, joita voitaisiin toteuttaa bioinformatiikka-avusteisesti (Wefer & Sheppard 2008). Bioinformatiikan soveltuvuutta toisen asteen biologian opetukseen alettiin testata käytännössä yksittäisissä kouluissa. Bioinformatiikasta kiinnostuneet biologian opettajat solmivat yhteyksiä tiedemaailmaan ja alkoivat uudistaa opetustaan bioinformatiikan asiantuntijoiden avustuksella (mm. Gabric 2003, Form & Lewitter 2011). Bioinformatiikan tarjoamia mahdollisuuksia alettiin selvittää myös tutkimusryhmien aloitteesta. Yhdysvaltojen Coloradon yliopiston tutkijat suunnittelivat ja toteuttivat opintokokonaisuuden, jossa geneettistä evoluutiota opetettiin lukioikäisille bioinformatiikan avulla (Gallagher ym. 2011). Tutkimusprojektin tarkoituksena oli tutustuttaa nuoret moderniin tietotekniikan avulla tehtävään biologiseen tutkimukseen sekä tarkastella bioinformatiikan soveltuvuutta lukioikäisten käytettäväksi. Israelissa Weizmann instituutin tutkijat järjestivät bioinformatiikkaa hyödyntävän tutkimussimulaation, jossa lukioikäiset opiskelijat tekivät geneettistä tutkimusta jäljittelemällä aidon tutkimusprosessin eri vaiheita (Gelbart & Yarden 2006). Myöhemmin saman instituutin tutkijat ovat kehittäneet web-pohjaista oppimisympäristöä "Bioinformatics in the service of biotechnology", jonka tavoitteena on sitoa bioinformatiikkaa osaksi tieteiden opetusta toisen asteen koulutuksessa (Machluf & Yarden 2013, Machluf ym. 2017). Oppimisympäristön avulla on tutkittu myös bioinformatiikan sopivuutta nuorten käytettäväksi sekä bioinformatiikan integraation vaikutuksia nuorten oppimistuloksiin. Kiinnostusta bioinformatiikan hyödyntämiseen löytyy myös Euroopasta. Vuonna 2007 Portugalissa käynnistettiin Bioinformatics@school -projekti, jonka tavoitteena on levittää bioinformatiikan tietämystä kouluihin tarjoamalla opettajille koulutusta ja valmiita ohjeistettuja bioinformatiikkaa hyödyntäviä tutkimusprojekteja (Marques ym. 2014).

2010 -luvulla keskustelu bioinformatiikan integroimisesta osaksi luonnontieteiden opetusta on kiihtynyt. Kansainväliset organisaatiot, kuten EMBL - EBI (European Molecular Biology Laboratory - European Bioinformatics Institute), ja ISCB (International Society for Computational Biology) ovat alkaneet pohtimaan, miten bioinformatiikkaa voisi tuoda mukaan toisen asteen koulutukseen (Machluf & Yarden 2013, Wood & Gebhard 2013). Aiheesta on

kirjoitettu tieteellisiä julkaisuja, pidetty konferensseja ja laadittu ensimmäisiä ohjeita sille, miten bioinformatiikkaa pitäisi opettaa nuorille. Opettajille on alettu tarjoamaan koulutusta ja nettiin on ladattu nuorille sopivaa bioinformatiikan opetusmateriaalia.

Bioinformatiikan on havaittu sopivan hyvin biologian opetukseen. Bioinformatiikan hyödyntäminen on edistänyt nuorten genetiikan tietämystä ja geneettisten tekijöiden välisten yhteyksien havaitsemista sekä lisännyt heidän luottamusta omaan osaamiseensa (Gelbart & Yarden 2006, Marques ym. 2014, Machluf ym. 2017). Bioinformatiikan käyttö on parantanut nuorten tieteellistä ajattelua, ongelmanratkaisukykyä ja tieteellisten tutkimuskäytänteiden ymmärrystä (Gelbart & Yarden 2006, Machluf ym. 2017). Nuorten asenne bioinformatiikkaa kohtaan on ollut pääasiallisesti positiivista. Opiskelijat ovat pitäneet bioinformatiikkaa mielenkiintoisena ja mukavana opiskelutapana sekä hyvänä kokemuksena (Marques ym. 2014, Machluf ym. 2017) Osa nuorista on innostunut biologian ja tietotekniikan yhdistämisestä sekä siitä, että he pääsivät käyttämään oikeiden tutkijoiden oikeita tutkimusmenetelmiä (Gallagher ym. 2011). Tutkimuksiin ja koulutuksiin osallistuneet opettajat ovat pitäneet bioinformatiikkaa hyödyllisenä (Wood & Gebhardt 2013, Marques ym. 2014). Saatu koulutus on lisännyt opettajien tietoutta bioinformatiikan hyödyntämismahdollisuuksista, antanut heille uusia ideoita opetukseen ja lisännyt heidän itseluottamustaan uusien teknologioiden opettamisessa (Wood & Gebhardt 2013). Koulutusten kautta saatu tieto ja ideat ovat myös levinneet opettajalta toiselle, mikä kertoo opettajien kiinnostuneisuudesta bioinformatiikan hyödyntämisestä kohtaan (Marques ym. 2014).

Edistyksestä huolimatta bioinformatiikka ei ole saanut vielä laajempaa jalansijaa toisen asteen biologian opetuksessa (Machluf ym. 2017). Bioinformatiikan käyttöönottoa hidastaa erityisesti kaksi asiaa. Ensimmäinen ongelma on puute opettajien osaamisessa (Wood & Gebhardt 2013). Opettajat ovat usein kyllä tietoisia uusista tutkimusmenetelmistä ja niiden tuottamista suurista datamääristä, mutta heillä ei ole osaamista tällaisen datan hyödyntämiseen. Opettajille on vaikeaa pysyä tiedemaailman nopean kehityksen mukana eikä ajankohtaista ammatillista koulutusta ole aina saatavilla. Toinen ongelma löytyy biologian opetussuunnitelmista (Machluf ym. 2017). Bioinformatiikan hyödyntäminen on vähäistä, koska sitä ei ole integroitu osaksi opetussuunnitelmia. Bioinformatiikan keskeistä roolia ei välttämättä ymmärretä ja se jätetään helposti kokonaan huomiotta muiden, opetussuunnitelman määräämien, teemojen ja aihealueiden ohjatessa opetusta. Bioinformatiikan epäselvä rooli on tullut esiin myös joidenkin opiskelijoiden negatiivisissa asenteissa. Osa tutkimuksiin osallistuneista nuorista on pitänyt bioinformatiikan käyttöä turhana ajan hukkauksena, joka on

vain vienyt aikaa tärkeämpien eli loppukokeissa testattavien asioiden opiskelulta (Gallagher ym. 2011).

Bioinformatiikan integroiminen biologian opetukseen ei ole myöskään aivan ongelmatonta. ELLS:n (European Learning Laboratory for the Life Sciences) LearningLAB -kursseille vuosina 2010 - 2012 osallistuneilta opettajilta kerättiin palautetta heidän kokemuksistaan bioinformatiikan integroimisesta opetukseen (Wood & Gebhardt 2013). Opettajien mainitsemat ongelmat liittyivät erityisesti ajankäyttöön, tekniikkaan ja kieliongelmiin. Bioinformatiikan työkalujen oppiminen vie aikaa. Kurssien tuntimäärä on kuitenkin rajallinen ja opittavia sisältöjä on paljon. Suurin osa opettajista koki ongelmaksi bioinformatiikan harjoittelun mahdollistamisen kursseihin. Ongelmia koettiin myös teknisen välineistön kanssa. Bioinformatiikan hyödyntäminen vaatii hyvin toimivia tietokoneita sekä tehokkaan ja luotettavan netin, joita ei välttämättä ole aina saatavilla. Lisäksi osa opettajista koki ongelmalliseksi englanninkielisen materiaalin, jota he joutuivat kääntämään omalle opetuskielilleen. Bioinformatiikan hyödyntämisen ongelmiksi on havaittu myös bioinformatiikan tieteellinen termistö, sovellusten käytön monimutkaisuus, lukioikäisille sopivan opetusmateriaalin rajallinen määrä ja heikko taso sekä koulutuksen huono saatavuus (Machluf & Yarden 2013).

### 3.2 Miksi bioinformatiikkaa pitäisi ottaa mukaan lukiokoulutukseen?

Lukiokoulutuksen tehtävänä on tarjota nuorille laaja-alaista yleissivistystä, syventää heidän kiinnostustaan tieteisiin sekä kehittää heidän valmiuksiaan jatko-opiskeluun ja työelämään (Opetushallitus 2015). Koska bioinformatiikalla on erittäin keskeinen rooli nykyaikaisessa luonnontieteellisessä ja lääketieteellisessä tutkimuksessa, olisi aiheellista, että nuoret saisivat kosketuspintaa bioinformatiikkaan jo lukioaikana heidän pohtiessaan omia jatko-opintoihin ja työelämään liittyviä vaihtoehtojaan. Bioinformatiikan käyttöä ja soveltamista opetetaan nykyään monissa korkeakouluissa, mutta lukiokoulutuksessa bioinformatiikkaa ei ole juurikaan huomioitu (mm. Gallagher ym. 2011, Machluf & Yarden 2013). Toisen asteen biologian koulutuksen jälkeenjääneisyys huolestuttaaakin tiedeyhteisöä Nuoria pitäisi valmentaa tulevaa opiskelu- ja työelämää varten, mutta kouluissa opetetaan tieteitä vanhanaikaisesti.

Käytännön sovellusten kautta bioinformatiikka tulee osaksi tavallisten kansalaisten elämää. Mediassa uutisoidaan uusista geenitekniikkaa hyödyntävistä sairauksien tunnistus- ja

hoitomenetelmistä. Julkista keskustelua käydään muun muassa geenimanipuloidusta ruoasta ja bakteerien antibioottiresistenssin kasvamisesta. Yritykset tarjoavat kuluttajille geenitestejä yksilön etnisen alkuperän, sukuhistorian ja geneettisten tautiriskien kartoittamiseksi. Jotta nuori pystyisi muodostamaan oman näkemyksensä asioista ja ottamaan niihin kantaa, hän tarvitsee näkemystä siihen, millaista moderni tieteen tekeminen on (Marques ym. 2014). Bioinformatiikan tuntemus hyödyttääkin nuoria riippumatta siitä, mille alalle he suuntautuvat jatko-opinnoissaan.

Bioinformatiikan hyödyntäminen sopisi monin tavoin lukion uuden opetussuunnitelman asettamiin yleisiin opetuksen tavoitteisiin. Opetussuunnitelman mukaan oppimisen tulee tapahtua erilaisissa ympäristöissä monipuolisia menetelmiä hyödyntäen (Opetushallitus 2015). Menetelmien ja ympäristöjen valinnassa tulee ottaa huomioon oppiaineiden omat erityispiirteet. Bioinformatiikan tietokannat ja apuohjelmat tarjoavat opiskelijoille uudenlaisia oppimisympäristöjä ja opiskelumenetelmiä. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä opiskelijat voivat käyttää modernin luonnontieteen aitoja työkaluja ja tutkia ja käsitellä aitoja tieteellisiä aineistoja (Wood & Gebhardt 2013, Machluf ym. 2017). Opiskelijat voivat jäljitellä oikeita tieteellisiä tutkimuksia tai suunnitella omia tutkimuksiaan suuria tutkimusaineistoja hyödyntäen. Bioinformatiikan käyttö kehittää opiskelijoiden ymmärrystä luonnontieteellisestä tutkimuksesta ja sen avulla he voivat harjoitella jatko-opinnoissa tarvittavia tutkimustaitoja (Form & Lewitter 2011). Bioinformatiikan hyödyntäminen rakentaa näin siltaa koulumaailman ja tutkimusmaailman välille (Wood & Gebhardt 2013). Se vähentää kynnystä lähestyä tieteellistä tutkimusdataa ja datan analysointiin käytettäviä sovelluksia. Bioinformatiikkaan tutustuminen voi myös innostaa ja motivoida opiskelijoita luonnontieteelliselle alalle (Machluf & Yarden 2013).

Lukion opetussuunnitelma korostaa tieto- ja viestintäteknologian roolia oppimisen ja opettamisen työvälineenä (Opetushallitus 2015). Opiskelijoita tulee ohjata digitaalisten opiskelu ympäristöjen, työvälineiden ja oppimateriaalien käyttöön. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä voidaan kehittää opiskelijoiden teknologian käyttötaitoja (Machluf ym. 2017). Bioinformatiikka tarjoaa opetukseen digitaalisia opiskelu ympäristöjä, digitaalista materiaalia sekä digitaalisia työvälineitä. Bioinformatiikan hyödyntäminen opettaa muun muassa datan prosessointia, visualisointia ja mallintamista.

Lukiolaisen tulee opiskeluaikanaan päästä kehittämään myös omia tiedonhankinta-, soveltamis- ja ongelmanratkaisutaitojaan (Opetushallitus 2015). Monipuoliseen oppimisprosessiin kuuluu eri muodoissa esitetyn informaation tulkinta, analysoiminen, esittäminen ja arvioiminen sekä uuden tiedon rakentaminen ja osaamisen syventäminen.

Opiskelijan tulee saada kokemuksia tutkivasta oppimisesta sekä osallisuudesta tieteen ja tutkimuksen tekoon. Bioinformatiikan tarjoamat data-aineistot ja apuohjelmat (analyysityökalut) mahdollistavat monipuolisten tehtävien tekemisen. Bioinformatiikan avulla opiskelijat voivat etsiä, tulkita, analysoida ja esittää informaatiota. Biologisten tietokantojen sisältämä biologinen tieto eri muodoissaan tarjoaa lukiolaisille kokemuksia biologian alalle tyypillisten informaatiomuotojen tulkinnasta ja hyödyntämisestä. Bioinformatiikka tarjoaa hyvät mahdollisuudet myös tutkivan oppimisen toteuttamiselle. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä opiskelijat voivat tarkastella ja ratkoa aitoja nykymaailman ongelmia nykyajan teknologiaa käyttäen (mm. Form & Lewitter 2011, Machluf & Yarden 2013).

Bioinformatiikka tarjoaa hyvää materiaalia ja työkaluja luonnontieteiden opetukseen, sillä se liittyy moniin toisen asteen koulutuksen biologian teemoihin (Machluf & Yarden 2013). Bioinformatiikan hyödyntäminen rikastaa opetusta ja se tukee opiskelijoiden tiedollista ja taidollista oppimista. Bioinformatiikan hyödyntäminen ei vaadi kouluilta erikoisvälineistöä (Wood & Gebhardt 2013), mikä tasa-arvoistaa opetusta. Bioinformatiikan avulla tapahtuva oppiminen ja tutkiminen voidaan toteuttaa luokkatilassa, jolloin myöskään koulun maantieteellisellä sijainnilla ei ole merkitystä. Parhaimmillaan bioinformatiikan hyödyntäminen edistää biologian oppisisältöjen oppimista, kehittää luonnontieteellistä ymmärrystä ja harjoituttaa tietoyhteiskunnassa tarvittavia taitoja (Machluf & Yarden 2013).

### 3.3 Miten bioinformatiikkaa tulisi käyttää biologian opetuksen apuvälineenä?

Kun bioinformatiikkaa lähdetään soveltamaan lukion biologian opetuksen apuvälineeksi, on tärkeää pohtia, miten bioinformatiikka saadaan integroitua järkevästi osaksi biologian oppisisältöjä ja millä tasolla bioinformatiikkaa on aiheellista ottaa mukaan lukion biologian opetukseen. Monissa tutkimuksissa on havaittu, että bioinformatiikan hyvä integraatio opiskeltaviin aihepiireihin on ensisijaisen tärkeää (mm. Gallagher ym. 2011, Machluf & Yarden 2013). Yhdysvalloissa Coloradon yliopiston tutkijat opettivat geneettistä evoluutiota lukioikäisille bioinformatiikkaa hyödyntäen (Gallagher ym. 2011). Tutkimuksessa havaittiin, että osa opiskelijoista ei kyennyt näkemään yhteyttä opiskeltavan biologian ja tietotekniikan käytön välillä. Nämä opiskelijat pitivät bioinformatiikkaa ajan hukkauksena, sillä sen käytön osaamista ei testattaisi biologian päättökokeissa. Osa nuorista ei siis nähnyt bioinformatiikkaa oppimisen apuvälineenä vaan pikemminkin ylimääräisenä, erillisenä ja irrallisena tehtävänä. Myös Carletonin college:n (USA) tutkijat havaitsivat integraation tärkeyden yliopisto-opiskelijoiden parissa toteuttamassaan bioinformatiikan hyödyntämistä käsittelevässä

opetuskokeilussa (Singer ym. 2013). He huomasivat, että pelkän digitaalisen sekvenssidatan käsittely aiheutti opiskelijoissa turhautumista eikä se tukenut heitä biologisen tutkimusajattelun kehittymisessä. Muiden elementtien, kuten aiheeseen liittyvien käytännön laboratoriotöiden mukaan ottaminen edisti integraatiota ja auttoi opiskelijoita hahmottamaan dataa ja sen merkitystä. Tehtyjen tutkimusten perusteella on hyvin tärkeää, että bioinformatiikan avulla tehtävät harjoitukset sidotaan hyvin osaksi opiskeltavia aihepiirejä, jotta opiskelijat näkisivät bioinformatiikan merkityksellisenä oppimisen apuvälineenä eivätkä vain ylimääräisenä tekniikkana leikkimisenä. Lukioikäisille annettavien tehtävien tulee olla sellaisia, että niissä harjoitellaan ja opitaan opetussuunnitelman mukaisia asioita, mutta uutta tapaa hyödyntäen - bioinformatiikka-avusteisesti (Gallagher ym. 2011).

Yhdysvaltalainen biologian opettaja David Form on yhdessä tietotekniikan asiantuntijan Fran Lewitterin kanssa kehittäneet opetusta, jossa bioinformatiikkaa on integroitu osaksi lukiotason biologian opetusta (Form & Lewitter 2011). Artikkelissaan "Ten Simple Rules for Teaching Bioinformatics at the High School Level" (2011) he esittävät kymmenen suositusta bioinformatiikan hyödyntämiseen lukioikäisten parissa. Ohjeista kolme ensimmäistä keskittyvät tehtävien suunnitteluun. Formin ja Lewitterin (2011) mukaan lukioikäisille suunnattujen tehtävien tulee olla yksinkertaisia ja niillä tulee olla selkeä, helposti ymmärrettävä tavoite (suositus 1). Biologisten tietokantojen ylitsepursuava tietomäärä häkellyttää helposti opiskelijoita, joten on tärkeää, että harjoituksissa keskitytään kerrallaan vain yhteen tai muutama asiaan. Opiskelijoiden ymmärrystä helpottaa lisäksi heille tuttujen aihepiirien hyödyntäminen (suositus 2). Tehtävien aiheiden tulisi olla sellaisia, jotka ovat opiskelijoille jo jollakin tasolla tuttuja. Form ja Lewitter mainitsevat esimerkkinä tunnettujen sairauksien, kuten diabeteksen kehittymiseen vaikuttavien geenien tutkimisen. Tuttujen aihepiirien tarkastelu helpottaa oppimista, sillä bioinformatiikan hyödyntäminen tuo jo itsessään mukanaan paljon uutta opittavaa, eikä opiskelijoita ole syytä kuormittaa enää lisää heille täysin vierailta tutkimusaiheilla. Form ja Lewitter (2011) katsovat tärkeäksi myös harjoitusten linkittämisen olemassa olevaan opetussuunnitelmaan (suositus 3). Opetussuunnitelmaa tukevat harjoitukset ovat opiskelijoille mielekkäämpiä ja opettajan tulee hyödynnettyä niitä useammin opetuksessaan. Form ja Lewitter antavat esimerkiksi hemoglobiini -proteiinin ja sirppisoluanemian, joiden tutkiminen bioinformatiikka-avusteisesti tukisi opiskelijoiden verenkiertojärjestelmän ja genetiikan oppimista.

Loput Formin ja Lewitterin (2011) antamat ohjeet käsittelevät tehtävien rakentamista ja opetustapoja. Hyvät tehtäväpaketit rakentuvat yksittäisiä taitoja harjoituttavista tehtävistä, joissa hankittuja taitoja yhdistetään ja sovelletaan myöhemmin monimutkaisempien tehtävien

tekemiseen (suositus 4). Näin opiskelijat voivat keskittyä kerrallaan vain yhden taidon oppimiseen, mutta pidemmällä aikavälillä he saavuttavat suuremman osaamisen ja ymmärryksen tason. Form ja Lewitter (2011) suosittelevat hyödyntämään tehtäviä, joissa opiskelijat pääsevät itse tutkimaan asioita (suositus 5). Opiskelijoiden oma tavoitteellinen tutkimustoiminta ja sen aikana itse löydetty havainnot ja oivallukset lisäävät motivaatiota ja edistävät oppimista. Motivaatiota lisää myös tehtävien yksilöllistäminen (suositus 6). Opiskelija motivoituu paremmin tehtävästä, joka on hänen osaamistasolleen sopiva. Form ja Lewitter esittävät, että opiskelijat voisivat esimerkiksi tutkia yksin tai pareittain erilaisia geneejiä, proteiineja tai sairauksia, jotka sopivat kunkin opiskelijan tai ryhmän osaamistasoon.

Opiskelijaryhmän sisältä löytyy yhtä monta tapaa oppia, kuin mitä kurssilla on opiskelijoita. Form ja Lewitter (2011) suosittelevat hyödyntämään biologisten tietokantojen ja apuohjelmien kaikkia erilaisia informaation esitys- ja tulkintamuotoja (suositus 7). Esimerkkinä he käyttävät NCBI:n (National Center for Biotechnology Information) BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) apuohjelman tuloksia, joita pystyy tulkitsemaan sekä visuaalisena kuvaajana, taulukkona, että myös sekvenssien rinnastuksina. Monipuolisen materiaalin käyttö antaa opiskelijalle mahdollisuuden hyödyntää hänen oppimistyyliinsä parhaiten sopivaa materiaalia. Form ja Lewitter katsovat tärkeäksi myös opiskelijoiden voimaannuttamisen (suositus 8). Tehtävien tulisi olla sellaisia, että ne kehittävät opiskelijoiden ongelmanratkaisukykyjä ja tutkimisen taitoja. Opiskelijoille tulisi antaa mahdollisuuksia löytää ja oppia itsenäisesti uutta hyödyntämällä heillä jo olemassa olevaa tieto- ja taitopohjaa.

Vaikka Form ja Lewitter (2011) uskovat vakaasti bioinformatiikan tarjoamiin opetusmahdollisuuksiin, he kuitenkin katsovat, että joskus opetuksessa on hyvä turvautua myös perinteisiin, vähemmän teknologisiin menetelmiin. Biologiset tietokannat sisältävät valtavia määriä dataa ja apuohjelmat voivat analysoida ja käsitellä kerrallaan suuria aineistoja. Mikäli opiskelijat käsittelevät dataa vain apuohjelmien avulla, voi heille jäädä epäselväksi, miten datan tulkinta todellisuudessa tapahtuu. Form ja Lewitter suosittelevatkin, että opiskelijat mallintaisivat datan käsittelyn ja analysoinnin prosesseja myös kynän ja paperin avulla (suositus 9). Esimerkkinä he antavat sekvenssien rinnastusten yhtäläisyyksien ja erojen tarkastelun paperille tulostettujen rinnastusten avulla. Viimeisenä ohjeenaan Form ja Lewitter (2011) kannustavat laatimaan tehtäviä, joiden pohjalta opiskelijat voivat laatia lopputuotoksen, jonka he voivat lopuksi esitellä muulle ryhmälle (suositus 10).

Portugalissa Instituto Gulbenkian de Ciêncian tutkijat kehittävät bioinformatiikkaa hyödyntävää biologian opetusta Bioinformatics@school -projektin kautta (Marques ym. 2014). Artikkelissaan "Bioinformatics Projects Supporting Life-Sciences Learning in High School



(2014)” he lisäävät Formin ja Lewitterin (2011) ohjeisiin vielä kaksi omaa kohtaansa, jotka käsittelevät bioinformatiikan opetuksen kehittämistä. Marques ym. mukaan opetuksen tehokas kehitystyö ei onnistu vain opetuksen suunnittelijoiden toimesta. Kehitystyöhön olisi aiheellista ottaa mukaan niin tavalliset opettajat kuin myös heidän opiskelijansa, sillä heillä on paras käytännön kokemus siitä, millaiset asiat opetustilanteissa toimivat (suositus 11). Osallisuuden kokemus voisi myös lisätä innostusta ja motivaatiota bioinformatiikan käyttöön ja käytön kehittämiseen. Marques ym. kannustavat lisäksi arvioimaan bioinformatiikan hyödyntämisen vaikutuksia opiskelijoiden motivaatioon ja oppimiseen, sillä tehokkuuden ja hyödyn osoittaminen on paras keino edistää bioinformatiikan omaksumista biologian opetuksessa (suositus 12). Arviointi auttaa myös kehitystyössä, jolloin bioinformatiikka hyödyntävistä aktiviteeteista tulee merkityksellisiä.

Bioinformatiikan hyödyntämistä koskevat ohjeistukset voi kiteyttää karkeasti neljäksi ohjeeksi:

1. Käsiteltävien aiheiden on sovittava kurssien aihepiireihin, opiskelijoiden osaamisen tasoon ja kokemusmaailmaan.
2. Tehtävät tulee rakentaa siten, että ne tukevat oppimista pienistä osista suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Bioinformatiikan hyödyntämisen voi aloittaa hyvin yksinkertaisista tehtävistä.
3. Tehtävissä on hyvä ottaa huomioon yksilöllistäminen, erilaiset oppimistyylyt ja mahdollisuus tutkivaan oppimiseen.
4. Bioinformatiikan hyödyntämisen vaikutuksia tulee aktiivisesti arvioida ja opetusta tulee kehittää arvioinnin pohjalta.

#### 4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millainen rooli bioinformatiikalla on tällä hetkellä Suomessa lukion biologian opetuksessa ja kartoittaa bioinformatiikan käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia sekä sopivuutta lukion biologian opetukseen. Tutkimuksessa tarkastellaan bioinformatiikan sopivuutta opetussuunnitelman mukaisten biologian kurssien sisältöihin sekä tiedollisiin ja taidollisiin tavoitteisiin. Oppikirja-analyysin avulla selvitetään, millainen rooli bioinformatiikalla on lukion biologian oppikirjoissa. Kerrotaanko kirjoissa bioinformatiikasta ja löytyykö niistä esimerkiksi bioinformatiikkaa hyödyntäviä tehtäviä?

Oppikirjojen lisäksi tarkastelun kohteena ovat myös lukion biologian opettajien näkemykset ja kokemukset. Opettajille järjestetyn kyselyn avulla selvitetään, miten hyvin lukion biologian opettajat tuntevat bioinformatiikan ja ovatko he hyödyntäneet bioinformatiikkaa opetuksessaan. Samalla kartoitetaan myös opettajien tarvetta ja halua saada bioinformatiikkaan liittyvää ammatillista koulutusta.

Bioinformatiikan sopivuutta lukion biologian opetukseen arvioidaan lukiolaisille järjestettyjen näytetuntien ja niistä saadun palautteen kautta. Näytetuntien avulla testattiin käytännössä bioinformatiikan soveltuvuutta lukioikäisten käytettäväksi. Näytetunneista kerättiin palautetta, jossa lukiolaiset arvioivat omia kokemuksiaan bioinformatiikan hyödyntämisen kiinnostavuudesta ja biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käytön vaikeustasosta.

Tämä tutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Sopiiko bioinformatiikka lukion opetussuunnitelman mukaisten biologian kurssien sisältöihin ja tavoitteisiin?
2. Millainen rooli bioinformatiikalla on lukion biologian oppikirjoissa?
3. Miten hyvin lukion biologian opettajat tuntevat bioinformatiikan ja hyödyntävätkö he sitä opetuksessaan?
4. Sopiiko bioinformatiikka (biologiset tietokannat ja niiden apuohjelmat) lukioikäisten nuorten käytettäväksi?

## 5 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 5.1 Biologian opetussuunnitelman tarkastelu

Bioinformatiikan sopivuutta lukion biologian opetukseen arvioitiin lukion opetussuunnitelman määrittämien biologian opetuksen tavoitteiden ja opetussuunnitelman mukaisten biologian kurssien oppisisältöjen kautta. Opetussuunnitelmasta etsittiin opetuksen tavoitteita, joiden toteuttamiseen bioinformatiikasta olisi hyötyä. Opetussuunnitelman mukaisista biologian pakollisista ja syventävistä kursseista etsittiin oppisisältöjä, jotka liittyvät bioinformatiikkaan ja joiden opiskelua voitaisiin rikastuttaa bioinformatiikkaa hyödyntämällä. Bioinformatiikan hyödyntämiseen keksittiin myös esimerkkejä eri kursseille ja erilaisten oppisisältöjen opiskeluun.

## 5.2 Oppikirja-analyysi

Oppikirja-analyysissä analysoitiin lukion opetussuunnitelman mukaisten biologian syventävien kurssien BI3 (Solu ja perinnöllisyys) ja BI5 (Biologian sovellukset) oppikirjoja. Analyysiin valittiin nämä kurssit, koska bioinformatiikka nivoutuu parhaiten näiden kurssien oppisisältöihin. Analyysiin otettiin kolme yleisesti lukioissa käytettävää biologian oppikirjasarjaa: BIOS (SanomaPro 2019), Koralli (Otava 2017) ja Symbioosi (e-Oppi 2017). Analysoitaviksi otettiin kirjasarjojen sähköiset oppikirjat. Tähän päädyttiin kahdesta syystä. Ensinnäkin analysoinneista haluttiin vertailukelpoisia eri kirjasarjojen välillä, jonka varmistamiseksi kirjojen tuli olla samassa muodossa. Koska Symbioosi kirjasarjasta ei ole olemassa paperista versiota, oli sähköisten oppikirjojen valinta selkeä. Lisäksi sähköiset oppikirjat sisältävät yleensä sähköistä lisämateriaalia, kuten animaatioita ja linkkejä, joita ei löydy perinteisistä paperisista oppikirjoista. Bioinformatiikan sähköisen luonteen vuoksi ennako-oletuksena oli, että sähköisistä oppikirjoista voisi löytyä suuremmalla todennäköisyydellä bioinformatiikkaan liittyvää lisämateriaalia tai bioinformatiikkaa hyödyntäviä tehtäviä. Sähköisestä materiaalista analysoitiin vain opiskelijoille suunnattuja oppikirjoja. Toisin sanoen niitä tekstejä, tehtäviä ja muuta materiaalia, jota sähköistä oppikirjaa käyttävä opiskelija pystyisi itse tarkastelemaan opettajasta riippumatta. Muita oppikirjasarjojen tarjoamia materiaaleja, kuten opettajille suunnattua lisämateriaalia, ei otettu mukaan tähän analyysiin.

Oppikirjojen analyysissä kirjojen tekstistä sekä kappaleiden lisämateriaalista ja tehtävistä etsittiin viittauksia bioinformatiikkaan ja biologisiin tietokantoihin. Erityisesti tarkastelun kohteena olivat suorat viittaukset, joissa mainittiin bioinformatiikka tai biologiset tietokannat, selitettiin niiden roolia ja merkitystä tai kuvattiin niiden käyttöä jossakin biologian sovelluksessa. Kirjoista tutkittiin löytyikö niiden käsitelueltelosta käsitettä bioinformatiikka tai biologisiin tietokantoihin viittaavia käsitteitä (biologinen tietokanta / geenitietokanta / genomitietokanta). Käsiteluelteloihin on koottu kirjojen keskeiset ja tärkeät käsitteet, joten bioinformatiikan esiintyminen käsitelueltelossa kuvaisi sitä, että kirjan tekijöiden mielestä bioinformatiikalla on keskeinen ja tärkeä rooli kirjan oppisisältöjen kannalta. Kirjoista etsittiin myös kappaleita, joissa esitellään bioinformatiikkaa tieteenalana. Kirjojen teksteistä laskettiin, miten usein bioinformatiikka tai biologiset tietokannat mainittiin eri yhteyksissä. Kirjojen tehtävistä etsittiin sellaisia tehtäviä, joissa opiskelija määrittelee tai hahmottaa mitä bioinformatiikka tai biologiset tietokannat ovat tai joissa tehtävän ratkaisemisessa hyödynnetään bioinformatiikkaa.

### 5.3 Kysely lukion biologian opettajille

Lukion biologian opettajille järjestettiin kysely, jonka avulla haluttiin kartoittaa, mikä on opettajien tämänhetkinen tietämys ja näkemys bioinformatiikasta ja ovatko he hyödyntäneet bioinformatiikkaa opetuksessaan. Kyselyn kautta pyrittiin myös selvittämään ovatko opettajat saaneet koulutusta bioinformatiikan hyödyntämiseen ja kokevatko he tarvetta aiheeseen liittyvän ammatillisen koulutuksen järjestämiseen. Kysely (liite 1) laadittiin tutkimuksen tekijän toimesta juuri tätä tutkimusta varten ja kyselyn eri osat tehtävineen suunniteltiin tutkimuksen tarpeisiin sopiviksi. Kysely toteutettiin sähköisen E-lomakkeen avulla. Tutkimuksen tekijä jakoi linkkiä kyselyyn kaksi kertaa syys-lokakuun vaihteessa 2018 Biologian ja maantieteen opettajien liiton BMOL:in sähköpostilistojen kautta sekä facebookissa olevan opettajien “BiGeTt-materiaalit” suljetun ryhmän kautta. Lisäksi tutkimuksen tekijä jakoi kyselyn myös sähköpostin kautta muutamille kollegoilleen.

Kyselystä saatuja tuloksia käsiteltiin LibreOffice Calc ja Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmilla sekä SigmaPlot (13.0) ohjelmalla. Muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin ristiintaulukoinnin avulla. Muuttujien välisiä mahdollisia riippuvuuksia testattiin Khiin neliötestillä ja mahdollisia korrelaatioita tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaation avulla. Khiin neliötestit laskettiin Excel taulukkolaskentaohjelmalla CHISQ.TEST -funktion avulla. Muuttujien väliset riippuvuudet tulkittiin tilastollisesti merkitseviksi mikäli niiden P - arvo oli  $< 0,05$  (5,0%). Spearmanin järjestyskorrelaatio laskettiin Excel taulukkolaskentaohjelmalla luokittelemalla aineisto ensin havaintoarvojen mukaiseen suuruusjärjestykseen ja tämän jälkeen havaintoarvojen välistä korrelaatiota etsittiin CORREL -funktion avulla. Tässä tutkimuksessa merkittäväksi katsottiin korrelaatio, joka oli  $r \geq 0.5$  tai  $r \leq -0.5$ . SigmaPlot ohjelmalla tehtiin yksi Kruskal-Wallis analyysi, jonka avulla tutkittiin opettajien opiskeluyliopiston mahdollista yhteyttä opettajien bioinformatiikan osaamiseen.

Kysely jakautui neljään osioon, joita olivat:

1. Vastaajan taustatiedot
2. Bioinformatiikan tuntemus
3. Bioinformatiikan hyödyntäminen opetuksessa
4. Bioinformatiikan kiinnostavuus ja täydennyskoulutuksen tarve.

Taustatietoina kartoitettiin opettajien sukupuolta, koulutustaustaa (oppilaitos, valmistumisvuosi ja opintojen pääaine) sekä opetuskokemuksen määrää lukion biologiassa. Vastaajia pyydettiin arvioimaan omaa bioinformatiikan osaamistasoaan ja lisäksi heille esitettiin kysymyksiä, joiden kautta pyrittiin selvittämään, miten opettajat todellisuudessa hahmottavat bioinformatiikan ja sen roolin osana biologista tutkimustoimintaa. Opettajille tarjottiin joukko biologiaan liittyviä termejä ja heiltä kysyttiin, mitkä annetuista termeistä liittyvät heidän mielestään bioinformatiikkaan. Termit olivat: evoluutio, ilmastonmuutos, otsonikato, geeni, populaatio, alzheimerin tauti ja mikromuovi. Annetuista termeistä erityisesti evoluutio, geeni, populaatio ja alzheimerin tauti liittyvät selkeästi ja yksiselitteisesti bioinformatiikkaan, sillä bioinformatiikan avulla tutkitaan geenien ja geenituotteiden merkityksiä ja vaikutuksia yksilöihin ja sitä kautta populaatioiden keskinäisiin eroihin, kehitykseen ja lajien evoluutioon. Termit ilmastonmuutos, otsonikato ja mikromuovi eivät liity yhtä selkeästi bioinformatiikkaan, joskin näidenkin väliltä voidaan löytää yhteyksiä tarkastelemalla esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamien ympäristöolojen muutosten, otsonikadon aiheuttaman UV säteilyn lisääntymisen tai mikromuoveista vapautuvien kemikaalien vaikutuksia lajien geeniperimään. Tässä tutkimuksessa suurin painoarvo annettiin bioinformatiikkaan selkeästi liittyvien termien tunnistamiselle. Mikäli vastaaja tuntee hyvin bioinformatiikan, pitäisi hänen valita ainakin nämä neljä termiä. Mikäli vastaaja valitsee vain osan näistä termeistä tai kenties vain heikommin bioinformatiikkaan liittyviä termejä, voidaan olettaa, että hän ei ymmärrä kunnolla, mitä bioinformatiikka on. Kaikkien vastaajien kohdalla laskettiin, kuinka monta bioinformatiikkaan vahvasti liittyvää termiä (0 - 4) kukin vastaaja oli valinnut.

Opettajille esitettiin myös kuusi biologista ongelmaa ja heiltä kysyttiin voidaanko ongelmiin etsiä ratkaisua bioinformatiikan avulla. Opettajille esitetyt ongelmat olivat:

1. Miten sademetsästä löydetty uusi kasvilaji pitäisi luokitella?
2. Onko järvi happamoitunut?
3. Onko henkilöllä laktoosi-intoleranssille altistava geeni?
4. Onko Suomesta löydetty kovakuoriainen samaa lajia kuin Saksassa elävä samannäköinen kovakuoriainen?
5. Mikä maanisäkäs on valaiden lähin sukulainen?
6. Miten paljon elohopeaa pyydykseen jääneessä hauessa on?

Kaikkiin ongelmiin pystyi vastaamaan joko “kyllä”, “ei” tai “en tiedä”. Ongelmat 1, 3, 4 ja 5 ovat sellaisia, joiden ratkaisemiseksi bioinformatiikasta on selkeästi apua. Lajien luokittelussa (ongelma 1) uuden lajin perimää verrataan jo tunnettujen lajien perimään ja vertailemalla perimien yhtäläisyyksiä ja eroja yritetään hahmottaa lajin paikka eliökunnassa. Laktoosi-intoleranssille altistavan geenin etsimisessä (ongelma 3) potilaan perimästä etsitään tunnettuja, tietokantoihin tallennettuja geneettisiä markkereita, jotka kertovat lisääntyneestä riskistä laktoosi-intoleranssiin. Kahden yksilön samankaltaisuuden tarkastelussa (ongelma 4) yksilöiden perimät voidaan sekvenssoida ja bioinformatiikan apuohjelmien avulla yksilöiden DNA:ta voidaan verrata toisiinsa ja selvittää kuuluvatko yksilöt samaan vai eri lajiin. Valaalle lähimmän maanisäkkään etsimisessä (ongelma 5) valaan perimää voidaan verrata tietokannasta löytyviin maanisäkkäiden perimiin ja etsiä vertailujen kautta valaalle geneettisesti lähin laji maanisäkkäiden joukosta. Ongelmien 2 ja 6 ratkaisemiseksi bioinformatiikasta ei ole selkeästi apua. Järven happamuuden tutkimisessa (ongelma 2) bioinformatiikkaa voisi ehkä soveltaa esimerkiksi tutkimalla lajiston perimästä ominaisuuksia, jotka voisivat kertoa lajien sopeutumisesta happamaan elinympäristöön. Tällaiset lähestymistavat eivät kuitenkaan ole ensisijaisia järvien happamuuden tutkimuskeinoja. Hauen elohopeapitoisuuden selvittämisessä (ongelma 6) bioinformatiikasta ei ole hyötyä. Mikäli vastaaja ymmärtää, millaisten ongelmien ratkaisuun bioinformatiikka tarjoaa apuvälineitä, on hän vastannut ongelmiin 1, 3, 4 ja 5 kyllä ja ongelmiin 2 ja 6 ei. Mikäli vastaaja oli jättänyt vastaamatta johonkin ongelmaan hänen vastaukseen tulkittiin “En tiedä”. Opettajien antamia vastauksia tulkittiin ongelmakohtaisesti ja vastaajakohtaisesti. Ongelmakohtaisessa tarkastelussa opettajien tekemät valinnat koottiin yhteen taulukkoon siten, että jokaiselle biologiselle ongelmalle laskettiin erikseen opettajien antamien eri vastauksien lukumäärät. Vastaajakohtaisessa tulkinnassa vastaajien tekemät valinnat pisteytettiin siten, että kustakin oikeasta vastauksesta annettiin vastaajalle yksi piste.

Opettajien bioinformatiikan tuntemusta kartoittavista kysymyksistä laskettiin kullekin vastaajalle kokonaispistemäärä sen perusteella, miten monta bioinformatiikkaan keskeisesti liittyvää käsitettä (0 - 4) he olivat tunnistaneet ja kuinka moneen biologiseen ongelmaan (0 - 6) he olivat vastanneet oikein. Opettajien saamat kokonaispistemäärät jakautuivat näin välille 0 - 10. Kokonaispistemääriä tulkittiin seuraavalla tavalla:

Pistemäärä 10 = Hahmottaa bioinformatiikan erittäin hyvin

Pistemäärä 9 - 8 = Hahmottaa bioinformatiikan hyvin

Pistemäärä 7 - 6 = Hahmottaa bioinformatiikan kohtalaisesti

Pistemäärä alle 6 = Hahmottaa bioinformatiikan heikosti

Ristiintaulukoinnin avulla tarkasteltiin oliko opettajien kokemalla omalla bioinformatiikan osaamisen tasolla yhteyttä heidän vastauksiensa perusteella arvioituun bioinformatiikan hahmottamisen tasoon. Erikseen tarkasteltiin niitä biologisia ongelmia, joissa opettajien vastauksissa oli suurinta hajontaa eli ongelmia “2. Onko järvi happamoitunut” ja “6. Miten paljon elohopeaa pyydykseen jääneessä hauessa on?”. Lisäksi tarkasteltiin, vaikuttiko bioinformatiikkaan heikommin liittyvien termien valinta opettajan tekemiin valintoihin biologisten ongelmien tehtävässä. Eli vastasivatko ne opettajat, jotka olivat valinneet käsitetehtävässä bioinformatiikkaan heikommin liittyviä termejä biologisiin ongelmiin eri tavalla kuin ne, jotka olivat valinneet käsitetehtävässä vain bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä.

Opettajien saamien kokonaispistemäärien avulla tutkittiin myös vaikuttiko opettajien opintojen pääaine, valmistumisen ajankohta, opiskeluyliopisto, vastaajan sukupuoli tai tietotekniikan käyttötaito opettajan bioinformatiikan osaamisen tasoon. Pääaineen vaikutusta tutkittaessa mukaan otettiin vain ne opettajat, joiden pääaine oli joko biologia tai maantiede. Ne opettajat, joiden pääaine oli jokin muu tai joiden pääaineena oli sekä biologia, että maantiede, jätettiin pois tästä vertailusta. Yliopistojen vertailussa pois jätettiin Åbo Akademi, koska sieltä oli valmistunut vain yksi opettaja. Sukupuolen vertailussa vaihtoehto “Muu” jätettiin pois, koska tämän vaihtoehdon oli valinnut vain yksi vastaaja.

Kyselyn kolmannessa osiossa kartoitettiin olivatko opettajat koskaan käyttäneet bioinformatiikkaa opetuksensa apuvälineenä. Osion alussa vastaajille kerrottiin lyhyesti, mitä bioinformatiikka on ja heille annettiin esimerkkejä siitä, miten bioinformatiikkaa voisi hyödyntää lukion biologian opetuksessa. Tämä informaatio annettiin vastaajille siitä syystä, jotta kaikki vastaajat osaisivat varmasti arvioida ovatko he hyödyntäneet opetuksessaan bioinformatiikkaan liittyvää materiaalia tai työvälineitä, kuten biologisia tietokantoja. Jos vastaaja ei tunne bioinformatiikka-käsitettä ei hän ehkä osaisi yhdistää sitä esimerkiksi biologisiin tietokantoihin vaikka hän olisi niitä käyttänyt. Opettajilta kysyttiin ovatko he koskaan hyödyntäneet opetuksessaan mitään biologista tietokantaa. Tietokantoja käyttäneitä opettajia pyydettiin kertomaan tarkemmin käyttökokemuksistaan kolmen avoimen kysymyksen avulla. Opettajilta kysyttiin, mitä tietokantoja he ovat käyttäneet ja mitä kautta he ovat tutustuneet käyttämiinsä tietokantoihin ja niiden käyttöön. Lisäksi opettajia pyydettiin antamaan muutamia esimerkkejä siitä, miten he ovat käyttäneet tietokantoja. Opettajien antamat käytön esimerkit luokiteltiin ryhmiin. Luokittelussa otettiin huomioon vain suorat viittaukset tiettyihin toimintoihin. Opettajan on tulkittu käyttäneen tietokantoja esimerkiksi tiedon etsimiseen vain silloin, jos hän on suoraan vastauksessaan ilmaissut, että hän tai hänen

opiskelijansa ovat etsineet tietokannasta jotakin. Todellisuudessa monet tietokantojen käyttötavat linkittyvät toisiinsa. Esimerkiksi geenin rakenteen tarkasteleminen vaatii ensin geenin etsimistä tietokannasta, ellei opettaja ole jakanut opiskelijoille suoraa linkkiä kyseiseen geeniin. Koska on mahdotonta päätellä, mitä kaikkia toisiinsa linkittyviä toimintoja opettajat ovat käyttäneet, otettiin tulosten tulkinnassa huomioon vain ne käyttötavat, jotka opettajat suoraan mainitsivat. Vastausten perusteella muodostettuja ryhmiä syntyi kuusi:

1. Tiedon etsiminen
2. Sekvenssien vertailu
3. Biomolekyylien rakenteiden visualisointi
4. Tietokantojen esittely
5. Vastaavien geenisekvenssien etsiminen
6. Tutkimuksiin tutustuminen

Tiedon etsiminen viittaa siihen, että opettaja tai opiskelijat ovat käyttäneet tietokantoja etsiäkseen tietoja esimerkiksi tietyistä geenistä tai sairaudesta. Sekvenssien vertailu tarkoittaa kahden tai useamman nukleotidi- tai proteiinisekvenssin samankaltaisuuksien ja erojen tarkastelua. Biomolekyylien rakenteiden visualisointi tarkoittaa kromosomien, geenien tai proteiinien rakenteen tarkastelemista, kuten geenin nukleotidijärjestyksen havainnointia. Tietokantojen esittely viittaa siihen, että opettaja on näyttänyt opiskelijoilleen, millaisia tietoja ja/tai toimintoja biologisista tietokannoista löytyy. Tässä yhteydessä opiskelijat eivät ole itse käyttäneet tietokantoja. Vastaavien geenisekvenssien etsiminen tarkoittaa toimintoa, jossa tunnetulle geenisekvenssille etsitään samankaltaisia (vastaavia) sekvenssejä tietokannasta. Tämän toiminnon avulla voidaan esimerkiksi selvittää onko joltakin muulta lajilta löydetty ihmisen tietylle geenille samankaltaista geeniä. Tutkimuksiin tutustumisessa opettaja ja/tai opiskelijat ovat etsineet ja tutustuneet tietokannasta löytyviin biologisiin tutkimusjulkaisuihin.

Kyselyn viimeisessä osiossa kartoitettiin opettajien tietotekniikan käyttöä sekä heidän kokemustaan bioinformatiikan kiinnostavuudesta. Opettajilta kysyttiin myös ovatko he koskaan saaneet koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön ja kokevatko he tarvetta ja halua saada bioinformatiikkaan liittyvää ammatillista koulutusta.



## 5.4 Bioinformatiikan näytetunnit

Bioinformatiikan soveltuvuutta lukioikäisten käyttöön testattiin käytännössä järjestämällä opiskelijaryhmille näytetunteja biologisista tietokannoista. Näytetuntien sisältö, tehtävät ja kaikki tehtävien ohjeet suunniteltiin ja tehtiin juuri tätä tutkimusta varten tutkimuksen tekijän toimesta. Näytetunnit pidettiin tammi- helmikuun aikana kahdella itä-suomalaisella lukiolla (Kuopion lyseon lukio ja Kuopion taidelukio Lumit). Näytetunteihin osallistui viisi lukioryhmää, yhteensä 87 lukiolaista. Kahden lukiolaisen palautteet jouduttiin poistamaan aineistosta epäselvien vastausten vuoksi. Tästä syystä tutkimuksen aineisto koostuu 85:n lukiolaisen palautteista. Tutkimukseen osallistui yksi BI3-kurssin ryhmä, yksi BI5 ryhmä ja kolme BI4 ryhmää.

Jokainen ryhmä osallistui yhteen 75 minuutin mittaiseen näytetuntiin. Näytetunnin aluksi lukiolaisille annettiin yleisesittely biologisista tietokannoista (liite 2). Heille kerrottiin, mitä biologiset tietokannat ovat, mihin niitä tarvitaan ja millaista tietoa tietokannoista löytyy. Heille esiteltiin myös joitakin tietokantojen apuohjelmia, joiden avulla tietoa voidaan etsiä, analysoida ja esittää. Tämän jälkeen opiskelijoille annettiin lyhyt käytännön demonstraatio siitä, miten NCBI:n (The National Center for Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) tietokannasta voidaan etsiä tietoa geeneistä. Esittelyn jälkeen opiskelijat alkoivat tutustumaan itse tietokantojen käyttöön näytetuntia varten kehitettyjen tehtävien avulla (Liite 3). Tehtävissä opiskelijat etsivät tietokannasta tietoa CFTR-geenistä (Gene ID: 1080, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/1080>) sekä kystisestä fibroosista, CFTR-geenissä esiintyvän mutaation aiheuttamasta sairaudesta. CFTR -geeni koodaa proteiinia, joka toimii solukalvolla kloridikanavana säädelleen ionien ja veden kulkua solukalvon lävitse epiteelikudoksissa (NCBI 2019). Geenistä esiintyy yleinen mutaatio DeltaF508 (GenBank: S64640.1, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/S64640.1/>), jossa kolme nukleotidia on hävinnyt johtaen yhden aminohapon häviämiseen proteiinista. Tämä mutaatio saa aikaan kystisen fibroosin, perinnöllisen aineenvaihduntasairauden, jossa potilaan elimistö tuottaa sitkeää paksua limaa, joka haittaa sisäelinten toimintaa ja altistaa yksilön erilaisille tulehduksille (Halme & Kajosaari 2006). Tehtävissä opiskelijat pääsivät myös käyttämään sekvenssien rinnastukseen (EMBOSS needle, [https://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss\\_needle/](https://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss_needle/)) ja samankaltaisten sekvenssien etsimiseen liittyviä apuohjelmia (NCBI Blast, <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Näytetunteja varten laaditussa tehtävämonisteessa oli tehtäviä enemmän kuin mitä keskimääräisen opiskelijan arvioitiin ehtivän näytetunnin aikana tekemään. Tehtävät alkoivat

yksinkertaisista tiedon etsintä tehtävistä ja muuttuivat loppua kohti vaikeammiksi, apuohjelmien käyttöä ja tulosten tulkintaa harjoittaviksi tehtäviksi. Tehtäviä laadittiin useita, sillä ennakko-oletuksena oli, että opiskelijoiden välillä on suuria eroja heidän englannin kielen osaamisessaan ja tietotekniikan käyttötaidoissaan. Osa opiskelijoista saattaisi siis edetä tehtävissä varsin sujuvasti, kun taas osalla jo pelkkä vieraalla kielellä työskentely saattaisi viedä paljon aikaa. Lisäksi näytetuntiin haluttiin sisällyttää yksinkertaisten tiedon etsintä tehtävien lisäksi myös monimutkaisempia, apuohjelmien käyttöä vaativia tehtäviä. Näytetunnin rakenteessa päädyttiin sellaiseen järjestelyyn, jossa kaikki opiskelijat aloittivat tietokantojen tietosisältöön tutustuttavilla tehtävillä ja opiskelijat etenivät sitten omaan tahtiinsa apuohjelmia hyödyntäviin tehtäviin. Näin kaikki opiskelijat tutustuivat ainakin tietokantojen tietosisältöön ja osa opiskelijoista ehtisi todennäköisesti kokeilla myös apuohjelmien käyttöä.

Tehtävien tekemisen avuksi opiskelijoille laadittiin kaikista tehtävistä yksityiskohtaiset kirjalliset ohjeet ja lisäksi jokaiseen tehtävään tehtiin siihen ohjeistava tutoriaalivideo (ohjevideo). Tutoriaalivideoiden laatimiseen päädyttiin näytetunnin rajallisen keston vuoksi. Bioinformatiikan apuohjelmien käyttö ja tulosten tulkinta ei ole helppoa ja yksiselitteistä ja siksi hyvien ohjeiden tarjoaminen koettiin ensisijaisen tärkeäksi. Koska jokaiselle opiskelijaryhmälle pidettiin vain yksi näytetunti, oli oppitunnin aikana mahdotonta käydä läpi yhteisesti kaikkia tehtäviin liittyviä apuohjelmia ja tulosten tulkintoja. Näytetunnin aluksi opiskelijoille annettiinkin ohjeistus ja demonstraatio vain näytetunnin ensimmäisiin tehtäviin liittyvistä asioista. Soveltavissa tehtävissä opiskelijoita ohjeistettiin hyödyntämään tutoriaalivideoita. Tutoriaalivideoiden eduksi koettiin myös se, että opiskelijat voivat keskeyttää videot tarvittavissa kohdissa ja edetä tehtävissä siten omaan tahtiinsa. Tutoriaalivideot ladattiin Youtubeen (Linkki: [goo.gl/po1CyE](https://goo.gl/po1CyE)) ja suorat linkit videoihin liitettiin opiskelijoiden tehtävä- monisteeseen. Video-ohjeiden ja kirjallisten ohjeiden lisäksi opiskelijoilla oli tietysti aina mahdollisuus myös kysyä apua suoraan asiantuntijalta (näytetunnin pitäjältä eli tämän tutkimuksen tekijältä). Opiskelijoita kehoitettiin hyödyntämään kaikkia tarjolla olevia ohjeita.

Näytetunnin lopuksi opiskelijat antoivat palautetta siitä, millaiseksi he kokivat biologisten tietokantojen käytön. Palautelomakkeen (liite 4) kysymykset oli suunniteltu juuri tätä tutkimusta varten ja se toteutettiin sähköisellä E-lomakkeella. Opiskelijat arvioivat eri toimintojen ja tehtävien vaikeusastetta ja kiinnostavuutta, tietokantojen käyttöä vaikeuttaneita tekijöitä sekä omaa kiinnostuneisuuttaan biologisten tietokantojen käyttöä kohtaan. Näytetunnin palautelomake oli laadittu siten, että opiskelijat pystyivät antamaan palautteen

niiden tehtävien perusteella, mitkä he ehtivät näytetunnin aikana tekemään.

Palautteen kautta saatua aineistoa käsiteltiin LibreOffice Calc ja Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmilla. Muuttujien välisiä mahdollisia riippuvuuksia testattiin Khiin neliötestillä ja korrelaatioita Spearmanin järjestyskorrelaation avulla. Muuttujien väliset riippuvuudet tulkittiin tilastollisesti merkitseviksi mikäli niiden P -arvo oli  $< 0,05$  (5,0%) tai Spearmanin korrelaatio oli  $r \geq 0.5$  tai  $r \leq -0.5$ .

Opiskelijoiden taustatietoina palautelomakkeessa kartoitettiin opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrää ja opiskelijoiden mahdollista aikaisempaa tutustumista biologisiin tietokantoihin. Suoritettuihin kurseihin laskettiin mukaan myös se biologian kurssi, jolla he sillä hetkellä olivat osallistumassa näytetuntiin.

Varsinaiset biologisten tietokantojen käyttökokemukseen liittyvät kysymykset aloitettiin tiedustelemalla opiskelijoilta, miten mielenkiintoiseksi he kokivat biologiset tietokannat sekä näytetunnilla tehdyt eri tehtävätyypit. Opiskelijat arvioivat myös tietokantojen käytön vaikeustasoa ja erikseen eri tehtävien ja joidenkin tehtävänosien vaikeutta. Opiskelijoiden tekemien tehtävien määrän arvioiminen osoittautui oletettua haasteellisemmaksi, sillä opiskelijoiden vastauksissa esiintyi epäloogisuuksia. Opiskelija saattoi esimerkiksi kertoa tietyn tehtävän olleen hänen mielestään mielenkiintoinen, mutta myöhemmin kysyttäessä saman tehtävän koettua vaikeustasoa hän oli ilmoittanut, että ei ollut tehnyt tehtävää. Tehtyjen tehtävien määrä päätettiin laskea tehtävien vaikeustason arviointiin liittyvän palautteen avulla. Opiskelijoilta kysyttiin lisäksi, mitkä asiat vaikeuttivat heidän mielestään merkittävästi biologisten tietokantojen käyttöä ja millaiset ohjeet he kokivat hyödyllisimmiksi.

Aineistosta tarkasteltiin vaikuttiko opiskelijoiden suorittamien kurssien määrä opiskelijoiden näytetunnin aikana tekemien tehtävien määrään tai heidän kokemuksiinsa biologisten tietokantojen käytön kiinnostavuudesta ja vaikeustasosta. Erikseen tarkasteltiin BI5 (Biologian sovellukset) kurssin suorittamisen mahdollisia vaikutuksia tietokantojen käytön vaikeustason kokemiseen, sillä kyseisen kurssin oppisisällöt liittyvät läheisesti bioinformatiikkaan.

Palautekyselyn lopussa kartoitettiin vielä opiskelijoiden halukkuutta käyttää biologisia tietokantoja jatkossa biologian opiskelussa. Heitä pyydettiin myös sanallisesti tarkentamaan, miksi he haluaisivat tai eivät haluaisi käyttää jatkossa biologisia tietokantoja.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Bioinformatiikan sisällyttäminen opetussuunnitelman mukaiseen lukion biologian opetukseen.

Lukion opetussuunnitelman mukaan biologian opetuksen keskeisenä tavoitteena on kehittää nuorten luonnontieteellistä ajattelua (Opetushallitus 2015). Opetuksen tulee edistää nuorten ymmärrystä biologiasta tärkeänä ja nopeasti kehittyvänä tieteenalana, jonka sovellukset tarjoavat monia mahdollisuuksia ihmiskunnan kohtaamien ongelmien ratkaisemiseksi. Opetussuunnitelma määrää, että biologian opetusta tulee toteuttaa myös digitaalisissa oppimisympäristöissä. Opetuksessa tulee hyödyntää aktivoivia työtapoja ja tutkimuksellisuutta. Opiskelijat tulee perehdyttää biologiseen tiedonhankintaan ja biologisen tutkimuksen erilaisiin menetelmiin. Opiskelijoiden tulee saada kokemusta tutkimusaineistojen käsittelystä, analysoinnista, tulkinnasta ja esittämisestä.

Bioinformatiikka tarjoaa materiaalia ja menetelmiä opetussuunnitelman mukaisen biologian opetuksen järjestämiseksi. Biologiset tietokannat ja niiden apuohjelmat toimivat digitaalisina oppimisympäristöinä, joiden kautta opiskelijat pääsevät tutustumaan moderniin biologiseen tutkimukseen ja aitoon tutkimusdataan. Bioinformatiikkaa hyödyntävien tehtävien kautta opiskelijat voivat käsitellä, analysoida, tulkita ja esittää biologista tietoa. Bioinformatiikan laajat data-aineistot mahdollistavat myös tutkimuksellisten tehtävien tekemisen, joissa opiskelijat pääsevät harjoittelemaan omia tutkimustaitojaan.

Bioinformatiikan avulla lukion opetussuunnitelman määräämiä biologian oppisisältöjä voidaan opiskella uusilla tavoilla. Bioinformatiikka soveltuu erityisesti opetussuunnitelman mukaisiin syventäviin BI3 (Solu ja perinnöllisyys) ja BI5 (Biologian sovellukset) kursseihin. Seuraavaksi tarkastellaan lähemmin näiden kurssien oppisisältöjä ja tavoitteita ja pohditaan, miten bioinformatiikkaa voisi hyödyntää näiden kurssien toteutuksessa.

#### 6.1.1 BI3 Solu ja perinnöllisyys

Valtakunnallinen syventävä BI3 kurssi keskittyy solujen rakenteen ja toiminnan tarkasteluun (Opetushallitus 2015). Kurssin oppisisältöihin kuuluu solu- ja genomitutkimukseen tutustuminen, solujen ja biomolekyylien rakenteen ja toiminnan tarkastelu, epigeneettinen säätely ja proteiinisynteesi, solujen elinkierron ja lisääntymisen käsittely, perinnöllisyyden perusteisiin ja lainalaisuuksiin tutustuminen sekä solubiologisen tutkimuksen tekeminen.

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija pääsee syventämään ymmärrystään solujen, solun osien ja biomolekyylien toiminnasta ja merkityksestä. Opiskelijan tulee päästä käyttämään solubiologiaan ja perinnöllisyyteen liittyviä teorioita, malleja ja käsitteitä. Hänen pitää päästä tekemään solubiologista tutkimusta ja hänelle tulee antaa työkaluja solu- ja geenitiedon merkityksen arvioimiseen sekä yksilön, että yhteiskunnan näkökulmasta.

Bioinformatiikka sopii erittäin hyvin BI3 kurssin oppisisältöihin ja tavoitteisiin. Bioinformatiikan kautta opiskelijat pääsevät tutustumaan moderniin solu- ja genomitutkimukseen. He voivat hyödyntää aitoa tutkimusdataa ja käsitellä aineistoa samoilla työkaluilla, joita myös tutkijat käyttävät. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä voidaan syventää opiskelijoiden ymmärrystä biomolekyylien rakenteesta ja toiminnasta sekä niiden merkityksestä solujen ja koko elimistön toiminnalle. Bioinformatiikan hyödyntäminen tukee biologisten käsitteiden oppimista, sillä opiskelija joutuu käyttämään biologian käsitteistöä tiedon etsinnässä, käsittelyssä, analysoinnissa ja tulkinnassa. Bioinformatiikan käyttö edistää myös biologisten mallien ja teorioiden oppimista. Biologista dataa käsitellessään opiskelija joutuu yhdistelemään ja analysoimaan tietoa sekä hahmottamaan osista suurempia kokonaisuuksia. Opiskelija joutuu siis soveltamaan oppimaansa ja samalla hän oppii uutta.

BI3 kurssilla bioinformatiikan soveltamisen voi aloittaa tietokantoihin tutustumisesta. Geeniteorian opiskelun yhteydessä opettaja voi johdattaa opiskelijat etsimään ja tarkastelemaan tietokantoihin tallennettuja geenitietoja. Tietokannoista opiskelijat voivat havainnoida muun muassa tutkittavan geenin sijaintia, rakennetta ja sekvenssiä. Soveltavammissa tehtävissä opiskelijat voivat havainnoida mm. mutaatioiden vaikutuksia, lajien sukulaisuuksia tai vaikkapa yksilöiden tunnistamista sekvenssierojen (snippien, SNP = Single Nucleotide Polymorphism) avulla. BI3 kurssilla tehtävän tietokantapohjaisen tutkimuksen tulisi olla yksinkertaista ja hyvin ohjattua, sillä opiskelijoilla ei ole vielä kokemusta tietokantojen ja apuohjelmien käytöstä. Opettaja voi antaa opiskelijoille tutkimusaiheeksi esimerkiksi sairauksia, joiden tiedetään johtuvan hyvin tunnetuista mutaatioista tietyissä geneissä. Tällaisia sairauksia ovat esimerkiksi kystinen fibroosi (PMID: 28449677, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28449677>) ja akondroplasia (PMID: 27987249, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27987249>). Opiskelijoiden tehtävänä voi olla esimerkiksi selvittää sairauden aiheuttavan geenin rakenne ja merkitys sekä mutaation aiheuttama muutos ja muutoksen yhteys sairauteen. Opettaja voi helpottaa opiskelijoiden tutkimusta tekemällä heille tehtävä- ja kysymyspohjia ja tarjoamalla suoria linkkejä tarvittaviin aineistoihin.

### 6.1.2 BI5 Biologian sovellukset

BI5 kurssin oppisisältöihin kuuluvat mikrobiologia, kasvi- ja eläinjalostus, geenitekniikka ja bioteknologia (Opetushallitus 2015). Kurssilla tutustutaan mikrobien rakenteeseen ja toimintaan sekä mikrobien hyödyntämiseen tutkimuksessa ja erilaisissa käytännön sovelluksissa. Kasvi- ja eläinjalostusta tarkastellaan sekä perinteisten menetelmien, että geenitekniikan mahdollistamien uusien keinojen kautta. Opiskelijat tutustuvat geenitekniikan menetelmiin ja genomitietoon sekä näiden hyödyntämiseen modernissa tutkimustoiminnassa. Bioteknologiaa ja sen merkitystä tarkastellaan erilaisten käytännön sovelluksien kautta. Kurssin aikana opiskelijat tekevät johonkin biologian sovellusalaan liittyvää tutkimusta. Kurssin keskeisenä tavoitteena on tutustuttaa opiskelijat biologian erilaisiin sovellusaloihin, joissa hyödynnetään mikrobiologian, jalostuksen, geenitekniikan ja bioteknologian menetelmiä. Tavoitteena on, että opiskelija ymmärtäisi biologian sovellusten merkityksen ja osaisi arvioida niiden tarjoamia mahdollisuuksia, uhkia ja niihin liittyviä eettisiä ongelmia.

Bioinformatiikka sopii hyvin BI5 kurssin oppisisältöihin ja tavoitteisiin. Bioinformatiikka on tieteenala, joka varastoi genomitietoa ja kehittää sen käsittelyä helpottavia apuohjelmia. Genomitietoon tutustuminen on mainittu erikseen opetussuunnitelmassa yhtenä kurssin keskeisenä oppisisältönä (Opetushallitus 2015). Bioinformatiikalla on nykyään erittäin keskeinen rooli geenitekniikassa ja bioteknologiassa, joiden kautta bioinformatiikka on osa monia biologian sovelluksia. Bioinformatiikkaa hyödynnetään niin mikrobiologiassa, kasvi- ja eläinjalostuksessa, lääketieteessä kuin myös monilla muilla biologian sovellusaloilla. Bioinformatiikka liittyy siis keskeisesti BI5 kurssin oppisisältöihin.

Opiskelijat olisi aiheellista tutustuttaa bioinformatiikkaan viimeistään BI5 kurssilla, sillä bioinformatiikka on erottamaton osa genomitiedon keräämistä ja hyödyntämistä. Opiskelija saa paremman käsityksen genomitiedosta, kun hän pääsee itse tutustumaan biologisiin tietokantoihin ja hyödyntämään biologista genomidataa. BI5 kurssilla bioinformatiikkaa voidaan hyödyntää monenlaisiin ja monen tasoisiin tehtäviin riippuen siitä, miten paljon opiskelijoilla on aikaisempaa kokemusta biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käytöstä. Yksinkertaisena tehtävänä opiskelijat voivat esimerkiksi tutustua ihmisen genomiin genomitietokannan (mm. Ensembl, <https://www.ensembl.org/index.html>) kautta. Genomitietokannassa opiskelijat voivat havainnoida esimerkiksi ihmisen kromosomeja ja niissä olevien geenien määrää ja sijaintia. Genomitietokantojen avulla opettaja voi havainnollistaa ihmisen genomia selvittävien projektien toimintatapoja ja tavoitteita.

BI5 kurssille sopivat monenlaiset biologisten tietokantojen aineistot. Opettaja voi edistää kurssin tiedollisten oppisisältöjen oppimista nostamalla ne tarkastelun kohteeksi myös bioinformatiikan kautta. Opettaja voi hyödyntää bioinformatiikkaa esimerkiksi mikrobiologian opiskelussa. Genomi- ja geenitietokantojen (mm. Ensembl ja NCBI genome/genes <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome>) avulla opiskelijat voivat vertailla toisiinsa eukaryoottien ja prokaryoottien perimää ja etsiä ja selittää niiden eroavaisuuksia. Tietokannoista (mm. NCBI:n Viral Genomes, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/viruses/>) pystyy etsimään ja tarkastelemaan myös virusten perimän rakenteita.

Geenitekniikan menetelmiin tutustuminen on myös yksi BI5 kurssin keskeinen oppisisältö (Opetushallitus 2015). Geenien kopiointiin ja tunnistamiseen käytettävissä menetelmissä hyödynnetään usein alukkeita, lyhyitä DNA-pätkiä, jotka vastaavat sekvenssiltään osaa käsiteltävästä geenistä. Alukkeiden suunnittelua on mahdollista kokeilla opiskelijoiden kanssa hyödyntämällä sitä varten kehitettyjä tietokantojen apuohjelmia (Esim. NCBI:n Primer-BLAST, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>). Tämä tosin vaatii opettajalta hieman lisätietämystä alukkeiden suunnittelun periaatteista. Tietokantojen (esim. PubMed, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) kautta opiskelijat voivat tutustua erilaisiin tutkimuksiin ja tarkastella, miten tutkimuksissa on hyödynnetty bioinformatiikkaa ja erilaisia geenitekniikan menetelmiä. Tietokannoista löytyy paljon aineistoa geneettisistä sairauksista ja sairauksia aiheuttavista mutaatioista, joita opiskelijat voivat tutkia ja tarkastella. Mikäli opiskelijoilla on jo riittävästi kokemusta biologisten tietokantojen käytöstä, on kursilla mahdollista toteuttaa itsenäistä tutkimusta tietokantojen avulla. Opettaja voi tarjota opiskelijoille valmiita tutkimusaiheita tai opiskelijat voivat suunnitella ja toteuttaa tutkimusta itsenäisesti heitä kiinnostavista aiheista.

### 6.1.3 Bioinformatiikan hyödyntäminen muilla biologian kursseilla

Bioinformatiikkaa on mahdollista hyödyntää myös muilla opetussuunnitelman mukaisilla biologian kursseilla sekä koulukohtaisilla soveltavilla kursseilla. Biologian pakollisiin kursseihin kuuluvalla BI1 (Elämä ja evoluutio) kurssilla käsitellään jo hieman geenien rakennetta ja toimintaa (Opetushallitus 2015), mutta aihepiiriin perehdytään vain hyvin pintaraapaisun tasolla. Mikäli opiskelijoita halutaan tutustuttaa bioinformatiikkaan jo biologian ensimmäisten kurssien aikana, tulisi tehtävien olla erittäin yksinkertaisia ja hyvin ohjattuja, sillä opiskelijoiden tietopohja geeni- ja molekyylibiologiasta on hyvin suppea. Biologian neljäs

valtakunnallinen kurssi (BI4 Ihmisen biologia) käsittelee ihmiselimestön anatomiaa ja fysiologiaa (Opetushallitus 2015). Bioinformatiikka soveltuu hyvin hyödynnettäväksi myös ihmisbiologian opiskelussa, jolloin tietokantojen avulla voidaan tarkastella esimerkiksi ihmiselimestön toimintaan liittyvät geenejä, joiden geenituotteella on selkeä ja helposti ymmärrettävä tehtävä ihmisen elimistössä. Tällaisia ovat esimerkiksi silmän näköpigmenttejä tuottavat geenit (mm. RHO, Gene ID: 6010 ja OPN1LW, Gene ID: 5956), sekä hemoglobiinin (mm. HBB, Gene ID: 3043) ja insuliinin (INS, Gene ID: 3630) geenit. Bioinformatiikka sopii erinomaisesti myös koulukohtaisille soveltaville biologian tutkimuskursseille. Bioinformatiikasta pystyisi järjestämään jopa kokonaisen oman kurssinsa aiheesta kiinnostuneille opiskelijoille.

## 6.2 Oppikirja-analyysi

Oppikirja-analyysissä analysoitiin kahden lukion biologian syventävän kurssin (BI3 ja BI5) sähköisiä oppikirjoja kolmelta eri oppikirjasarjalta: BIOS (Sanomapro 2019), Koralli (Otava 2017) ja Symbioosi (eOppi 2017). Suurimman roolin bioinformatiikka sai BIOS -oppikirjoissa (taulukko 1). Molemmissa BIOS -kirjoissa esiteltiin bioinformatiikkaa tieteenalana ja termi löytyi kirjojen käsiteluetteloista. BIOS kirjoissa mainittiin useasti tietokannat ja niiden käyttö kappaleissa, joissa kerrottiin geenitiedon keräämisestä, säilyttämisestä ja/tai käytöstä. BIOS 5 -kirjassa esiteltiin myös muita bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä biologian tutkimusalueita, kuten proteomiikkaa ja systeemibiologiaa. Erityisesti BIOS 5 oppikirja antoi lukijalle selkeän käsityksen siitä, mitä bioinformatiikka ja biologiset tietokannat ovat ja miksi ne ovat merkityksellisiä modernissa luonnontieteellisessä tutkimuksessa.

Koralli ja Symbioosi -kirjoissa bioinformatiikka ja biologiset tietokannat mainittiin huomattavasti harvemmin (taulukko 1). Kirjoissa käytettiin kyllä termejä, jotka vahvasti viittaavat bioinformatiikkaan, kuten "geenitieto" ja "genomitieto" ja kappaleissa kuvattiin monin tavoin geneettisen tiedon keräämistä ja sen käytön sovelluksia, mutta itse bioinformatiikkaa ei mainittu kirjoissa lainkaan ja biologisista tietokannoistakin puhuttiin suhteellisen harvoin. Symbioosi 5 kirjassa biologisten tietokantojen merkitystä ja käyttöä kuvattiin hyvin kappaleessa, jossa käsiteltiin geenitekniikan erilaisia menetelmiä. Saman kappaleen tehtävistä löytyi myös parhaiten bioinformatiikkaa hyödyntävä tehtävä, jossa opiskelija pääsee itse hyödyntämään geenitietokantaa. Kirjan muissa kappaleissa tietokannoista puhuttiin kuitenkin huomattavasti vähemmän. Kaikkein vähiten biologiset



tietokannat olivat esillä Koralli -kirjoissa. Koralli -kirjoista löytyi kuitenkin kappaleiden yhteyteen liitettynä lisämateriaaleina linkkejä biologisista tietokannoista löytyviin tutkimusartikkeleihin.

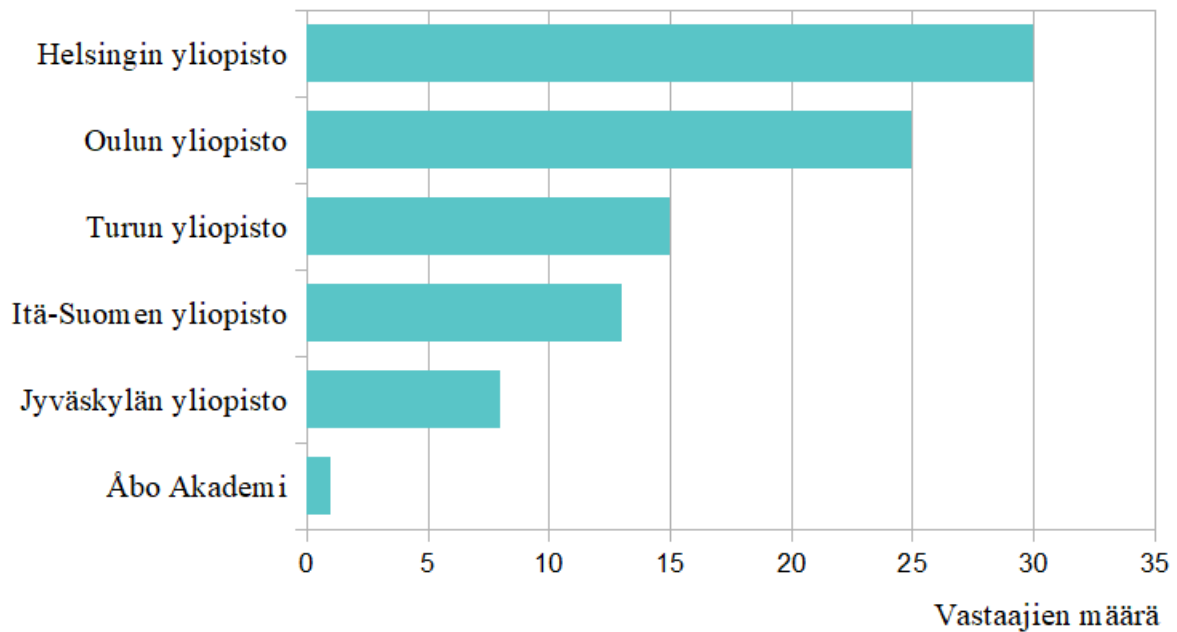
Taulukko 1. Bioinformatiikan ja biologisten tietokantojen esiintyminen BIOS, Koralli ja Symbioosi oppikirjasarjojen BI3 ja BI5 kurssien oppikirjoissa. Taulukon luvut kertovat kuinka monta kertaa bioinformatiikka tai biologiset tietokannat mainittiin kirjojen teksteissä ja kuinka monta bioinformatiikkaan liittyvää tehtävää kirjoista löytyi.

	BIOS 3	BIOS 5	Koralli 3	Koralli 5	Symbioosi 3	Symbioosi 5
Bioinformatiikka käsitelussa	Kyllä	Kyllä				
Biologiset tietokannat (tai geenitietokanta / genomitietokanta) käsitelussa		Kyllä				
Bioinformatiikan esittely tieteenalana	Kyllä	Kyllä				
Bioinformatiikan maininta eri yhteyksissä.	1	2				
Biologisten tietokantojen maininta eri yhteyksissä.	3	8	1	2	1	4
Bioinformatiikkaa määrittelevät tai hyödyntävät tehtävät.		3	1		1	2

### 6.3 Lukion biologian opettajien näkemyksiä ja kokemuksia bioinformatiikasta

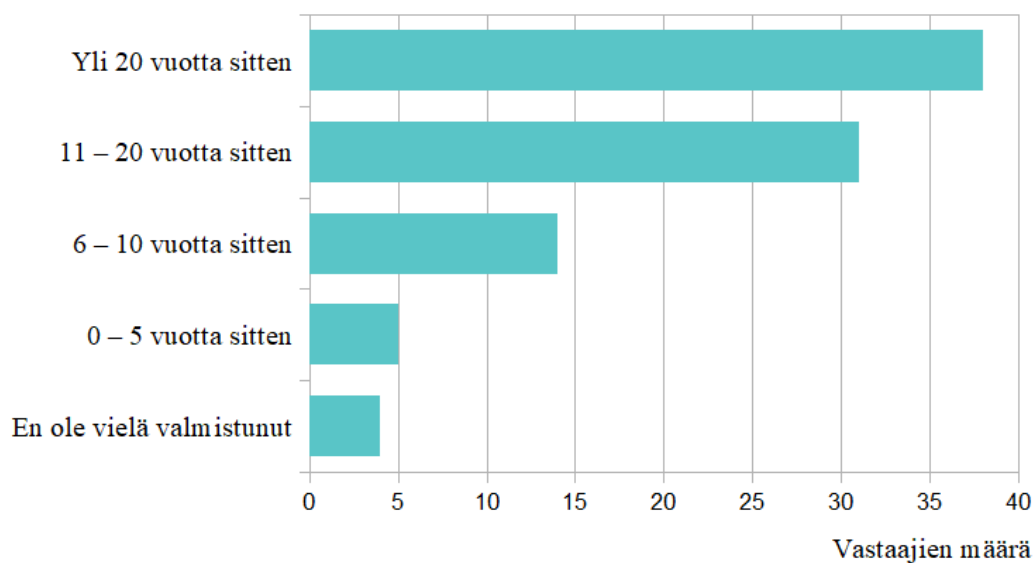
#### 6.3.1 Vastaajien taustatiedot

Kyselyyn vastasi yhteensä 92 lukion biologian ja maantieteen aineenopettajaa. Vastaajista 83% oli naisia, 16% miehiä ja 1% ilmoitti sukupuolekseen muun. Vastaajien koulutustaustasta kysyttiin oppilaitosta, valmistumisvuotta ja opintojen pääainetta. Vastaajista suurin osa oli valmistunut Helsingin tai Oulun yliopistosta (kuva 1).

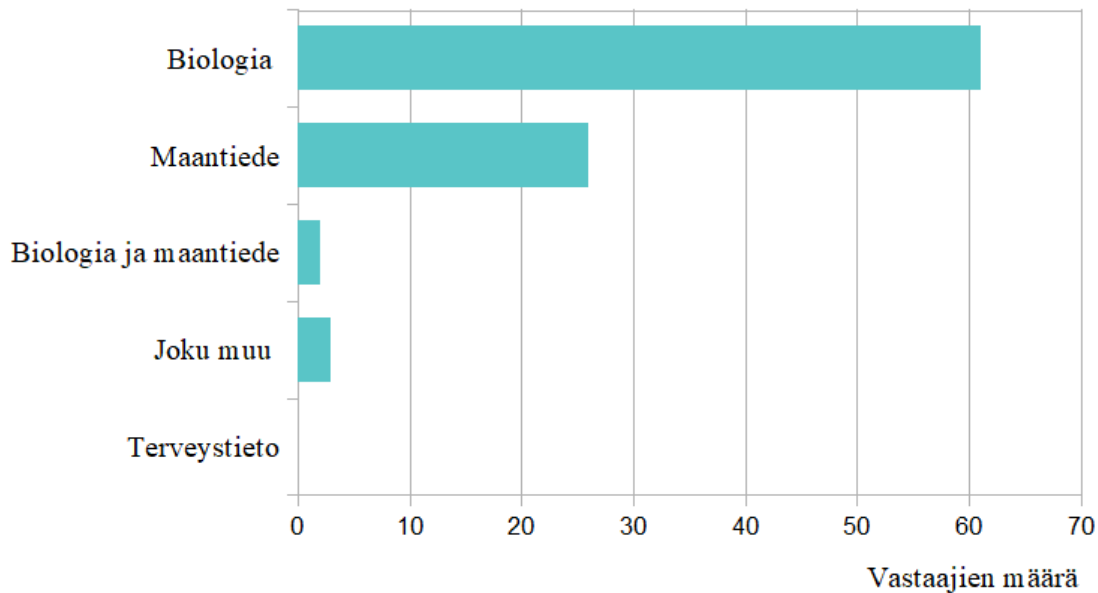


Kuva 1. Kyselyyn vastanneiden opettajien oppilaitokset (n=92)

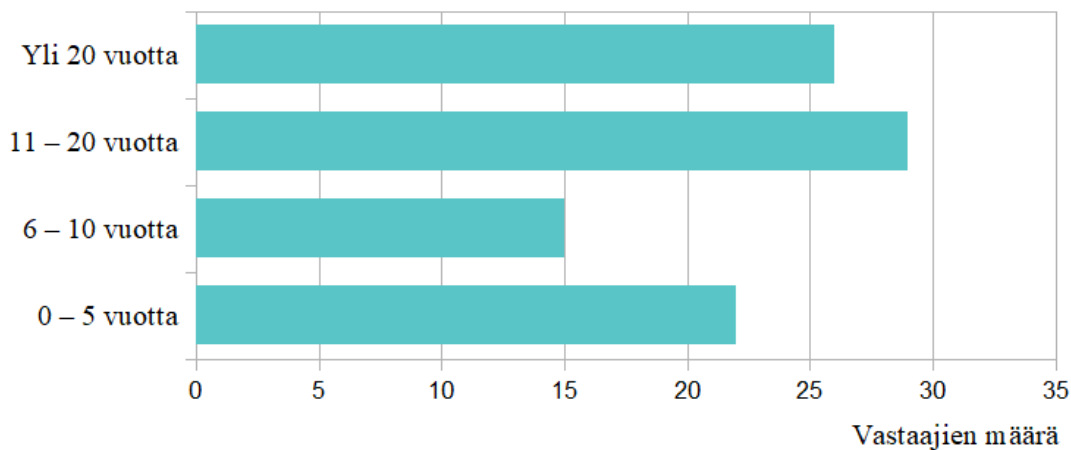
Suurin osa kyselyyn vastanneista opettajista oli valmistunut jo ainakin vuosikymmen sitten (kuva 2). Tutkinnon pääaine oli suurimmalla osalla vastaajista biologia tai maantiede (kuva 3). Muita erikseen ilmoitettuja pääaineita olivat eläintiede ja ympäristötiede. Vastaajilta kysyttiin lisäksi, miten paljon heillä oli opetuskokemusta nimenomaan lukion биологиasta. Vastaajien opetuskokemuksen määrä vaihteli suhteellisen tasaisesti (kuva 4).



Kuva 2. Vastaajien biologian opettajaksi valmistumisen ajankohta (n=92).



Kuva 3. Vastaajien opintojen pääaine (n=92).

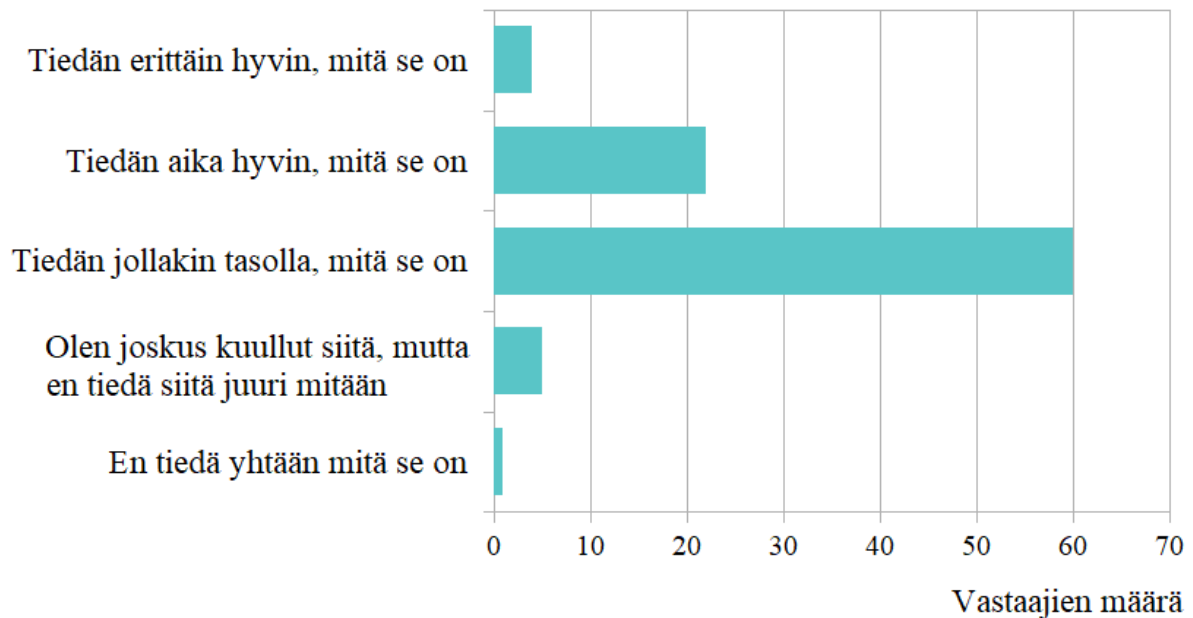


Kuva 4. Vastaajien opetuskokemuksen määrä lukion biologiassa. (n=92)

### 6.3.2 Opettajien bioinformatiikan tuntemus

Vastaajista 93% (yhteensä 86 vastaajaa) uskoi tietävänsä ainakin jollakin tasolla, mitä bioinformatiikka on (kuva 5). Opettajien bioinformatiikan todellista osaamista testattiin bioinformatiikan hahmottamista testaavien kysymysten avulla. Opettajille annettiin joukko biologiaan liittyviä termejä ja heiltä kysyttiin, mitkä termeistä liittyvät heidän mielestään bioinformatiikkaan. Annetuista termeistä opettajat yhdistivät termin “geeni” vahvimmin bioinformatiikkaan. Vastaajista 97% (89 vastaajaa) oli valinnut kyseisen käsitteen (taulukko

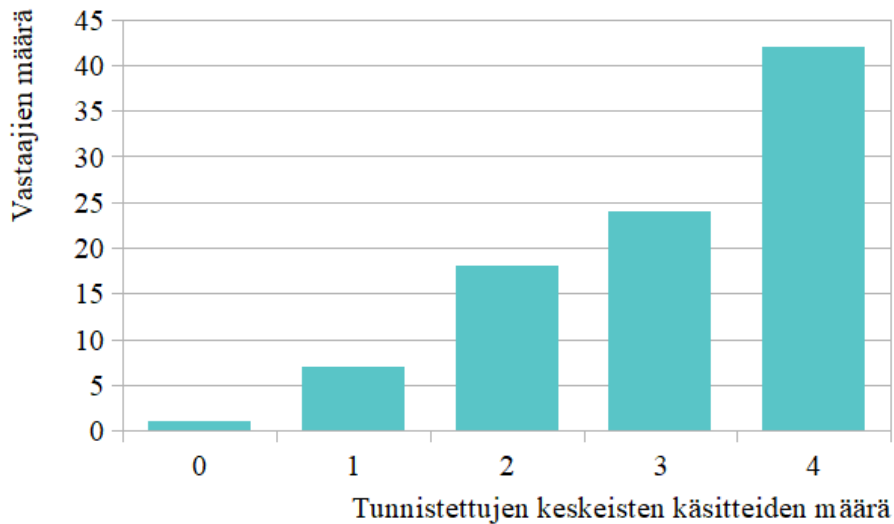
2). Vastaajista 42 oli valinnut kaikki bioinformatiikkaan selkeästi liittyvät käsitteet (geeni, alzheimerin tauti, populaatio ja evoluutio) (kuva 6). Loput 50 vastaajaa eivät olleet valinneet kaikkia bioinformatiikkaan selkeästi liittyviä käsitteitä. Vastaajista siis 45% (42 vastaajaa) tunnisti hyvin bioinformatiikkaan keskeisesti liittyvät käsitteet, kun taas loput 55% (50 vastaajaa) ei kaikkia käsitteitä tunnistanut.



Kuva 5. Vastaajien käsitys omasta bioinformatiikan tuntemuksestaan (n=92).

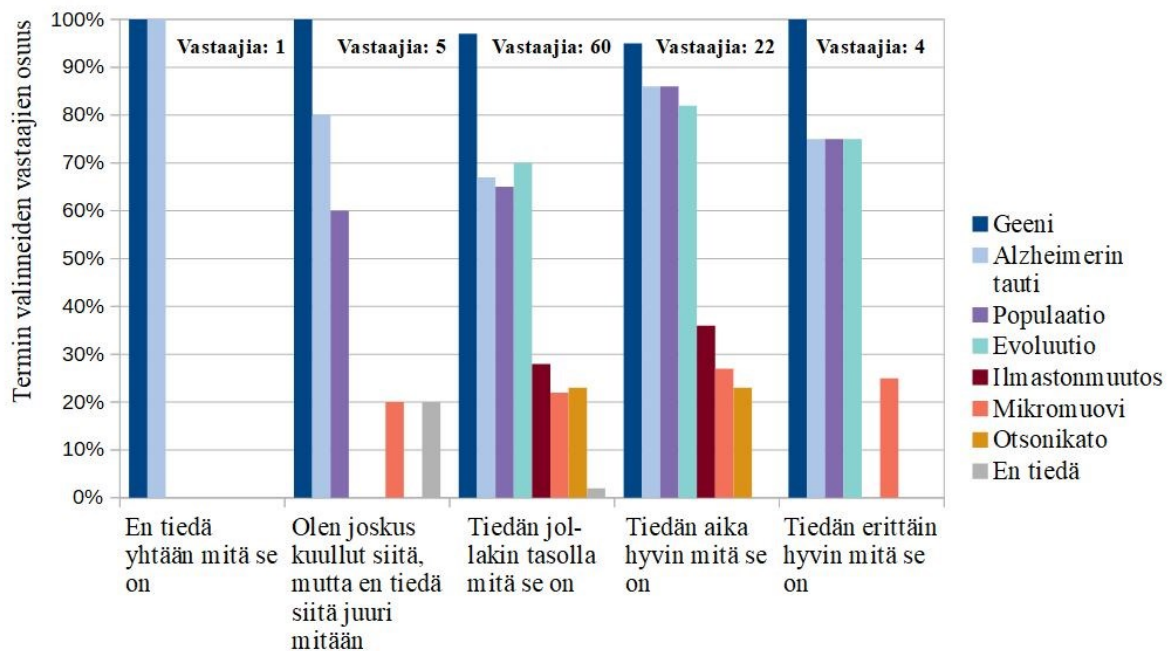
Taulukko 2. Kyselyssä annettujen termien yhdistäminen bioinformatiikkaan (n=92)

<b>Termi</b>	<b>Termin valinneiden vastaajien määrä</b>
Geeni	89
Alzheimerin tauti	67
Populaatio	64
Evoluutio	63
Ilmastonmuutos	25
Mikromuovi	21
Otsonikato	19



Kuva 6. Opettajien tunnistamien bioinformatiikkaan keskeisesti liittyvien käsitteiden määrä (n = 92).

Opettajien antamat vastaukset ristiintaulukointiin siten, että tuloksista pystyttiin tarkastelemaan, miten opettajien tekemät termivalinnat jakautuivat sen perusteella, miten hyväksi opettajat kokivat oman bioinformatiikan osaamisensa. Suhteellisesti eniten bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä käsitteitä oli valittu niissä ryhmissä, joissa opettajat uskoivat tietävänsä aika hyvin tai erittäin hyvin, mitä bioinformatiikka on (kuva 7).



Kuva 7. Eri käsitteitä valinneiden vastaajien suhteelliset määrät niissä ryhmissä, joiden mukaiseksi opettajat arvioivat oman bioinformatiikan tuntemuksensa

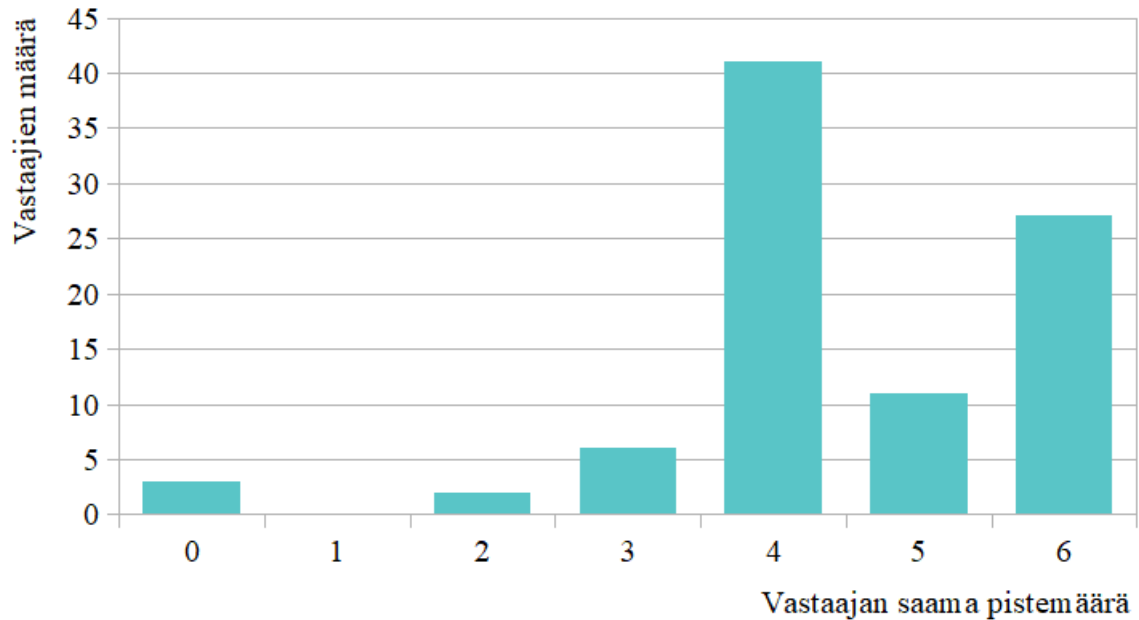
Näissäkään ryhmissä kaikki vastaajat eivät olleet kuitenkaan valinneet kaikkia bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä. Ne vastaajat, jotka eivät omasta mielestään tienneet bioinformatiikasta yhtään mitään tai juuri mitään olivat osanneet valita joitakin bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä. Eniten bioinformatiikkaan heikommin liittyviä termejä oli valittu niissä ryhmissä, joissa opettajat uskoivat tietävänsä jollakin tasolla tai aika hyvin, mitä bioinformatiikka on (kuva 7). Vastaajien käsitteiden tunnistamiskyvyllä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä siihen, miten hyväksi vastaajat arvioivat oman bioinformatiikan tuntemuksensa ( $r = 0.31$ ).

Opettajille esitettiin myös kuusi biologista ongelmaa ja heiltä kysyttiin voidaanko ongelmiin etsiä ratkaisua bioinformatiikan avulla. Opettajat tunnistivat ryhmänä suhteellisen hyvin ne ongelmat, joiden ratkaisemiseksi bioinformatiikasta olisi hyötyä. Ongelmissa 1, 3, 4 ja 5 yli 88% vastaajista oli osannut valita vaihtoehdon “Kyllä” (taulukko 3). Opettajille vaikeimmiksi osoittautuivat ongelmat 2. ja 6. Näihin ongelmiin oli annettu eniten väärää vastauksia ja lisäksi “en tiedä” vastausten määrät olivat suuria.

Taulukko 3. Annettujen vastausten lukumäärät eri ongelmissa. Vihreällä taustalla on korostettu kunkin ongelman oikea vastaus. (n=92)

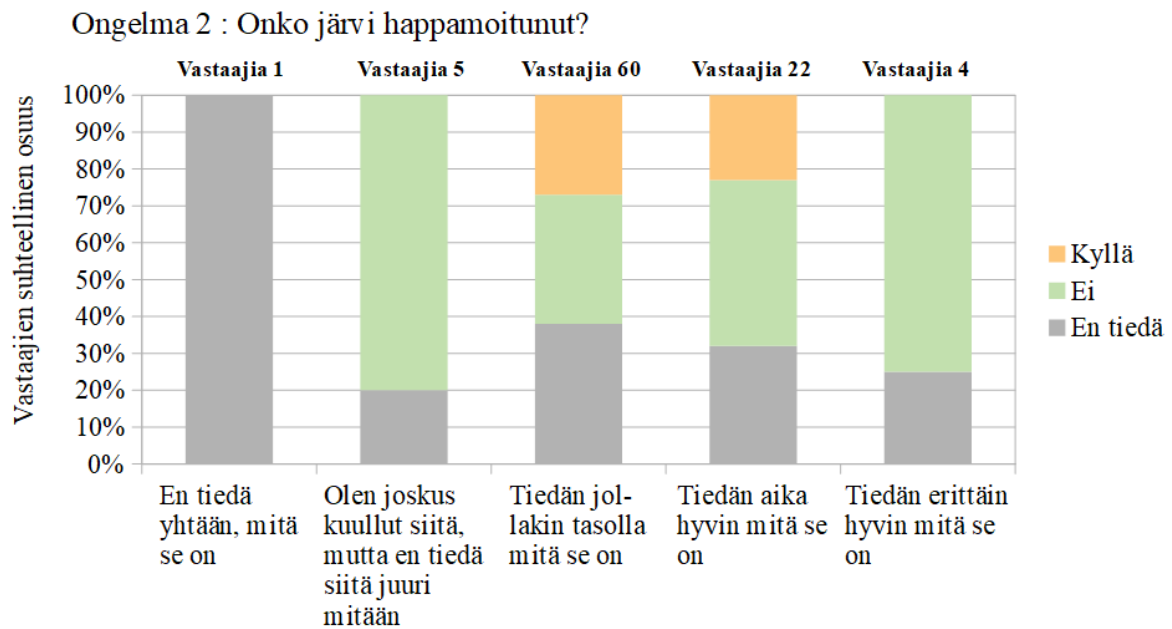
Ongelma	Kyllä	Ei	En tiedä
1. Miten sademetsästä löydetty uusi kasvilaji pitäisi luokitella?	86	1	5
2. Onko järvi happamoitunut?	21	38	33
3. Onko henkilöllä laktoosi-intoleranssille altistava geeni?	84	3	5
4. Onko Suomesta löydetty kovakuoriainen samaa lajia kuin Saksassa elävä samannäköinen kovakuoriainen?	81	1	10
5. Mikä maanisäkäs on valaiden lähin sukulainen?	81	2	9
6. Miten paljon elohopeaa pyydykseen jäänessä hauessa on?	23	35	34

Biologisiin ongelmiin annettuja vastauksia tulkittiin myös vastaajakohtaisesti pisteyttämällä vastaajat annettujen oikeiden vastauksien lukumäärän perusteella. Vastaajista 29% (27 vastaajaa) vastasi täysin oikein jokaiseen biologiseen ongelmaan saaden tehtävästä kuusi pistettä (kuva 8). Suurimman ryhmän muodostivat ne vastaajat, jotka olivat vastanneet oikein 4/6 ongelmasta. Opettajien biologisista ongelmista saamien pistemäärien ja opettajien kokeman oman bioinformatiikan osaamisensa tason välillä ei havaittu yhteyttä ( $r = 0.11$ ).

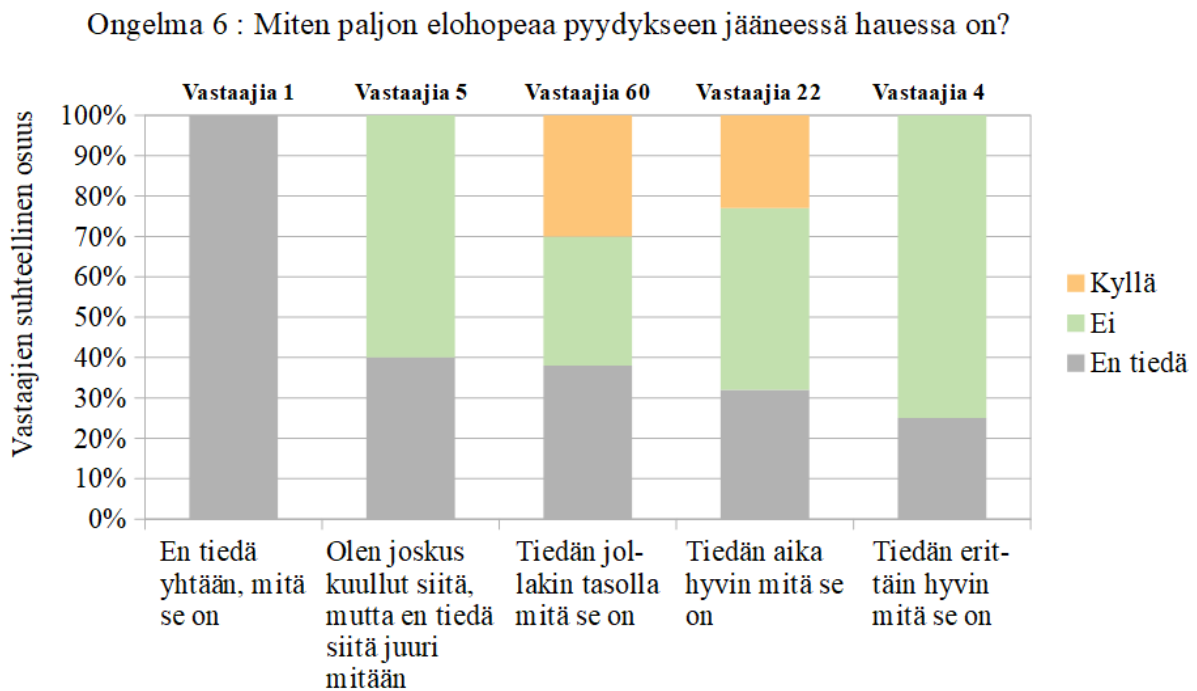


Kuva 8. Vastaajien saamien pistemäärien jakautuminen tehtävässä, jossa heidän piti tunnistaa bioinformatiikan avulla ratkaistavissa olevat biologiset ongelmat (n = 92).

Opettajien oman koetun osaamisen ja bioinformatiikkaan liittyvien biologisten ongelmien tunnistamisen välisiä yhteyksiä tarkasteltiin erikseen vielä niiden kahden biologisen ongelman kohdalla, joissa opettajien vastauksissa oli suurinta hajontaa. Nämä ongelmat olivat: “ongelma 2. Onko järvi happamoitunut?” ja “ongelma 6. Miten paljon elohopeaa pyydykseen jääneessä haussa on?” Kaikki väärää vastauksia näihin ongelmiin antaneet opettajat uskoivat tuntevansa bioinformatiikan jollakin tasolla tai aika hyvin (kuva 9 ja kuva 10). Ne opettajat, jotka tunsivat bioinformatiikan omasta mielestään erittäin hyvin ja toisaalta myös ne opettajat, jotka eivät uskoneet tuntevansa bioinformatiikkaa eivät olleet antaneet väärää vastauksia, mutta osa heistä oli vastannut kysymyksiin “En tiedä”. Ryhmien väliset kokoerot olivat kuitenkin niin suuria, että havainnosta ei voi tehdä tilastollisesti merkitseviä johtopäätöksiä.



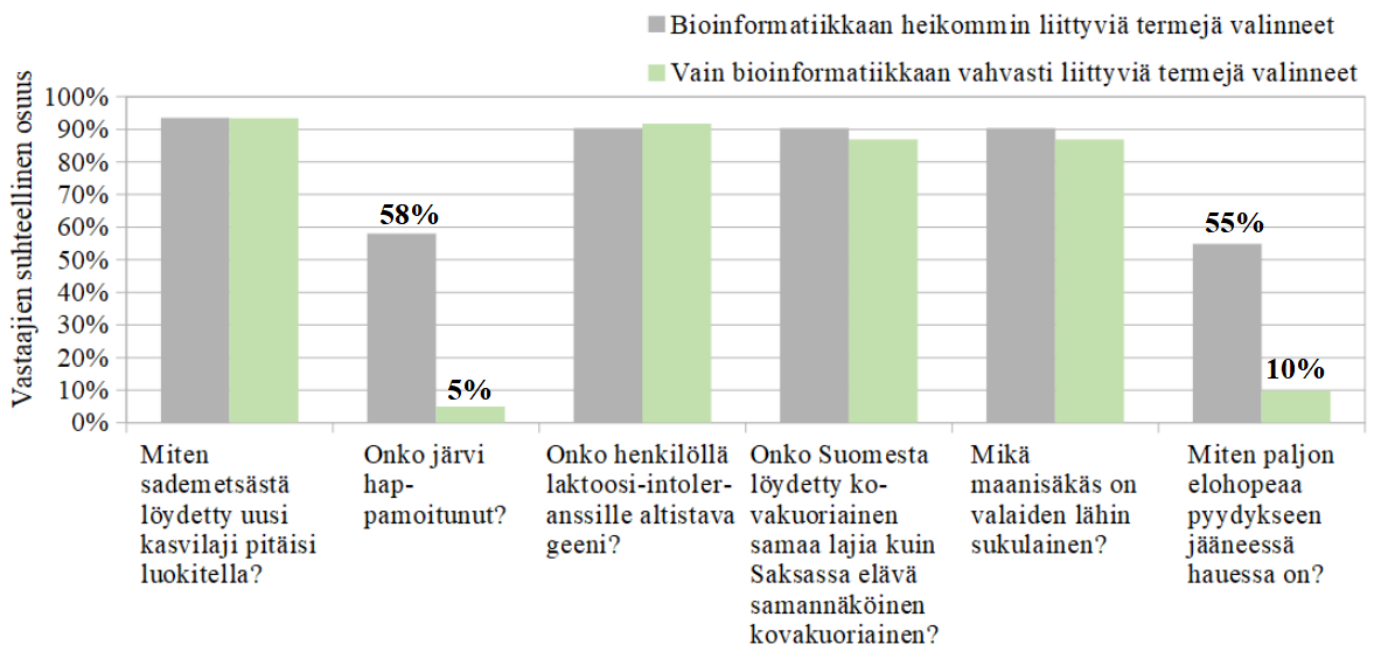
Kuva 9. Opettajien biologiseen ongelmaan 2. “Onko järvi happamoitunut?” antamien vastausten jakautuminen sen perusteella, miten vahvaksi opettajat arvioivat oman bioinformatiikan osaamisensa.



Kuva 10. Opettajien biologiseen ongelmaan 6. “Miten paljon elohopeaa pyydykseen jääneessä hauessa on?” antamien vastausten jakautuminen sen perusteella, miten vahvaksi opettajat arvioivat oman bioinformatiikan osaamisensa.



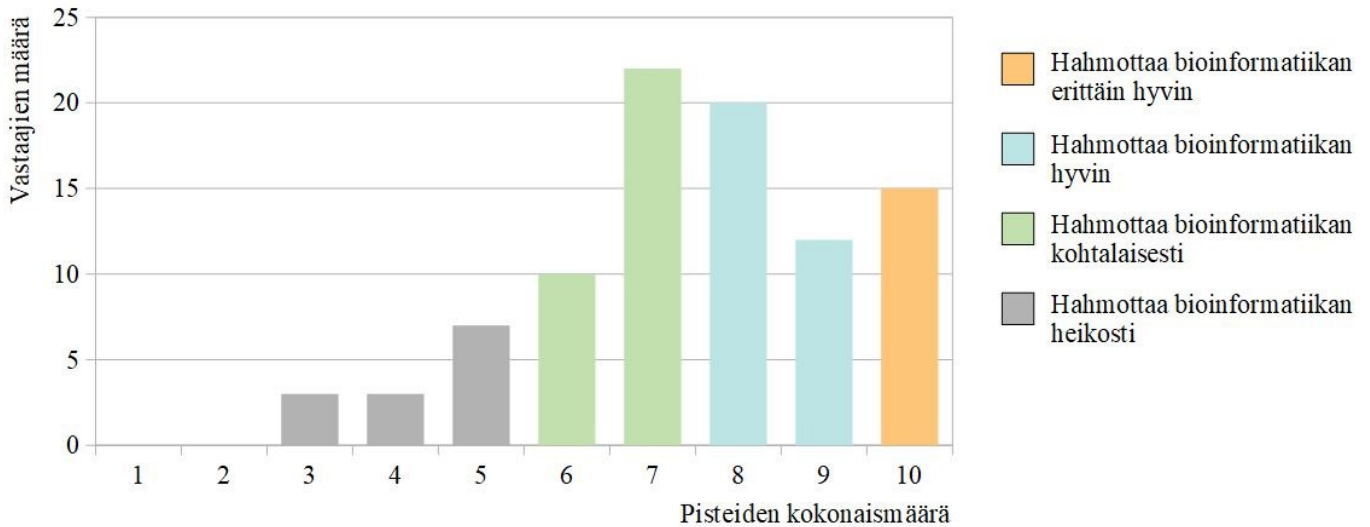
Ristiintaulukoinnin avulla testattiin löytyikö opettajien käsitteiden tunnistamistehtävästä saatujen pistemäärien ja biologisista ongelmista saatujen pistemäärien väliltä yhteyttä. Muuttujien välillä ei havaittu korrelaatiota ( $r = 0.08$ ). Lisäksi testattiin, vastasivatko käsitetehtävässä bioinformatiikkaan heikosti liittyviä termejä valinneet opettajat biologisten ongelmien tehtävässä eri tavalla verrattuna niihin opettajiin, jotka olivat valinneet vain bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä. Eroja löytyi opettajien vastauksista kahteen biologiseen ongelmaan (kuva 11). Bioinformatiikkaan heikosti liittyviä termejä valinneet opettajat olivat vastanneet useammin virheellisesti “Kyllä” niihin biologisiin ongelmiin, joiden ratkaisemiseen bioinformatiikasta ei ole hyötyä. Muuttujien välinen yhteys todettiin tilastollisesti merkitseväksi ( $P < 0.01$ ).



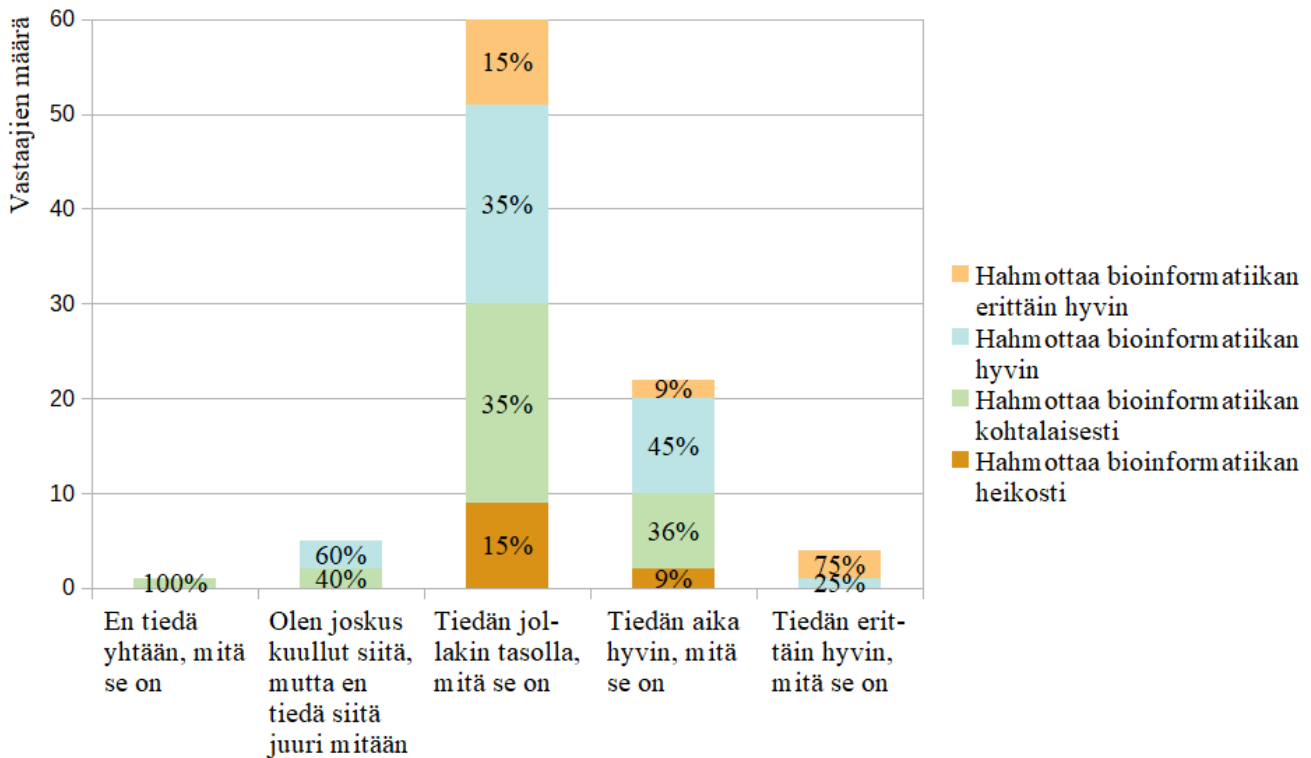
Kuva 11. Biologisiin ongelmiin “Kyllä” vastanneiden käyttäjien suhteelliset osuudet sen perusteella, olivatko käyttäjät valinneet käsitetehtävässä bioinformatiikkaan heikomminkin liittyviä termejä vai vain bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä.

Bioinformatiikan osaamista testaavista kysymyksistä laskettiin vastaajakohtaiset kokonaispistemäärät, jotka kuvaavat opettajien bioinformatiikan tuntemuksen tasoa. Opettajista 53% (49 vastaajaa) hahmotti bioinformatiikan hyvin tai erittäin hyvin. 35% (32 vastaajaa) hahmotti bioinformatiikan kohtalaisesti ja loput 12% (11 vastaajaa) heikosti (kuva 12). Kokonaispistemäärät ristiintaulukoitiin vastaajien oman bioinformatiikan osaamisen kokemusten kanssa. Ristiintaulukoinnista havaittiin, että opettajien kokemus omasta bioinformatiikan osaamisestaan ei ollut aina yhdenmukainen heidän tehtävien perusteella

määritettyyn osaamisen tasoonsa (kuva 13). Opettajien kokeman oman bioinformatiikan osaamisen tason ja heidän tehtävistä saamiensa kokonaispistemäärien väliltä ei löydetty yhteyttä ( $r = 0.14$ ).

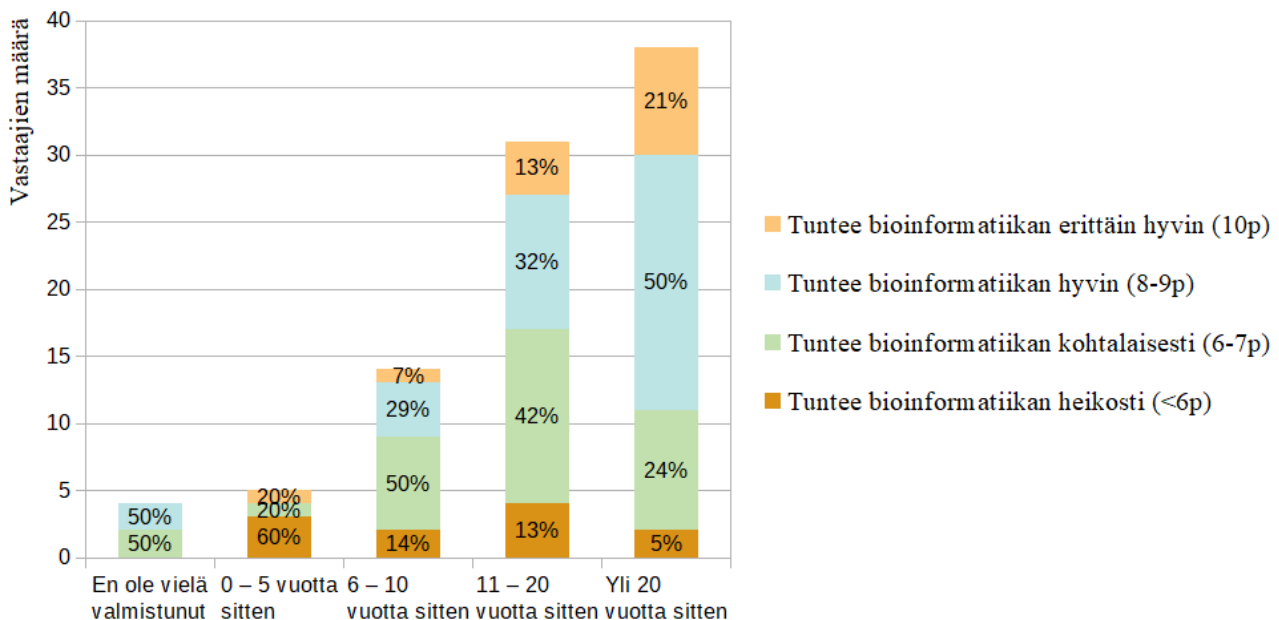


Kuva 12. Vastaajien saamat kokonaispistemäärät ja bioinformatiikan hahmottamisen tasot (n = 92).



Kuva 13. Vastaajien bioinformatiikan hahmottamisen tasot jaettuna ryhmiin sen perusteella, millaiseksi opettajat arvioivat oman bioinformatiikan osaamisensa (n = 92)

Kokonaispistemäärien avulla tutkittiin vaikuttiko opettajien pääaine, valmistumisen ajankohta, opiskeluyliopisto tai vastaajan sukupuoli siihen, miten hyvin opettaja hahmotti bioinformatiikan. Pääaineen ja opettajien saamien pistemäärien väliltä ei löydetty yhteyttä ( $P = 0.75$ ). Myöskään vastaajien opettajaksi valmistumisen ajankohta ei vaikuttanut siihen, miten hyvin opettajat tunsivat bioinformatiikan ( $r = 0.26$ ). Yli 20 vuotta sitten valmistuneista opettajista löytyi kuitenkin suhteellisesti eniten niitä, jotka hahmottivat bioinformatiikan hyvin tai erittäin hyvin (kuva 14). Myöskään opettajien opiskeluyliopistolla ( $P = 0.90$ ) tai sukupuolella ( $P = 0.53$ ) ei ollut yhteyttä opettajien bioinformatiikan osaamiseen.

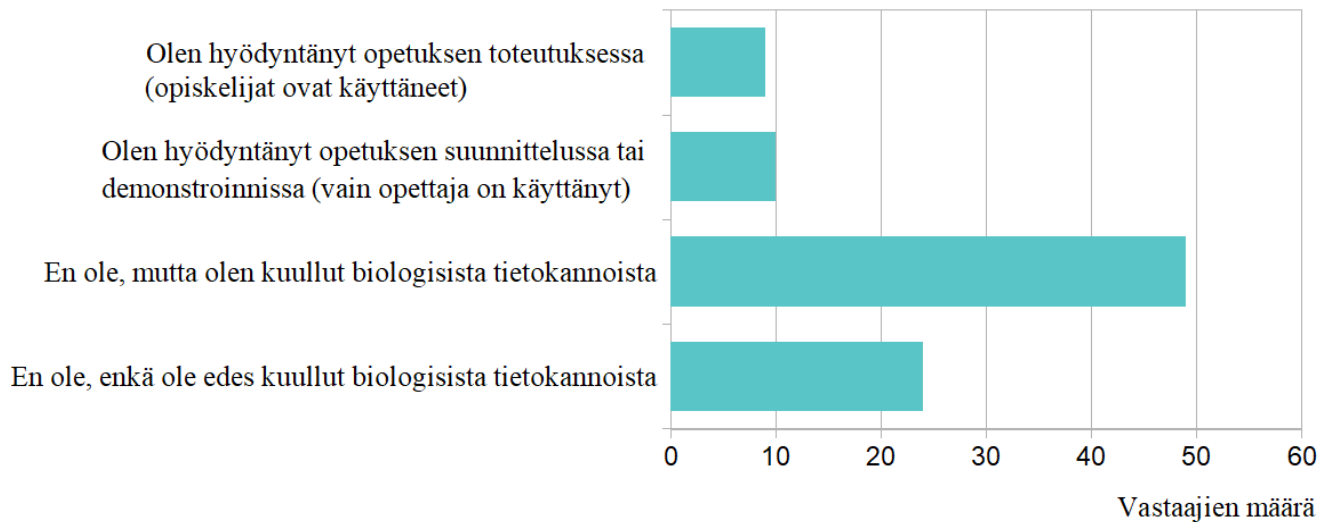


Kuva 14. Opettajien bioinformatiikan osaamisen jakautuminen opettajien valmistumisen ajankohdan perusteella ( $n = 92$ ).

### 6.3.3 Bioinformatiikan hyödyntäminen opetuksessa.

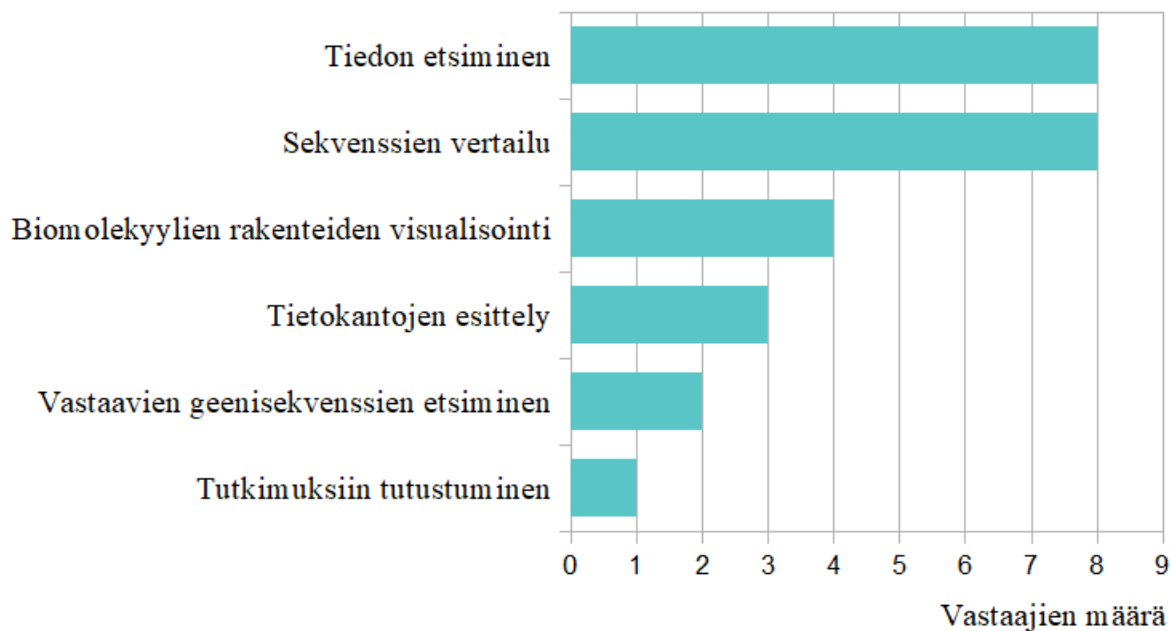
Opettajilta kysyttiin ovatko he koskaan hyödyntäneet opetuksessaan mitään biologista tietokantaa. Kyselyyn vastanneista opettajista 21% (19 vastaajaa) oli hyödyntänyt biologisia tietokantoja jollakin tavalla opetuksessaan (kuva 15). Opettajien tietokantojen hyödyntämisen ja kyselyssä testatun bioinformatiikan hahmottamistason väliltä ei havaittu yhteyttä ( $r = -0.19$ ). Tietokantoja hyödyntäneitä opettajia pyydettiin kertomaan tarkemmin käyttökokemuksistaan kolmen avoimen kysymyksen avulla. Ensimmäisessä avoimessa kysymyksessä kysyttiin, mitä tietokantoja vastaaja on käyttänyt. Selkeästi eniten käytetty tietokanta oli NCBI, jota oli

käyttänyt 12 opettajaa. Seuraavaksi käytetyin oli Ensembl, jota kolme opettajaa kertoi käyttäneensä. Tämän lisäksi vastaajat mainitsivat joukon muita tietokantoja, joita yksittäiset opettajat olivat käyttäneet. Nämä tietokannat olivat: GeneBank, PDB, UniProt ja Proteopedia. Muutamat vastaajat mainitsivat myös bioinformatiikkaan liittyviä sivustoja, joita he olivat hyödyntäneet. Nämä sivustot olivat Mendelian inheritance ja ELLS -kurssien sivustot.

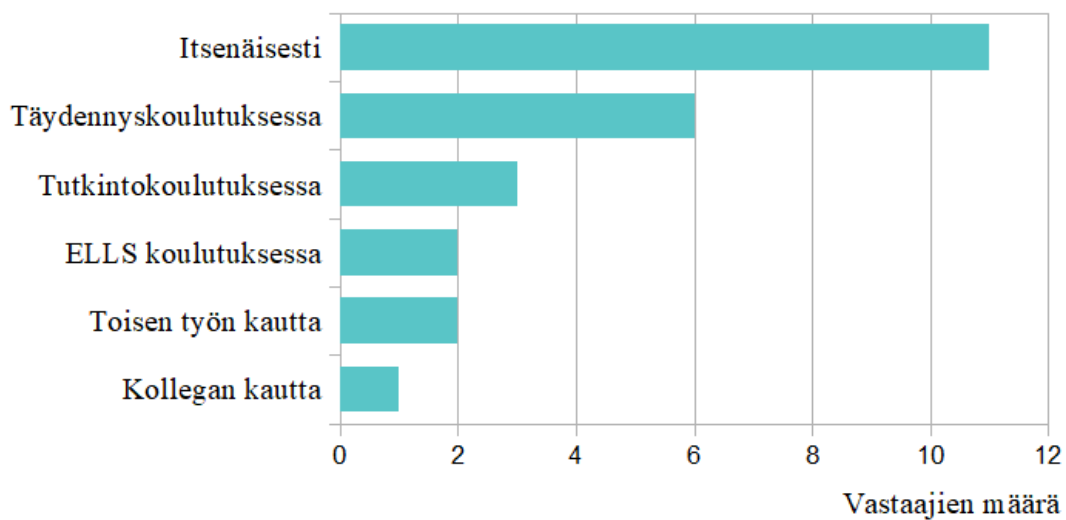


Kuva 15. Opettajien biologisten tietokantojen hyödyntämistavat (n=92).

Opettajia pyydettiin antamaan esimerkkejä siitä, miten he ovat käyttäneet tietokantoja. Tietokantoja oli käytetty eniten tiedon etsimiseen ja sekvenssien vertailuun (kuva 16). Viimeisessä avoimessa kysymyksessä opettajilta kysyttiin, mitä kautta he ovat tutustuneet käyttämiinsä tietokantoihin ja niiden käyttöön. Osa vastaajista oli tutustunut tietokantoihin useammilla eri tavoilla. Yleisimmin tietokantojen käyttöön oli tutustuttu itsenäisesti tai täydennyskoulutuksen kautta (kuva 17). Itsenäisesti tietokantoihin tutustuneet olivat etsineet tietoa esimerkiksi internetin ja kirjallisuuden avulla. Täydennyskoulutusta saaneista kaksi kertoi osallistuneensa ELLS:n kansainvälisille toisen asteen opettajille tarkoitetuille biologian koulutuskursseille. Muut vastaajat eivät kertoneet tarkemmin täydennyskoulutuksistaan. Yksi vastaaja kertoi tekevänsä myös itse bioinformatiikkaan liittyvää pro gradu tutkimusta. Kaksi opettajaa oli työskennellyt aikaisemmin tutkijana ja he olivat tutustuneet tietokantoihin työssään.



Kuva 16. Opettajien biologisten tietokantojen käyttötavat. (n=19)

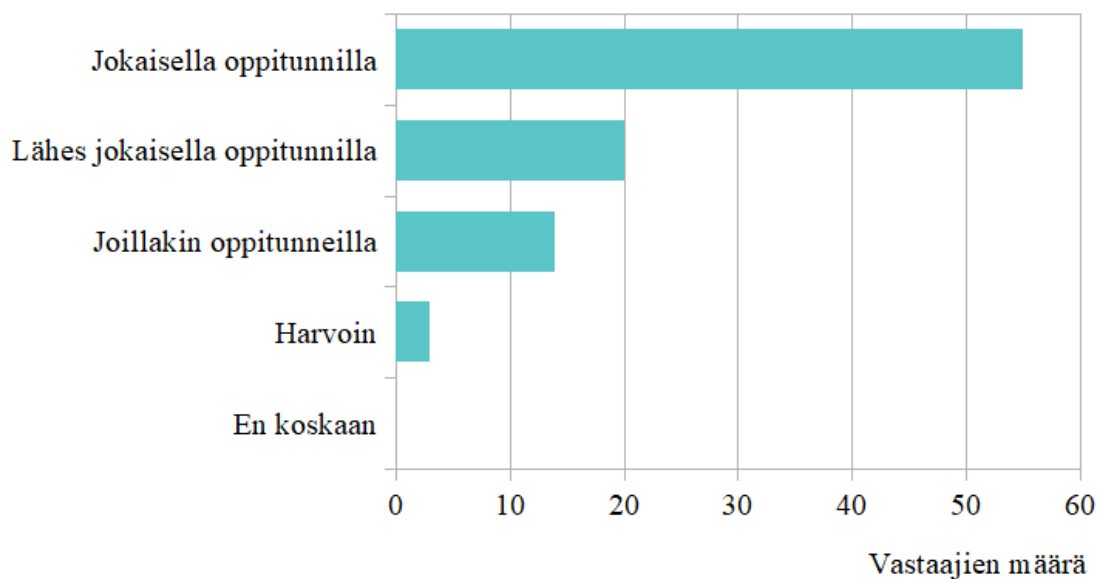


Kuva 17. Opettajien biologisiin tietokantoihin tutustumistavat (n=19).

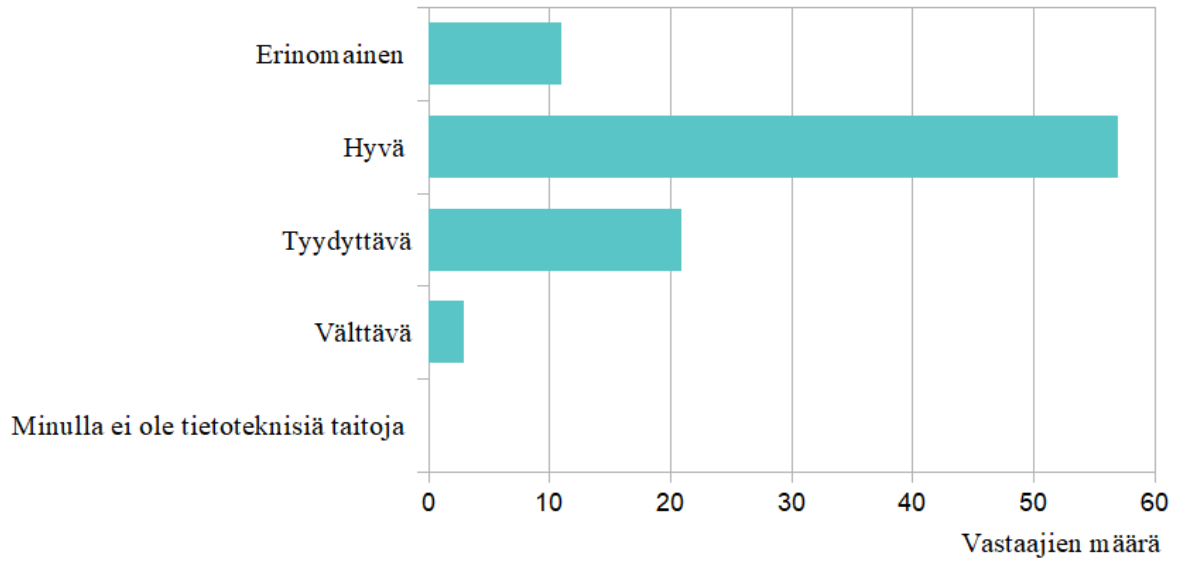
### 6.3.4 Bioinformatiikan kiinnostavuus ja täydennyskoulutuksen tarve.

Kyselyn viimeisessä osiossa kartoitettiin opettajien tietotekniikan käyttöä sekä heidän kokemustaan bioinformatiikan kiinnostavuudesta ja aiheeseen liittyvän täydennyskoulutuksen tarpeesta. Opettajista suurin osa käytti tietotekniikkaa aktiivisesti opetuksessaan (kuva 18) ja yli puolet arvioi omat tekniset taitonsa hyväksi tai erinomaiseksi (kuva 19). Opettajien omalla arvioidulla tietotekniikan käyttötaidolla ei havaittu yhteyttä siihen, miten hyvin opettajat hahmottivat bioinformatiikan ( $r = -0.01$ ) tai olivatko opettajat hyödyntäneet biologisia tietokantoja opetuksessaan ( $r = 0.17$ ). Myöskään opettajien tietotekniikan käyttömäärillä ei havaittu yhteyttä bioinformatiikan osaamiseen ( $r = -0.22$ ) tai biologisten tietokantojen hyödyntämiseen ( $r = 0.14$ ).

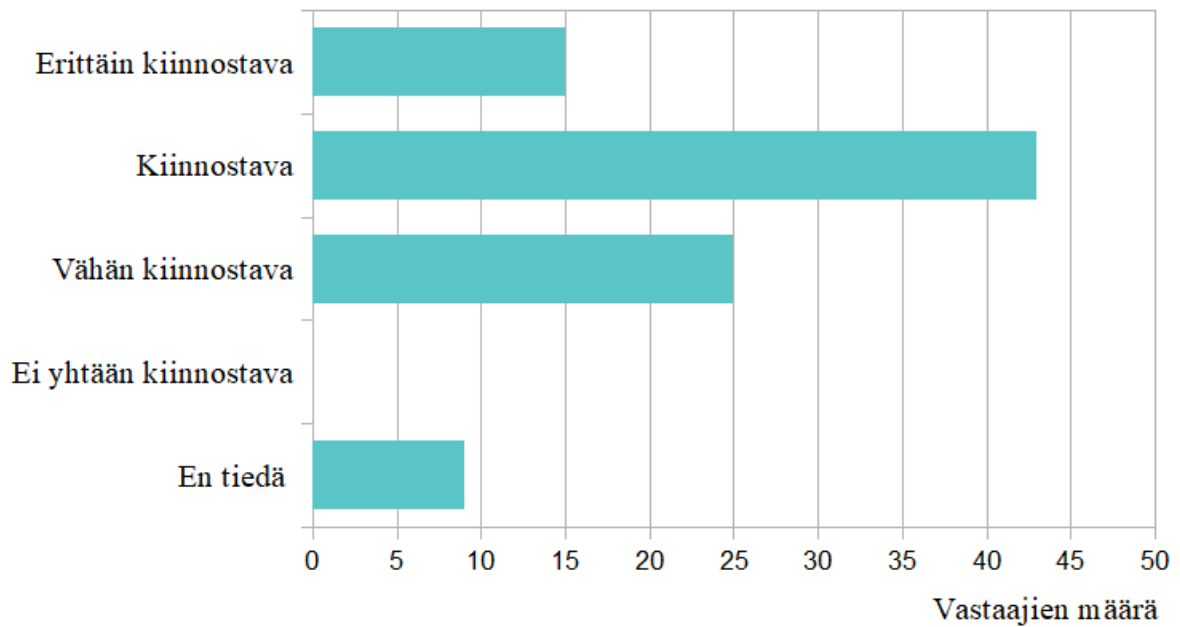
Yli puolet opettajista koki bioinformatiikan kiinnostavaksi tai erittäin kiinnostavaksi (kuvaaja 20). Yksikään opettaja ei ollut sitä mieltä, että bioinformatiikka ei olisi heistä yhtään kiinnostavaa. Opettajilta kysyttiin ovatko he koskaan saaneet koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön. Opettajista selkeä enemmistö (91%, 84 vastaajaa) ei ollut koskaan saanut koulutusta biologisista tietokannoista. Vain kahdeksan opettajaa oli saanut koulutusta tietokantojen käytöstä. Opettajista 88% (81 vastaajaa) koki, että heillä olisi tarvetta ja halua saada bioinformatiikkaan liittyvää koulutusta. Loput 11% (10 vastaajaa) ei kokenut tarvetta bioinformatiikan koulutukselle. Yksi vastaaja ei antanut kysymykseen vastausta.



Kuva 18. Opettajien tietotekniikan käyttömäärät opetuksessa (n=92).



Kuva 19. Opettajien kokemus omista tietoteknisistä taidoistaan (n=92).

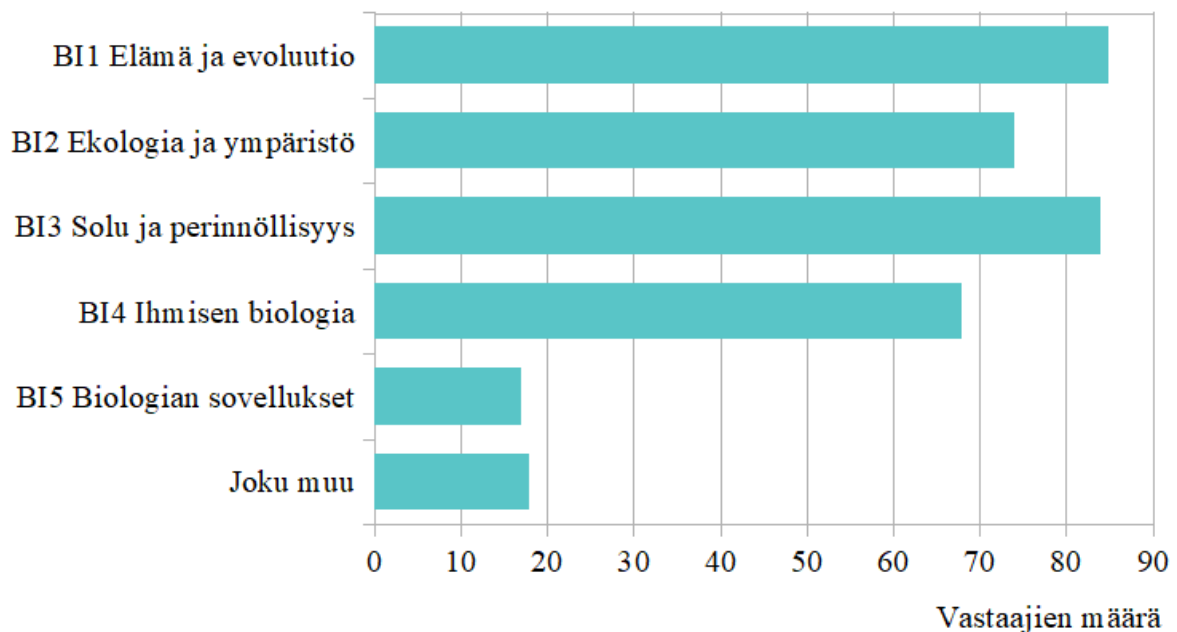


Kuva 20. Opettajien kokemus bioinformatiikan kiinnostavuudesta opetuksen näkökulmasta (n=92).

## 6.4 Bioinformatiikan soveltuvuus lukioikäisten käyttöön - Näytetuntien palaute.

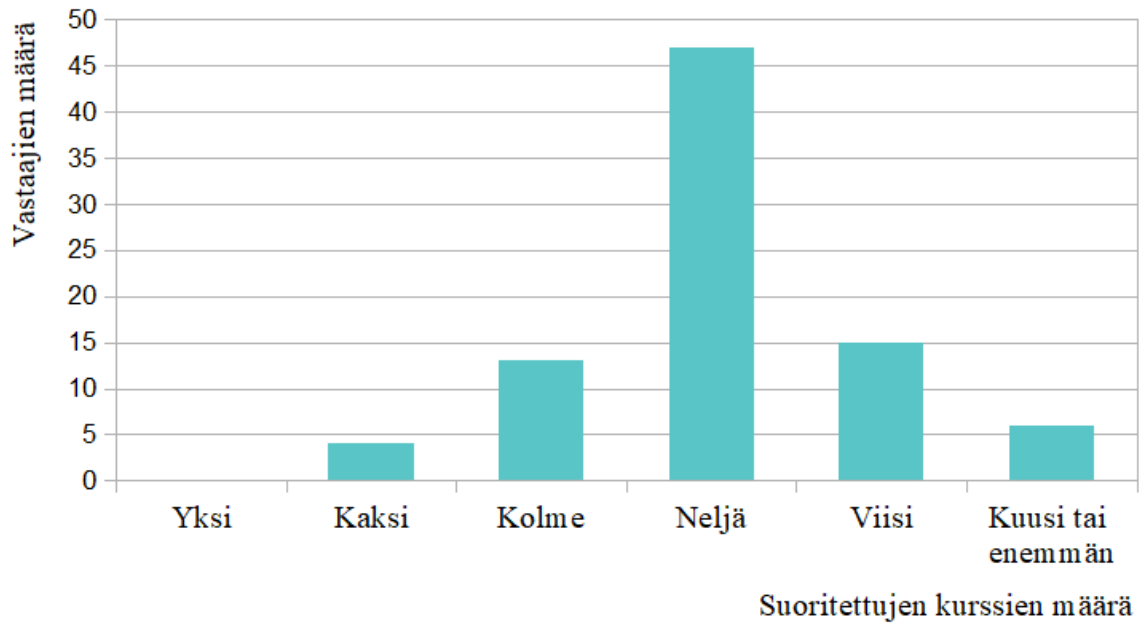
### 6.4.1 Opiskelijoiden taustatiedot

Palautekyselyn alussa opiskelijoilta kysyttiin, mitä biologian kursseja he ovat suorittaneet. Opiskelijat olivat suorittaneet eniten biologian kursseja 1 - 4 (kuva 21). Suurin osa opiskelijoista oli suorittanut ainakin neljä biologian kurssia (kuva 22). Alustavana kysymyksenä opiskelijoilta tiedusteltiin myös sitä, olivatko he aikaisemmin tutustuneet biologisiin tietokantoihin. Suurimmalla osalla opiskelijoista ei ollut aikaisempaa kokemusta biologisista tietokannoista (kuva 23).

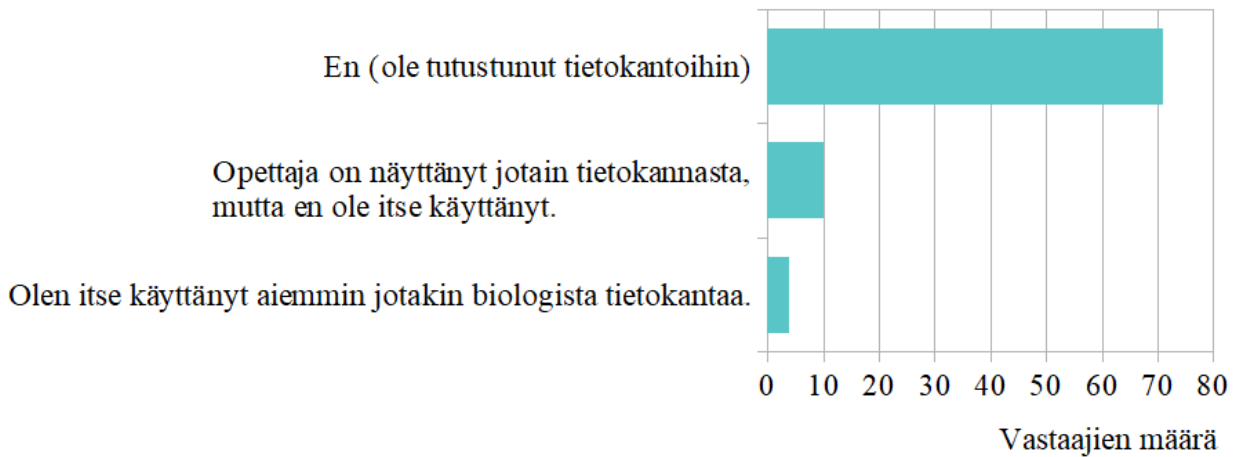


Kuva 21. Vastaajien suorittamat biologian kurssit. Mukaan on laskettu myös ne kurssit, joilla opiskelijat olivat osallistumassa näytetuntiin. (n = 85)





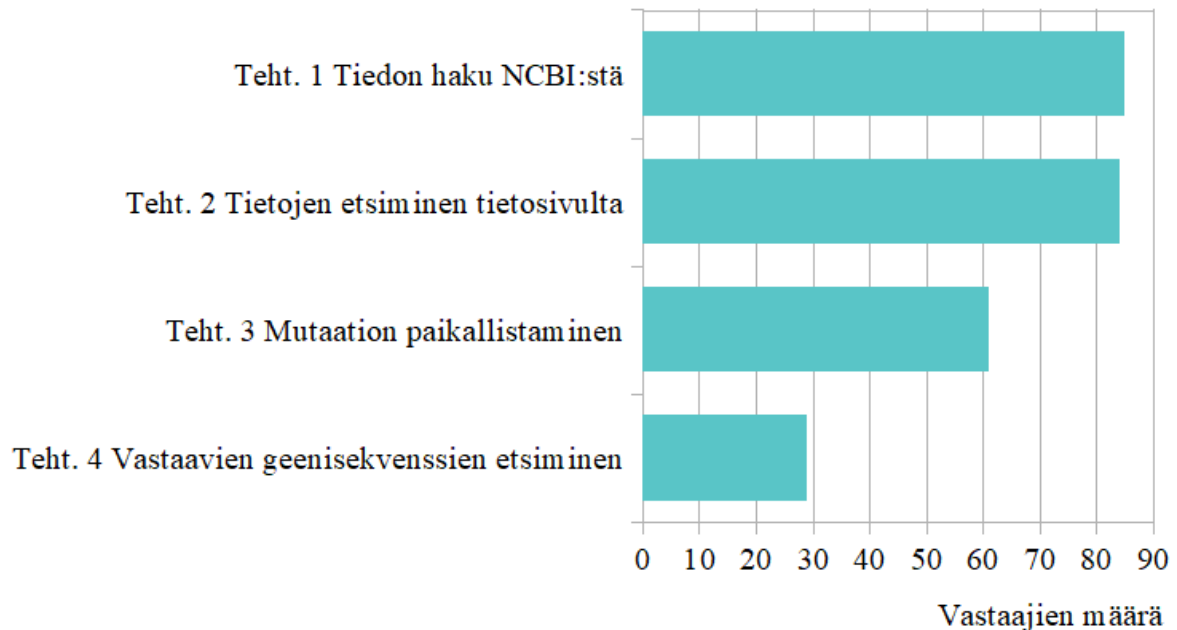
Kuva 22. Opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrät. Mukaan on laskettu myös ne kurssit, joilla opiskelijat olivat osallistumassa näytetuntiin. (n = 85)



Kuva 23. Opiskelijoiden aikaisempi tutustuminen biologisiin tietokantoihin. (n = 85)

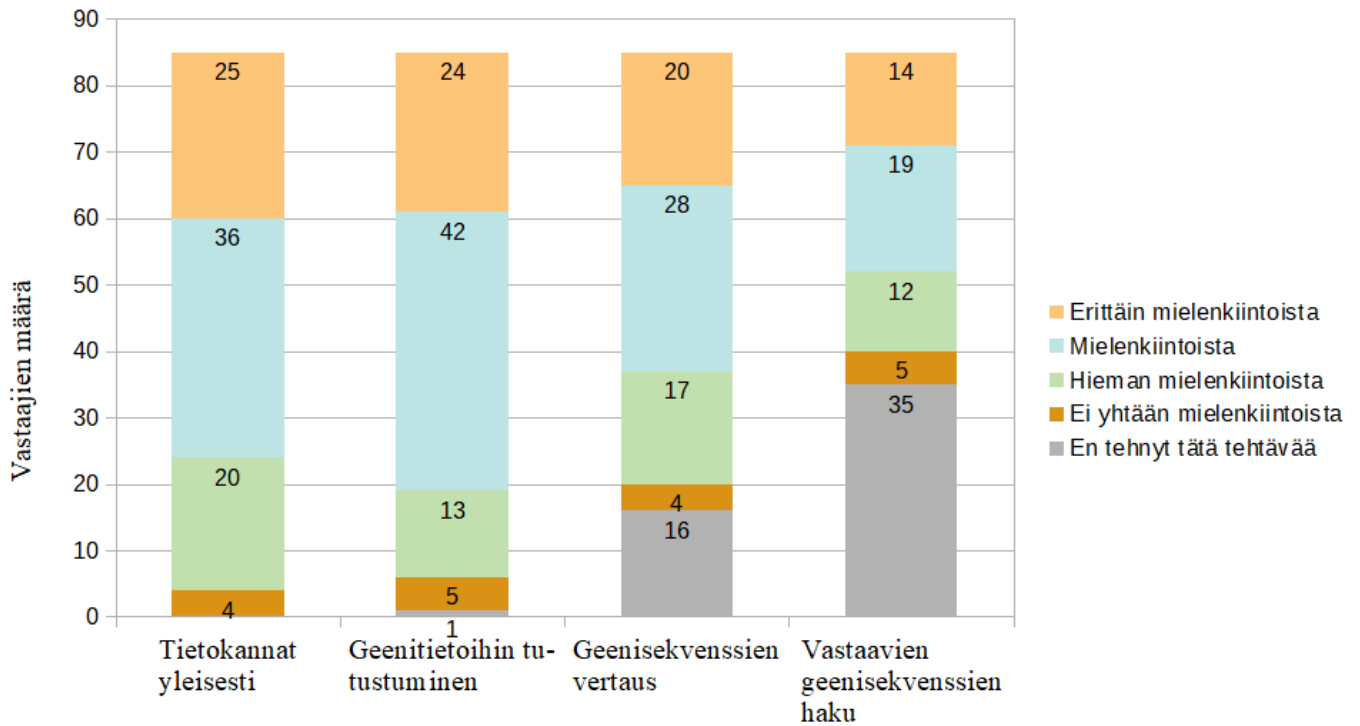
#### 6.4.2 Opiskelijoiden kokemuksia näytetunnilla tehdyistä tehtävistä

Näytetunnin aikana suurin osa opiskelijoista ehti tehdä tehtäviä kolmanteen tehtävään asti (kuva 24). Opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrällä ei havaittu vaikutusta siihen, miten pitkälle opiskelijat etenivät näytetunnin aikana tehdyissä tehtävissä ( $r = -0.09$ ).

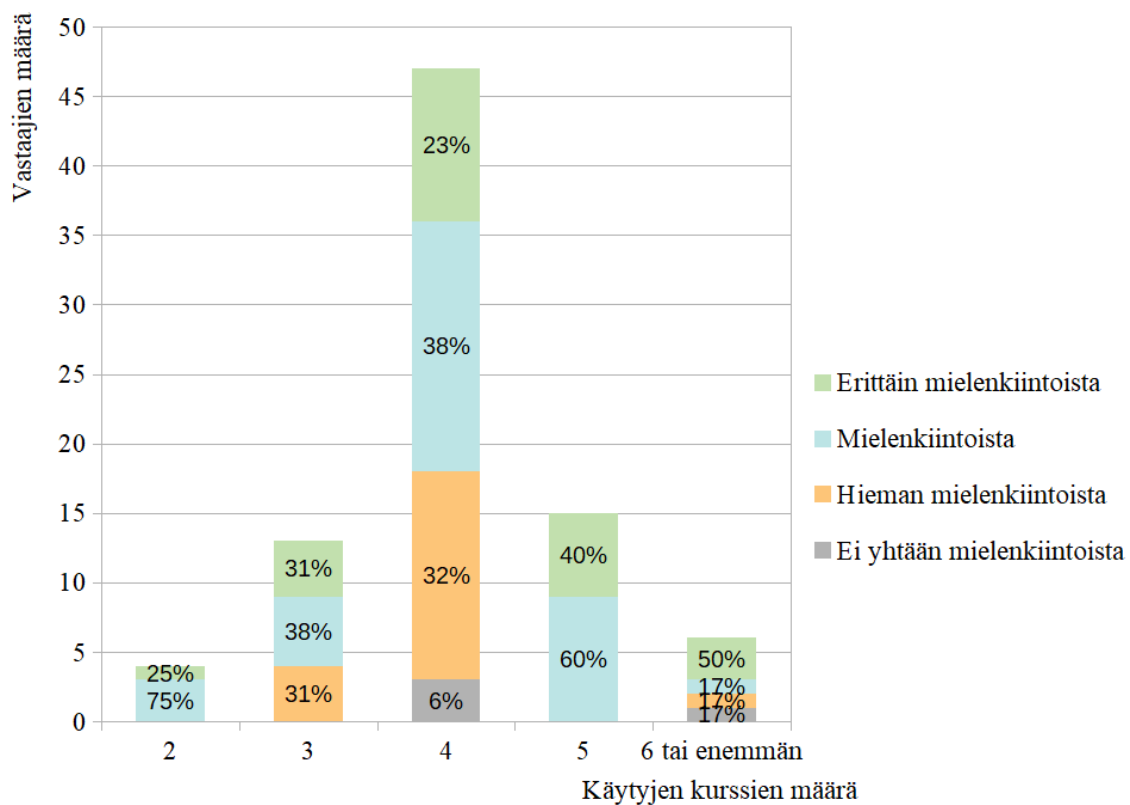


Kuva 24. Näytetunnin aikana eri tehtäviä tehneiden opiskelijoiden määrät. ( $n = 85$ )

Opiskelijoista lähes kaikki kokivat biologiset tietokannat ainakin hieman mielenkiintoisiksi (kuva 25). Vain muutama opiskelija ei kokenut lainkaan mielenkiintoa biologisia tietokantoja kohtaan. Kaikkien tehtävien kohdalla suurin osa tehtävän tehneistä opiskelijoista piti tehtävää ainakin hieman mielenkiintoisena (kuva 25). Geenitietoihin tutustuminen oli opiskelijoiden mielestä tehtävistä kaikkein mielenkiintoisin. Opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrällä ei havaittu yhteyttä siihen, miten mielenkiintoiseksi opiskelijat kokivat biologiset tietokannat ( $r = -0.12$ ). Eniten mielenkiintoa biologisia tietokantoja kohtaan tunsivat kuitenkin ryhmänä ne opiskelijat, jotka olivat opiskelleet viisi kurssia lukion biologiaa (kuva 26). Heistä kaikki kokivat tietokannat mielenkiintoisiksi tai erittäin mielenkiintoisiksi.

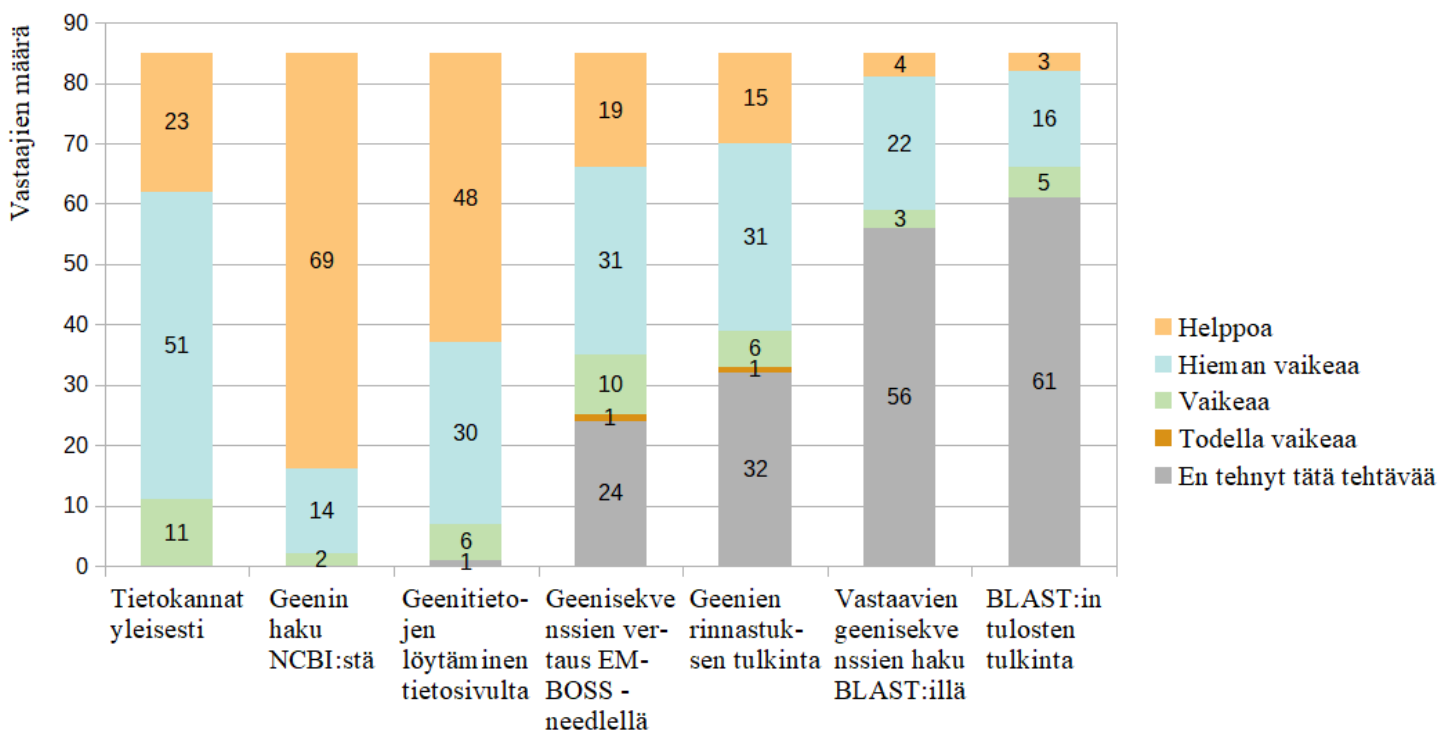


Kuva 25. Opiskelijoiden kokemus biologisten tietokantojen ja eri tehtävätyyppien kiinnostavuudesta (n = 85)



Kuva 26. Eri verran biologiaa opiskelleiden lukiolaisten kokemukset biologisten tietokantojen mielenkiintoisuudesta (n = 85).

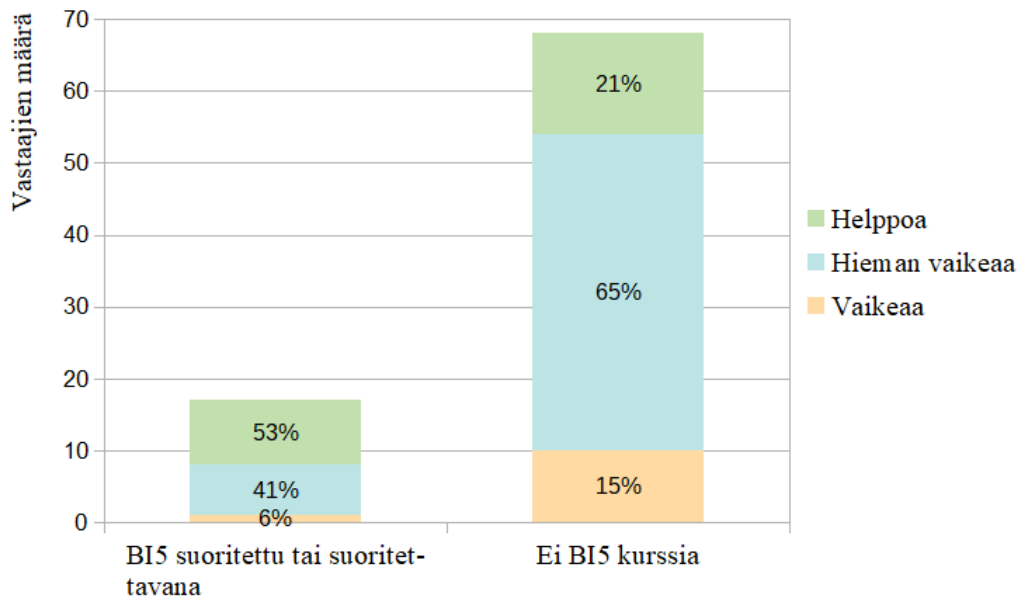
Opiskelijoista suurin osa koki biologisten tietokantojen käytön yleisesti hieman vaikeaksi (kuva 27). Kukaan opiskelijoista ei kokenut tietokantojen käyttöä todella vaikeaksi. Opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrällä ei havaittu yhteyttä siihen, miten vaikeaksi opiskelijat kokivat tietokantojen käytön ( $r = -0,26$ ). Enemmistö opiskelijoista koki geenin hakemisen NCBI:stä ja geenitietojen etsimisen geenin tietosivulta suhteellisen helpoksi (kuva 27). Opiskelijoista yli puolet ehti tehdä ensimmäisen apuohjelmaa hyödyntävän tehtävän, jossa geenin referenssisekvenssiä verrattiin mutaation sisältävään sekvenssiin. Suurin osa tehtävän tehneistä opiskelijoista koki geenisekvenssien rinnastamisen EMBOSS -needle apuohjelmalla ja rinnastuksen tulkinnan helpoksi tai hieman vaikeaksi (kuva 27). Osa opiskelijoista ehti tehdä myös tehtävämonisteen viimeisen tehtävän, jossa ihmisen CFTR-geenille etsittiin tietokannasta samankaltaisia genejä muilta lajeilta käyttäen apuna NCBI:n BLAST-apuohjelmaa. Suurin osa tehtävän tehneistä opiskelijoista koki BLAST-haun suorittamisen ja haun tulosten tulkinnan hieman vaikeaksi (kuva 27).



Kuva 27. Opiskelijoiden kokemus biologisten tietokantojen ja eri tehtävätyyppien vaikeustasosta. (n = 85)

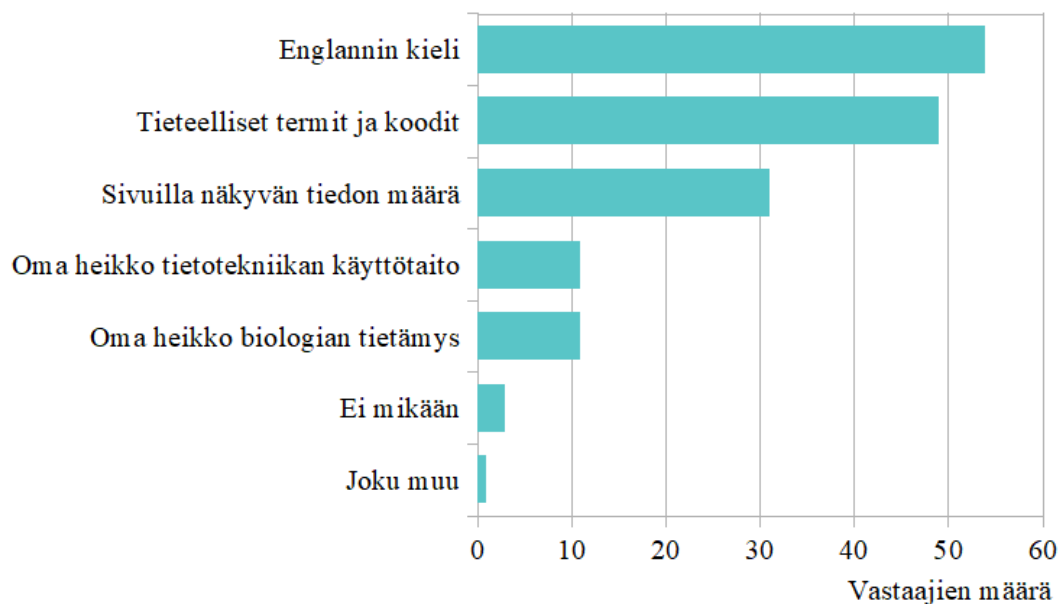
Erikseen tarkasteltiin vielä sitä, vaikuttiko BI5 kurssin (Biologian sovellukset) käyminen opiskelijoiden kokemuksiin tietokantojen käytön vaikeustasosta. Muuttujien välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ( $P < 0.05$ ). BI5 kurssin suorittaneista

opiskelijoista suhteellisesti suurempi osa piti tietokantojen käyttöä helppona verrattuna niihin, jotka eivät olleet BI5 kurssia käyneet (kuva 28).



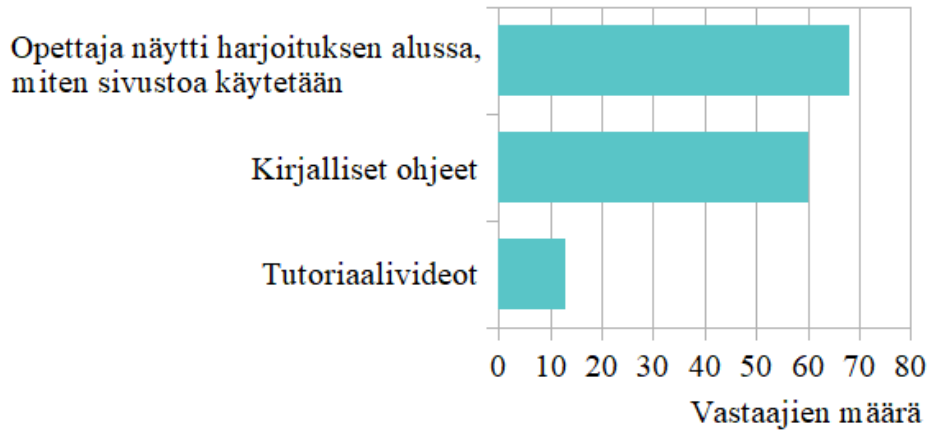
Kuva 28. Opiskelijoiden kokemukset biologisten tietokantojen käytön vaikeustasosta sen perusteella, olivatko opiskelijat suorittaneet BI5 kurssia (n = 85).

Opiskelijoilta kysyttiin, mitkä asiat vaikeuttivat heidän mielestään merkittävästi biologisten tietokantojen käyttöä. Opiskelijoiden mielestä käyttöä vaikeuttivat eniten englannin kieli, tieteelliset termit ja koodit sekä sivuilla näkyvän tiedon määrä (kuva 29).



Kuva 29. Biologisten tietokantojen käyttöä merkittävästi vaikeuttaneet tekijät. (n = 85)

Opiskelijoilta kysyttiin myös millaiset näytetunnilla käytetyt ohjeet he kokivat hyödyllisimmiksi. Opiskelijoista suurin osa koki hyötyvänsä eniten perinteisistä ohjeista eli opettajan demonstraatiosta sekä kirjallisista ohjeista (kuva 30). Tutoriaalivideoista oli hyötynyt 13 opiskelijaa. Nämä opiskelijat olivat päässeet tehtävissään keskimäärin pidemmälle kuin suurin osa opiskelijoista.

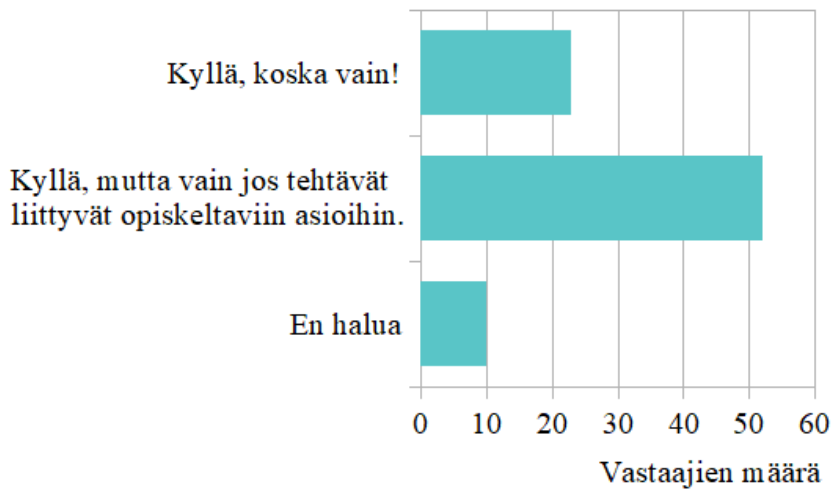


Kuva 30. Opiskelijoiden hyödyllisimmiksi kokemat ohjeet. (n = 85)

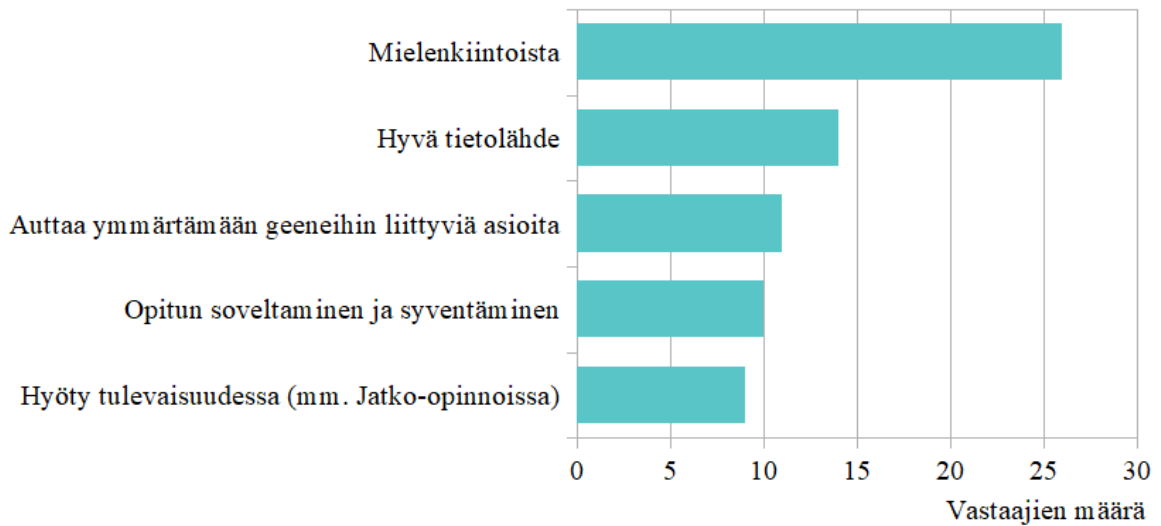
#### 6.4.3 Opiskelijoiden halukkuus käyttää biologisia tietokantoja jatkossa biologian opiskelussa.

Kyselyn lopussa kartoitettiin vielä opiskelijoiden halukkuutta käyttää biologisia tietokantoja jatkossa biologian opiskelussa. Opiskelijoista 88% (75 opiskelijaa) haluaisi käyttää biologisia tietokantoja myös jatkossa (kuva 31). Heistä suurin osa (52 opiskelijaa) oli halukkaita käyttämään tietokantoja, mikäli tehtävät vain liittyvät kursseilla opiskeltaviin asioihin. 23 opiskelijaa oli valmis käyttämään tietokantoja koska vain. Kymmenen opiskelijaa ei halunnut käyttää tietokantoja enää jatkossa. Opiskelijoita pyydettiin kertomaan tarkemmin, miksi he haluaisivat tai eivät haluaisi käyttää jatkossa biologisia tietokantoja. Biologisia tietokantoja haluttiin käyttää, sillä ne koettiin mielenkiintoisiksi, hyviksi tietolähteiksi, opiskelun apuvälineeksi ja tulevaisuuden kannalta hyödyllisiksi (kuva 32). Tietokantojen käyttämistä kuvailtiin myös hauskaksi ja hyväksi vaihteluksi tavalliselle opiskelulle. Muutama opiskelija arvosti myös sitä, että tietokantojen avulla asioita pääsi itse tutkimaan ja tietokannat yhdistivät opitut asiat oikeisiin tutkimuksiin. Tietokantoja kritisoitiin siitä, että niiden käyttäminen oli liian vaikeaa, monimutkaista ja työlästä (kuva 33). Muutama opiskelija ei kokenut tietokannoista olevan hyötyä omille opinnoilleen muun muassa sen vuoksi, että he eivät

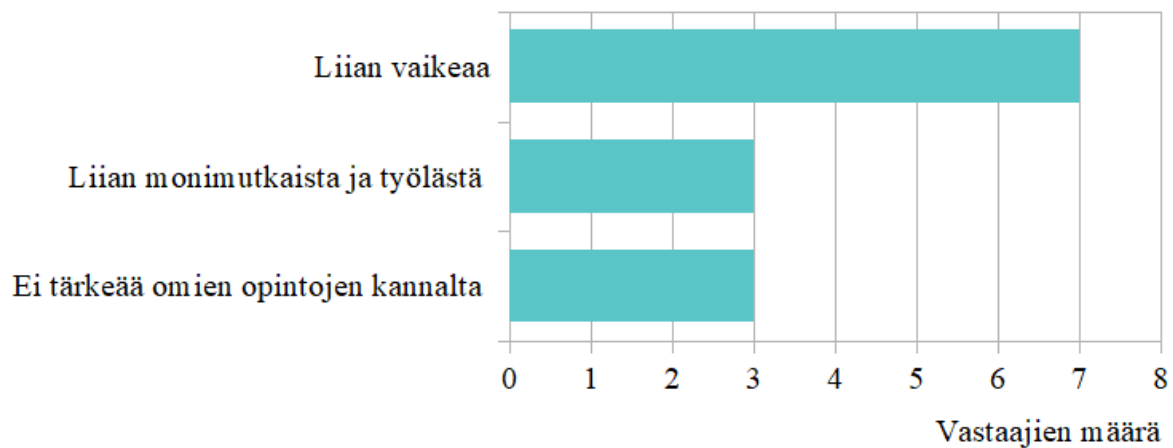
aikoneet kirjoittaa biologiaa. Yksittäiset opiskelijat kuvailivat tietokantoja myös tylsiksi ja epäkiinnostaviksi.



Kuva 31. Opiskelijoiden halukkuus käyttää biologisia tietokantoja jatkossa biologian opiskelussa. (n = 85)



Kuva 32. Opiskelijoiden vastauksista poimittuja yleisimpiä syitä sille, miksi opiskelijat haluaisivat käyttää myös jatkossa biologisia tietokantoja. (n = 75 )



Kuva 33. Yleisimpiä syitä sille, miksi opiskelijat eivät halunneet käyttää jatkossa biologisia tietokantoja. (n= 10)

Kyselyn lopussa opiskelijoilla oli vielä mahdollisuus antaa vapaasti palautetta biologisista tietokannoista ja näytetunnista. Palautteessa korostui selkeästi se, että moni opiskelija koki näytetunnin ja biologisten tietokantojen käytön mielenkiintoiseksi ja kivaksi vaihteluksi normaaleille oppitunneille.

## 7 TULOSTEN TARKASTELO JA POHDINTA

### 7.1 Bioinformatiikan nykyinen rooli lukion biologian opetuksessa.

#### 7.1.1 Bioinformatiikan sopivuus opetussuunnitelman mukaiseen biologian opetukseen

Tutkimuksessa tarkasteltiin bioinformatiikan sopivuutta lukion opetussuunnitelman mukaisten biologian kurssien sisältöihin sekä tiedollisiin ja taidollisiin tavoitteisiin. Opetussuunnitelman tarkastelun perusteella bioinformatiikka sopii erinomaisesti erityisesti biologian syventävien kurssien BI3 (Solu ja perinnöllisyys) ja BI5 (Biologian sovellukset) oppisisältöjen opiskeluun. Bioinformatiikkaa ei suoraan mainita biologian opetussuunnitelmassa, mutta opetussuunnitelma määrää, että opiskelijat tulee tutustuttaa muun muassa genomitutkimukseen ja genomitietoon, joihin bioinformatiikka oleellisena osana liittyy. Monet BI3 ja BI5 kurssien keskeiset oppisisällöt keskittyvät biomolekyylien (DNA:n, RNA:n ja proteiinien) rakenteen ja toiminnan tuntemukseen ja tästä tuntemuksesta johdettuihin biologian sovelluksiin.



Bioinformatiikka tarjoaa opetukseen uusia tapoja opiskella ja syventää tuntemusta biomolekyylien rakenteesta ja toiminnasta. Bioinformatiikkaa hyödyntämällä opiskelijat voivat muun muassa tarkastella biomolekyylien rakenteita ja hahmottaa rakenteiden merkityksiä molekyylien toiminnalle. Bioinformatiikan hyödyntäminen tukee täten monien biologian tiedollisten oppisisältöjen oppimista.

Bioinformatiikka sopii erinomaisesti myös opetussuunnitelman mukaisiin biologian taidollisiin tavoitteisiin. Biologisten tietokantojen sisältämät data-aineistot ja bioinformatiikan tarjoamat apuohjelmat mahdollistavat monenlaisten tutkimustoimintaan liittyvien taitojen harjoittamisen. Biologisista tietokannoista opiskelijat voivat etsiä, tarkastella ja valikoida aitoa tieteellistä tutkimusdataa. Apuohjelmien avulla opiskelijat voivat harjoitella datan käsittelyä, analysoimista, tulkintaa ja esittämistä. Laajat data-aineistot mahdollistavat monenlaisten tutkimuksellisten tehtävien tekemisen ja tutkivan oppimisen harjoittamisen. Bioinformatiikan digitaalisten oppimisympäristöjen hyödyntäminen kehittää biologian tietojen ja taitojen ohessa myös nuorten teknologian käyttötaitoja ja tutustuttaa heidät teknologian keskeiseen rooliin modernissa biologisessa tutkimuksessa.

Opetussuunnitelmassa bioinformatiikalle annettava rooli ohjaa sitä, miten bioinformatiikkaa opetuksessa käsitellään. Wefer ja Sheppard (2008) tarkastelivat bioinformatiikan roolia Yhdysvalloissa toisen asteen biologian opetuksen opetussuunnitelmissa. Bioinformatiikkaa ei suoraan mainittu yhdenkään osavaltion opetussuunnitelmissa, eikä opetussuunnitelmista löytynyt paljoa sellaista sisältöä, joka olisi suoraan sidottu bioinformatiikkaan. Opetussuunnitelmat sisälsivät kyllä sisältöä, joka olisi sidottavissa bioinformatiikkaan, kuten genomiikka, evoluutiobiologia ja teknologian hyödyntäminen opetuksessa. Nämä sisällöt oli kuitenkin esitetty hyvin yleistetysti ja tulkinnanvaraisesti, mikä ei edistänyt bioinformatiikan integroimista biologian opetukseen. Hyvin samanlainen tilanne on nähtävissä myös Suomessa lukion biologian opetussuunnitelmassa (Opetushallitus 2015). Opetussuunnitelma sisältää paljon tiedollista ja taidollista ainesta, joka olisi sidottavissa bioinformatiikkaan ja joiden opiskeluun bioinformatiikka soveltuisi erinomaisesti. Opetussuunnitelma kuvaa näiden tiedollisten ja taidollisten sisältöjen opiskelua kuitenkin hyvin yleistäen jättäen opettajille paljon tulkinnan varaa siihen, miten he näitä asioita opettavat. Opettaja voi siis opettaa opiskelijoilleen asioita genomitutkimuksesta ja genomitiedosta mainitsematta heille sanaakaan bioinformatiikasta. Weferin ja Sheppardin (2008) mukaan bioinformatiikkaa voisi integroida osaksi opetussuunnitelmia esimerkiksi tarjoamalla bioinformatiikkaan liittyviä esimerkkejä aihepiirien opiskeluun. Bioinformatiikan integroiminen osaksi opetussuunnitelmaa olisi

ensisijaisen tärkeää, mikäli bioinformatiikan hyödyntämistä halutaan edistää biologian opetuksessa (Machluf & Yarden 2013). Bioinformatiikan mainitseminen opetussuunnitelmassa johtaisi siihen liittyvän opetuksen järjestelmälliseen kehittämiseen. Tällöin bioinformatiikan hyödyntämisestä tulisi suunnitelmallista ja sitä alettaisiin hyödyntää kaikissa samaa opetussuunnitelmaa noudattavissa oppilaitoksissa. Bioinformatiikan erittäin tärkeän ja keskeisen roolin vuoksi olisi aiheellista pohtia bioinformatiikan aseman vahvistamista suomalaisessa lukion biologian opetussuunnitelmassa. Biologian opiskeluun liittyvien etujen lisäksi bioinformatiikkaan tutustuminen kehittäisi yleisesti opiskelijoiden näkemystä biologisen datan käytöstä ja se auttaisi heitä muodostamaan omat näkemyksensä biologisen datan käyttöön liittyvästä julkisesta keskustelusta. Bioinformatiikan integraation edistäminen voisi lähteä liikkeelle yksinkertaisesti siitä, että bioinformatiikka mainittaisiin opetussuunnitelmassa. Tämä aktivoisi oppikirjojen ja muiden oppimateriaalien tekijöitä perehtymään aiheeseen ja kehittämään siihen liittyvää oppimateriaalia. Bioinformatiikkaan liittyvän suomenkielisen oppimateriaalin olemassaolo taas vähentäisi opettajien kynnystä ottaa tätä uutta rikastetta mukaan opetukseensa.

### 7.1.2 Bioinformatiikan rooli oppikirjoissa

Oppikirja-analyysin perusteella bioinformatiikan rooli lukion biologian oppikirjoissa on hyvin vaihteleva. Analysoitujen oppikirjojen välillä oli suuria eroja siinä, miten vahvasti bioinformatiikka nousi esiin kirjojen teksteissä ja tehtävissä. Parhaimmillaan bioinformatiikasta luotiin kuva biologiselle tutkimukselle keskeisenä tieteenalana, jolla on tärkeä rooli tutkimuksista saatujen biologisten aineistojen säilyttäjänä ja uudenlaisen biologisen tutkimuksen mahdollistajana (Sanomapro 2019 : BIOS5). Heikoimmillaan bioinformatiikkaa ei edes mainittu oppikirjoissa ja biologisista tietokannoistakin puhuttiin hyvin harvoin. Oppikirjoissa ilmenneiden suurien erojen vuoksi opiskelijalle syntyvä näkemys bioinformatiikasta ja sen roolista luonnontieteellisessä tutkimuksessa voi vaihdella suuresti riippuen siitä, minkä oppikirjan avulla hän opiskelee. Vaikka oppikirjassa puhuttaisiin genomitiedosta ja genomitiedon käytön sovelluksista, voi opiskelijalle jäädä hyvin epäselväksi, missä tämä genomitieto sijaitsee ja miten sitä saadaan tutkimusten käyttöön, ellei asiaa suoraan ja selkeästi ilmaista. On tärkeää, että opiskelijat saisivat selkeän kuvan biologisten tietokantojen roolista genomitiedon säilyttäjänä ja bioinformatiikan roolista uudenlaisen biologisen tutkimuksen mahdollistajana. Tällöin genomitieto ja genomitutkimus avautuisivat

opiskelijoille uudella tavalla ja ajatukset suljettujen laboratorioiden sisällä tapahtuvasta hyvin vaikeasti ymmärrettävästä salamyhkäisestä geenitutkimuksesta kariutuisivat.

Yksi keskeinen syy bioinformatiikan roolin suuriin eroihin eri oppikirjojen välillä on se, että bioinformatiikkaa ei suoraan mainita biologian opetussuunnitelmassa. Genomitiedon ja genomitutkimuksen ympäröivät maininnat antavat niin opettajille kuin myös oppikirjan tekijöille hyvin paljon tulkinnan varaa siihen, mitä näistä asioista kerrotaan ja miten niitä käsitellään. Mikäli bioinformatiikkaan tutustuminen mainittaisiin opetussuunnitelmassa yhtenä biologian opetuksen tavoitteena, yhdenmukaistaisi tämä huomattavasti oppikirjojen välisiä eroja aihepiirin käsittelyssä.

### 7.1.3 Lukion biologian opettajien bioinformatiikan tuntemus

Lukion opettajille tehty kyselytutkimus osoitti, että lähes kaikki biologian opettajat olivat ainakin kuulleet bioinformatiikasta. Opettajista selkeä enemmistö (93%) uskoi tietävänsä ainakin jollakin tasolla, mitä bioinformatiikka on. Suurimmalla osalla opettajista ei kuitenkaan ollut vahvaa uskoa omaan bioinformatiikan tuntemukseensa. Bioinformatiikan hahmottamista testaavien tehtävien perusteella kyselyyn vastanneista opettajista noin puolet (53%) hahmotti bioinformatiikan hyvin. Erittäin heikosti bioinformatiikkaa hahmottavia opettajia oli vain muutamia.

Bioinformatiikkaan liittyvien käsitteiden tunnistaminen oli opettajille helpompaa kuin niiden biologisten ongelmien tunnistaminen, joiden ratkaisemiseksi bioinformatiikkaa voisi hyödyntää. Opettajista hieman alle puolet (45%) tunnisti kaikki bioinformatiikkaan vahvasti liittyvät käsitteet. Vahvimmin opettajat yhdistivät käsitteen "geeni" bioinformatiikkaan, jonka lähes kaikki opettajat olivat valinneet. Tämä kertoo siitä, että opettajat hahmottavat bioinformatiikan liittyvän vahvasti nimenomaan geenitutkimukseen. Biologisten ongelmien tehtävässä vastaajista noin kolmasosa (29%) oli tunnistanut oikein kaikki biologiset ongelmat. He olivat siis tunnistaneet ne ongelmat, joiden ratkaisuun bioinformatiikkaa voi hyödyntää ja lisäksi he olivat tunnistaneet myös ne ongelmat, joiden ratkaisuun bioinformatiikasta ei ole hyötyä. Opettajille helpoimmin tunnistettaviksi osoittautuivat ne biologiset ongelmat, jotka liittyivät geenitutkimukseen tai lajien sukulaisuuden tutkimiseen. Kaikissa näissä ongelmissa ainakin 88% vastaajista oli osannut päätellä, että bioinformatiikka sopii ongelman ratkaisun apuvälineeksi. Tällä havainnolla voidaan nähdä yhteys siihen, että opettajat yhdistivät bioinformatiikan vahvasti geeneihin ja siten myös geenien kautta tehtävään tutkimukseen.

Ympäristön tilan tutkimiseen liittyvät biologiset ongelmat olivat opettajille sen sijaan vaikeampia. Näiden ongelmien kohdalla opettajat epäröivät enemmän vastauksissaan eikä heistä läheskään kaikille ollut selvää, että tällaisiin ongelmiin bioinformatiikasta ei ole hyötyä. Aineiston tarkemmassa analyysissä havaittiin, että ne opettajat, jotka olivat käsittehtävässä valinneet bioinformatiikkaan heikommin liittyviä termejä vastasivat muita useammin virheellisesti näihin biologisiin ongelmiin. Mikäli opettaja oli yhdistänyt bioinformatiikan esimerkiksi käsitteisiin “ilmastonmuutos” tai “otsonikato” oli hän todennäköisemmin virheellisesti vastannut, että bioinformatiikan avulla voitaisiin esimerkiksi selvittää onko järvi happamoitunut. Nämä opettajat yhdistivät bioinformatiikan ympäristön tilan tutkimiseen, vaikka todellisuudessa bioinformatiikasta ei ole suoraa hyötyä tällaisten asioiden tutkimisessa. On myös mahdollista, että osa bioinformatiikkaa heikommin hahmottavista opettajista kuvittelee bioinformatiikan olevan koko biologian kentän kattava tieteenala, jonka avulla pystyy ratkaisemaan kaikki biologiset ongelmat. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole, sillä bioinformatiikka on keskittynyt kehittämään menetelmiä nimenomaan biomolekyylien ja niihin liittyvien ongelmien ratkaisuun.

Opettajien pääaineen, opiskeluyliopiston, valmistumisen ajankohdan, vastaajan sukupuolen tai tietotekniikan käyttötaidon ei havaittu vaikuttavan siihen, miten hyvin opettajat hahmottivat bioinformatiikan. Aineistosta kuitenkin havaittiin, että bioinformatiikan osaaminen oli varsin vahvaa yli 20 vuotta sitten valmistuneiden opettajien keskuudessa. Heistä yli 70% hahmotti bioinformatiikan hyvin tai erittäin hyvin. Nuorempien opettajien keskuudessa bioinformatiikan taitajien osuudet jäivät huomattavasti pienemmiksi. Tämä oli mielenkiintoinen ja yllättävä huomio, sillä voisi olettaa, että nuoremmat opettajat olisivat tutustuneet koulutuksessaan enemmän bioinformatiikkaan kuin yli 20 vuotta sitten valmistuneet opettajat. Tilanne saattaa kertoa siitä, että bioinformatiikan käsittely jää ehkä hyvin vähäiseksi biologian opettajien koulutuksessa vielä nykyäänkin. Tätä ikävää arvelua vahvistaa myös se, että kyselyyn vastanneista opettajista vain kolme kertoi saaneensa koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön tutkintokoulutuksessaan. Toisaalta huomio kertoo myös siitä, että pitkään opetuslalla olleet biologian opettajat ovat seuranneet luonnontieteiden kehitystä. Molekyylibiologian ala on hyvin nopeasti kehittyvä ja muuttuva ja siksi tämän huomion voidaankin katsoa olevan kunnianosoitus niille vanhemman polven opettajille, jotka ovat jaksaneet aktiivisesti päivittää omaa osaamistaan.

Kun opettajien käsityksiä heidän omasta bioinformatiikan tuntemuksestaan verrattiin tehtävien perusteella arvioituihin bioinformatiikan hahmottamisen tasoihin, havaittiin, että opettajien omat kokemukset eivät olleet aina yhdenmukaisia heidän todellisen

bioinformatiikan hahmottamisen tasonsa kanssa. Osa opettajista hahmotti bioinformatiikan paremmin kuin mitä he itse arvioivat. Opettajista 28% arvioi bioinformatiikan tuntemuksensa hyväksi tai erittäin hyväksi. Kyselyn tehtävien perusteella kuitenkin noin 53% opettajista hahmotti bioinformatiikan hyvin tai erinomaisesti. Myös ne opettajat, jotka eivät uskoneet tietävänsä bioinformatiikasta juuri mitään, olivat kuitenkin esimerkiksi osanneet valita bioinformatiikkaan vahvasti liittyviä termejä. Heistä kaikki hahmottivat bioinformatiikan kokonaispistemääränsä perusteella vähintäänkin kohtalaisesti. Toisaalta niiden opettajien joukosta, jotka omasta mielestään tunsivat bioinformatiikan jollakin tasolla tai aika hyvin, löytyi useita vastaajia, jotka eivät todellisuudessa hahmottaneet bioinformatiikkaa kovinkaan hyvin. Nämä opettajat olivat esimerkiksi vastanneet usein virheellisesti ”Kyllä” niihin biologisiin ongelmiin, joiden ratkaisemiseen bioinformatiikasta ei ole hyötyä. Ainoastaan ne opettajat, jotka omasta mielestään tunsivat bioinformatiikan erittäin hyvin hahmottivat myös tehtävien perusteella poikkeuksetta bioinformatiikkaa hyvin tai erinomaisesti. Tuloksista voi päätellä, että oma kokemus osaamisesta ei ole aina luotettava mittari todelliselle osaamiselle. On tietysti myös muistettava, että tässä tutkimuksessa opettajien bioinformatiikan osaamista testattiin vain muutaman yksinkertaisen tehtävän avulla. Bioinformatiikka on hyvin laaja ja moniulotteinen tieteenala ja näkemys opettajien bioinformatiikan hahmottamisesta voisi muotoutua erilaiseksi, mikäli osaamista kartoitettaisiin erilaisten ja monipuolisempien tehtävien kautta.

#### 7.1.4 Bioinformatiikan hyödyntäminen opetuksessa ja opettajien täydennyskoulutuksen tarve.

Kyselyyn vastanneista opettajista suurin osa (79%) ei ollut käyttänyt biologisia tietokantoja opetuksessaan. Opettajista 24 ilmoitti, että he eivät olleet edes kuulleet biologisista tietokannoista. Tämä oli hieman huolettava havainto, sillä biologisten tietokantojen rooli genomitiedon hyödyntämisessä on erittäin merkittävä. Mikäli opettaja ei ymmärrä biologisten tietokantojen roolia, eikä opiskelijan käyttämässä oppikirjassakaan korosteta tietokantojen merkitystä genomitiedon säilytyksessä ja käytössä, voi opiskelijan kuva genomitutkimuksen käytännön toteutuksesta jäädä varsin epäselväksi. Voi olla myös mahdollista, että nämä opettajat tulkitsivat kysymyksen tarkoittavan nimenomaan vain internetissä olevia avoimia (eli vapaasti kaikkien käytössä olevia) tietokantoja, joiden olemassaolosta he eivät ehkä olleet tietoisia vaikka olisivatkin tienneet muiden tutkimustietokantojen käytöstä. Internetin avoimet

tietokannat ovat kuitenkin erittäin merkittäviä nykyaikaiselle molekyyli- biologiselle tutkimukselle ja siksi niiden tunteminen olisi opettajille tärkeää.

Opettajista noin joka viides (21%) oli hyödyntänyt biologisia tietokantoja jollakin tavalla opetuksessaan. Tämä oli yllättävän suuri osuus, ottaen huomioon sen, että vain 9% opettajista oli saanut koulutusta tietokantojen käyttöön. Tietokantoja käyttäneet opettajat kertoivatkin tutustuneensa tietokantojen käyttöön usein itsenäisesti internetin ja kirjallisuuden avulla. Tämä kertoo siitä, että useat opettajat ovat tiedostaneet biologisten tietokantojen tärkeän roolin ja niiden tarjoamat mahdollisuudet. Koulutuksen puutteesta huolimatta opettajat ovat ainakin yrittäneet tutustua tietokantoihin ja hyödyntää niitä omassa työssään.

Opettajista 90% koki bioinformatiikan kiinnostavaksi biologian opetuksen näkökulmasta. Opettajista selkeä enemmistö ei ollut koskaan saanut koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön. Opettajien kiinnostus ja koulutuksen puute näkyi hyvin siinä, että vastaajista 88% ilmoitti, että heillä olisi tarvetta ja halua saada bioinformatiikkaan ja biologisten tietokantojen käyttöön liittyvää ammatillista koulutusta.

Opettajien antamat vastaukset osoittavat, että bioinformatiikan hyödyntäminen kiinnostaa opettajia. Kuitenkin vain suhteellisen harvat opettajat hyödyntävät bioinformatiikkaa opetuksessaan, sillä suurin osa opettajista ei ole saanut minkäänlaista koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön. Wood ja Gebhardt (2013) kuvailevat samaa ilmiötä artikkelissaan, joka käsittelee ELLS:n, Euroopan elämäntieteiden oppimislaboratorion (Laboratory for the Life Sciences) biologian opettajille suuntaamien bioinformatiikan koulutuskurssien vaikutuksia. Woodin ja Gebhardin mukaan opettajat ovat kyllä pääsääntöisesti tietoisia bioinformatiikasta ja sen tarjoamasta suuresta biologisesta data-aineistosta, mutta opettajilla ei ole kykyä hyödyntää tätä resurssia omassa opetuksessaan. ELLS:n kursseille osallistuneilta opettajilta kerätyn palautteen perusteella koulutuksen saaminen edistää opettajien kykyä integroida bioinformatiikkaa opetukseensa (Wood & Gebhardt 2013). Kursseille osallistuneista opettajista 73% kertoi koulutuksen lisänneen heidän ymmärrystään bioinformatiikasta ja biologisen datan käyttömahdollisuuksista. Opettajista yli 80% oli hyödyntänyt koulutuksessa saamaansa materiaalia myöhemmin omassa opetuksessaan. Myös Suomessa biologia opettajat todennäköisesti hyödyntäisivät bioinformatiikkaa enemmän opetuksessaan, mikäli heille vain tarjottaisiin biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käyttöön ohjaavaa ammatillista koulutusta.

## 7.2 Bioinformatiikan soveltuvuus lukioikäisten käyttöön

### 7.2.1 Näytetunnin rakenteen ja tehtävien toimivuus

Tätä tutkimusta varten suunnitellun näytetunnin rakenne ja tehtävät toimivat hyvin käytännössä. Opiskelijoiden antaman palautteen perusteella näytetunti oli ollut mielenkiintoinen ja mukava kokemus. Kiitosta annettiin muun muassa hyvästä alustuksesta biologisiin tietokantoihin sekä tehtävien ja ohjeiden selkeydestä. Näytetunteja varten laaditut tehtävät osoittautuivat lukiolaisille sopiviksi. Suurin osa opiskelijoista oli ehtinyt edetä tehtävissä kolmanteen tehtävään saakka. Tehtäviä oli laadittu tarkoituksella enemmän kuin mitä keskimääräisen opiskelijan arveltiin ehtivän tekemään, sillä ennako-oletuksena oli, että opiskelijoiden väliset erot muun muassa tietotekniikan käytössä ja englannin kielen osaamisessa olisivat suuria. Tämä ennako-oletus osoittautui aivan oikeaksi. Osalle opiskelijoista erityisesti tietokantojen englanninkielisyys tuotti haasteita ja he eivät ehtineet edetä tehtävissään kovinkaan pitkälle. Osa opiskelijoista taas käytti vieraskielisiä sivustoja hyvin sujuvasti ja he ehtivät tehdä näytetunnin aikana kaikki neljä tehtävää. Tehtävien määrä ja ajallinen pituus olivat sopivia näytetunnille. Kaikki opiskelijat ehtivät tehdä ainakin ensimmäiset tehtävät. Myös tehtävien vaikeustaso osoittautui sopivaksi.

### 7.2.2 Opiskelijoiden kokemuksia biologisten tietokantojen käytön vaikeustasosta

Opiskelijoista suurin osa koki biologisten tietokantojen käytön yleisesti hieman vaikeaksi. Eri tehtävien välillä oli jonkin verran eroa opiskelijoiden vaikeustason kokemuksissa. Geenin haku tietokannasta ja geenitietojen etsiminen geenin tietosivulta koettiin suhteellisen helpoksi. Soveltavat tehtävät, joissa opiskelijat käyttivät apuohjelmia ja tulkitsivat tuloksia, koettiin hieman vaikeammiksi. Mikään näytetunnin tehtävistä ei ollut opiskelijoille kuitenkaan todella vaikea.

Opiskelijoiden suorittamien biologian kurssien määrällä ei havaittu yhteyttä siihen, miten helpoksi tai vaikeaksi opiskelijat kokivat biologisten tietokantojen käytön. Biologian viidennen kurssin (BI5 Biologian sovellukset) havaittiin sen sijaan vaikuttavan tietokantojen vaikeustason kokemiseen. Ne opiskelijat, jotka olivat suorittaneet tai olivat sillä hetkellä suorittamassa BI5 kurssia pitivät tietokantojen käyttöä keskimäärin helpompana kuin ne, jotka eivät olleet kyseistä kurssia suorittaneet. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että BI5 kurssilla

syvennetään opiskelijoiden ymmärrystä geenien rakenteesta ja toiminnasta. Kurssilla opiskelijat tutustuvat myös erilaisiin geeniteknikan menetelmiin ja sovelluksiin, joihin bioinformatiikka oleellisena osana liittyy. On siis todennäköistä, että näillä opiskelijoilla oli geeneihin liittyvät asiat ja käsitteet paremmin hallussa verrattuna muihin opiskelijoihin. Parempi teorian hallinta auttoi opiskelijoita tietojen etsinnässä ja tulosten tulkinnassa, jonka seurauksena opiskelijat kokivat tietokantojen käytön helpommaksi.

Opiskelijoiden mielestä tietokantojen käyttöä vaikeuttivat eniten englannin kieli, tieteelliset termit ja koodit sekä sivuilla näkyvän tiedon suuri määrä. Vastaavanlaisia ongelmakohtia on havaittu myös muissa tutkimuksissa. ELLS:n bioinformatiikan kursseille osallistuneet opettajat mainitsivat kieliongelman olevan hidaste bioinformatiikan käytölle (Wood & Gebhardt 2013). Bioinformatiikkaan liittyvä materiaali on yleensä englanninkielistä ja materiaalin kääntäminen opiskelijoiden omalle äidinkielelle vaatii opettajalta aikaa ja vaivaa. Machluf & Yarden (2013) listaavat bioinformatiikan käytön haasteiksi kieliongelman lisäksi muun muassa bioinformatiikan tieteellisen termistön ja sovellusten käytön monimutkaisuuden. Tietokantojen käyttö vaatii kielitaitoa ja tietoteknistä osaamista niin opiskelijoilta kuin myös opettajilta. Mikäli opettajat eivät osaa itse kunnolla käyttää tietokantoja, eivät he myöskään pysty auttamaan opiskelijoitaan tietokantojen käyttöön liittyvissä ongelmissa. Opettajien koulutuksen tuleekin olla avainasemassa biologisten tietokantojen käyttöönoton edistämisessä.

### 7.2.3 Opettajan roolin ja ohjeiden vaikutus

Näytetunteihin osallistuneet opiskelijat arvostivat asiantuntijalta (näytetunnin pitäjältä eli tämän tutkimuksen tekijältä) ja opettajalta saamaansa ohjeistusta. Tehtävien teon avuksi tarjotuista ohjeista opiskelijat kokivat hyödyllisimmiksi opettajan suoraan antamat ohjeet. Näytetunnin alussa opiskelijoille demonstroitiin geenin haun suorittamista ja geenitietojen etsintää. Lisäksi osa opiskelijoista turvautui oman opettajan tai asiantuntijan apuun kohdatessaan ongelmia tehtävien teossa. Opettajan suuri vaikutus näkyi myös opiskelijoiden motivaatiossa. Niissä ryhmissä, joiden opettaja osoitti erityistä kiinnostusta ja innostusta bioinformatiikkaa kohtaan myös opiskelijat vaikuttivat innostuneemmilta biologisten tietokantojen käytöstä ja he esittivät enemmän aihepiiriin liittyviä kysymyksiä. Opettajan keskeinen rooli on tullut selväksi monissa tutkimuksissa (mm. Gelbart & Yarden 2011, Machluf ym. 2017). Opiskelijat arvostavat opettajan läsnäoloa ja opettajalta tarvittaessa



saatavaa apua opetustilanteissa. Opettaja toimii sekä ohjaajana, asiantuntijana että myös motivaattorina ohjaten oppimistilannetta eteenpäin.

Opettajalta saatavan avun lisäksi näytetunteihin osallistuneet lukiolaiset hyödynsivät paljon myös kirjallisia ohjeita. Tutoriaalivideoita hyödynsivät lähinnä ne opiskelijat, jotka ehtivät näytetunnin aikana soveltaviin tehtäviin. Soveltavissa tehtävissä niitä varten laadittujen tutoriaalivideoiden ohjaava rooli korostui, sillä apuohjelmien käyttöä ja niiden tulosten tulkintaa ei erikseen demonstroitu näytetunnilla. Opiskelijat vaikuttivat selviävän hyvin tehtävistä tutoriaalivideoiden ohjauksella. Siirtyessään soveltaviin tehtäviin osa opiskelijoista pyysi aluksi asiantuntijan apua apuohjelmien käyttöön. Kun opiskelijoita ohjattiin hyödyntämään tehtävään liittyvää tutoriaalivideota he pärjäsivät tämän jälkeen lähes poikkeuksetta täysin tutoriaalivideon avustuksella.

#### 7.2.4 Opiskelijoiden kokemuksia biologisten tietokantojen käytön kiinnostavuudesta.

Opiskelijat osoittivat varsin suurta kiinnostusta biologisia tietokantoja kohtaan. Opiskelijoista noin 30% piti tietokantojen käyttöä erittäin mielenkiintoisena ja yhteensä 95% opiskelijoista koki tietokannat ainakin hieman mielenkiintoiseksi. Eniten mielenkiintoa biologisia tietokantoja kohtaan tunsivat ryhmänä ne opiskelijat, jotka olivat opiskelleet viisi kurssia lukion biologiaa. Heistä kaikki kokivat tietokannat mielenkiintoisiksi tai erittäin mielenkiintoisiksi. Tämän ryhmän opiskelijat koostuivat todennäköisesti suurelta osin niistä lukiolaisista, jotka olivat osallistumassa näytetuntiin BI5 -kurssilla. Näiden opiskelijoiden korkea motivaatio saattaa selittyä sillä, että biologisten tietokantojen käyttö sopii erittäin hyvin BI5 kurssin oppisisältöihin.

Opiskelijat pitivät kaikkia näytetunnilla tehtyjä tehtäviä mielenkiintoisina. Kaikkein mielenkiintoisin oli opiskelijoiden mielestä tehtävä, jossa he pääsivät tutustumaan tietokannassa oleviin geenitietoihin. Nuorten positiivinen asenne bioinformatiikkaa kohtaan on havaittu myös muissa tutkimuksissa. Suurin osa portugalilaiseen Bioinformatics@school -projektiin osallistuneista opiskelijoista piti bioinformatiikan hyödyntämistä mielenkiintoisena ja mukavana opiskelutapana (Marques ym. 2014). Yhdysvalloissa bioinformatiikan avulla toteutettuun geneettisen evoluution opintokokonaisuuteen osallistuneista opiskelijoista osa oli innostunut suuresti opiskelun ja teknologian yhdistämisestä sekä siitä, että he pääsivät käyttämään oikeiden tutkijoiden oikeita menetelmiä (Gallagher ym. 2011). Israelissa bioinformatiikkaa hyödyntävän oppimisympäristön (Bioinformatics in the Service of

Biotechnology) kautta toteutettuun biologian opetukseen osallistuneet opiskelijat kuvailivat kokemusta mielenkiintoiseksi, hauskaksi ja erilaiseksi tavaksi oppia. Opiskelijoiden kiinnostus bioinformatiikkaa kohtaan näkyi tässä tutkimuksessa myös heidän halukkuudessaan käyttää biologisia tietokantoja jatkossa. Näytetunneille osallistuneista opiskelijoista 88% ilmoitti, että he haluaisivat käyttää tietokantoja myös jatkossa biologian opiskeluun. Tietokantoja haluttiin käyttää, sillä ne koettiin mielenkiintoisiksi, hyviksi tietolähteiksi, opiskelun apuvälineeksi ja tulevaisuuden kannalta hyödyllisiksi. Suurin osa opiskelijoista halusi käyttää tietokantoja siten, että tehtävät liittyisivät biologian kursseilla opiskeltaviin asioihin.

### 7.2.5 Näytetuntien vertaus aikaisempiin tutkimuksiin

Bioinformatiikan sopivuutta lukioikäisten käytettäväksi on testattu käytännössä monissa tutkimuksissa eri puolilla maailmaa. Tässä tutkimuksessa toteutettu näytetunti poikkesi joiltakin osin monista aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. Tämän tutkimuksen kohderyhmänä toimivat tavallisten lukioiden tavalliset lukiolaiset. Näytetunteihin otettiin mukaan erilaisia opiskelijaryhmiä kahdesta eri lukiosta. Monissa aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa bioinformatiikkaan tutustuvat nuoret ovat olleet varsin valikoituneita (mm. Gelbart & Yarden 2006, Machluf ym. 2017). Kohderyhmäksi on valittu esimerkiksi luonnontieteissä parhaiten menestyneitä opiskelijoita tai opiskelijat ovat osallistuneet tutkimukseen vapaaehtoisesti omasta kiinnostuksestaan. Tässäkään tutkimuksessa opiskelija-aines ei ollut täysin valikoitumatonta, sillä näytetunteihin osallistuvat ryhmät koostuivat BI3, BI4 ja BI5 kursseista, jotka ovat kaikki opiskelijoille vapaasti valittavia biologian kursseja. Kurssilaisista ei kuitenkaan erikseen valikoitu paremmin menestyneitä tai aiheesta kiinnostuneita opiskelijoita. Tutkimukseen ei ollut järkevää ottaa mukaan biologian pakollisten kurssien (BI1 ja BI2) ryhmiä, sillä noilla kursseilla ei juurikaan käsitellä bioinformatiikkaan liittyviä aihepiirejä ja opiskelijoiden tietämys molekyylibiologiasta olisi vielä liian puutteellista. Joissakin aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Machluf ym. 2017) on pyritty selvittämään bioinformatiikan tarjoamia mahdollisuuksia genetiikan ja molekyylibiologian oppimisen tehostamiseksi. Tällaisissa tutkimuksissa valikoituneiden opiskelijoiden käyttäminen on järkevää, sillä heidän avullaan voidaan selvittää bioinformatiikan hyödyntämisen maksimaalisia hyötyjä. Tässä tutkimuksessa tarkoituksena oli sen sijaan selvittää sopiiko bioinformatiikka yleisellä tasolla biologian opetuksen apuvälineeksi.

Vähemmän valikoituneen kohderyhmän avulla saadaan todenmukaisempaa kuvaa siitä, miten bioinformatiikka sopii tavallisen lukiolaisen käytettäväksi.

Tämä tutkimus poikkesi monista aikaisemmista tutkimuksista myös näytetuntien ajallisen keston perusteella. Monissa tutkimuksissa bioinformatiikan käyttöä on testattu esimerkiksi jonkin teeman ympärille rakennettuna opintokokonaisuutena, jonka kesto on ollut useampia oppitunteja (esim. Gelbart & Yarden 2006, Gallagher ym. 2011, Machluf ym. 2017). Joissakin tutkimuksissa opiskelijat ovat osallistuneet pitkäkestoisiin tutkimusprojekteihin (esim. Machluf & Yarden 2013, Marques ym. 2014). Tässä tutkimuksessa bioinformatiikan käyttöä testattiin vain yhden oppitunnin (75min) mittaisen näytetuntien kautta. Tämä johtui siitä, että bioinformatiikan soveltuvuuden testaaminen oli vain yksi osa tätä tutkimusta. Käytettävän ajan rajallinen määrä vaikutti siihen, millaisia asioita ja millaisella tasolla näytetuntien aikana pystyttiin testaamaan. Monissa aikaisemmissa tutkimuksissa bioinformatiikan avulla on pyritty jäljittelemään aitoja tieteellisiä tutkimusprosesseja (mm. Gelbart & Yarden 2006, Marques ym. 2014, Machluf ym. 2017.). Tässä tutkimuksessa tutkimusprosessien simuloimiselle ei ollut aikaa, vaan näytetunneilla keskityttiin yksinkertaisten tehtävien tekemiseen ja apuohjelmien käytön testaamiseen. Mikäli opiskelijoiden kanssa halutaan toteuttaa aitojen tutkimusprosessien kaltaisia projekteja, tulee opiskelijoiden ensin oppia tietokantojen ja apuohjelmien käytön perustaitoja. Tämä vaatii pidempiaikaista perehtymistä bioinformatiikan käyttöön. Bioinformatiikan yksinkertaisella ja lyhytaikaisellakin käytöllä on kuitenkin oma arvonsa. Bioinformatiikan hyödyntämisen voi aloittaa hyvin yksinkertaisista tehtävistä, joissa opiskelijat esimerkiksi vain etsivät geeneihin liittyviä tietoja tietokannoista. Jo näin yksinkertainen tehtävä voi oleellisesti parantaa opiskelijoiden näkemystä siitä, mitä biologinen data on ja mikä on bioinformatiikan ja biologisten tietokantojen rooli genomitiedon hyödyntämisessä. Opettajan ja opiskelijoiden bioinformatiikan käyttötaidon kasvaessa tehtäviä voidaan vähitellen kehittää vaativampaan ja tutkimuksellisempaan suuntaan.

Joissakin tutkimuksissa opiskelijoille on opetettu myös apuohjelmien käyttöön liittyviä algoritmeja (Esim. Gallagher ym. 2011). Tässä tutkimuksessa algoritmien käyttöä ei haluttu ottaa mukaan näytetunnille. Nykyisten bioinformatiikan apuohjelmien perusasetusten avulla pystyy toteuttamaan monenlaisia yksinkertaisia toimintoja ilman, että käyttäjän tarvitsisi ymmärtää asetusten taustalla olevien algoritmien toimintaa. Näytetunnin tehtävät haluttiin pitää opiskelijoille mahdollisimman yksinkertaisina ja helposti lähestyttävänä. Mikäli bioinformatiikan hyödyntämistä halutaan edistää biologian opetuksessa, on siihen tutustumisen kynnys pidettävä mahdollisimman matalana. Jos bioinformatiikan hyödyntämisessä vaaditaan

algoritmien ymmärrystä ja käyttöä, karkoittaa tämä heti osan opiskelijoista (ja myös opettajista) pois bioinformatiikan parista. Biologisten tietokantojen ja apuohjelmien hyödyntämisen ei tarvitse olla monimutkaista, kun bioinformatiikkaa hyödynnetään lukiotasolla. Tehtävät voidaan suunnitella siten, että ne onnistuvat apuohjelmien perusasetusten avulla. Mikäli opettajalta löytyy taitoa ja halua algoritmien käyttöön, voi hän ottaa niitä vähitellen mukaan opetukseensa harjoitusten vaatimustason kasvaessa.

Tässä tutkimuksessa pidettyjen näytetuntien rakenne ja tehtävät oli suunniteltu juuri tämän tutkimuksen tavoitteisiin. Bioinformatiikan opetuskäytöstä on tehty hyvin erilaisia tutkimuksia ja tutkimuksilla on ollut hyvin erilaisia tavoitteita. Kaikille tutkimuksille yhteisenä tavoitteena voidaan kuitenkin pitää opiskelijan näkökulman selvittämistä. Joissakin tutkimuksissa opiskelijan näkökulmaa bioinformatiikan integraatioon on selvitetty opiskelijoiden saamien tiedollisten ja taidollisten etujen kautta (mm. Gelbart & Yarden 2006, Machluf ym. 2017). Toisissa tutkimuksissa, kuten tässäkin tutkimuksessa, opiskelijan näkökulmaa on selvitetty kartoittamalla opiskelijoiden kokemuksia ja näkemyksiä bioinformatiikan käytöstä. Näiden molempien näkökulmien selvittäminen on tärkeää, mikäli bioinformatiikkaa halutaan integroida biologian opetukseen menestyksekkäästi. Tämän tutkimuksen ja aikaisempien tutkimusten (mm. Gallagher 2011, Marques ym. 2014, Machluf ym. 2017) perusteella suurin osa opiskelijoista suhtautuu bioinformatiikan hyödyntämiseen mielenkiinnolla. Bioinformatiikan hyödyntämisellä on havaittu positiivisia vaikutuksia myös opiskelijoiden tiedolliseen ja taidolliseen osaamiseen (esim. Marques ym. 2014, Machluf ym. 2017). Tehtyjen tutkimusten perusteella bioinformatiikka soveltuu hyvin lukiotason biologian opetuksen apuvälineeksi.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millainen rooli bioinformatiikalla on tällä hetkellä Suomessa lukion biologian opetuksessa ja kartoittaa bioinformatiikan käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia sekä sopivuutta lukion biologian opetukseen. Bioinformatiikan tämän hetkinen rooli biologian opetuksessa on varsin vaihteleva. Lukion opetussuunnitelma sisältää monia sellaisia tiedollisia ja taidollisia tavoitteita, joiden opiskelun apuvälineeksi bioinformatiikka soveltuisi erinomaisesti. Bioinformatiikkaa ei kuitenkaan suoraan mainita opetussuunnitelmassa, mikä jättää paljon tulkinnanvaraa sille, miten bioinformatiikkaan oleellisesti liittyviä asiasisältöjä, kuten genomitiedon keräämistä, käsittelyä ja hyödyntämistä

opetetaan ja miten niistä kerrotaan biologian oppikirjoissa. Oppikirjojen väliset erot olivat analyysin perusteella suuria. Parhaimmillaan bioinformatiikka esiteltiin oppikirjassa omana tärkeänä tieteenalanaan ja biologisten tietokantojen roolia genomitiedon käytössä korostettiin moneen otteeseen kirjan asiasisällöissä. Heikoimmillaan oppikirjassa ei edes mainittu bioinformatiikkaa ja biologisista tietokannoistakaan ei puhuttu juuri mitään.

Biologian opettajien väliset erot bioinformatiikan tuntemuksessa ja hyödyntämisessä olivat myös varsin suuria. Kyselyyn osallistuneista opettajista noin puolet hahmotti bioinformatiikan hyvin. Vastaajien joukossa oli kuitenkin myös sellaisia opettajia joiden bioinformatiikan osaamisessa oli selviä puutteita. Osa opettajista ei ollut esimerkiksi koskaan kuullut biologisista tietokannoista. Opettajat olivat hyvin kiinnostuneita biologisten tietokantojen hyödyntämisestä, mutta vain noin joka viides opettaja oli hyödyntänyt tietokantoja opetuksessaan. Yksi tietokantojen hyödyntämistä rajoittava tekijä on koulutuksen puute, sillä vain harvat opettajat olivat saaneet bioinformatiikkaan liittyvää koulutusta.

Opiskelijalle muodostuva käsitys bioinformatiikasta ja genomitiedon keräämisestä ja käytöstä voi muotoutua hyvin erilaiseksi riippuen siitä, minkä oppikirjan avulla opiskelija opiskelee ja miten hyvin hänen opettajansa hallitsee bioinformatiikan.

Lukion opetussuunnitelman tarkastelun ja lukiolaisille pidettyjen näytetuntien perusteella bioinformatiikka soveltuu hyvin lukion biologian opetukseen. Biologian opetussuunnitelma sisältää monia sellaisia tiedollisia ja taidollisia tavoitteita, joiden opiskelussa bioinformatiikasta olisi selkeää hyötyä. Bioinformatiikka soveltuisi hyvin erityisesti biologian syventävien BI3 (Solu ja perinnöllisyys) ja BI5 (Biologian sovellukset) kurssien oppisisältöjen opiskeluun. Bioinformatiikan avulla biologian oppisisältöjä voitaisiin opiskella uusilla tavoilla ja samalla opiskelijat voisivat kehittää omia tutkimus- ja tietotekniikan käyttötaitojaan. Näytetunneista saadun palautteen perusteella lukiolaiset ovat kiinnostuneita biologisista tietokannoista ja niiden avulla toteutettavasta biologian opiskelusta. Biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käyttö ei ole lukiolaisille liian vaikeaa, mikäli tehtävät pidetään yksinkertaisina ja niihin annetaan hyvä ohjeistus.

Koska bioinformatiikkaa soveltuu hyvin osaksi lukion opetussuunnitelman mukaista biologian opetusta ja sekä opettajat että opiskelijat osoittavat kiinnostusta bioinformatiikan käyttöä kohtaan, on aiheellista alkaa pohtimaan, miten bioinformatiikkaa voisi integroida paremmin biologian opetukseen. Yksi tehokas askel tämän tavoitteen edistämiseksi olisi bioinformatiikan sisällyttäminen osaksi biologian opetussuunnitelmaa. Mikäli bioinformatiikka mainittaisiin biologian opetussuunnitelmassa, otettaisiin se paremmin huomioon oppikirjojen ja oppimateriaalien valmistuksessa. Tämä kaventaisi oppikirjojen

välisiä eroja ja edistäisi bioinformatiikkaan liittyvän oppimateriaalin tuottamista. Valmiin suomenkielisen oppimateriaalin olemassaolo alentaisi opettajien kynnystä kokeilla bioinformatiikan hyödyntämistä omassa opetuksessaan. Toinen tehokas keino bioinformatiikan integraation edistämiseksi olisi opettajien kouluttaminen. Opettajat ovat avainasemassa bioinformatiikan hyödyntämisen käytännön toteutuksessa, sillä heillä on varsin suuri vapaus päättää siitä, miten ja millaisia menetelmiä hyödyntämällä opetussuunnitelman mukaisia asioita kouluissa opiskellaan. Tämän ja monien aikaisempien tutkimusten perusteella opettajan ammattitaidolla ja asenteella on suuri merkitys sille, miten lukiolaiset bioinformatiikkaan suhtautuvat ja millaiseksi he kokevat bioinformatiikan avulla tapahtuvan biologian opiskelun. Opiskelijat arvostavat opettajan asiantuntijuutta ja häneltä saamaansa ohjeistusta ja apua biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käytössä. Opettajille tulisi järjestää biologisten tietokantojen opetuskäyttöön tähtäävää täsmäkoulutusta, joka antaisi opettajille ne tarvittavat tiedot ja taidot, joiden avulla opettajat pääsisivät alkuun bioinformatiikan hyödyntämisessä.

Bioinformatiikan integroiminen biologian opetukseen tulisi toteuttaa siten, että bioinformatiikka toimisi apuvälineenä jo opetussuunnitelmassa olevien biologian oppisisältöjen opiskeluun. Tietokantojen ja apuohjelmien käytöstä ei pitäisi tulla itsessään opetuksen tavoitetta. Bioinformatiikan hyödyntämisen keskeisinä tavoitteena tulisi olla opiskelijoiden tutustuttaminen moderniin biologiseen tutkimukseen ja genomitietoon sekä molekyylibiologian oppisisältöjen opiskelu uusilla tavoilla biologisia data-aineistoja ja bioinformatiikan apuohjelmia hyödyntäen. Bioinformatiikan hyödyntämisen voi aloittaa hyvin yksinkertaisista tehtävistä, jolloin sekä opettajalla, että opiskelijoilla on aikaa tutustua biologisten tietokantojen ja apuohjelmien käyttöön ja niiden tarjoamiin mahdollisuuksiin. Tässä tutkimuksessa annettiin joitakin esimerkkejä ja ideoita siihen, miten bioinformatiikkaa voisi hyödyntää lukion biologian kursseilla. Bioinformatiikan hyödyntämisessä kannattaa edetä askel askeleelta yksinkertaisista tehtävistä kohti monipuolisempia tutkimuksellisia tehtäviä. Bioinformatiikan integraation avulla lukion biologian opetusta voidaan päivittää vastaamaan paremmin modernia biologista tutkimusta.

## KIITOKSET

Tämän tutkimuksen toteuttaminen vaati yhteistyötä monien eri tahojen kanssa. Haluan kiittää suuresti Sari Kontunen - Soppelaa ja Vesa Paajasta, jotka toimivat tutkimukseni ohjaajina Itä-Suomen yliopistolla. Heiltä sain opastusta ja monia neuvoja tutkimusprosessin eri vaiheisiin. Kiitän suuresti myös Kuopion Lyseon lukiota ja Kuopion taidelukio LUMIT:ia, näiden koulujen biologian opettajia (Laura Okkosta, Eeva-Maria Väliahoa, Kaisa Heikkistä ja Jaakko Rautiaista) sekä kaikkia niitä lukiolaisia, jotka osallistuivat tutkimukseeni. Kiitän kaikkia niitä biologian opettajia, jotka käyttivät arvokasta aikaansa vastaamalla opettajille järjestämäni kyselyyn. Haluan kiittää myös kustannusosakeyhtiö Otavaa, joka tarjosi minulle väliaikaiset lisenssit sähköisten lukion biologian oppikirjojensa käyttöön tutkimukseni ajaksi. Kiitän myös biologian ja maantieteen opettajien liittoa sekä facebookin “BiGeTt -materiaalit” opettajien ryhmää, joiden kautta sain jakaa opettajille kyselytutkimustani. Kiitän lisäksi kaikkia niitä perheenjäseniäni, kollegojani ja ystäviäni, jotka auttoivat minua erilaisilla pienillä tavoilla tämän tutkimuksen teossa.

## LÄHDELUETTELO

- Claverie, J.M., Notredame, C. 2003: Bioinformatics for dummies. JW Wiley Inc., New York, NY.
- eOppi. 2017: BI3 Solu ja perinnöllisyys. Sähköinen oppikirja.
- eOppi. 2017: BI5 Biologian sovellukset. Sähköinen oppikirja.
- Form D. & Lewitter F. 2011: Ten Simple Rules for Teaching Bioinformatics at the High School Level. PLoS Comput Biol 7(10): e1002243.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002243>
- Fleischmann RD., Adams MD., White O., Clayton RA., Kirkness EF., Kerlavage AR., Bult CJ., Tomb JF, Dougherty BA., Merrick JM, et al. 1995: Whole-genome random sequencing and assembly of Haemophilus influenzae Rd. Science. Vol. 269, Issue 5223, pp. 496-512 DOI: 10.1126/science.7542800
- Gabric K. 2003: Bioinformatics in the biology classroom. American Institute of Biological Sciences. Actionbioscience.  
<http://www.actionbioscience.org/education/gabric.html#primer>
- Gallagher SR., Coon W., Donley K., Scott A., Goldberg DS. 2011: A First Attempt to Bring Computational Biology into Advanced High School Biology Classrooms. PLOS Computational Biology 7(10): e1002244.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002244>
- Goffeau A., Barrell BG., Bussey H., Davis RW., Dujon B., Feldmann H., et al. 1996: Life with 6000 genes. Science. 1996;274:546.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8849441/>
- Gelbart H & Yarden A. 2006: Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformatics. Journal of Biological Education, 2006, Vol 40. Pp. 107 - 112.
- Gelbart H. & Yarden A. 2011: Supporting learning of high-school genetics using authentic research practices: the teacher's role, Journal of Biological Education, 45:3, 129-135, DOI: 10.1080/00219266.2011.580771

- <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00219266.2011.580771?scroll=top&needAccess=true>
- Halme M. & Kajosaari M. 2006: Kystinen fibroosi - harvinainen monielinsairaus. *Lääketieteellinen aikakauskirja DUODECIM* 2006;122(11):1341-6  
<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2006/11/duo95776>
- Joannefox. 2006: What is bioinformatics? *The Science Creative Quarterly*.  
<http://www.scq.ubc.ca/what-is-bioinformatics/>
- Luscombe N.M., Greenbaum D., Gerstein M. 2001: What is Bioinformatics? A Proposed Definition and Overview of the Field. *Methods of Information in Medicine*. 2001;40(4):346-58.  
<http://binf.gmu.edu/ivaisman/binf630/mim01-luscombe-what-is-bioinf.pdf>
- Machluf Y. & Yarden A. 2013: Integrating bioinformatics into senior high school: design principles and implications, *Briefings in Bioinformatics*, Volume 14, Issue 5, Pages 648–660  
<https://academic.oup.com/bib/article/14/5/648/218781>
- Machluf, Y., Gelbart, H., Ben-Dor, S., Yarden, A. 2017: Making authentic science accessible—the benefits and challenges of integrating bioinformatics into a high-school science curriculum. *Briefings in Bioinformatics*, Volume 18, Issue 1, Pages 145–159. <http://doi.org/10.1093/bib/bbv113>
- Marques I, Almeida P, Alves R, Dias MJ, Godinho A, Pereira-Leal JB. 2014: Bioinformatics Projects Supporting Life-Sciences Learning in High Schools. *PLoS Comput Biol* 10(1): e1003404.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003404>
- NCBI (The National Center for Biotechnology Information) 2019: CFTR cystic fibrosis transmembrane conductance regulator [ *Homo sapiens* (human) ]  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/1080> Luettu 7.5.2019
- NIH (National Human Genome Research Institute) 2016: An Overview of the Human Genome Project. <https://www.genome.gov/12011238/an-overview-of-the-human-genome-project/>
- Opetushallitus. 2015: Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015. Next Print Oy, Helsinki.[https://www.oph.fi/download/172124\\_lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteet\\_2015.pdf](https://www.oph.fi/download/172124_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015.pdf)
- Otava. 2017: BI3 Solu ja perinnöllisyys. Sähköinen oppikirja.
- Otava. 2017: BI5 Biologian sovellukset. Sähköinen oppikirja.
- Sanger, F., & Tuppy, H. 1951: The amino-acid sequence in the phenylalanyl chain of insulin. I. The identification of lower peptides from partial hydrolysates. *The Biochemical journal*, 49(4), 463–481. doi:10.1042/bj0490463
- Sanomapro. 2019: BIOS 3 Solu ja Perinnöllisyys. Sähköinen oppikirja.
- Sanomapro. 2019: BIOS 5 Biologian sovellukset. Sähköinen oppikirja.
- Saraubh B. 2018: History, scope and development of biotechnology. *Introduction to Pharmaceutical Biotechnology*, Volume 1. IOPScience  
<http://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-1299-8/chapter/bk978-0-7503-1299-8ch1>
- Singer S., Schwarz J., Manduca C., Fox S., Iverson E., Taylor B., Cannon S., May G., Maki S., Farmer A., Doyle J. 2013: Keeping an Eye on Biology. *Science*, 339(6118), pp. 408-409.
- Tuimala Jarno. 2005: Bioinformatiikan perusteet. Tieteen tietotekniikan keskus CSC. Picaset OY. Helsinki.
- Wood L. & Gebhardt P. 2013: Bioinformatics Goes to School—New Avenues for Teaching Contemporary Biology. *PLoS Comput Biol* 9(6): e1003089.



<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003089>  
Wefer, S. H., & Sheppard, K. 2008: Bioinformatics in high school biology curricula: a study of state science standards. *CBE life sciences education*, 7(1), 155–162.  
[doi:10.1187/cbe.07-05-0026](https://doi.org/10.1187/cbe.07-05-0026)  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2262119/>

## LIITTEET

### Liite 1. Kysely lukion biologian opettajille

## LUKION OPETTAJIEN NÄKEMYKSET JA KOKEMUKSET BIOINFORMATIIKASTA

### SAATEKIRJE

Olen itäsuomalainen biologian ja maantieteen aineenopettaja. Olen toiminut opetusuralla kuusi vuotta, pääasiassa lukiotasolla. Tällä hetkellä olen opintovapaalla suorittamassa itselleni toista tutkintoa biologian alalta Itä-Suomen yliopistossa. Teen pro gradu -tutkimusta bioinformatiikan hyödyntämisestä lukion biologian opetuksessa. Tutkimukseni tarkoituksena on selvittää hyödynnetäänkö bioinformatiikkaa tällä hetkellä lukioiden biologian opetuksessa ja kartoittaa, millaisia käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia bioinformatiikka tarjoaa lukiotason biologian opetukseen. Vastaavanlaisia tutkimuksia on toteutettu eri puolilla maailmaa viimeisen vuosikymmenen aikana. Suomessa asiaa ei ole kuitenkaan vielä juurikaan tutkittu.

Tämä lukion biologian opettajille suunnattu kysely on ensimmäinen osa tutkimustani. Kyselyn tarkoituksena on selvittää, miten hyvin biologian opettajat tuntevat bioinformatiikan ja käyttävätkö he sitä opetuksensa työvälineenä. Tavoitteena on lisäksi kartoittaa opettajien kiinnostusta ja tarvetta aiheeseen liittyvään ammatilliseen koulutukseen. Asian todellisen tilan selvittämiseksi on erittäin tärkeää, että kyselyyn vastaavat myös ne, jotka eivät tiedä bioinformatiikasta yhtään mitään. Kyselyn loppuosassa vastaajille avataan lyhyesti bioinformatiikan käsitettä ja selitetään sen yhteys lukio-opetukseen. Näin myös ne, joille bioinformatiikka on käsitteenä tuntematon, osaavat arvioida omaa koulutustarvettaan.

Kyselyyn vastataan anonymisti ja kyselyn tulokset käsitellään luottamuksellisesti. Voit halutessasi saada lisätietoa tutkimuksesta ottamalla minuun yhteyttä alla olevien yhteystietojen avulla.

Kiitos, että osallistut tutkimukseni toteuttamiseen ja lukio-opetuksen kehittämiseen!

Iida Pirinen (FM)

Puhelin: 050-5479186

Sähköposti: ipirinen[at]uef.fi

Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos

Tutkimuksen ohjaajat:

Sari Kontunen-Soppela (FT, yliopistonlehtori) , sari.kontunen-soppela[at]uef.fi

Vesa Paajanen (FT, yliopistonlehtori) , vesa.paajanen[at]uef.fi

### VASTAAJAN TAUSTATIEDOT

Sukupuoli

Nainen ▼

Milloin valmistuit biologian opettajaksi?

En ole vielä valmistunut ▼

Mikä oli tutkintosi pääaine?

Biologia ▼

Jos tutkintosi pääaine oli joku muu, mikä?

Oppilaitos

Helsingin yliopisto ▼

Jos oppilaitoksesi oli joku muu, mikä?

Opetuskokemuksesi määrä lukion biologiassa

0 - 5 vuotta ▼

## BIOINFORMATIIKAN TUNTEMUS

Tiedätkö, mitä on bioinformatiikka?

- En tiedä yhtään mitä se on
- Olen joskus kuullut siitä, mutta en tiedä siitä juuri mitään
- Tiedän jollakin tasolla mitä se on
- Tiedän aika hyvin mitä se on
- Tiedän erittäin hyvin mitä se on

Mitä seuraavista termeistä liittyvät mielestäsi bioinformatiikkaan? Valitse yksi tai useampi vaihtoehto.

- Evoluutio
- Ilmastonmuutos
- Otsonikato
- Geeni
- Populaatio
- Alzheimerin tauti
- Mikromuovi
- En tiedä

Voidaanko seuraaviin ongelmiin etsiä mielestäsi ratkaisuja bioinformatiikan avulla?

	Kyllä	Ei	En tiedä
Miten sademetsästä löydetty uusi kasvilaji pitäisi luokitella?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Onko järvi happamoitunut?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Onko henkilöllä laktoosi-intoleranssille altistava geeni?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Onko Suomesta löydetty kovakuoriainen samaa lajia kuin Saksassa elävä samannäköinen kovakuoriainen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mikä maanisäkäs on valaiden lähin sukulainen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Miten paljon elohopeaa pyydykseen jääneessä hauessa on?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## BIOINFORMATIIKAN HYÖDYNTÄMINEN OPETUKSESSA

Seuraavassa avataan bioinformatiikan käsitettä. **Älä enää muuta aikaisempia bioinformatiikan tuntemusta koskevia vastauksiasi!**

Bioinformatiikka on uusi monitieteellinen tieteenala, jossa yhdistyvät mm. biologia, tilastotiede, matematiikka ja kemia. Bioinformatiikassa tutkimuksista saatua biologista tietoa tallennetaan tietokantoihin. Tietojen hyödyntämistä varten kehitetään erilaisia työkaluja, joiden avulla tietokannan tietoa voidaan hakea, verrata, analysoida ja esittää. Näistä biologisista tietokannoista löytyy paljon aitoa tutkimustietoa esimerkiksi lajien kromosomeista, geeneistä ja geenituotteista. Monet näistä tietokannoista ovat nykyään täysin internet pohjaisia, maksuttomia ja avoimia kaikkien käytettäväksi. Bioinformatiikkaa hyödynnetään laajasti esimerkiksi biologisessa ja lääketieteellisessä tutkimuksessa.

Bioinformatiikan työkalut sopivat hyvin myös lukion biologian opetuksen tueksi. Bioinformatiikan avulla opiskelijat voivat esimerkiksi tutustua ihmisen genomiin, vertailla keskenään kromosomeja tai geenejä, tutkia lajien sukulaisuutta ja evoluutiota sekä selvittää sairauksien, geenien ja geenituotteiden välisiä syy-seuraus suhteita. Bioinformatiikan avulla on helppoa toteuttaa uuden opin mukaista tutkivaa ja teknologiaa hyödyntävää opetusta!

Oletko koskaan hyödyntänyt opetuksessasi mitään biologista tietokantaa? (esim. NCBI, GeneCards, Ensembl)

- En ole, enkä ole edes kuullut biologisista tietokannoista
- En ole, mutta olen kuullut biologisista tietokannoista
- Olen hyödyntänyt opetuksen suunnittelussa tai demonstroinnissa (vain opettaja on käyttänyt)
- Olen hyödyntänyt opetuksen toteutuksessa (opiskelijat ovat käyttäneet)

Seuraavat kysymykset ovat niille, jotka ovat hyödyntäneet biologisia tietokantoja.

Mitä tietokantoja olet käyttänyt?

Anna muutamia esimerkkejä siitä, miten olet käyttänyt tietokantoja.

Mitä kautta olet tutustunut käyttämiisi tietokantoihin ja niiden käyttöön? (esim. tutkintokoulutuksessani / täydennyskoulutuksessa / olen opiskellut itsenäisesti )

## BIOINFORMATIIKAN KIINNOSTAVUUS JA TÄYDENNYSKOULUTUKSEN TARVE

Miten paljon hyödynnät opetuksessasi tietotekniikkaa?

- Jokaisella oppitunnilla
- Lähes jokaisella oppitunnilla
- Joillakin oppitunneilla
- Harvoin
- En koskaan

Millaiseksi arvioit omat tietotekniset taitosi?

- Erinomainen
- Hyvä
- Tyydyttävä
- Välttävä
- Minulla ei ole tietoteknisiä taitoja

Miten kiinnostavaksi koet bioinformatiikan opetuksen näkökulmasta? (Eli olisiko se mielestäsi käyttökelpoinen biologian opetuksen työvälineeksi?)

- En tiedä
- Ei yhtään kiinnostava
- Vähän kiinnostava
- Kiinnostava
- Erittäin kiinnostava

Oletko koskaan saanut koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön?

- Kyllä
- Ei

Koetko, että sinulla olisi tarvetta ja halua saada koulutusta biologisten tietokantojen käyttöön ja niiden hyödyntämiseen biologian opetuksessa?

- Kyllä
- Ei

Kiitos, että osallistuit tutkimukseeni!

Lopeta vielä kysely seuraavalla sivulla painamalla "valmis" painiketta.

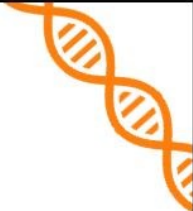
Hyvää syksyn jatkoa ja antoisia työpäiviä!

Liite 2. Pohjustus biologisiin tietokantoihin (Näytetunnin alussa opiskelijoille esitetty diaesitys)



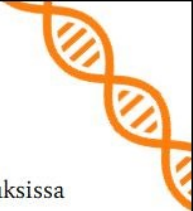
# Biologiset tietokannat

Lida Pirinen  
Itä-Suomen yliopisto




## Mitä on luvassa?

- Infoa tietokannoista ja päivän aiheesta
- Lyhyt demo NCBI:stä
- Tietokantojen käytön kokeilua
- Palaute



## Mitä ovat biologiset tietokannat?

- Internetissä, ilmaisia ja avoimia
- Sisältävät aitoa tutkimustietoa mm. geeneistä
- Oikeat tutkijat käyttävät niitä oikeissa tutkimuksissa



## Millaista tietoa tietokannoissa on?

- Geenien sijainnit ja tehtävät
- Geenien rakenne
- Tietoa mutaatioista ja niiden vaikutuksista mm. sairauksiin



GTCTAAGCAGGACAGTGGGAAGCTTTGCTTCCCACCTTTGCTT

## Tietokantojen apuohjelmat

- Tiedon haku
- Samankaltaisten geenien etsiminen
- Geenien vertaus



Ihmisen ja simpanssin RHO geeni on 96% samankaltainen.

TGCCTTCTCCTGGATCTGGGCTGCTGTGTGGACAGCCCCGCCATCTTTGGAGCAG  
TGCCTTCTCCTGGGCTGGTCTGCTGTGTGGACAGCCCCGCCATCTTTGAGCAG



### **Tehtävien aihe: Kystinen fibroosi**

- Johtuu geenimutaatiosta CFTR geenissä
- Sairaan elimistö tuottaa paksua, sitkeää limaa, joka haittaa elinten toimintaa.



**National Center for Biotechnology Information**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

## Kystinen fibroosi

Kystinen fibroosi on harvinainen perinnöllinen geneettinen sairaus, joka johtuu mutaatiosta CFTR geenissä. Kystistä fibroosia sairastavan elimistö tuottaa paksua, sitkeää limaa, joka haittaa elinten toimintaa. Lima vaikeuttaa mm. keuhkojen, haiman ja suoliston toimintaa. Tyypillisiä oireita ja oheissairauksia ovat mm. keuhkojen tulehdukset, aliravitsemus ja osteoporoosi.

Tässä harjoituksessa tutustutaan CFTR geeniin ja siinä olevaan mutaatioon, joka saa aikaan kystisen fibroosin. Samalla tutustutaan biologisiin tietokantoihin ja niiden apuohjelmiin.

Tutoriaalit (ohjevideot, joita voit tarvittaessa hyödyntää tehtävien tekemisessä):

Tiedon haku NCBI:stä <https://youtu.be/MhAHdrIEiUU>

EMBOSS needle <https://youtu.be/AIPELmJatYI>

NCBI BLAST [https://youtu.be/JtF1HS\\_CFWc](https://youtu.be/JtF1HS_CFWc)

### 1. Tiedon haku NCBI:n tietokannoista. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Kirjoita NCBI:n etusivun hakuikkunaan geenin nimi ja organismi, jolta etsit kyseistä geeniä (CFTR Homo sapiens). Valitse pudotusvalikosta tietokannaksi “gene”. Paina search.

Klikkaa itsesi sisään CFTR geenin sivustolle

“CFTR - cystic fibrosis transmembrane conductance regulator”

### 2. Geenitietokantaan tutustuminen. Tutki geenitietokannan tietoja CFTR geenistä ja vastaa seuraaviin kysymyksiin.

- Mikä tehtävä on CFTR geenin tuottamalla proteiinilla? (osio: Summary)
- Päätelytehtävä: Miten CFTR proteiinin tehtävä selittää kystisen fibroosin oireita?
- Missä kromosomissa CFTR geeni sijaitsee? Sijaitseeko se kromosomin lyhyemmässä vai pidemmässä varressa? (osio: Genomic context -> Genome Data Viewer)
- Kuinka monta eksonia CFTR geenissä on?
- Katso pylvädiagrammista (osio: Expression), missä kudoksissa CFTR geeni ilmenee. Miten geenin ilmeneminen selittää kystisen fibroosin oireita?
- Mene katsomaan CFTR geenin geenisekvenssiä (osio: NCBI reference sequences (RefSeq) -> FASTA )

Rullaa sivua alaspäin, jotta voit havainnoida sekvenssin pituutta. Jätä sivu auki.



g. Vertaa juuri avaamaasi CFTR geenin koko sekvenssiä alla olevasta linkistä löytyvään CFTR geenin lähetti-RNA:ta (mRNA) vastaavaan DNA sekvenssiin. Vertaa sekvenssien pituutta toisiinsa. Mitä havaitset? Mikä selittää tämän eron?

CFTR mRNA:ta vastaava DNA pätkä

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM\\_000492.3?report=fasta](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM_000492.3?report=fasta)

### 3. Kystisen fibroosin aiheuttavan mutaation paikallistaminen

Tunnetuin kystisen fibroosin aiheuttava mutaatio on nimeltään deltaF508. Kyseessä on deleetio, jossa geenistä on hävinnyt kolme nukleotidiä. Tietokantaan on tallennettu pätkä geenin DNA sekvenssiä kohdasta, jonka alueella mutaatio esiintyy.

Mutaation kohta: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/S64640.1?report=fasta&to=30>

Tehtäväsi on selvittää, mitkä kolme nukleotidiä ovat hävinneet mutaatiossa. Tämän selvittämiseksi sinun pitää verrata normaalia sekvenssiä mutaatio-sekvenssiin. Sekvenssien vertailussa käytämme apuna EMBOSS -needle apuohjelmaa.

Tutoriaali tehtävään: <https://youtu.be/AIPELmJatYI>

a. Mene EMBOSS - needleen

[https://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss\\_needle/](https://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss_needle/)

b. Kopioi CFTR geenin normaalin sekvenssin mRNA:ta vastaava DNA pätkä tehtävän 2g linkistä ja liitä se EMBOSSin ensimmäiseen ruutuun. (copy-paste)

c. Kopioi mutaatiokohdan sekvenssi tämän tehtävän linkistä ja liitä se EMBOSSin alempaan ruutuun.

d. Rullaa sivun alas ja paina “submit”.

e. Kun rinnastus on valmis, rullaa sivua alas, kunnes huomaat kohdan, jossa lyhyempi sekvenssi on rinnastettu pidemmän sekvenssin kanssa. Mitkä kolme nukleotidiä puuttuvat lyhyemmästä sekvenssistä?

f. Etsi internetistä tietoa Delta-F508 mutaatiosta (mutaatiolla on esim. hyvät englanninkieliset Wikipedia sivut). Miten mutaatio vaikuttaa proteiinin rakenteeseen ja toimintaan?

g. Pohdintatehtävä: Delta-F508 mutaatio aiheuttaa kystisen fibroosin silloin, jos lapsi perii viallisen geenin molemmilta vanhemmiltaan. Miksi jo yhden viallisen geenin periminen ei aiheuta sairautta?

#### 4. Onko muilla eläimillä CFTR geeniä?

Seuraava tehtäväsi on selvittää, onko muilta eläimiltä löydetty ihmisen CFTR -geenin kaltaista geeniä. Geenien etsinnässä käytämme apuna NCBI:n BLAST apuohjelmaa.

<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

a. Mene sivustolle ja klikkaa “Nucleotide BLAST”

b. Kopioi CFTR geenin sekvenssi (CFTR mRNA:ta vastaava DNA pätkä) tehtävän 2g linkistä ja liitä se ensimmäiseen hakuikkunaan (osio: Enter Query Sequence)

c. Osio: Choose Search Set

- Database: Nucleotide collection (nr/nt)
- Organism: Kirjoita “Homo sapiens (taxid:9606)” ja laita ruutu kohtaan “Exclude”. Tämä valinta rajaa pois hausta ihmisen sekvenssit.

d. Osio: Program Selection

- Highly similar sequences (megablast)

e. Klikkaa: BLAST

Tulosten tulkinnassa ja haun suorittamisessa sinua auttaa BLAST -ohjelmasta tekemäni suomenkielinen tutoriaali, jonka voit katsoa oheisesta linkistä.

[https://youtu.be/JtF1HS\\_CFWc](https://youtu.be/JtF1HS_CFWc) (tulosten tulkinta alkaa kohdasta 3:30)

f. Kuinka monta nukleotidiä oli haussa käyttämässäsi sekvenssissä? (tuloksissa “Query Length”)

g. Mainitse viisi lajia, joilta löytyy hyvin samankaltainen CFTR geenin kuin ihmiseltä. Mihin eläinlähkoon nämä kaikki eläimet kuuluvat?

h. Mitä tulos kertoo mielestäsi näiden lajien sukulaisuudesta?

i. Rullaa tuloslistaa alaspäin ja mainitse myös joitakin muita eläinlajeja, joilta löytyy CFTR geeni.

j. Käy katsomassa jonkin valitsemasi lajin geenin rinnastusta hakugeeniin (eli ihmisen geeniin) ja havainnoi sekvenssissä olevia eroavaisuuksia. Mitä lajia tarkastelit? Miten paljon sekvensseissä oli eroavaisuuksia? (kerro arvot Query cover ja Ident)

## Liite 4. Biologisten tietokantojen näytetunnin palautelomake

### PALAUTE BIOLOGISTEN TIETOKANTOJEN NÄYTETUNNISTA

#### VASTAAJAN TAUSTATIEDOT

Mitkä biologian kurssit olet suorittanut (tämä kurssi mukaan lukien)?

- BI1 Elämä ja evoluutio
- BI2 Ekologia ja ympäristö
- BI3 Solu ja perinnöllisyys
- BI4 Ihmisen biologia
- BI5 Biologian sovellukset
- Joku muu syventävä tai soveltava kurssi

Oletko tutustunut aikaisemmin biologisiin tietokantoihin?

- En
- Opettaja on näyttänyt jotain tietokannasta, mutta en ole itse käyttänyt.
- Olen itse käyttänyt aiemmin jotakin biologista tietokantaa.

#### TIETOKANTOJEN KÄYTÖN ARVIOINTI

Miten mielenkiintoiseksi koit seuraavat asiat? (1. Erittäin mielenkiintoista, 2. Mielenkiintoista, 3. Hieman mielenkiintoista, 4. Ei yhtään mielenkiintoista)

	1	2	3	4	En tehnyt tätä tehtävää
Biologiset tietokannat yleisesti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tietokannassa oleviin geenitietoihin tutustuminen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geenisekvenssien vertaus (teht. Mutaation paikallistaminen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vastaavien geenisekvenssien haku (Teht. Onko muilla eläimillä CFTR geeniä?)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Miten helppoksi tai vaikeaksi koit yleisesti biologisten tietokantojen käytön?

- Helppoa
- Hieman vaikeaa
- Vaikeaa
- Todella vaikeaa

Miten helppoksi tai vaikeaksi arvoisit seuraavat tehtävät? (1. Helppoa, 2. Hieman vaikeaa, 3. Vaikeaa, 4. Todella vaikeaa)

	1	2	3	4	En tehnyt tätä tehtävää
Geenin haku NCBI:stä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geenitietojen löytäminen tietosivulta (esim. eksonien määrä, nukleotidisekvenssi)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geenisekvenssien vertaus EMBOSS -needlellä (Teht. mutaation paikallistaminen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geenien rinnastuksen tulkinta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vastaavien geenisekvenssien haku BLAST:illä (Teht. Onko muilla eläimillä CFTR geeniä?)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
BLAST:in tulosten tulkinta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Vaikeuttiko jokin tai jotkin seuraavista asioista mielestäsi MERKITTÄVÄSTI tietokantojen käyttöä?

- Englannin kieli
- Sivuilla näkyvän tiedon määrä
- Tieteelliset termit ja koodit (esim. geenien koodinimet)
- Oma heikko tietotekniikan käyttötaito
- Oma heikko biologian tietämys
- Ei mikään
- Joku muu, mikä?

Jos vastasit joku muu, mikä?

Millaiset ohjeet olivat mielestäsi hyödyllisimmät?

- Opettaja näytti harjoituksen alussa, miten sivustoa käytetään
- Tutoriaalivideot (ohjevideot)
- Kirjalliset ohjeet

## TULEVAISUUS

Haluaisitko käyttää jatkossa biologisia tietokantoja biologian opiskelussa?

- Kyllä. Koska vain!
- Kyllä, mutta vain jos tehtävät liittyvät opiskeltaviin asioihin.
- En halua

Miksi haluaisit tai et haluaisi käyttää jatkossa biologisia tietokantoja?

Haluatko antaa jotain muuta palautetta biologisista tietokannoista tai tästä näytetunnista? Sana vapaa.

Kiitos paljon osallistumisesta tutkimukseen! Tallenna vielä vastauksesi painamalla "Tallenna" painiketta.