



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

# Chilien tulisuuden tutkiminen ja määrittäminen

Kokeellisen työn kehittäminen lukioon

Anu Malmi

Kemia

Pro gradu -tutkielma

Laajuus: 20 op

Ohjaajat:

Veli-Matti Vesterinen

Maarit Karonen

6.6.2024

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

**Pääaine:** Kemia

**Tekijä:** Anu Malmi

**Otsikko:** Chilien tulisuuden tutkiminen ja määrittäminen – kokeellisen työn kehittäminen lukioon

**Ohjaajat:** Veli-Matti Vesterinen ja Maarit Karonen

**Sivumäärä:** 40 sivua + liitteet 6 sivua

**Päivämäärä:** 6.6.2024

---

Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmassa painotetaan laaja-alaista osaamista sekä monipuolisten opetusmenetelmien käytön tärkeyttä. Kemian opetuksen tavoitteiksi mainitaan muun muassa kriittisen ajattelun oppiminen, kemiallisten tutkimusmenetelmien tunteminen sekä laboratorioturvallisuuden tietäminen ja noudattaminen. Opiskelijoiden pitäisi saada valmiudet tieteellisen tutkimuksen suunnitteluun, toteutukseen ja sen antamien tulosten arviointiin. Näin ollen opiskelijoiden täytyy kyetä muodostamaan kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä, tuntea erilaisia tutkimustapoja- ja menetelmiä sekä osata työskennellä turvallisesti.

Kokeellisten töiden avulla voidaan konkreettisesti tekemällä opettaa opiskelijoille muun muassa turvallisuusosaamista, yhteistyötaitoja, tutkimusmenetelmiä ja teorian yhdistämistä havaittuihin ilmiöihin. Oppimisen kannalta ihanteellisinta on, jos kokeellinen työ on opiskelijoiden mielestä kiinnostava ja heistä tuntuu, että he pystyvät käyttämään ennakkotietojaan ja -taitojaan työn suorittamiseen. Työ ei saisi tuntua opiskelijoista liian stressaavalta, mutta samalla sen pitäisi tarjota haastetta. Kokeellisen työn tekemisen aikana koetut tunteet vaikuttavat hyvin vahvasti optimaalisen oppimistilanteen saavuttamiseen. Negatiiviset tunteet, kuten tylsistyneisyys tai turhautuneisuus, vaikeuttavat optimaalisen oppimistilanteen saavuttamista. Sitä vastoin positiiviset tunteet, kuten ilo ja itsevarmuus, edesauttavat tätä. Optimaalisen oppimistilanteen saavuttaminen on kuitenkin harvinaista, sillä kaikki siihen vaadittavat tekijät ovat harvoin yhtä aikaa kohdallaan kaikilla opiskelijoilla

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää työ, jossa opiskelijat pääsisivät harjoittelemaan tieteellisen tutkimuksen vaatimia taitoja mahdollisimman optimaalisessa oppimistilanteessa. Tutkimusta ohjasi neljä tutkimuskysymystä: mitä mahdollisuuksia chilien opetuskäytöllä on kemian opetuksessa, mitä vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmassa olevia tavoitteita työhön sisällytetään, miten työn eri vaiheet tukivat optimaalista oppimistilannetta ja miten tavoitteiden saavuttamisessa onnistuttiin.

Kehittäminen tapahtui yhdessä syklissä. Ensimmäinen vaihe oli ongelma-analyysi ja toimivan kokeellisen työn kehittäminen. Toisessa vaiheessa lukio-opiskelijat tulivat kokeilemaan kehitettyä työtä. Opiskelijoille tehdyn kyselytutkimuksen avulla pyrittiin selvittämään, miten lähelle optimaalista oppimistilannetta työn aikana päästiin. Lopullinen kehittämistuotos oli kokeellinen työ, jossa chilien tulisuutta ja kapsaisiinipitoisuutta tutkitaan ja vertaillaan paperikromatografian, Folin-Ciocalteu-menetelmässä tapahtuvan värimuutoksen sekä maistelukokeen avulla. Työhön valittiin chilit, koska ne ovat lähes kaikille opiskelijoille tuttuja, ja niiden hankkiminen on helppoa ja edullista. Chilien tulisuuden aiheuttaa pääosin niiden sisältämä kemiallinen yhdiste nimeltä kapsaisiini, joka on rasvaliukoinen vanillyyliaminin ja 8-metyyliinonoiinihapon johdannainen.

Opiskelijat pystyivät työn avulla tunnistamaan neljän tuntemattoman näytteen joukosta paprikan, sekä laittamaan muut kolme chilinäytettä tulisuusjärjestykseen kapsaisiinipitoisuuden perusteella. Kyselytutkimuksessa saadut tulokset olivat myös positiivisia. Opiskelijat pitivät työtä kiinnostavana, uteliaisuutta herättävänä ja hyödyllisenä. Työtä ei tosin pidetty tarpeeksi haastavana. Tämän perusteella päästiin kuitenkin melko lähelle optimaalista oppimistilannetta.

---

**Avainsanat:** chili, Folin-Ciocalteu, kapsaisiini, kehittämistutkimus, kokeellinen työ, lukio, paperikromatografia

# Sisällys

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>JOHDANTO</b> .....  | 1.  |
| <b>2</b> | <b>KEHITTÄMISTUTKIMUS</b> .....  | 2.  |
| 2.1      | Kehittämistutkimuksen määritelmä .....   | 3.  |
| 2.2      | Tutkimuskysymykset .....   | 4.  |
| <b>3</b> | <b>KEMIAN KOKEELLINEN OPPIMINEN</b> .....  | 4.  |
| 3.1      | Kemiallisen tiedon luonne .....  | 4.  |
| 3.2      | Optimaalinen oppimistilanne .....  | 5.  |
| 3.3      | Kontekstuaalinen opetus.....   | 7.  |
| 3.4      | Kokeelliset työt osana opetusta .....  | 8.  |
| <b>4</b> | <b>TEOREETTINEN ONGELMA-ANALYYSI</b> .....   | 9.  |
| 4.1      | Chili .....  | 10. |
| 4.1.1    | Chilin historiaa.....  | 10. |
| 4.1.2    | Chilin sisältämät kemialliset yhdisteet.....   | 11. |
| 4.1.3    | Kapsaisiini.....   | 13. |
| 4.1.4    | Chili opetuskäytössä .....   | 16. |
| 4.2      | Kemian opetuksen sisältö ja tavoitteet vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteissa ja tavoitteet kehitettävälle työlle ..... | 17. |
| <b>5</b> | <b>KEHITTÄMISPROSESSI</b> .....  | 19. |
| 5.1      | Näytteiden kapsaisiinipitoisuuden määrittäminen nestekromatografia-massaspektrometrian avulla.....                                 | 20. |
| 5.2      | Folin-Ciocalteu-menetelmä .....  | 22. |
| 5.3      | Paperikromatografia .....  | 25. |
| 5.4      | Kehitetyn työn testaus.....  | 26. |
| <b>6</b> | <b>TULOKSET</b> .....  | 27. |
| 6.1      | Kapsaisiinipitoisuuksien määrittäminen ja maistelukoe.....   | 27. |
| 6.2      | Paperikromatografia.....   | 30. |
| 6.3      | Kysely.....  | 31. |
| <b>7</b> | <b>JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYS</b> .....  | 33. |
|          | VIITTELUETTELO.....  | 38. |
|          | LIITTEET.....  | 42. |

# 1 JOHDANTO

Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS 2019) mainitaan kemian opetuksen tavoitteiksi muun muassa kriittisen ajattelun oppiminen, kemiallisten tutkimusmenetelmien tunteminen sekä laboratorioturvallisuuden tietäminen ja noudattaminen. Kyseisen opetussuunnitelman mukaan opiskelijoille tulisi antaa valmiudet tieteellisen tutkimuksen suunnitteluun, toteutukseen ja sen antamien tulosten arviointiin. Näin ollen opiskelijoiden täytyy tuntea erilaisia tutkimustapoja ja -menetelmiä, osata työskennellä turvallisesti sekä kyetä muodostamaan kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä.<sup>1,2</sup>

Kokeellisia töitä tehdessään opiskelijat pääsevät harjoittelemaan erilaisia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla heidän tutkimustaitonsa kehittyvät. Samalla he oppivat tuntemaan tieteellisiä tapoja tuottaa tietoa. Lisäksi opiskelijoille tulee tutuksi, miten erilaisia kemikaaleja käsitellään, ja miten työskennellessä syntyneet kemikaalijätteet hävitetään asianmukaisella tavalla.<sup>1</sup>

Kemiallisen tiedon monitasoinen luonne saattaa tehdä kemiasta hankalan oppiaineen. Tasot jaetaan yleensä makrotasoon, submikrotasoon ja symboliseen tasoon. Opetuksen pitäisi lähteä liikkeelle makrotason ilmiöiden tarkastelusta ja siirtyä vähitellen kohti submikrotasoa ja symbolista tasoa. Näin opiskelijat oppivat ajattelemaan kemiallisia ilmiöitä ja käsitteitä kunkin eri tason kautta.<sup>3</sup>

Parhaiten oppimista tapahtuu, kun saavutetaan optimaalinen oppimistilanne. Jotta tällainen tilanne saavutettaisiin, täytyy tehtävän työn tuntua opiskelijoista mielenkiintoiselta ja olla opiskelijoiden tieto- ja taitotasoa vastaava. Kokeellisen työn herättämällä tunteilla on myös suuri vaikutus oppimiseen. Negatiiviset tunteet, kuten tylsistyneisyys tai turhautuneisuus, vaikeuttavat optimaalisen oppimistilanteen saavuttamista. Positiiviset tunteet, kuten ilo ja itsevarmuus, puolestaan edesauttavat tätä. Optimaalisen oppimistilanteen saavuttaminen on kuitenkin harvinaista, sillä kaikki siihen vaadittavat tekijät ovat harvoin yhtä aikaa kohdallaan kaikilla opiskelijoilla.<sup>4,5</sup>

Tämä pro gradu -tutkielma toteutettiin kehittämistutkimuksena. Tarkoituksena oli kehittää lukio-opiskelijoille soveltuva kokeellinen työ. Kehitetyn työn kautta opiskelijat pääsivät harjoittelemaan tieteellisen tutkimuksen tekemiseen vaadittavia taitoja. Tutkimuksen tuloksena syntyi kokeellinen työ, jossa erilajikkeisten chiliä tulisuutta

tutkitaan mittaamalla niiden kapsaisiinipitoisuutta Folin-Ciocalteu-menetelmällä, paperikromatografialla sekä maistelukokeen avulla. Liitteenä olevalla kyselytutkimuksella selvitettiin, miten lähelle optimaalista oppimistilannetta työn aikana päästiin.

Tutkielma koostuu kokonaisuudessaan seitsemästä luvusta. Luvussa kaksi käydään läpi kehittämistutkimuksen teoriaa. Tässä luvussa esitellään myös tutkimuskysymykset. Luku kolme on teoreettinen viitekehys, jossa käsitellään kemian tieteellistä luonnetta, optimaalisen oppimistilanteen saavuttamiseen vaikuttavia tekijöitä, kiinnostuksen teoriaa, sekä tutkimuksellisuuden ja kokeellisuuden opettamista. Luku neljä on ongelma-analyysi. Siinä käsitellään mitä chilit ovat, niiden historiaa, niiden sisältämiä kemiallisia yhdisteitä sekä mitä mahdollisuuksia chilien opetuskäytöllä kemian opetuksessa saattaa olla. Lisäksi luvussa tutustutaan vuoden 2019 opetussuunnitelman perusteisiin ja kehitettävän työn tavoitteisiin. Luvussa viisi kuvaillaan tutkimuksen kehitysprosessi. Kehitystyötä tehtiin ongelma-analyysin pohjalta. Kehitettyä työtä tuli kokeilemaan 50 lukio-opiskelijan ryhmä. Kehitetyllä työllä saadut kapsaisiinipitoisuudet ja kyselytutkimuksen tulokset on esitetty luvussa kuusi. Luku seitsemän on tutkielman viimeinen luku. Siihen on kirjattu johtopäätökset kehitetystä työstä, ja miten hyvin asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Lopuksi on koottu kehitysehdotuksia jatkon varalle.

## **2 KEHITTÄMISTUTKIMUS**

Tässä luvussa tutustutaan tutkielman tutkimuskysymyksiin, sekä siihen, mitä kehittämistutkimus tarkoittaa. Kehittämistutkimus (design research) on melko nuori menetelmä opetuksen ja oppimisen tutkimuksessa. Sen alkuna pidetään vuonna 1992 ilmestynyttä Ann Brownin artikkelia. Artikkelissa tuotiin esiin opetuksen ja oppimisen kehityksessä usein vastaantulevat teoreettiset ja metodologiset ongelmat.<sup>6</sup> Yksi näistä ongelmista oli tasapainoilu laboratoriotyöskentelyn ja luokkaopetuksen välillä.<sup>7</sup>

Ennen 2000-lukua kehittämistutkimukseen liittyviä artikkeleita oli julkaistu vain muutamia kymmeniä. Tarve tutkimuspohjaiseen opetuksen kehittämiseen todellisten opetustilanteiden pohjalta kuitenkin lisäsi kiinnostusta aihetta kohtaan. Myös opetuksen tutkimuksen saama kritiikki motivoi menetelmien parantamiseen. Kehittämistutkimuksen asema onkin vakiintunut opetuksen tutkimuksessa viimeisen 20 vuoden aikana.<sup>6</sup>

## 2.1 Kehittämistutkimuksen määritelmä

Kehittämistutkimuksella ei ole yhtä ainoaa määritelmää, vaan se on monitahoinen tutkimusmenetelmä. Sitä voidaan kuvailla tutkimusmenetelmäksi, joka yhdistää kehittämisen ja tutkimisen teoreettisia ja kokeellisia vaiheita.<sup>8</sup> Se on myös metodologia, jonka tavoitteena on opetuksen kehittäminen todellisten tilanteiden pohjalta systemaattisesti, joustavasti ja interaktiivisesti.<sup>9</sup> Kehittämistutkimusprosessin pitäisi olla iteratiivista, ja lopputuloksen auttaa tehostamaan opetusta ja oppimista sekä olla käyttökelpoinen käytettyä koeryhmää laajemmalle kohderyhmälle. Kehittämistutkimuksen lähtökohta on muutoksen tarve.<sup>10</sup>

Kehittämistutkimus rakentuu kolmen kysymyksen ympärille: a) miten tutkimuksen halutaan etenevän, b) mitkä ovat tarpeet ja mahdollisuudet ja c) millainen lopputuotos saadaan aikaan. Näiden kysymysten perusteella kehittämistutkimus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen<sup>8</sup>:

- I. Ongelma-analyysi
- II. Kehittämisprosessi
- III. Kehittämistuotos

Kehittämistutkimus lähtee yleensä liikkeelle ongelma-analyysistä. Tässä vaiheessa pohditaan, millaiseen tavoitteeseen, tarpeeseen tai mahdollisuuteen tutkimuksen halutaan vastaavan. Samalla huomioidaan, mitä haasteita ja rajoituksia tutkimuksen aikana saatetaan kohdata. Tutkimuksen alkuvaiheessa päätetty ongelma-analyysin sisältö voi kuitenkin muuttua tutkimuksen edetessä. Ongelma-analyysi voi olla teoreettinen tai empiirinen.<sup>8</sup>

Kehittämisprosessiin kuuluu ongelma-analyysiin pohjautuvan tutkimussuunnitelman tekeminen, toteutus, kehitystyö, lopputuloksen testaus, arviointi ja mahdollinen jatkokehittely. Kehittämisprosessin aikana päätetään myös tutkimukseen osallistuvat henkilöt ja käytettävät resurssit.<sup>8</sup>

Kehittämistulos on kehitystyön tuloksena saatu ratkaisu ongelma-analyysissä mainittuihin haasteisiin ja kehittämisprosessin mahdollisuuksiin. Se voi kuitenkin muuttua koko kehittämisprosessin ajan kehittäjien tiedon karttuessa.<sup>8</sup> Kuinka paljon kehitystuotos tehostaa opettamista ja oppimista voi riippua sitä käyttävästä opettajasta.

Tämä johtuu siitä, että jokainen opettaja luo toiminnallaan ja olemuksellaan omanlaisensa oppimisympäristön.<sup>10</sup>

## **2.2 Tutkimuskysymykset**

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää lukiolaisille sopiva ja toimiva kokeellinen työ, jonka kautta he pääsevät harjoittelemaan tieteellisen tutkimuksen vaatimia taitoja mahdollisimman optimaalisessa oppimistilanteessa. Pääasialliset tutkimuskysymykset olivat:

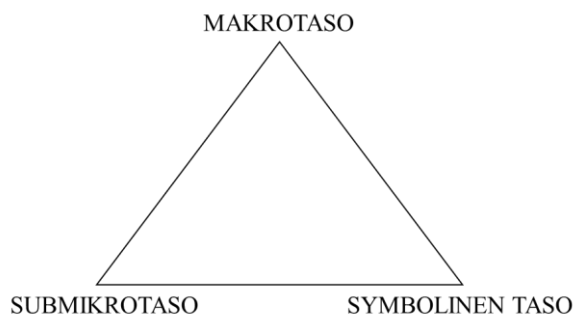
1. Mitä mahdollisuuksia chilien opetuskäytöllä on kemian opetuksessa?
2. Mitä vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmassa olevia tavoitteita työhön sisällytetään?
3. Miten työn eri vaiheet tukivat optimaalista oppimistilannetta?
4. Miten tavoitteiden saavuttamisessa onnistuttiin?

## **3 KEMIAN KOKEELLINEN OPPIMINEN**

### **3.1 Kemiällisen tiedon luonne**

Kemiaa pidetään usein yhtenä vaikeimmista oppiaineista. Syitä tähän voivat olla siinä esiintyvät monimutkaiset käsitteet, arkikielestä tuntemattomat sanat sekä ristiriitaisuus arkipuheessa käytetyn kielen ja tieteellisen kielen välillä. Esimerkiksi arkipuheessa voidaan sanoa sokerin sulavan suuhun, vaikka tieteen kannalta katsottuna kyse on liukenemisestä eikä sulamisesta.<sup>11,12</sup>

Kemiällisen tiedon luonne on monitasoinen, mikä voi myös hankaloittaa oppimista ja opettamista. Tasoja määritellään yleensä kolme (kuva 1): makrotaso, submikrotaso ja symbolinen taso. Aistein havaittavat ilmiöt kuuluvat makrotasoon, makrotason ilmiöitä pyritään selittämään submikrotasolla ioni-, atomi- tai molekyyli-tason avulla ja symbolinen taso käyttää erilaisia representaatioita yhdistämään nämä kaksi.<sup>3</sup>



**Kuva 1:** Kemiallisen tiedon luonne voidaan jakaa kolmeen tasoon. Makrotasoon kuuluvat havaittavat ilmiöt. Submikrotasoon puolestaan kuuluvat ionit, atomit ja molekyylit. Symboliseen tasoon kuuluvat esimerkiksi reaktioyhtälöt.<sup>3</sup>

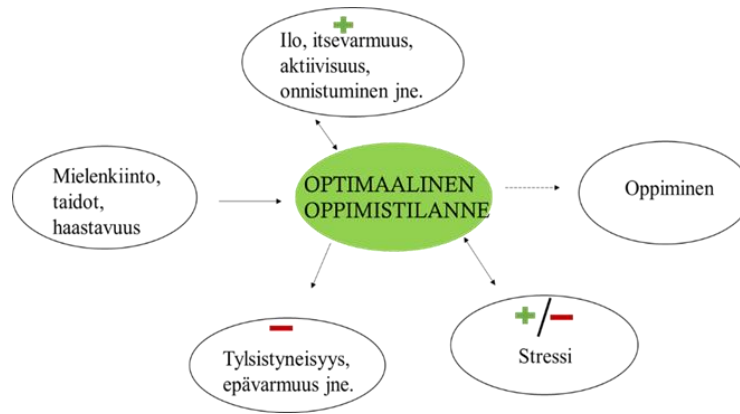
Monesti käsitykset eri ilmiöistä ja asioista muodostuvat näköhavaintojen ja kokemusten pohjalta. Joitain kemian käsitteitä on kuitenkin lähes mahdotonta havainnoida tällä tapaa. Näin ollen oppijan pitää pystyä käyttämään kaikkia kolmea tasoa ajattelussaan, jotta hän kykenee ymmärtämään kemiaa syvällisesti ja muodostamaan oikeanlaisia syy-seuraussuhteita.<sup>3</sup>

Kokeellisessa työskentelyssä olisi hyvä lähteä ensin tarkastelemaan makrotason ilmiöitä, ja siirtyä siitä vähitellen kohti submikrotasoa ja symbolista tasoa. Työ voi olla liian kuormittava, jos oppijan täytyy kiinnittää huomiota kaikkiin tasoihin yhtä aikaa.<sup>3</sup>

### 3.2 Optimaalinen oppimistilanne

Parhaiten oppimista tapahtuu optimaalisen oppimistilanteen aikana. Optimaalisen oppimistilanteen syntyyn vaikuttavat pääasiassa oppijoiden kiinnostus aktiviteettia kohtaan, aktiviteetin tarjoama haaste, sekä miten hyvin oppijat pääsevät käyttämään taitojaan aktiviteetin aikana (kuva 2). Jos oppijalla ei ole tarvittavia taitoja, hän ei pysty etenemään. Jos materiaalia on paljon ja vaadittavien taitojen opetteluun menee aikaa, voi oppijoiden innostus ja motivaatio laskea.<sup>4</sup> Aktiviteetin tarjoama haaste antaa oppijoille mahdollisuuden kehittää jo olemassa olevia taitojaan. Sopiva haastavuustaso ja halu kehittyä lisäävät myös osaltaan innostusta ja motivaatiota.<sup>4</sup>





**Kuva 2:** Optimaaliseen oppimistilanteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat mielenkiinto, taidot ja haastavuus. Myös tunteet vaikuttavat optimaalisen oppimistilanteen syntyyn. <sup>4</sup>

Oppijoiden kiinnostuksella opetettavaa aihetta kohtaan on muutenkin huomattu olevan positiivinen vaikutus oppimistuloksiin. <sup>5</sup> Krappin (2002) henkilö-objektisuhdetta tarkastelevan kiinnostuksen teorian keskiössä on kiinnostus-motivaatio-persoonaminäkäsitysuhde. Teorian mukaan kiinnostus riippuu motivaatiosta, yksilön persoonasta ja minäkäsityksestä. Motivaatio voi olla sisäistä tai ulkoista. <sup>13</sup> Sisäinen motivaatio on aihekohtaista, mutta usein pitkäaikaista ja hiljalleen kehittyvää. Se pohjautuu henkilön jo olemassa oleviin tietoihin, kokemuksiin ja tunteisiin. <sup>5</sup>

Kiinnostus voi olla myös hetkellistä. Kyseessä on yleensä spontaani ja ohimenevä tunnetila, jonka ympäristö on saanut aikaan. Tämä voi olla jossain määrin opettajan kontrolloitavissa. Hetkellinen kiinnostus voi johtua opetettavan asian sisällöstä tai siihen liittyvästä tekemisestä, kuten kokeellisesta työstä ja sen tarjoamasta haasteesta. <sup>5</sup> Motivaatiota ja kiinnostusta lisää, jos opetuksessa käytetään oppijoille tuttuja asioita. Näin oppiminen voidaan tuoda tutulle makrotasolle. Lisäksi opetettava asia voi tuntua tärkeältä, jos se saadaan sidottua jokapäiväiseen elämään. <sup>11</sup>

Optimaalisen oppimistilanteen saavuttamiseen vaikuttavat isolta osin myös oppijoiden tunteet oppimishetkellä. Tylsistyneisyys tai epävarmuus vaikuttavat oppimiseen negatiivisesti. Ilo, itsevarmuus ja onnistumisen tunteet puolestaan edesauttavat oppimista.

Vastaavasti optimaalinen oppimistilanne voi tuottaa näitä tunteita. Stressi ja ahdistuneisuus voivat tilanteesta ja oppijasta riippuen joko hankaloittaa oppimista tai parantaa sitä. Täydellisen optimaalisen oppimistilanteen saavuttaminen on kuitenkin lähes mahdotonta, koska kaikki siihen vaikuttavat asiat ovat harvoin yhtä aikaa kohdallaan. <sup>4,5</sup>

### 3.3 Kontekstuaalinen opetus

Kemian opetuksen tavoitteiden saavuttamista saattaa hankaloittaa myös se, että oppijat usein kokevat kemian abstraktiksi ja vaikeaksi oppiaineeksi, jolla ei ole merkitystä heidän elämässään.<sup>12,14</sup> Tällaisen tilanteen syntyminen pyritään estämään kontekstuaalisen opetuksen (context-based science education) avulla. Sen tarkoitus on tuoda esille uusi opetettava käsite laajemmassa kontekstissa. Liittämällä opiskeltavat asiat johonkin oppijoille ennestään tuttuun kontekstiin saadaan oppijat ymmärtämään, miksi jotakin aisaa opiskellaan ja mitä hyötyä sen osaamisesta on.<sup>15</sup>

Kontekstuaalisen opetuksen lähtökohta on kontekstin ja mahdollisten sovellusten esittely. Vasta tämän jälkeen esitellään opiskeltava käsite. Tarkoituksena on herättää oppijoiden mielenkiinto opiskeltavaa asiaa kohtaan ja lisätä heidän motivaatiotaan. Perinteisessä opetuksessa puolestaan menetellään yleensä päinvastoin. Siinä konteksti ja mahdolliset sovellukset esitellään vasta uuden opeteltavan käsitteen jälkeen.<sup>16</sup>

Kontekstuaalinen opetus voidaan usein jakaa neljään vaiheeseen kuten kuvassa 3 on esitetty. Ensimmäisessä vaiheessa oppijoille esitellään jokin konteksti tai mahdollinen sovellus käsiteltävästä aiheesta. Tämän vaiheen avulla on tarkoitus herättää oppijoiden mielenkiinto, ja saada heidät esittämään kysymyksiä esitetystä kontekstista. Seuraavassa vaiheessa esitetyjä kysymyksiä muokataan tiedonhaku varten sekä opiskellaan tarvittavat käsitteet. Kolmanteen vaiheeseen kuuluu tietojen etsiminen oppikirjasta tai sen ulkopuolelta. Viimeisessä vaiheessa oppijoille esitetään jatkokonteksti mahdollisia jatkotutkimuksia varten. Tämän tarkoituksena on saada oppijat soveltamaan keräämiään tietoja.<sup>17</sup>



**Kuva 3:** Kontekstuaalisen opetuksen neljä mahdollista eri vaihetta. Aluksi oppijoille esitetään jokin uusi konteksti, minkä jälkeen kootaan yhteen syntyneet kysymykset ja opetetaan tarvittavat käsitteet. Tämän jälkeen alkaa aiheen opiskelu tiedonhaun kautta. Lopuksi oppijoille esitetään mahdollinen jatkokonteksti, minkä avulla opittua tietoa voidaan soveltaa.<sup>17</sup>

Konteksti voidaan jakaa neljään eri tyyppiin taulukon 1 mukaisesti. Ensimmäinen tyyppi on henkilökohtainen konteksti. Tämä tarkoittaa esimerkiksi jonkin kemian aiheen liittämistä oppijan omaan arkielämään. Toinen on sosiaalinen ja yhteiskunnallinen konteksti. Siinä painotetaan kemian roolia sosiaalisissa ja yhteiskunnallisissa ongelmissa.

Sen tarkoituksena on valmistaa oppijaa käyttämään koulussa oppimiaan taitoja ja tietoja sosiaalisissa tilanteissa sekä yhteiskunnan osana.<sup>17</sup> Kolmas tyyppi on ammatillinen konteksti. Tämän avulla halutaan saada oppijat hahmottamaan, missä ammateissa opittuja kemian tietoja ja taitoja voidaan tarvita.<sup>17</sup> Neljäs tyyppi on tieteellinen ja teknologinen konteksti. Tällöin tieteellisten mallien kehittäminen voidaan liittää historialliseen kontekstiin tai tutkimuksellisuuden avulla voidaan opettaa tieteellisiä ajattelu- ja tutkimustapoja.<sup>17</sup>

**Taulukko 1:** Konteksti voidaan jakaa henkilökohtaiseen, sosiaaliseen ja yhteiskunnalliseen, ammatilliseen sekä tieteelliseen ja teknologiseen kontekstiin.<sup>17</sup>

|           | <b>Kontekstityyppi</b>           |
|-----------|----------------------------------|
| <b>a)</b> | henkilökohtainen                 |
| <b>b)</b> | sosiaalinen ja yhteiskunnallinen |
| <b>c)</b> | ammatillinen                     |
| <b>d)</b> | tieteellinen ja teknologinen     |

Kontekstin valinnalla voi olla suuri vaikutus oppijoiden kiinnostukseen ja motivaatioon. Kaikki oppijat eivät välttämättä kiinnostu samasta kontekstista, tai konteksti voi jopa viedä liikaa huomiota pois opiskeltavasta asiasta. Konteksti ei saisi myöskään olla liian monimutkainen, jotta oppijat pystyvät muodostamaan yhteyksiä kontekstin ja opiskeltavan asian välille. Kokeellisten töiden tapauksessa kontekstina voivat toimia myös tieteelliset menetelmät.<sup>17</sup>

### **3.4 Kokeelliset työt osana opetusta**

Havainnointi ja tutkiminen tukevat käsitteiden ymmärtämistä, auttavat oppimaan tutkimisen taitoja sekä hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta.<sup>1,2</sup> Kokeellisuus onkin keskeinen osa kemiaa ja sen opetusta. Kokeellisuus on monissa maissa ollut osa kemian opetusta jo 1900-luvun alun jälkeen.<sup>18</sup> Suomessa 1800-luvun vaihteessa kemisti, fyysikko ja mineralogi Johan Gadolin aloitti harjoitustyöt kemian opiskelijoille Turun yliopistossa. Gadolinia pidetäänkin kokeellisen opetuksen isänä Suomessa.<sup>19</sup>

Kokeellisen työn suunnittelussa tulisi etukäteen pohtia, mitä oppijan pitäisi työn aikana oppia, mikä on sopiva työtapo ja miten oppimista arvioidaan.<sup>20</sup> Töiden tavoitteista on käyty paljon keskustelua kirjallisuudessa.<sup>21-23</sup> Monessa tapauksessa mainituilla tavoitteilla oli sama sisältö, vaikka ne oli ilmaistu eri sanoin. Pääasiallisia tavoitteita voidaan sanoa olevan kahdeksan. Ne on kirjattu taulukkoon 2.

**Taulukko 2:** Kokeellisuuden kahdeksan yleisintä tavoitetta opetuksessa. <sup>23</sup>

|    |   |
|----|---|
| 1. | Kehittää manipulatiivisia taitoja ja tekniikoita                                  |
| 2. | Edistää havainnointitaitoja ja havaintojen kuvailua                               |
| 3. | Havainnollistaa käsitteitä, lakeja tai periaatteita                               |
| 4. | Tieteellisen ilmiön kokeminen   |
| 5. | Lisätä motivaatiota, kiinnostusta ja iloa   |
| 6. | Kehittää avarakatseisuutta ja objektiivisuutta                                    |
| 7. | Kehittää ymmärrystä tieteellistä menettelytapaa ja sen antamia todisteita kohtaan |
| 8. | Antaa kokemusta tieteen tekijänä olosta.  |

Lisäksi kokeellisten töiden tulisi tukea valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa mainittuja tavoitteita. Työllä voi olla yhtä aikaa useita eri tavoitteita, kuten tietojen oppiminen, taitojen oppiminen ja kemian tieteen luonteen oppiminen. Tavoitteet pitäisi selkeästi kertoa myös oppijoille.<sup>20,24</sup>

Kokeellisen työn tehtävänanto voi olla suljettu tai avoin. Joskus se voi olla myös näiden yhdistelmä. Suljetussa tehtävänannossa työohje on yleensä reseptimäinen. Tällöin oppimiskokemus on usein passiivinen, eivätkä oppijoiden korkeamman tason ajattelutaidot kehity. Tällainen työskentely ei myöskään anna realistista kuvaa tieteellisen tutkimuksen tekemisestä. Avoimen tehtävänannon sisältävä kokeellinen työ on oppijakeskeinen, vaatii oppijoilta itseltään tutkimuksen suunnittelua eikä ole yhtä suuntaa antava kuin suljetun tehtävänannon sisältävä kokeellinen työ.<sup>25</sup>

## **4 TEOREETTINEN ONGELMA-ANALYYSI**

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi mitä chilit (kuva 4) ovat, mistä ne ovat lähtöisin ja mitä kemiallisia yhdisteitä ne sisältävät. Kappaleessa myös tutustutaan kapsaisiiniin ja sen biosynteesiin sekä pohditaan, mitä mahdollisuuksia chilien opetuskäytöllä voi olla. Tämän jälkeen tarkastellaan kemian opetuksen tavoitteita vuoden 2019 opetussuunnitelman perusteissa ja valitaan, mitä niistä halutaan sisällyttää kehitettävään työhön. Lisäksi suunnitellaan, mitä muita tavoitteita kehitettävällä työllä on. Näin saadaan vastaukset tutkimuskysymyksiin 1 ja 2.

## 4.1 Chili



**Kuva 4:** Vihreä chili ja Naga Jolokia. Kyseisiä chilejä käytettiin myös opiskelijoita varten kehitetyssä työssä.

Koisokasvien heimoon ja *Capsicum*-sukuun kuuluvat chilipaprikat ovat fakultatiivisia, diploidisia ja itsepölyttäviä kasveja.<sup>26</sup> Näiden hedelmällä on monia terveyttä edistäviä vaikutuksia. Niiden sisältämät aineet muun muassa tehostavat aineenvaihduntaa, vähentävät rasvan imeytymistä ja toimivat antikarsinogeneineinä. Lisäksi niissä on paljon E- ja C-vitamiinia sekä karotenoideja.<sup>27</sup>

### 4.1.1 Chilin historiaa

Chilit ovat yksi vanhimmista viljellyistä kasveista. Chilien viljely ja käyttö on alkanut lähes 10 000 vuotta sitten Etelä- ja Keski-Amerikassa. Niitä käytettiin muun muassa ruuanlaitossa, vihollisen sokaisemiseen taistelun aikana sekä kivunlievitykseen.<sup>27</sup> Eurooppaan chilit tulivat vasta Kristoffer Kolumbuksen ja hänen löytöretkiensä seurauksena.<sup>28</sup> Nimitystä ”chili” käyttivät ensimmäisenä Atsteekit. Latinankielisen nimityksen *Capsicum* antoi ranskalainen kasvitieteilijä Joseph Pitton de Tournefort 1600-luvun lopussa.<sup>29</sup>

Vaikka chilit ovat olleet tunnettuja tulisesta maustaan jo tuhansia vuosia, on niiden kemiallisten ainesosien tutkiminen alkanut vasta 1800-luvun alkupuolella. Chilipaprikoiden tulisuuutta on historian aikana koitettu määrittää eri tavoin. Wilbur Scoville kehitti ensimmäisen aisteihin perustuvan kokeen tähän tarkoitukseen vuonna 1912.<sup>29</sup> Kokeen nimeksi tuli Scovillen koe, ja sen avulla määritettiin Scovillen tulisuusasteikko, joka on yhä käytössä tänä päivänä. Tulisuusasteikon yksikkönä

käytetään Scovillen Heat Unit:a (SHU).<sup>30</sup> Taulukkoon 3 on koottu neljän esimerkkichilin tulisuusasteet tässä yksikössä.

Kokeessa käytettiin kuivattua chilijauhetta, jota liotettiin yön yli alkoholiliuoksessa. Liuos suodatettiin ja laimennettiin lisäämällä siihen sokeroitua vettä. Eri pitoisia laimennoksia maisteltiin, kunnes saatiin niin laimea liuos, ettei polttelua enää tuntunut kielellä. Jos alkoholiliuosta piti laimentaa 1:50 000, oli chilin tulisuusaste 50 000 SHU:ta.<sup>30</sup>

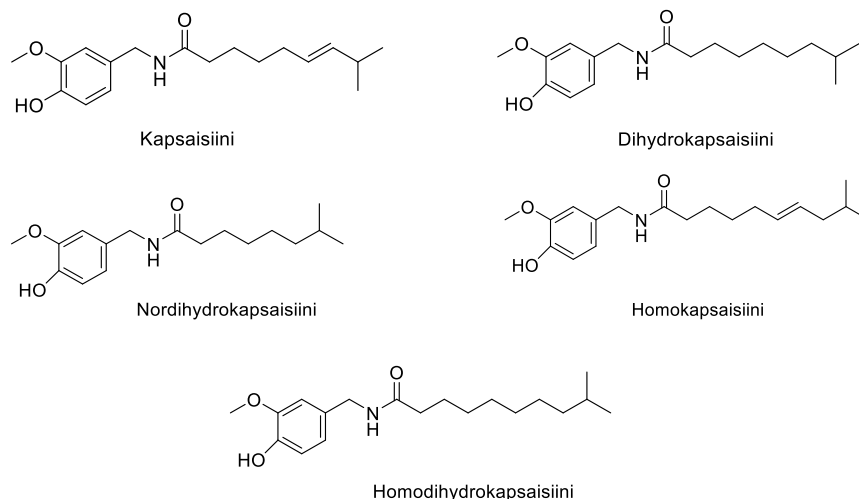
Vaikka koe antaakin hyvin osviittaa eri chililajikkeiden tulisuusasteista, on se liian epätarkka ja subjektiivinen käytettäväksi chilin kemiallisten yhdisteiden kvantitatiiviseen tutkimiseen. Sen tilalla käytetään monia uusia, nopeampia ja tarkempia menetelmiä. Tällaisia ovat esimerkiksi UV-VIS-spektrometria, ohutkerroskromatografia (TLC), korkean erotuskyvyn nestekromatografia (HPLC) sekä nestekromatografia-massaspektrometria (LC-MS).<sup>29</sup>

**Taulukko 3:** Chilien tulisuusasteita Scovilleina. <sup>30</sup>

| Lajike          | Tulisuus (SHU)      |
|-----------------|---------------------|
| Carolina Reaper | 1 400 000–2 200 000 |
| Naga Jolokia    | 800 000–1 000 000   |
| Cayanne         | 30 000–50 000       |
| Jalapeno        | 2500–5000           |

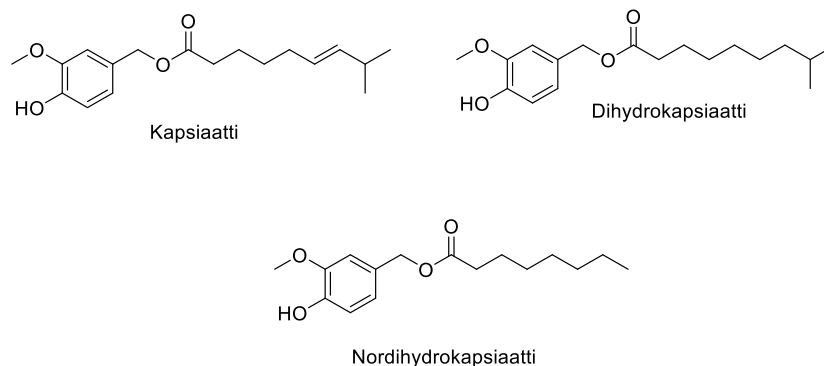
#### 4.1.2 Chilin sisältämät kemialliset yhdisteet

Ruuanlaitossa chilien suosio johtuu yleensä niiden antamasta tulisesta mausta. Tämän tulusuuden saavat aikaan chilin siemenkodassa muodostuvat kemialliset yhdisteet, kapsaisinoidit. Niiden tarkoitus on suojata chilin marjaa muun muassa kasvinsyöjänisäkkäiltä ja sieni-infektioilta. Yli 90 %:a chilin sisältämistä kapsaisinoideista on kapsaisiinia ja dihydrokapsaisiinia.<sup>27,31</sup> Muita kapsaisinoideja ovat homokapsaisiini, homodihydrokapsaisiini sekä nordihydrokapsaisiini (kuva 5).<sup>32</sup>



**Kuva 5:** Chilin sisältämät erilaiset kapsaisinoidit ja niiden rakennekaavat.

Kapsaisinoidien kaltaisia yhdisteitä ovat kapsinoidit. Näiden haaraketjuisten rasvahapon ja vanillyylialkoholin johdannaisten rakenne lähes samanlainen kuin kapsaisinoidien, mutta niiden hiiliketju on sitoutunut aromaattiseen renkaaseen esteriryhmän kautta. Kapsaisinoideilla sitoutuminen tapahtuu amidiryhmän kautta. Kolme yleisintä kapsinoidia ovat kapsiaatti, dihydrokapsiaatti ja nordihydrokapsiaatti (kuva 6).<sup>33</sup>



**Kuva 6:** Kolme yleisintä kapsinoidia: kapsiaatti, dihydrokapsiaatti ja nordihydrokapsiaatti.

Kapsinoidit eivät aiheuta yhtä polttavaa ja ärsyttävää tunnetta kuin kapsaisinoidit. Biologisilta, fysiologisilta ja farmakologisilta vaikutuksiltaan ne ovat kuitenkin hyvin samanlaisia. Tästä syystä näiden yhdisteiden käyttöä kapsaisinoidien sijasta lääketeollisuudessa tutkitaan.<sup>34</sup>

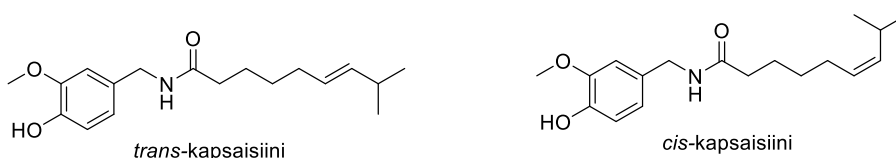
Lisäksi chilit sisältävät muun muassa erilaisia karotenoideja, jotka vaikuttavat niiden väriin. Punaisen värin chilissä saavat pääasiassa aikaan kapsantiini ja sen johdannaiset. Vihreät chilit puolestaan sisältävät enimmäkseen luteiinia,  $\beta$ -karoteenia ja neoksantiinia.<sup>35</sup>

### 4.1.3 Kapsaisiini

1800-luvun lopussa kemisti John Clough Thresh eristi onnistuneesti chilipaprikasta tulisuutta aiheuttavan ainesosan. Hän nimesi kyseisen ainesosan kapsaisiiniksi. Kapsaisiinin rakenteen selvittivät kuitenkin E.K. Nelson ja Dawson vasta vuonna 1919.<sup>29</sup>

Chilin sisältämistä kapsaisinoideista noin 70 %:a on kapsaisiinia.<sup>32</sup> Kapsaisiini ( $C_{18}H_{27}NO_3$ ) on rasvaliukoinen amidi, joka on vanillyyliaminin ja 8-metyyli-*n*-noneniinihapon johdannainen. Kiderakenteeltaan kapsaisiini on monokliininen ja huoneenlämpötilassa hiutale- tai lastumainen. Se liukenee hyvin orgaanisiin liuottimiin, kuten metanoliin ja petrolietteriin. Myös väkevä suolahappo liuottaa kapsaisiinia.<sup>36</sup> Kapsaisiini on selektiivinen hermomyrky aistihermosoluille, joka saa aikaan kipureaktion.<sup>37</sup>

Rakenteeltaan kapsaisiinimolekyylillä on mahdollista jakaa kolmeen osaan: aromaattiseen renkaaseen, amidisidokseen sekä hydrofobiseen ketjuun. Sillä on myös kaksi eri isomeriamuotoa (kuva 7). Tämä johtuu alifaattisen hiiliketjun kuudennen ja seitsemännen hiilen välillä olevasta kaksoissidoksesta. Synteettisessä kapsaisiinissa esiintyy sekä *cis*-että *trans*-muotoa, mutta luonnosta saatavassa vain *trans*-muotoa. *Cis*-muoto on epästabiilimpi kuin *trans*-muoto. *Cis*-muodossa on  $-CH(CH_3)_2$ -osa lähempänä kaksoissidoksen toisella puolella olevaa pitkää hiiliketjua. Tämä aiheuttaa lievän hylkimisreaktion, jollaista *trans*-muodolla ei esiinny.<sup>36</sup>



**Kuva 7:** Kapsaisiinilla on kaksi isomeriamuotoa. *Cis*-muotoista kapsaisiinia muodostuu vain, kun kapsaisiinia valmistetaan synteettisesti.<sup>36</sup>

Kapsaisiinin tuottaminen ja varastointi alkavat jo chilin hedelmän varhaisessa kehitysvaiheessa, ja ne jatkuvat koko hedelmän kasvun ajan. Kapsaisiinin muodostuminen alkaa siemenkannassa (kuva 8) ja hedelmälihan rauhasissa, joista se kuljetetaan sytoplasman läpi vesikkeleissä. Kun yksittäiset vesikkelit yhdistyvät, varastoituu kapsaisiini epidermisolujen vesikkeliin plasmayhdistymiin.<sup>34</sup>





**Kuva 8:** Chilin tulisin osa on sen keskellä oleva vaalea seinämä, johon myös siemenet ovat kiinnittyneet. Tulisuus johtuu siihen varastoituneesta kapsaisiinista.<sup>34</sup>

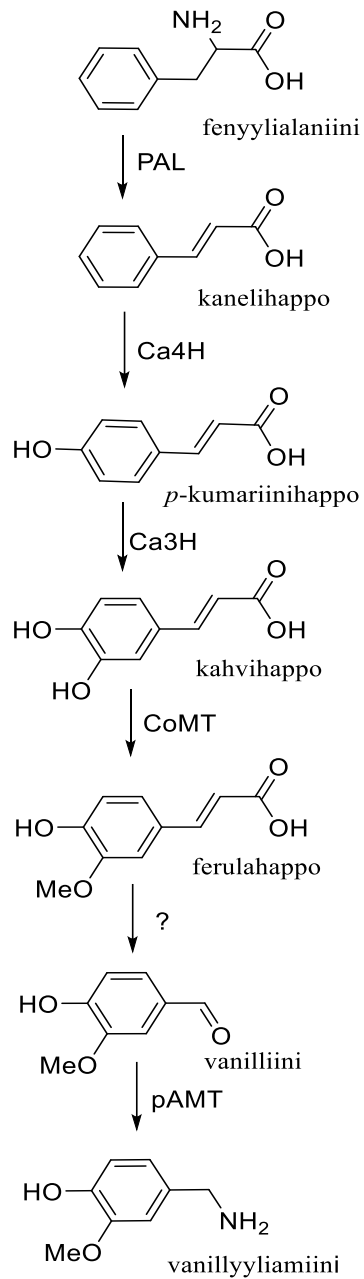
Kapsaisiinin biosynteesiin osallistuvia geenejä ja entsyymeitä on tutkittu hyvin vähän, vaikka itse biosynteesi on ollut tunnettu jo 1960-luvulta asti. Biosynteesissä esiintyy välivaiheita kahdesta eri biosynteesireitistä, fenyylipropanoidireitistä ja haaraketjuisten rasvahappojen reitistä.<sup>34</sup> Biosynteesireitti on esitetty kaaviossa 1.

Fenyylipropanoidireitin lähtöaine on fenyylialaniini, joka muuttuu kanelihapoksi fenyylialaniiniammonialyaasi-entsyymin (PAL) vaikutuksesta. Useiden entsyymaattisten vaiheiden kautta kanelihappo muutetaan *p*-kumariinihapoksi, kahvihapoksi, ferulahapoksi ja lopulta vanilliiniksi. Tämän aikaansaavia entsyymejä ovat kanelihappo-4-hydroksylaasi (Ca4H), kumaraatti-3-hydroksylaasi (Ca3H), kahveoyyli-O-metyylitransferaasi (CoMT) sekä hydroksikanelihappo-CoA-hydrataasi tai hydroksikanelihappo-CoA-lyyaasi. On myös mahdollista, että CoMT:n sijaan syntetisointiin osallistuukin 4-kumaryyli-CoA-ligaasi (4CL), hydroksikanelihappotransferaasi (HCT) tai kofeyyli-CoA-Ometyylitransferaasi (CCoAOMT).<sup>34,38</sup>

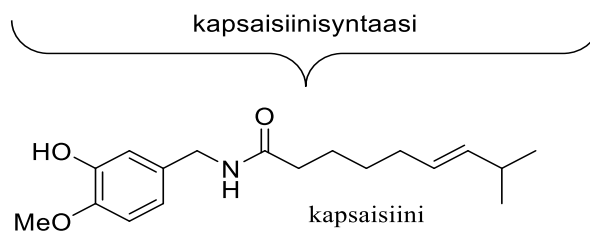
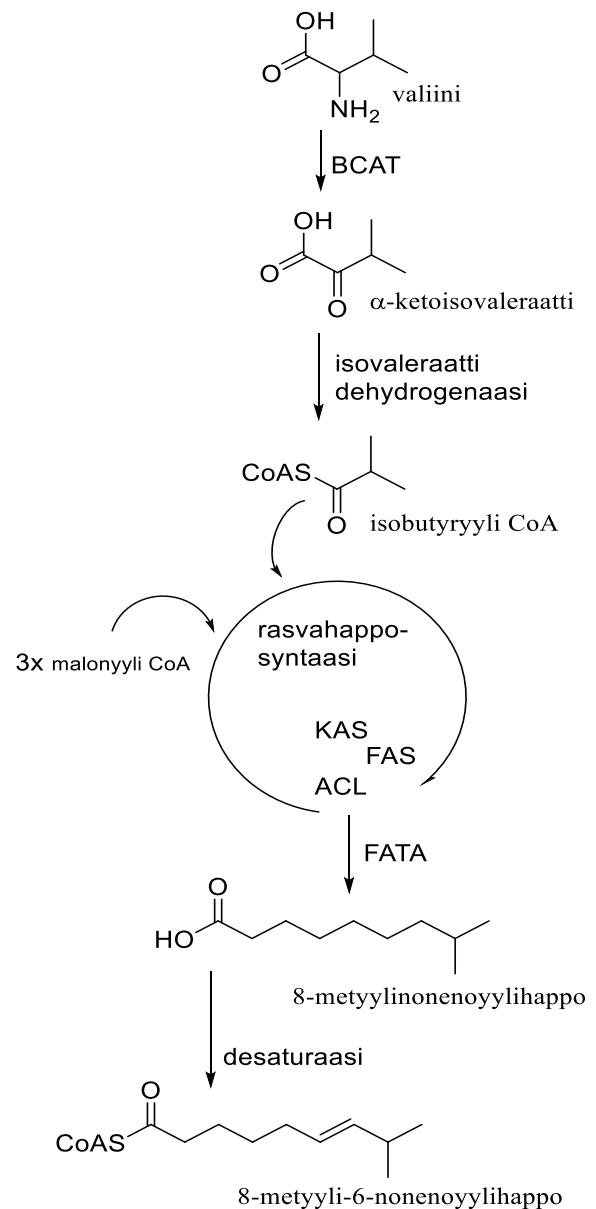
Haaraketjuisten rasvahappojen reitin lähtöaineena toimii valiini tai leusiini. Isobutyryylihapon muuntaa 8-metyylinonenoiniinihapoksi rasvahapposyntaasikompleksi. Vanillyyliamiinin ja 8-metyyli-6-nonenoiniinihapon yhdistää kapsaisiiniksi kapsaisinoidisyntaasi.

Kyky olla tulinen on chileillä dominoivasti periytyvä ominaisuus. Tästä ominaisuudesta vastaava dominoiva alleeli sijaitsee 2. kromosomin Pun1 lokuksessa. Tämä geeni vaikuttaa niin kapsaisiinin biosynteesitehokkuuteen kuin kasvin vesikkeleiden kehittymiseen. Tulisuuden suuruusaste on kuitenkin kvantitatiivisesti periytyvä ominaisuus ja geenien lisäksi siihen vaikuttaa myös chilin kasvuympäristö.<sup>34,38</sup>

### Fenyylipropanoidireitti



### Haaraketjuisten rasvahappojen reitti



**Kaavio 1:** Kapsaisiinin biosynteesireitti. Biosynteesiin osallistuvia entsyymeitä ovat fenyylialaniiniammonialaasi-entsyymi (PAL), kanelihappo-4-hydroksylaasi (Ca4H), kumaraatti-3-hydroksylaasi (Ca3H), kahveoyyli-O-metyylitransferaasi (CoMT), oletettu aminotransferaasi (pAMT), haaraketjuisten aminohappojen transferaasi (BCAT), rasvahapposyntaasikompleksi (FAS), β-ketoasyyliisyntaasientsyymi (KAS), asyylikantajaproteiini (ACL), asyyli-ACP-tioesteraasi (FATA), desaturaasi ja kapsaisiinisyntaasi.<sup>34</sup> Kaavio on tehty mukaillen lähteen 34 kaaviota.

Kapsaisiinilla on havaittu olevan jonkin verran ehkäiseviä tai jopa parantavia vaikutuksia rintasyöpään, peräsuolisyöpään, eturauhassyöpään, ihosyöpään ja munuaissyöpään. Tämä johtuu muun muassa siitä, että kapsaisiini saa aikaan syöpäsolujen apoptoosin eli ohjatun solukuoleman. Lisäksi se estää angiogeneesiä eli verisuonten kasvua syöpäsolulle ja pysäyttää syöpäsolun solusyklin G1- tai G2 -vaiheeseen eli vaiheeseen juuri ennen solun jakautumista. Sekä miehillä että naisilla ilmenevää munuaissyöpää voidaan todennäköisesti vähentää syömällä runsaasti chilipitoista ruokaa, koska kapsaisiinia kerääntyy eniten munuaisiin ja vähiten maksaan.<sup>39,40</sup>

Kivunlievitykseen voidaan myös käyttää kapsaisiinia sisältäviä lääkkeitä ja voiteita. Tällaisia lääkkeitä käytetään usein migreeniin, niskasärkyyn, nivelrikkoon, suun haavaumiin sekä ärtyneen suolen oireyhtymään.<sup>41,42</sup> Tämän lisäksi kapsaisiinia voidaan mahdollisesti käyttää painonhallintaan.<sup>43,44</sup>

#### *4.1.4 Chili opetuksessa*

Chilien käyttö opetuksessa antaa mahdollisuuden kontekstuaaliseen opetukseen. Kontekstina ja mielenkiinnon herättämiseen voidaan hyödyntää kapsaisiinin monia terveysvaikutuksia.<sup>39-44</sup> Näin voidaan myös saada oppijat ymmärtämään luonnontieteellisen tutkimuksen tärkeys ja relevanssi jokapäiväisen elämän kannalta. Samalla liitetään kemiallinen tutkimus mahdollisesti oppijoiden henkilökohtaiseen kontekstiin sekä sosiaaliseen ja yhteiskunnalliseen kontekstiin. Terveysvaikutusten lisäksi myös erilaiset tutkimusmenetelmät, kuten UV-VIS-spektrometria ja nestekromatografia-massaspektrometria, sopivat hyvin kontekstiksi.

Chilejä on mahdollista tutkia myös aistinvaraisesti. Katsomalla chilien värejä voidaan esimerkiksi arvioida, millaisia karotenoideja ne sisältävät. Haistamalla voidaan havaita joidenkin aromaattisten aineiden läsnäolo, ja maistamalla pystytään arvioimaan chilien tulisuutta. Näin päästään myös hyvin liikkeelle tutkimalla makrotason ilmiöitä ensin, minkä jälkeen voidaan siirtyä kohti submikrotasoa ja symbolista tasoa. Chilit ovat todennäköisesti myös kaikille tuttuja, jolloin opiskeltava asia tai tutkimus saadaan liitettyä oppijoiden omaan elämään ja henkilökohtaiseen kontekstiin.

Chilit sisältävät monia erilaisia kemiallisia yhdisteitä, joita voidaan tutkia eri menetelmillä. Näin chilien käyttö opetuksessa mahdollistaa myös kokeellisten töiden tekemisen. Näiden avulla annetaan oppijoille mahdollisuus saada kokemusta

tieteentekijöinä olosta, edistää heidän havainnointitaitojaan sekä kehittää heidän ymmärrystään tieteellistä menettelytapaa ja sen antamia todisteita kohtaan.<sup>23</sup>

Monet chilien sisältämistä kemiallisista yhdisteistä ovat kuitenkin hyvin monimutkaisia, yläkoulu- ja lukioikäisille täysin tuntemattomia, eikä niiden vaikutusta chilin ominaisuuksiin välttämättä pystytä selittämään yksiselitteisesti.<sup>45</sup> Kapsaisiini on suhteellisen yksinkertainen yhdiste, jolla on selkeä vaikutus chilin tulisuuteen.<sup>31</sup> Siksi chileihin liittyvässä kokeellisessa työssä on hyvä keskittyä nimenomaan kapsaisiinin ja sen pitoisuuden tutkimiseen. Toisaalta chilien sisältämä kapsaisiini tuottaa haasteen chilien opetuskäytölle, koska se voi ärsyttää ihoa ja limakalvoja.<sup>37</sup>

Kapsaisiinipitoisuutta on mahdollista tutkia erilaisilla menetelmillä kuten kohdassa 4.1.1 mainitaan. Kouluopetuksen kannalta monet näistä menetelmistä ovat kuitenkin hankalia toteuttaa. Yleensä niihin tarvitaan kalliita mittalaitteita, joihin kouluilla ei ole varaa. Usein kyseiset menetelmät myös vaativat tietotaitoa, jollaista yläkoulu- tai lukioikäisillä ei vielä ole. Chilien kapsaisiinipitoisuutta tutkivan työn pitää siis sisältää tutkimusmenetelmä, jossa kalliita mittalaitteita tai suurta määrää ennako-osaamista ei tarvita. Työssä käytettävän menetelmän pitää kuitenkin antaa mahdollisimman luotettavia tuloksia eli olla toimiva.

## **4.2 Kemian opetuksen sisältö ja tavoitteet vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteissa ja tavoitteet kehitettävälle työlle**

Paikalliset opetussuunnitelmat laaditaan Opetushallituksen antaman Opetussuunnitelman perusteiden pohjalta. Tämän takia on tärkeää, että myös tässä kehitystutkimuksessa laadittava kokeellinen työ sisältää siinä mainittuja tavoitteita. Tässä tarkastellaan vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteita, koska kokeellinen työ on suunnattu lukiolaisille. Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteissa painotetaan muun muassa laaja-alaisen osaamisen tärkeyttä oppiaineissa.<sup>1</sup> Kemian osalta mainitaan muun muassa turvallisuusosaaminen, vuorovaikutusosaaminen, hyvinvointiosaaminen, TVT-taidot, monitieteellinen osaaminen sekä luova osaaminen.<sup>1</sup>

Kokeellinen työ auttaa opiskelijoita kehittämään laaja-alaista osaamistaan, koska kokeellisia töitä tehtäessä noudatetaan kemikaali-, jäte- ja työturvallisuuslainsäädäntöä. Näin kehitetään opiskelijoiden turvallisuusosaamista. Töitä voidaan tehdä ryhmissä, joissa jokaisella opiskelijalla on oma rooli ja vastuualue. Näin harjoitellaan vuorovaikutusosaamista ja yhteistyötaitoja. TVT-taitoja ja monitieteellistä osaamista

opitaan raportteja kirjoittamalla. Luova osaaminen ilmenee kykynä muodostaa kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä, hankitun tiedon arvioinnissa, soveltamisessa, yhdistelemisessä sekä analysoinnissa.<sup>2</sup>

LOPS 2019:n mukaan opintojen tulisi myös antaa opiskelijoille valmiudet suunnitella ja toteuttaa tieteellinen tutkimus. Tätä varten opiskelijan pitää pystyä muodostamaan kysymyksiä tarkasteltavista ilmiöistä, tietää erilaisia tutkimusmenetelmiä, osata työskennellä laboratorion turvallisuussääntöjen mukaisesti sekä osata käsitellä, tulkita ja esittää tutkimuksesta saatuja tuloksia sekä analysoida ja arvioida niitä ja tutkimusprosessia.<sup>1</sup> LOPS 2019:n keskeinen sisältö on tarkemmin koottu taulukkoon 4.

**Taulukko 4:** Keskeinen sisältö vuoden 2019 LOPS:issa.<sup>1</sup>

|     | <b>LOPS 2019 keskeinen sisältö</b>  |
|-----|---|
| 1.  | Arjen aineiden turvallisuuden arviointi ja kemian merkitys omassa elämässä                              |
| 2.  | Kemian merkitys työelämässä ja jatko-opinnoissa   |
| 3.  | Jaksollinen järjestelmä ja atomin rakenne elektronikuorimallin avulla                                   |
| 4.  | Puhtaat aineet, seokset ja erotusmenetelmät   |
| 5.  | Ainemäärä ja konsentraatio  |
| 6.  | Tutustuminen joihinkin esimerkkeihin kestävä elämäntavan edistämiseksi luonnontieteissä                 |
| 7.  | Aineen rakenteen mallien ja yhdisteen kaavan esittäminen  |
| 8.  | Alkuaineiden ja yhdisteiden vahvat ja heikot sidokset sekä poolisuus                                    |
| 9.  | Aineiden ominaisuuksien tutkiminen kokeellisesti ja selittäminen aineen rakenteen avulla                |
| 10. | Liuoksen valmistus ja laimentaminen sekä standardisuoran sovittaminen pitoisuuden määrittämiseksi       |
| 11. | Hiilivetyjen sekä hiilen happi- ja typpiyhdisteiden funktionaaliset ryhmät ja nimeämisen perusteet      |
| 12. | Hapettuminen ja pelkistyminen hiilen happiyhdisteissä   |
| 13. | Hiilen yhdisteiden rakenteiden mallintaminen ja ominaisuuksien selittäminen rakenteen avulla            |
| 14. | Suhdekaavan ja molekyylikaavan selvittäminen laskennallisesti sekä rakenneisomeria                      |
| 15. | Kvanttimekaaninen atomimalli, hybridisaatio ja stereoisomeria hiiliyhdisteissä                          |
| 16. | Tutustuminen spektrien antamaan informaatioon aineen rakenteesta  |
| 17. | Reaktioiden tutkiminen kokeellisesti sekä tutkimustulosten käsitteleminen, tulkitseminen ja esittäminen |
| 18. | Kemiallisen reaktion symbolinen ilmaisu ja tasapainottaminen, reaktiotuotteiden kaavat ja nimet         |
| 19. | Saanto ja rajoittava tekijä kemiallisessa reaktiossa  |
| 20. | Ideaalikaasun tilanyhtälö ja ainemäärä  |
| 21. | Saostumis- ja hajoamisreaktio, palamisreaktio   |
| 22. | Protolyysi, neutraloituminen ja titraus analyysimenetelmänä   |

|     |   |
|-----|---|
| 23. | Additio, eliminaatio, substituutio, kondensaatio ja hydrolyysi hiilyhdisteissä sekä yleisimpien biomolekyylien muodostuminen            |
| 24. | Polymeroitumisreaktiot, polymeerien ominaisuudet, käyttö ja elinkaari   |
| 25. | Reaktiossa sitoutuva tai vapautuva energia muodostumisentalpioiden, sidosenergioiden ja Hessin lain avulla                              |
| 26. | Reaktiosarja- ja seoslaskujen periaatteet   |
| 27. | Hapetusluvut ja hapettumis-pelkistymisreaktiot  |
| 28. | Metallien ominaisuuksia ja käyttökohteita, valmistus- ja jalostusprosesseja sekä riittävyys ja kierrätettävyys                          |
| 29. | Sähkökemian keskeiset periaatteet: jännitesarja, normaalipotentiali, kemiallinen pari, elektrolyysi ja kemiallisen energian varastointi |
| 30. | Luonnontieteelliseen tutkimukseen tutustuminen tai tutkimuksen tai ongelmanratkaisun ideointi ja suunnittelu                            |

Kehitettävään kokeelliseen työhön haluttiin edellä mainitusta lukion opetussuunnitelman perusteista tavoitteet turvallisuusosaamisesta, vuorovaikutusosaamisesta ja TVT-taidoista. Lisäksi työhön haluttiin sisällyttää keskeisistä sisällöistä kohta 1 eli arjen aineiden turvallisuuden arviointi ja kemian merkitys omassa elämässä. Näin saatiin myös ratkaisu ongelmaan, joka koski chilin sisältämän kapsasiinin aiheuttamaa ärsytystä iholla ja limakalvoilla. Muita sisällytettäviä keskeisiä sisältöjä olivat ainakin osittain kohdat 4, 7, 9, 10, 17, 18 ja 30. Työn muita tavoitteita olivat sen toimivuus, tutkimisen liittäminen johonkin kontekstiin ja optimaalisen oppimistilanteen syntymisen tukeminen. Jotta työn aikana päästäisiin mahdollisimman lähelle optimaalista oppimistilannetta, pitäisi työn olla oppijoiden mielestä kiinnostava, hyödyllinen, uteliaisuutta herättävä ja haastava. Toisaalta työ ei saisi olla liian vaikea tai haasteellinen. Oppijoita ja heidän ajatteluaan olisi hyvä aktivoida heti työn alussa esimerkiksi avoimella tai puoliavoimella työohjeella.

## 5 KEHITTÄMISPROSESSI

Tässä luvussa käydään läpi työn kehittämisen eri vaiheet, työn testaaminen opiskelijoilla sekä opiskelijoille laadittu kysely kehitetystä työstä. Kokeellisen työn kehittämisen ensimmäinen vaihe oli määrittää näytteiden kapsasiinipitoisuudet nestekromatografia-massaspektrometrin avulla. Tällä menetelmällä saatiin tarkasti ja luotettavasti selville eri chililajikkeiden kapsasiinipitoisuudet. Kehittämistutkimuksen päämääränä oli kuitenkin kehittää työ, joka on vaatimustasoltaan lukio-opiskelijoille sopiva, ja joka voitaisiin toteuttaa lähes missä tahansa lukiossa. Kyseistä menetelmää ei voitu sellaisenaan käyttää opiskelijoille tarkoitetussa työssä, koska se vaatii taitoja ja tietoja, joita lukio-

opiskelijoilla ei välttämättä vielä ole. Lisäksi siinä käytetyt laitteet ovat kalliita, eikä niitä ole tavallisissa kouluissa käytettävissä. Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmassa painotetaan kokeellisten töiden tekemistä, joten oli tärkeää, että opiskelijoilla oli mahdollisuus päästä itse tekemään ja tutkimaan työn aikana. Kehitettävää työtä varten tarvittiin siis yksinkertaisempi ja helpompi menetelmä.

Eräs nestekromatografia-massaspektrometriaa yksinkertaisempi menetelmä on Folin-Ciocalteu -menetelmä. Menetelmän taustalla on hapettumis-pelkistymisreaktio, jossa liuokseen muodostuu sininen väri. Väriin intensiteetti voidaan mitata spektrofotometrillä aallonpituusalueella 730–760 nm. Reaktio tapahtuu kapsaisiinin vanillyyliosan kanssa.<sup>46</sup> Menetelmässä käytetään yleensä natriumkarbonaattia Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (20 %). Tämä korvattiin natriumhydroksidilla (1 M), jotta se soveltuisi paremmin lukiassa tehtäväksi. Menetelmä ei kuitenkaan ole kapsaisiinille spesifinen, vaan siinä hapettuu myös muita näytteiden sisältämiä yhdisteitä. Tämän vuoksi menetelmän avulla ei pystytä varmuudella sanomaan sisältääkö jokin näyte kapsaisiinia vai ei. Yksi tutkittavista näytteistä oli paprika, joten sen tunnistamiseen piti käyttää jotain muuta menetelmää. Paperikromatografia on helppo ja yksinkertainen analyysimenetelmä, joten se sopi tähän tarkoitukseen mainiosti. Seuraavissa alaluvuissa on kuvailtu kehitetyn työn kunkin kehitysvaiheen osiot.

## 5.1 Näytteiden kapsaisiinipitoisuuden määrittäminen nestekromatografia-massaspektrometrian avulla

Työssä käytettiin kolmea erilaista chiliä ja yhtä paprikaa, jotka oli ostettu ruokakaupasta. Paprikan alkuperämaa oli Suomi, vihreän chilin Meksiko ja Naga Jolokian sekä Carolina Reaperin Alankomaat. Työssä käytetyt reagenssit ja standardit on kirjattu taulukkoon 5.

**Taulukko 5:** LC-MS-analyysissä käytetyt reagenssit ja standardit.

| Reagenssi          | Valmistaja    | Puhtaus    | Laatu |
|--------------------|---------------|------------|-------|
| Etanoli            | Altia Oyj     | 99,5 %     | Aa    |
| Metanoli           | VWR           | 98,5 %     | LC-MS |
| Kapsaisiini        | Sigma-Aldrich | Natural    | HPLC  |
| Dihydrokapsaisiini | Sigma-Aldrich | 85,0 %     | HPLC  |
| Fenasetiini        | Sigma-Aldrich | 98,0 %     | HPLC  |
| Asetonitriili      | VWR           | 99,9 %     | LC-MS |
| Muurahaishappo     | Merck         | 98,0–100 % | LC-MS |

Aluksi chilit ja paprika paloitetiin pieniksi paloiksi. Osa paloista laitettiin kuivumaan uuniin noin 55 °C:a kolmeksi vuorokaudeksi. Loput palat laitettiin folioon käärittyinä kylmäkuivaajaan. Kun palat olivat täysin kuivuneet, ne jauhettiin hienoksi jauheeksi kuvan 9 mukaisesti.



**Kuva 9:** Kuivatut chilit ja paprika jauhettiin hienoksi jauheeksi. Mitä hienompaa jauhetta näytteistä tehdään, sitä paremmin niistä saadaan erotettua kapsaisiinia. Näytteet kuivattiin ja jauhettiin vuoden 2021 syksyllä pian niiden ostamisen jälkeen.

Kutakin jauhetta punnittiin uuttoa varten 1 mg Eppendorf-putkiin. Näytteisiin lisättiin 1400 µl:a metanoli/vesi (80:20 v/v) liuosta, minkä jälkeen ne asetettiin 5 minuutiksi vorteksiin.

Vorteksissa olon jälkeen näytteet laitettiin tasoravisteliijaan 3 tunnin ajaksi. Tämän jälkeen näytteitä sentrifugoitiin 10 minuuttia. Neste dekantoiitiin uusiin Eppendorf-putkiin. Nämä asetettiin Eppendorf-konsentraattoriin, kunnes metanoli oli haihtunut näytteistä. Tämä kesti noin 2 tuntia.

Alkuperäisiin Eppendorf-putkiin lisättiin 1400 µl:a metanoli/vesi (80:20 v/v) liuosta, ja ne laitettiin taas vorteksien kautta tasoravisteliijaan 3 tunniksi. Kolmen tunnin tasoravistelijassa olon jälkeen myös nämä näytteet sentrifugoitiin kuten edellä mainitut. Neste dekantoiitiin samoihin Eppendorf-putkiin kuin ensimmäinen erä. Putket laitettiin pakastimeen odottamaan yön yli.

Seuraavana päivänä kyseiset Eppendorf-putket laitettiin Eppendorf-konsentraattoriin noin 2,5 tunniksi. Metanolin haihtumisen jälkeen putket laitettiin pakastimeen 3 tunniksi, ja tämän jälkeen kylmäkuivaajaan yöksi.

Kapsaisiinille, dihydrokapsaisiinille ja fenasetiinille valmistettiin standardiliuokset. Ensin valmistettiin kantaliuokset, joiden pitoisuudet olivat 1 mg/ml. Kapsaisiinin ja



dihydrokapsaiisiin tapauksessa kantaliuos laimennettiin pitoisuuksiin 10, 1, 0,1, 0,01 ja 0,001 ng/ml. Fenasetiini laimennettiin pitoisuuteen 100 ng/ml.

Kylmäkuivattuihin näytteisiin lisättiin 1 ml:a etanolia, ja ne laitettiin 6 minuutiksi vorteksiin. Näytteistä tehtiin 1:49 laimennokset.

Chiliä sisältävät näytteet suodatettiin 1 ml:n muoviviruiskulla 0,2 µm:n PTFE suodattimen läpi. Jokaista suodatettua näytettä otettiin 180 µl:a, ja tähän lisättiin 20 µl:a fenasetiinia sisäiseksi standardiksi nestekromatografia-massaspektrometria varten. Standardiliuokset käsiteltiin samanlailla. Jokaista pipetoitiin 100 µl:a UPLC-näytepullojen sisäputkiin. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaismäärittystä ja jokaisesta standardista neljä.

Näytteet analysoitiin UPLC-laitteella (Waters corp., Milford, MA, USA), johon oli yhdistetty Xevo TQ kolmoiskvadrupolimassaspektrometri (Waters corp., Milford, MA, USA). UPLC-laite koostui näytteen automaattisesta näytteensyöttäjästä, sähkösumutus-ionilähteestä, pumpusta, kolonnista ja diodirividetektorista. Käytetty kolonni oli 100 mm × 2,1 mm ja 1,7 µm UPLC BEH fenyyl-kolonni.

Eluenteina käytettiin asetonitriiliä (A) ja 0,1 % muurahaishapon vesiliuosta (B) virtausnopeudella 0,5 ml/min seuraavasti: 0–0,5 min: 20% A; 0,5–2,0 min: 20%–55% A; 2,0–3,0 min: 55% A; 3,0–3,1 min: 55%–80% A; 3,1–5,1 min: 80% A; 5,1–5,2 min: 80%–20% A; 5,2–7,2 min: 20% A.

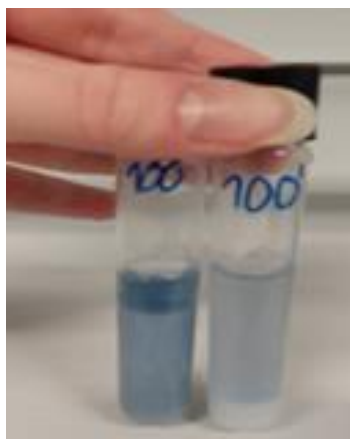
Massa-analyysissä käytettiin positiivista ionisaatiota. Kapillaarijännite oli 1,5 kV, kartiojännite 30 V, törmäyskaasun virtaus 0,15 ml/min, desolvaatiokaasun lämpötila 500 °C ja ionilähteen lämpötila 150 °C, desolvaatiokaasun ja kartiokaasun virtaukset 1000 ja 100 l/h, ja ionien massa-varaussuhteen mittausalue oli välillä 35–500 (*m/z*) aikavälillä 0–5 min.

Useamman reaktion seurannassa (multiple reaction monitoring, MRM) seurattiin seuraavia reaktioita: fenasetiini *m/z* 180→110, kapsaiisiin *m/z* 306→94, *m/z* 306→122 ja *m/z* 306→137 sekä dihydrokapsaiisiin *m/z* 308→137.

## 5.2 Folin-Ciocalteu-menetelmä

Menetelmässä käytetään yleensä 20 %:ta natriumkarbonaattia, mutta sen tilalle vaihdettiin natriumhydroksidi (1M). Natriumhydroksidi on koulumaailmaan sopivampi, koska se on todennäköisesti opiskelijoille tutumpi. Vaihdoista johtuen reaktiosta tuli hyvin hidas, ja kirkasta nestettä muodostui vain vähän. Tämän vuoksi näyteliuoksen, Folin-

Ciocalteun reagenssin ja natriumhydroksidin määrien suhdetta koeputkessa jouduttiin säätelemään, jotta reaktiosta saatiin toimiva (kuva 10).



**Kuva 10:** Natriumkarbonaatin vaihtuessa natriumhydroksidiksi reaktiosta tuli hyvin hidaskirkasta liuosta muodostunut paljoa. Muuttamalla reagenssien määrien suhdetta koeputkessa saatiin reaktio toimimaan paremmin ja nopeammin. Vasemmalla oleva koeputki sisältää liuoksen ennen reagenssien suhteiden muuttamista, ja oikealla oleva suhteiden muuttamisen jälkeen. Molemmissa tapauksissa reagointiaikaa oli kulunut 30 minuuttia.

Taulukkoon 6 on koottu Folin-Ciocalteu-menetelmässä käytetyt reagenssit. Reagenssien määrän mittaamiseen käytettiin automaattipipettiä, mutta se onnistuu myös kertakäyttöpipetillä.

**Taulukko 6:** Käytetyt reagenssit ja standardit, kun selvitettiin näytteiden kapsaisiinipitoisuuksia Folin-Ciocalteu-menetelmällä.

| Reagenssi         | Valmistaja    | Pitoisuus (M) |
|-------------------|---------------|---------------|
| Metanoli          | VWR           |               |
| Kapsaisiini       | Sigma-Aldrich |               |
| Folin-Ciocalteu   | Sigma-Aldrich | 1             |
| Natriumhydroksidi | Sigma-Aldrich | 1             |

Kapsaisiinille valmistettiin standardiliuokset valmistamalla aluksi kantaliuos, jonka pitoisuus oli 1 mg/ml. Kantaliuos laimennettiin pitoisuuksiin 500, 250, 100, 50 ja 10 ng/ml. Lisäksi tehtiin 0-näyte pelkästä metanolista. Kutakin standardiliuosta mitattiin 1 ml:a omaan koeputkeensa, ja niihin lisättiin 2 ml:a Folin-Ciocalteun reagenssiä sekä 5 ml:a natriumhydroksidia. Koeputkiin laitettiin korkit, niitä ravistettiin, ja ne jätettiin reagoimaan tunniksi.

Liuosten värinmuutoksen perusteella tehtiin värikartta, jonka avulla tuntemattomien näytteiden kapsaisiinipitoisuutta voitiin arvioida silmämääräisesti. Liuoksen muututtua

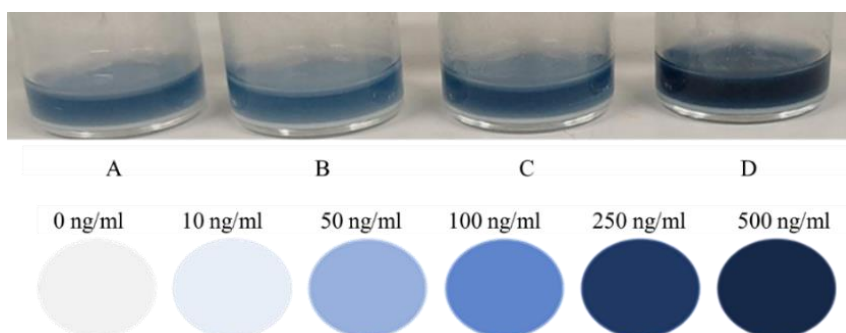
kirkkaaksi mitattiin niiden absorbanssit Vernierin kannettavalla UV-VIS-spektrofotometrilla (kuva 11) aallonpituudella 760 nm. Mitatuista absorbansseista piirrettiin standardisuora.



**Kuva 11:** Absorbanssien mittaamiseen käytetty laitteisto.

Kutakin kuivattua jauhemaista näytettä punnittiin 0,100 g pieneen (20 ml) dekanterilasiin. Jokainen kuivanäyte uutettiin 10 ml:n metanolia. Uuttoaika oli 24 tuntia. Uuton jälkeen liuokset suodatettiin uusiin 50 ml:an dekanterilaseihin käyttäen Whatmanin suodatinpaperia (halkaisija 125 mm, no. 3). Suodatettu liuos laimennettiin 1:2.

Kutakin laimennettua liuosta mitattiin 1 ml:a omaan koeputkeensa, ja niihin lisättiin 2 ml:a Folin-Ciocalteun reagenssia sekä 5 ml:a natriumhydroksidia. Koeputkiin laitettiin korkit, niitä ravistettiin, ja ne jätettiin myös reagoimaan tunniksi. Liuoksen sisältämää kapsaiisiinipitoisuutta arvioitiin silmämääräisesti vertaamalla kunkin näyteliuoksen värinmuutosta standardiliuosten avulla tehtyyn värikarttaan (kuva 12). Liuosten muututtua kirkkaiksi niiden absorbanssit mitattiin samalla tavalla kuin standardiliuosten.



**Kuva 12:** Näyteliuosten kapsaiisiinipitoisuutta pystyi arvioimaan standardiliuosten värinmuutoksen pohjalta tehdyn värikartan avulla. Menetelmällä ei kuitenkaan pystytty arvioimaan, mikä näytteistä oli paprika (A = paprika, B = vihreä chili, C = Naga Jolokia ja D = Carolina Reaper).

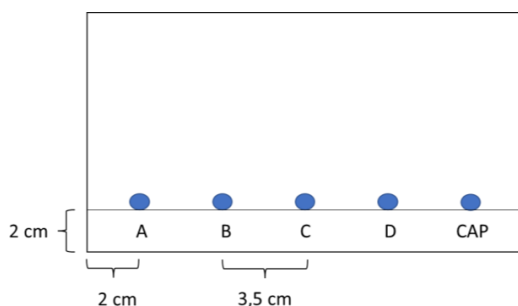
### 5.3 Paperikromatografia

Paprikanäytteen tunnistaminen oli mahdotonta Folin-Ciocalteu -menetelmällä. Täten sen lisäksi tarvittiin jokin muu menetelmä näytteiden analysointia varten. Paprikanäytteen tunnistaminen onnistui paperikromatografian avulla, joten siitä tuli yksi osio kehitettävään kokeelliseen työhön. Taulukossa 7 on esitetty työssä tarvittavat reagenssit ja standardit.

**Taulukko 7:** Paperikromatografiaa varten tarvittavat reagenssit ja standardit.

| Reagenssi         | Valmistaja    |
|-------------------|---------------|
| Metanoli          | VWR           |
| Kapsaisiini       | Sigma-Aldrich |
| etikkahappo       | Sigma-Aldrich |
| kloroformi        | VWR           |
| rauta(III)kloridi | VWR           |
| kaliumperosyanidi | Sigma-Aldrich |

Suodatinpaperille (Whatman no. 1) laitettiin pisara kutakin näyteliuosta (suodatettu ja laimennettu) sekä pisara kapsaisiinista tehtyä standardiliuosta. Tässä käytettiin liuoksia, jotka valmistettiin jo Folin-Ciocalteu-menetelmän yhteydessä. Pisarat laitettiin 2,0 cm:n päässä reunoista ja 3,5 cm:n etäisyydellä toisistaan kuten kuvassa 13 on esitetty.



**Kuva 13:** Kromatografiapaperille laitettiin pisarat kutakin näyteliuosta (A-D) ja kapsaisiinista (CAP) tehtyä standardiliuosta referenssiksi. Paperi oli ajoliuoksessa noin 20 minuuttia, minkä jälkeen siihen suihkuteltiin rauta(III)kloridi-liuoksen (1%) ja kaliumperosyanidi-liuoksen (1%) sekoitusta.

Pisaroiden kuivuttua suodatinpaperi asetettiin 500 ml:n dekanterilasiin, jossa oli 30,0 ml ajoliuosta. Ajoliuos oli valmistettu kloroformista, metanolista ja etikkahaposta (95:1:5). Dekanterilasın päälle laitettiin foliota kanneksi, ja suodatinpaperin annettiin olla ajoliuoksessa 20 minuuttia. Tämän jälkeen suodatinpaperi otettiin pois ajoliuoksesta. Kun paperi oli kuivunut, sen päälle suihkutettiin rauta(III)kloridi-liuoksen (1%) ja

kaliumferrosyanidi-liuoksen (1%) sekoitusta. Suodatinpaperi laitettiin pahvilaatikkoon suihkuttamisen ajaksi, koska suihkutusliuos oli erittäin värjäävää ja tahrivaa.

#### **5.4 Kehitetyn työn testaus**

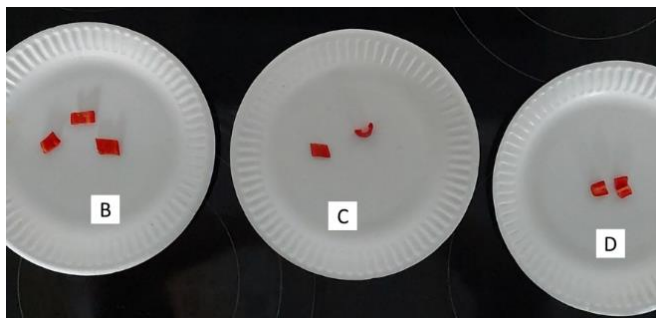
Koska chilien sisältämä kapsaisiini voi aiheuttaa ärsytystä iholla ja limakalvoilla, oli työturvallisuudesta huolehtiminen erityisen tärkeää. Työn aikana käsiteltiin myös kemikaaleja, kuten metanolia ja natriumhydroksidia, joten opiskelijoiden täytyi käyttää laboratoriotakkia, hansikkaita ja suojalaseja koko ajan.

Työtä tuli kokeilemaan 50 lukiolaista, jotka jaettiin 3–4 hengen pienryhmiin. Työn tekemiseen oli aikaa 1 tunti ja 45 minuuttia. Aikataulullisista syistä opiskelijat saivat valmiiksi tehdyt ja suodatetut näyteliuokset, standardisuoran sekä Folin-Ciocalteu-reagenssia sisältävät liuokset. Heille ei kerrottu mikä näyte on mikäkin, vaan he tutkivat tuntemattomia näytteitä A, B, C ja D. Heille ei annettu tavallista reseptimäistä työohjetta, koska työn tekemisen ei haluttu olevan passiivinen oppimiskokemus. Työohje (liite 1) alkoi lyhyellä tarinalla kemististä, joka teki saman kokeellisen työn kuin opiskelijatkin. Ohjeessa annettiin myös infolaatikko, jonka tietojen perusteella heidän piti kirjoittaa oikeat sanat tyhjiin kohtiin sekä vastata ohjeessa oleviin monivalintakysymyksiin työn etenemisestä. Näin opiskelijoita haluttiin aktivoida ja herätellä heidän ajattelutaitojaan. Lisäksi tarinan avulla pyrittiin antamaan opiskelijoille jonkinlainen konteksti tehtävään työhön. Kontekstuaalista opetusta yritettiin tuoda mukaan myös kysymysten ja infolaatikon avulla, joiden kautta opiskeltiin työssä käytettävät käsitteet.

Työohjeen täyttämisen jälkeen opiskelijat määrittivät näytteiden A, B, C ja D kapsaisiinipitoisuudet Folin-Ciocalteu -menetelmällä. Aikataulullisista syistä opiskelijoiden kokeillessa työtä näyteliuosten uuttoaika oli vain 15 minuuttia, eikä 24 tuntia. He arvioivat kapsaisiinipitoisuutta silmämääräisesti vertaamalla näytteiden värimuutosta värikarttaan. Tämän jälkeen he mittasivat näytteiden absorbanssit. Mitattujen absorbanssien ja standardisuoran avulla he laskivat kunkin näytteen kapsaisiinipitoisuudet kuivapainoa kohti. Paperikromatografian avulla selvitettiin, mikä näytteistä oli paprika. Siinä käytetty ajoliuos sisälsi kloroformia, joten opiskelijat eivät valmistaneet ajoliuosta itse.

Lopuksi opiskelijat saivat maistaa kutakin näytettä laboratorion ulkopuolella. Heidän piti verrata aiemmin työssä käytettyjen menetelmien antamia tuloksia aistein havaittaviin tunteuksiin. Maistaminen oli vapaaehtoista, koska chileistä kaksi oli erittäin tulista.

Lisäksi opiskelijoille tarjottiin maitoa maistamisen yhteydessä tulisuuden lieventämiseksi. Näytteet oli laitettu paperilautasille kuten kuvassa 14 näkyy. Opiskelijat saivat ottaa palan jokaista näytettä sormin. Maistamiskokeella haluttiin antaa opiskelijoille innostava ja mielenkiintoinen kokemus, joka myös toi tutkimuksen lähemmäs opiskelijoiden omaa elämää.



**Kuva 14:** Vapaaehtoiset opiskelijat saivat maistaa kutakin työssä käytettyä chiliä. Vihreä chili (näyte B) korvattiin punaisella chilillä, koska kyseistä vihreää chiliä ei enää löytynyt. Maistelussa käytetty punainen chili oli lajikkeeltaan ja tulisuudeltaan sama kuin työssä käytetty vihreä chili. Näyte C oli Naga Jolokia, ja näyte D oli Carolina Reaper.

Kokeellisen osion jälkeen opiskelijat vastasivat kyselyyn (liite 2). Sen avulla selvitettiin, kuinka lähelle työn aikana päästiin optimaalista oppimistilannetta. Kysely koostui kolmesta osiosta. Ensimmäinen osio koski työohjeen täydentämistä, toinen paperikromatografian tekemistä ja kolmas Folin-Ciocalteu -menetelmää.

Kyselyn kaikki kolme osiota sisälsivät viisi monivalintakysymystä. Niissä kysyttiin a) olitko kiinnostunut siitä mitä teit, b) tunsitko itsesi taitavaksi siinä mitä teit, c) oliko tekemisesi haastavaa, d) herättikö aihe uteliaisuutesi ja e) oliko tästä mielestäsi hyötyä sinulle. Vastausvaihtoehdot olivat kaikki viisiportaisia välillä 1 = ei lainkaan ja 5 = kyllä, erittäin paljon. Kysely toteutettiin Webropolin avulla.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Kapsaisiinipitoisuuksien määrittäminen ja maistelukoe

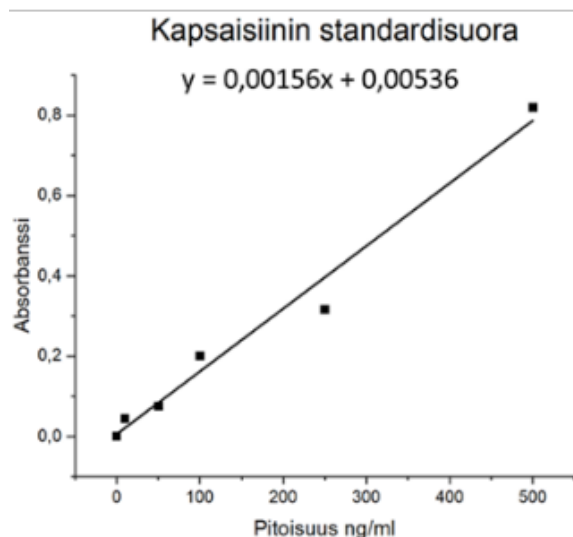
Nestekromatografia-massaspektrometrialla mitatut näytteiden kapsaisiinipitoisuudet on kirjattu taulukkoon 8. Taulukosta nähdään, ettei uunissa kuivaaminen vaikuttanut merkittävästi paprikalle ja vihreälle chilille saataviin pitoisuuksiin. Sen sijaan Naga Jolokian kohdalla kylmäkuivatuista paloista saatu kapsaisiinipitoisuus oli kaksinkertainen uunikuivatuista saatuihin verrattuna. Yllättävästi Carolina Reaperille

saatu kapsaisiinipitoisuus oli uunikuivaetuille paloille puolitoistakertaa suurempi kuin kylmäkuivaetuille. Tulos oli yllättävä, koska kylmäkuivausta pidetään hellävaraisena kuivausmenetelmänä, ja sen käyttö on yleistä luonnonyhdisteiden tutkimuksessa. Näin ollen sen voisi olettaa olevan parempi kuivaustapa. Uunissa kuivaamisen riskinä on myös tutkittavien yhdisteiden hajoaminen korkean lämpötilan seurauksena.

**Taulukko 8:** LC-MS-analyysillä saatuja kapsaisiinipitoisuuksia kylmäkuivaajalla ja uunissa kuivaetuille näytteille.

| Näyte           | Kylmäkuivaaja    | Uuni             |
|-----------------|------------------|------------------|
|                 | Pitoisuus (mg/g) | Pitoisuus (mg/g) |
| Paprika         | < 0,00           | <0,00            |
| Vihreä chili    | 0,013            | 0,008            |
| Naga Jolokia    | 0,080            | 0,038            |
| Carolina Reaper | 0,230            | 0,370            |

Folin-Ciocalteu-menetelmällä saatiin kuvan 15 mukainen standardisuora. Tuntemattomista näytteistä mitattujen absorbanssien ja standardisuoran avulla saatiin määritettyä tuntemattomien näytteiden A, B, C ja D kapsaisiinipitoisuudet. Taulukkoon 9 on kirjattu näytteistä mitatut absorbanssit ja lasketut kapsaisiinipitoisuudet kuivapainoa kohti.

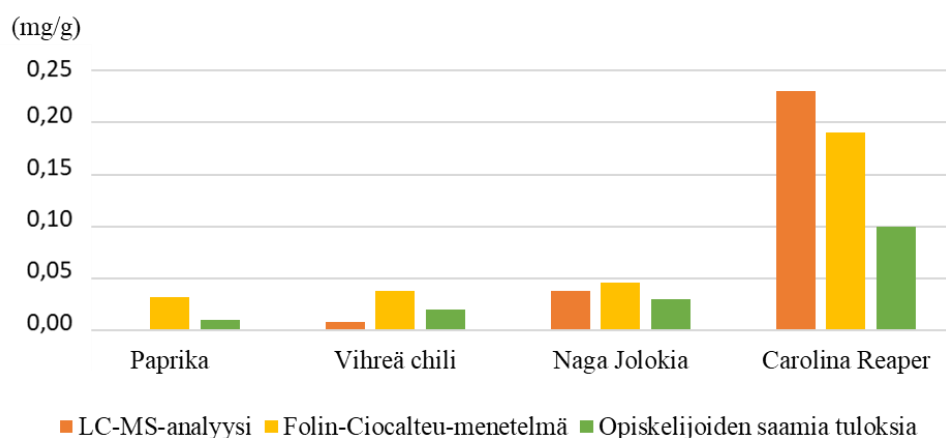


**Kuva 15:** Folin-Ciocalteu-menetelmällä määritetty kapsaisiinin standardisuora.

**Taulukko 9:** Folin-Ciocalteu-menetelmää käyttäen näytteille saadut absorbanssit ja kapsaisiinipitoisuudet, kun uuttoaika oli 24 tuntia.

| Näyte               | Absorbanssi | Pitoisuus (mg/g) |
|---------------------|-------------|------------------|
| Paprika (A)         | 0,170       | 0,032            |
| Vihreä chili (B)    | 0,202       | 0,038            |
| Naga Jolokia (C)    | 0,247       | 0,046            |
| Carolina Reaper (D) | 0,827       | 0,190            |

Opiskelijoiden määrittämät pitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä kuin taulukossa 9 olevat pitoisuudet. Tähän vaikutti todennäköisesti pääasiassa uuttoaajan pituus. Taulukon 9 tulokset saatiin, kun uuttoaika oli ollut 24 tuntia. Sen sijaan opiskelijoiden käyttämät näyteliuokset olivat uutuneet vain 15 minuuttia. Paprikalle (näyte A) saatiin pitoisuuksia välillä 0,01–0,02 mg/g, vihreälle chilille (näyte B) puolestaan välillä 0,01–0,03 mg/g, Naga Jolokialle (näyte C) välillä 0,03–0,04 mg/g ja Carolina Reaperille (näyte D) välillä 0,08–0,12 mg/g. Kuvassa 16 on vertailtu näytteille saatuja kapsaisiinipitoisuuksia LC-MS-analyysin, kehitystyön aikaisen Folin-Ciocalteu-menetelmän ja opiskelijoiden tekemän analyysin välillä.



**Kuva 16:** Näytteille saatuja kapsaisiinipitoisuuksia LC-MS-analyysin ja Folin-Ciocalteu-menetelmän avulla. Opiskelijoiden määrittämät kapsaisiinipitoisuudet näytteille Folin-Ciocalteu-menetelmän avulla olivat selvästi pienemmät kuin työn kehitysvaiheessa saadut pitoisuudet käyttäen samaa menetelmää. Tämä johtui todennäköisesti liian lyhyestä uuttoa ajasta.

Folin-Ciocalteu-menetelmä ei ole kapsaisiinille spesifinen menetelmä, vaan siinä hapettuu myös muita yhdisteitä. Yleensä Folin-Ciocalteu-menetelmää käytetäänkin kokonaisfenolipitoisuuden määrittämiseen.<sup>47</sup> Tästä johtuen kaikkien näytteiden kohdalla tapahtui sinisen värin aiheuttava reaktio. Sen vuoksi myös paprikanäytteelle voitiin laskea

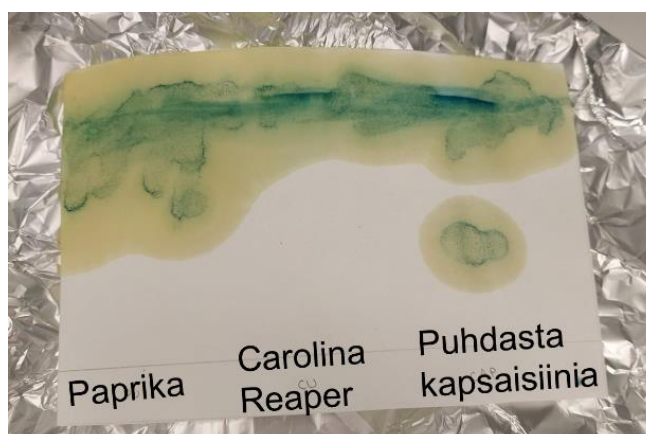


”kapsaisiinipitoisuus”, vaikka paprikassa ei kapsaisiinia olekaan. Menetelmän avulla ei siis voitu tarkasti määrittää, mikä näytteistä oli paprika.

Laboratorion ulkopuolella tehtyyn maistelukokeeseen osallistui 20 opiskelijaa. Kaikki pystyivät tunnistamaan näytteistä paprikan pelkän maistamisen avulla. Aistein havaitut tulisuudet vastasivat myös Folin-Ciocalteu-menetelmällä määritettyjä kapsaisiinipitoisuuksia. Näytettä B pidettiin miedoinpana, näytettä C tulisena ja näytettä D erittäin tulisena. Tämä oli opiskelijoiden sanomien kommenttien perusteella työn jännittävin ja hauskin osuus. Joku jopa mainitsi itse kasvattavansa erilaisia chilejä.

## 6.2 Paperikromatografia

Paperikromatografian avulla voitiin tunnistaa paprikanäyte. Jos näyte sisälsi kapsaisiinia, tuli liuotinrintaman yläosaan näkyviin sininen viiva rauta(III)kloridi- ja natriumferrosyanidi-liuoksen ruiskuttamisen jälkeen. Paprika oli siis se näyte, jonka kohdalla sinistä viivaa ei muodostunut (kuva 17).



**Kuva 17:** Puhtaan kapsaisiininäytteen ja Carolina Reaperi-näytteen kohdalla on paperin yläosassa selvästi nähtävissä sininen viiva. Paprikanäytteen kohdalla sinistä viivaa ei näy. Näytteen A kohdalla viivaa ei siis pitäisi näkyä, mutta näytteiden B, C ja D kohdalla kyllä.

Opiskelijoiden kokeillessa työtä kaikki tunnistivat näytteet C (Naga Jolokia) ja D (Carolina Reaper) chileiksi onnistuneesti. Hankaluutta tuottivat näytteet A (paprika) ja B (vihreä chili). Joissain tapauksissa sinistä viivaa ei joko näkynyt kummankaan näytteen kohdalla, tai viiva näkyi himmeästi kummankin näytteen välissä. Noin 20 % opiskelijoista arvioi näytteen B olevan paprika ja 30 % ei osannut sanoa kumpi näytteistä oli kumpi.

Tässäkin tapauksessa liian lyhyt uuttoaika todennäköisesti vaikutti saatuihin tuloksiin. Työn kehitysvaiheessa vastaavia ongelmia ei ollut, ja aiemmissa tutkimuksissa<sup>48,49</sup> on

pystytty tunnistamaan kapsaisiinia sisältävät näytteet paperikromatografian avulla. Työssä käytetyt näytteet oli myös kuivattu ja jauhettu puoli vuotta aikaisemmin, ja niitä säilytettiin Minigrip-pusseissa pakastimessa. Kapsaisiinipitoisuuden on huomattu vähenevän näytteissä 10–16 %, kun niiden kuivaamisesta ja jauhamisesta on kulunut puoli vuotta.<sup>50,51</sup>

### 6.3 Kysely

Kyselyssä saadut vastaukset olivat enimmäkseen positiivisia. Vastausten keskiarvot ja hajonnat on kirjattu taulukkoon 10. Kuvissa 18–22 on esitetty kaikki kunkin osion saamat vastaukset. Vastauksia saatiin yhteensä 31 opiskelijalta.

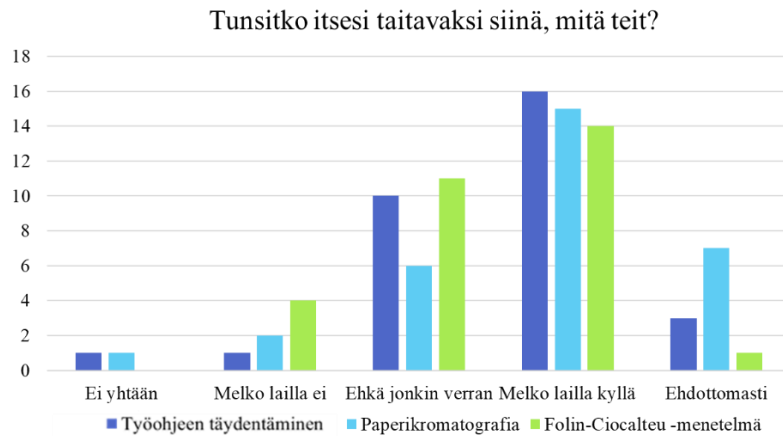
Vastausten perusteella kiinnostavimmaksi osioksi opiskelijat kokivat työohjeen täydentämisen, ja sitä pidettiin Folin-Ciocalteu-menetelmän ohella myös kaikkein hyödyllisimpänä. Taitavimmiksi opiskelijat tunsivat itsensä paperikromatografiaa tehdessään, mutta sitä pidettiin myös vähiten haastavana ja mielenkiintoa herättävänä. Eniten uteliaisuutta herätti Folin-Ciocalteu-menetelmä. Sitä pidettiin myös kaikkein haastavimpana osiona, vaikka mitään osiota ei pidetty erityisen haastavana.

**Taulukko 10:** Kyselyssä annettujen vastauksien keskiarvot ja hajonnat.

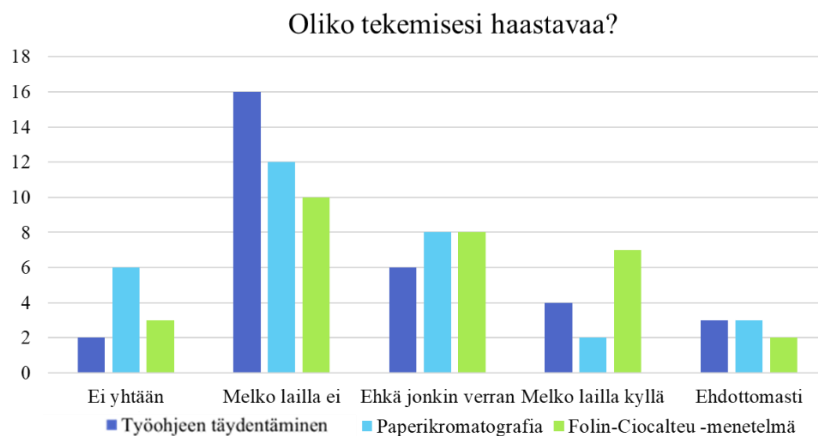
|  | Työohjeen täydentäminen |         | Paperikromatografia |         | Folin-Ciocalteu-menetelmä |         |
|--|-------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------------|---------|
|  | Keskiarvo               | Hajonta | Keskiarvo           | Hajonta | Keskiarvo                 | Hajonta |
| Olitko kiinnostunut siitä, mitä teit?        | 4,1                     | 1,0     | 3,9                 | 1,4     | 3,9                       | 1,0     |
| Tunsitko itsesi taitavaksi siinä, mitä teit? | 3,6                     | 1,7     | 3,8                 | 1,8     | 3,4                       | 1,3     |
| Oliko tekemisesi haastavaa?                  | 2,7                     | 1,6     | 2,3                 | 1,8     | 2,9                       | 1,6     |
| Herättikö aihe uteliaisuutesi?               | 3,9                     | 1,4     | 3,6                 | 1,7     | 4,0                       | 1,4     |
| Oliko tämä sinulle hyödyllistä?              | 3,9                     | 1,0     | 3,7                 | 1,1     | 3,9                       | 1,4     |



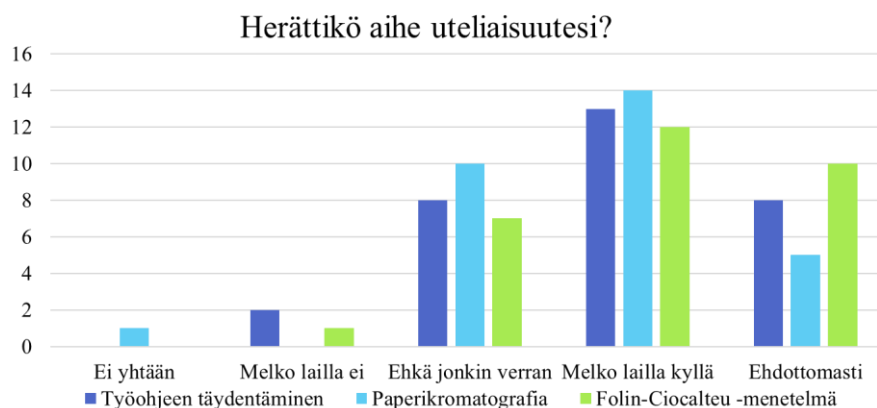
**Kuva 18:** Työohjeen täydentämistä pidettiin kiinnostavimpana osuutena



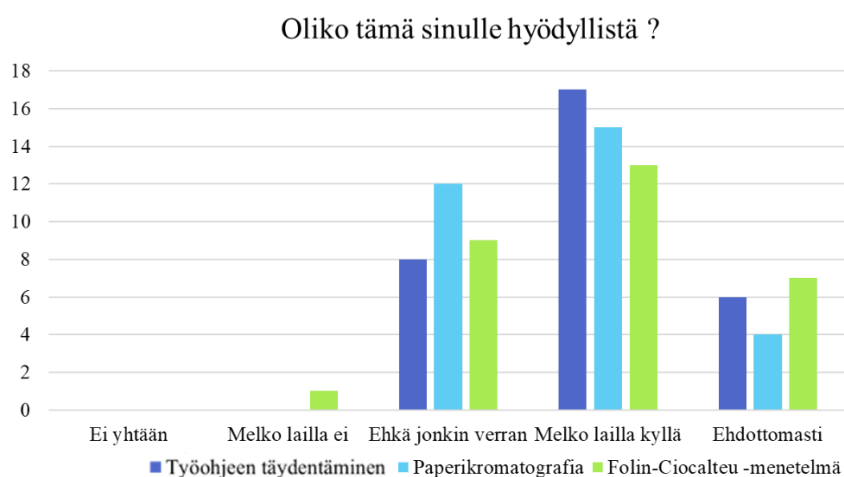
**Kuva 19:** Opiskelijat tunsivat itsensä taitaviksi eniten paperikromatografian yhteydessä. Toiseksi eniten taitavuutta koettiin työohjetta täydennettäessä.



**Kuva 20:** Mitään osiota ei koettu kovin haastavaksi. Eniten haastetta kuitenkin tarjosi Folin-Ciocalteu-menetelmä. Vähiten haastetta tarjosi puolestaan paperikromatografian tekeminen.



**Kuva 21:** Kaikki osiot herättivät opiskelijoissa uteliaisuutta. Kaikkein eniten uteliaisuutta kuitenkin herätti Folin-Ciocalteu-menetelmä. Vähiten uteliaisuutta puolestaan herätti paperikromatografia.



**Kuva 22:** Opiskelijat pitivät kaikkia osioita melko hyödyllisinä. Työohjeen täydentämistä ja Folin-Ciocalteu-menetelmää pidettiin yhtä hyödyllisinä, ja paperikromatografiaa vähemmän hyödyllisenä.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYS

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli ”Mitä mahdollisuuksia chilien opetus käytöllä on?”. Chilien käyttö opetuksessa tuo monia mahdollisuuksia. Näitä on kirjattu taulukkoon 11.

**Taulukko 11:** Chilin opetuskäytön mahdollisuuksia.

| <b>Chilien opetuskäytön mahdollisuuksia</b> |   |
|---|---|
| 1.  | Kontekstuaalinen opetus   |
| 2.  | Kemian ja tutkimisen liittäminen jokapäiväiseen elämään   |
| 3.  | Kokeelliset työt  |
| 4.  | Oppijoille kokemusta tutkijana olosta   |
| 5.  | Oppijoiden havainnointitaitojen edistäminen   |
| 6.  | Oppijoiden ymmärryksen kehittämien tieteellistä menettelytapaa, ja sen antamia todisteita kohtaan |
| 7.  | Erilaisiin tutkimusmenetelmiin tutustuminen   |
| 8.  | Aistinvarainen tutkiminen   |
| 9.  | Kemiallisen tiedon eri tasojen hahmottaminen  |
| 10.   | Laaja- ja monialainen oppiminen ja opettaminen  |

Yksi kehitystutkimuksen tavoitteista oli toimivan työn kehittäminen. Toimiviksi ja lukioon sopiviksi chilien tutkimusmenetelmiksi havaittiin Folin-Ciocalteu-menetelmä, paperikromatografia ja maistamiskoe. Mikään näistä menetelmistä ei vaadi kalliita mittauslaitteita, ja ne ovat lukioikäisten tieto- ja taitotasoon nähden sopivia.

Folin-Ciocalteu-menetelmän avulla on mahdollista määrittää kapsaisiinipitoisuudet melko tarkasti, ja paperikromatografialla pystytään erottamaan näyte, joka ei sisällä kapsaisiinia. Uttoaajan on vain oltava tarpeeksi pitkä. Työn tekemiseen vaaditaan molempia menetelmiä, koska Folin-Ciocalteu-menetelmän avulla ei pystytä erottamaan paprikanäytettä ja chilinäytettä toisistaan. Näin saadaan myös havainnollistettua opiskelijoille mitä tarkoittaa, että menetelmä ei ole kapsaisiinille spesifinen. Muuten heille saattaa syntyä virheellinen käsitys, että tätä menetelmää käytetään yleisesti kapsaisiinipitoisuuksien määrittämiseen. Pelkän paperikromatografian perusteella ei taas pystytä määrittämään näytteiden kapsaisiinipitoisuuksia, jolloin näytteitä ei voida laittaa tulisuusjärjestykseen. Nestekromatografia-massaspektrometria ei ole sopiva menetelmä lukiossa tehtävään kokeelliseen työhön, koska se on tasoltaan liian haastava eikä siihen tarvittavia laitteita ole mahdollista hankkia tavallisiin kouluihin. Se voi silti toimia kontekstina, jos hyödynnetään kontekstuaalista opetusta.

Toinen tutkimuskysymys oli ” Mitä vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmassa olevia tavoitteita työhön sisällytetään?” Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelman perusteiden keskeinen sisältö voitiin jakaa 30 pääkohtaan. Näitä kohtia saatiin sisällytettyä työhön työohjeen kautta ja miettimällä, mitä opiskelijat tekevät työn aikana. Taulukkoon 12 on

koottu tavoitteita lukion opetussuunnitelmasta, joita työhön haluttiin sisällyttää, sekä miten tässä onnistuttiin ensimmäisen kehityssyklin aikana.

**Taulukko 12:** Vuoden 2019 lukion opetussuunnitelmasta otetut tavoitteet työlle, ja miten hyvin ne onnistuttiin sisällyttämään työhön ensimmäisen kehityssyklin aikana.

| Tavoitteet   | Onnistuttiin | Ei onnistuttu | Onnistuttiin osittain |
|--|--------------|---------------|-----------------------|
| Arjen aineiden turvallisuuden arviointi ja kemian merkitys omassa elämässä                                   | ✗            |               |                       |
| Puhtaat aineet, seokset ja erotusmenetelmät  |              |               | ✗                     |
| Aineen rakenteen mallien ja yhdisteen kaavan esittäminen   | ✗            |               |                       |
| Aineiden ominaisuuksien tutkiminen kokeellisesti   | ✗            |               |                       |
| Liuoksen valmistus ja laimentaminen sekä standardisuoran sovittaminen pitoisuuden määrittämiseksi            |              |               | ✗                     |
| Tutkimustulosten käsitteleminen, tulkitseminen ja esittäminen  |              | ✗             |                       |
| Luonnontieteelliseen tutkimukseen tutustuminen tai tutkimuksen tai ongelmanratkaisun ideointi ja suunnittelu | ✗            |               |                       |
| TVT-taidot   |              | ✗             |                       |
| Vuorovaikutusosaaminen ja yhteistyötaidot  | ✗            |               |                       |
| Turvallisuusosaaminen  | ✗            |               |                       |

Ongelmanratkaisu ja ideointi saatiin sisällytettyä työhjeeseen. Työ on kokeellista tutkimista, joten se perehdyttää luonnontieteelliseen tutkimukseen. Kapsaisiini sekä chilit herättävät keskustelua aineiden turvallisuudesta ja tuovat esiin kemian merkitystä opiskelijoiden omassa elämässä. Työ tehtiin pienryhmissä, jolloin myös harjoiteltiin vuorovaikutustaitoja ja yhteistyötaitoja. Työhjeessa annettiin kapsaisiinin ja sen vanillyyliosan rakennekaava. Näiden avulla työhön saatiin sisällytettyä yhdisteen kaavan esittäminen. Aikataulullisista syistä opiskelijat eivät päässeet valmistamaan liuoksia itse, eivätkä sovittamaan standardisuoraa. Heidän piti kuitenkin pohtia näitä asioita työhjeessa, joten tämä tavoite saatiin osittain sisällytetyksi työhön. Samoin suodatus oli työhjeessa mainittu erotusmenetelmä, jota opiskelijat eivät itse päässeet kokeilemaan. Opiskelijat eivät myöskään kirjoittaneet tehdystä työstä tutkimusraportteja, jolloin tutkimustulosten käsittelyä, tulkitsemista ja esittämistä sekä TVT-taitoja ei saatu sisällytettyä työhön lainkaan. Nämä on kuitenkin mahdollista lisätä työhön, kun aikaa on enemmän.

Työstä on mahdollista kehittää pitkäaikainen projekti yhteistyössä biologian, historian tai maantieteen opettajan kanssa. Näin voidaan edistää laaja-alaista oppimista ja osaamista, mikä on yksi vuoden 2019 lukion opetus suunnitelman tavoitteista. Opiskelijat voisivat esimerkiksi yrittää kasvattaa oman chilin tai paprikan työtä varten. Tuore näytteiden kuivaustavalla ei vaikuttanut olevan suurta merkitystä mitattujen kapsaisiinipitoisuuksien kannalta, joten näytteet voisivat kuivua esimerkiksi luokkahuoneessa pari päivää. Pieniä eroja kuivaustapojen välillä voivat selittää kapsaisiinipitoisuuksien vaihtelu saman näytteen eri osien välillä. Esimerkiksi, jos käytetty näytemäärä sisältää enimmäkseen siemenistä tehtyä jauhetta, saadaan näytteelle pienempi kapsaisiinipitoisuus kuin hedelmälihaa ja siemenistukkaa sisältävälle näytteelle. Tämän vuoksi käytetyistä chileistä kannattaa käyttää vain hedelmäliha ja siemenistukka, jos niiden erottaminen siemenistä on mahdollista. Työ olisi myös hyvä tehdä mahdollisimman pian näytteiden kuivaamisen ja jauhamisen jälkeen.

Uuttamiseen kannattaa käyttää ainakin muutama päivä tai yksi viikko. Työn haastavuutta ja opiskelijoiden aktiivista roolia on mahdollista lisätä avoimen työohjeen kautta. Työohjeessa voitaisiin antaa näytteiden ja reagenssien määrät sekä mainita käytettävät menetelmät valmiiksi, mutta opiskelijat saisivat laatia itse yksityiskohtaisen tutkimussuunnitelman. Tätä varten opiskelijoiden pitäisi ottaa selvää, millaisia työhön vaadittavat tutkimusmenetelmät ovat. Paperikromatografian käyttö oli helppo, mutta sotkuinen menetelmä. Siistimpi ja parempi tapa saattaisi olla TCL-levyn käyttäminen. Lisäksi maistelukokeessa opiskelijoiden olisi hyvä käyttää hammastikkuja chilin palojen ottamiseen. Näin heidän ei tarvitse tahria sormiaan ja välttyään kapsaisiin joutumiselta silmiin. Koska kehitetystä työstä saa helposti muokattua haastavuudeltaan erilaisia versioita, eritasoisia ryhmiä voidaan hyvin eriyttää sen avulla. Tämä on tärkeä ominaisuus, koska opiskelijat ja ryhmät voivat olla keskenään hyvin eritasoisia.

Jos työ halutaan toteuttaa työohjeen kanssa, siihen kannattaa lisätä kaavio, jossa esitetään miten Folin-Ciocalteun reagenssi vaikuttaa kapsaisiin vanillyyliosan kanssa. Työohjeessa esitetään kaksi rakennekaavaa, joiden tarkoitus on yhdistää havaittavat makrotason ilmiöt, kuten Folin-Ciocalteu-menetelmässä tapahtuva värimuutos ja paperikromatografiassa näkyvät siniset viivat, submikrotasoon ja symboliseen tasoon. Kaavion lisäämisen avulla saatettaisiin vielä paremmin saada opiskelijat ajattelemaan työssä tapahtuvia reaktioita ja ilmiöitä kemiallisen tiedon kaikkien kolmen tason kautta.

Kolmas tutkimuskysymys oli ”Miten työn eri vaiheet tukivat optimaalista oppimistilannetta?” Opiskelijoilta saadun palautteen perusteella työn jokainen vaihe tuki optimaalista oppimistilannetta melko hyvin. Työn vaiheet olivat heistä kiinnostavia, hyödyllisiä ja uteliaisuutta herättäviä. Tosin minkään vaiheen ei koettu tarjoavan tarpeeksi haastetta. Kyselyllä saadut vastaukset voisivat toki olla toisella lukiolaisryhmällä erilaiset. Kyseinen ryhmä vaikutti alkujaankin hyvin motivoituneelta ja luonnontieteistä kiinnostuneelta. He olivat myös tottuneet kokeellisten töiden tekemiseen. Esimerkiksi spektrometri oli heille tuttu laite, ja he osasivat laskea pitoisuuksia standardisuoran avulla. Kokemattomampi ryhmä saattaisi pitää kehitettyä työtä haasteellisempänä. Varmuudella ei myöskään pystytä sanomaan pitäisikö vähemmän motivoitunut ja luonnontieteistä ei niin kiinnostunut ryhmä työtä yhtä innostavana tai mielenkiintoisena.

Vasauksena neljänteen tutkimuskysymykseen ”Miten tavoitteiden saavuttamisessa onnistuttiin?” voidaan sanoa, että tavoitteiden saavuttamisessa onnistuttiin hyvin. Suurin osa niistä saavutettiin, ja ne mitä ei tämän kehityssyklin aikana saavutettu, on mahdollista saavuttaa työtä hieman muokkaamalla. Työ oli toimiva, melkein kaikki halutut LOPS-tavoitteet onnistuttiin tai lähes onnistuttiin sisällytettyä työhön, työohje ei ollut reseptimäinen, työ saatiin yhdistettyä kontekstiin ja sen eri vaiheet tukivat optimaalista oppimistilannetta melko hyvin.

Saadun palautteen perusteella kehitetty työ tuntui olevan kokonaisuudessaan onnistunut. Kehitetty työ vastasi hyvin myös kokeellisuuden yleisimpiin tavoitteisiin. Se lisäsi motivaatiota ja kiinnostusta sekä tuotti opiskelijoille iloa. Opiskelijat saivat kokemusta tieteentekijöinä olosta, työ edisti heidän havainnointitaitojaan, he saivat kokea tieteellisen ilmiön ja työ myös havainnollisti joitain käsitteitä, kuten spesifinen ja paperikromatografia. Maistelukokeen tarkoitus oli innostaa opiskelijoita ja tuoda tutkiminen sekä luonnontieteet lähemmäs heidän omaa elämäänsä. Tässä onnistuttiin melko hyvin, sillä maistelukokeen osuus oli monen mielestä jännittävä. Lisäksi ryhmässä oli yksi opiskelija, joka kasvatti itse chilejä. Ainakin tässä tapauksessa työ saatiin liitettyä tämän opiskelijan omaan elämään, jolloin työ yhdisti luonnontieteellisen tutkimisen opiskelijan henkilökohtaiseen kontekstiin. Vastauksia tosin saatiin niin pieneltä määrältä opiskelijoita, ettei niistä voida tehdä yleispäteviä johtopäätöksiä kehitetystä työstä.



## VIITELUETTELO

1. Opetushallitus. *Opetussuunnitelman Perusteet 2019*, **2019**.
2. Millar, R., The role of practical work in the teaching and learning of science. Commissioned paper-Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington DC: National Academy of Sciences. **2004**, *308*, s. 1–21.
3. Johnstone, A.H., Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *J. Comput. Assist. Learn.* **1991**, *7*, s. 75–83.
4. Schneider, B.; Krajcik, J., Lavonen, J., et al. Investigating optimal learning moments in U.S. and Finnish science classes. *J. Res. Sci. Teach.* **2016**, *53*, s. 400–421.
5. Lavonen, J.; Byman, R.; Uitto, A.; Juuti, K.; Meisalo, V., Students' Interest and Experiences in Physics and Chemistry related Themes: Reflections based on a ROSE-survey in Finland. *Themes. Sci. Technol. Educ.* **2008**, *1*, s. 7–36.
6. Perna, J. Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Kirjassa J. Perna (toim.), Kehittämistutkimus opetuslalla. **2013**, s. 9–26.
7. Brown, A.L., Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *J. Learn. Sci.* **1992**, *2*, s. 141–178.
8. Edelson, D.C., Design research: What we learn when we engage in design. *J. Learn. Sci.* **2002**, *11*, s. 105–121.
9. Wang, F.; Hannafin, M.J., Designing-Based Research and Technology-Enhanced Learning Environments. *Instr. Cogn. Impacts. Web-Based Educ.* **2005**, *53*, s. 5–23.
10. Juuti, K.; Lavonen, J., Design-Based Research in Science Education: One Step Towards Methodology. *Nord. Stud. Sci. Educ.* **2012**, *2*, s. 54–68.
11. Gabel, D., Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, s. 548–554.
12. Osborne, J.; Collins, S., Pupils' views of the role and value of the science curriculum: A focus-group study. *Int. J. Sci. Educ.* **2001**, *23*, s. 441–467.
13. Krapp, A., Structural and dynamic aspects of interest development: Theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learn. Instr.* **2002**, *12*, s. 383–409.
14. De Vos, W.; Bulte, A.; Pilot, A. Chemistry curricula for general education: Analysis and elements of a design. Kirjassa *Chemical education: Towards research-based practice*. Springer, Alankomaat, **2002**, s. 101–124.
15. Gilbert, J., On the nature of 'context' in chemical education. *Int. J. Sci. Educ.* **2006**, *28*, s. 957–976.
16. Bennett, J.; Lubben, F., Bringing Science to life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Sci. Educ.* **2007**, *92*, s. 347–370.
17. De Jong, O., Context-based Chemical Education: How to improve it? *Chem. Educ. Int.* **2008**, *8*, s. 1–7.
18. Hofstein, A.; Kind, P.M., Learning In and From Science Laboratories. *Second. Int. Handb. Sci. Educ.* **2012**, *24*, s. 189–207.
19. T. TE. Johan Gadolin. *Nature*. 1991, *86*, s. 48–49.
20. Millar, R.; Tiberghien, A.; Maréchal, J-F., Varieties of Labwork: A Way of Profiling Labwork Tasks. *Teach. Learn. Sci. Lab.* **2006**, s. 9–20.

21. Bennett, J.; Kennedy, D., Practical work at the upper high school level: The evaluation of a new model of assessment. *Int. J. Sci. Educ.* **2001**, *23*, s. 97–110.
22. Beatty, J.W.; Woolnough, B.E., Practical Work in 11-13 Science: the context, type and aims of current practice. *Br. Educ. Res. J.* **1982**, *8*, s. 23-30.
23. Hofstein, A., The Laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2004**, *5*, s. 247–264.
24. Gott, R.; Duggan, S., Investigative Work in the Science Curriculum. Developing Science and Technology Education. **1995**.
25. Domin, D.S., A Review of Laboratory Instruction Styles. *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, s. 543–547.
26. Kim, S.; Park, M.; Yeom, S-I, et al. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in Capsicum species. *Nat. Genet.* **2014**, *46*, s. 270–278.
27. Kraft, K.H. *The Domestication of the Chile Pepper, Capsicum Annuum: Genetic, Ecological, and Anthropogenic Patterns of Genetic Diversity*. Väitöskirja, University of California, 2010.
28. Katherine, L.; Chiou, C.A.H., A Systematic Approach to Species-Level Identification of Chile Pepper ( Capsicum spp.) Seeds: Establishing the Groundwork for Tracking the Domestication and Movement of Chile Peppers through the Americas and Beyond. *Econ. Bot.* **2014**, *68*, s. 316–336.
29. Szallasi, A., Vanilloid (capsaicin) receptors and mechanisms. *Pharmacol.* **1992**, *107*, s. 520–544.
30. Dejmkova H, Morozova K, Scampicchio M. Estimation of Scoville index of hot chili peppers using flow injection analysis with electrochemical detection. *J. Electroanal. Chem.* **2018**, *821*, s. 82–86.
31. Perez-Grajales, M.; Martínez-Damián, M.T.; Oscar, C.A.; Potrero-Andrade, S.M.; Aureliano, P.L.; González-Hernández, V.A., Villegas-Monter, A., Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of manzano hot pepper grown in greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* **2019**, *47*, s. 19–27.
32. Zhang, Q.; Hu, J.; Sheng, L.; Li, Y., Simultaneous quantification of capsaicin and dihydrocapsaicin in rat plasma using HPLC coupled with tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr.* **2010**, *878*, s. 2292–2297.
33. Barbero, G.F.; Molinillo, J.M.G.; Varela, R.M. et al. Application of Hansch's Model to Capsaicinoids and Capsinoids: A Study Using the Quantitative Structure-Activity Relationship. A Novel Method for the Synthesis of Capsinoids. *J. Agric. Food. Chem.* **2010**, *58*, s. 3342–3349.
34. Aza-González, C.; Núñez-Palenius, H.G.; Ochoa-Alejo, N., Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper. *Plant cell reports.* **2011**, s. 695–706.
35. Giuffrida, D.; Dugo, P.; Torre, G. et al. Evaluation of carotenoid and capsaicinoid contents in powder of red chili peppers during one year of storage. *Food. Res. Int.* **2014**, *65*, s. 163–170.
36. Reyes-Escogido, M., Gonzalez-Mondragon, E.G.; Vazquez-Tzompantzi, E.; Reyes-Escogido, M.D.L; Gonzalez-Mondragon, E.G.; Vazquez-Tzompantzi E., Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. *Molecules.* **2011**, *16*, s. 1253–1270.
37. Fattori, V.; Hohmann M.; Rossaneis, A., et al. Capsaicin: Current Understanding of Its Mechanisms and Therapy of Pain and Other Pre-Clinical and Clinical Uses. *Molecules.* **2016**, *21*, s. 844.
38. Chayapathy, B.; Prasad, N.; Bhaskar Gururaj, H.; Kumar, V.; Giridhar, P.; Ravishankar, A., Valine Pathway Is More Crucial than Phenyl Propanoid Pathway in Regulating Capsaicin Biosynthesis in Capsicum frutescens Mill. *J. Agric. Food. Chem.* **2006**, *54*, s. 6660–6666.
39. Chapa-Oliver, A.; Mejía-Teniente, L.; Chapa-Oliver, A.M.; Mejía-Teniente, L., Capsaicin: From Plants to a Cancer-Suppressing Agent. *Molecules.* **2016**, *21*, s. 931.

40. Cho, S-C.; Lee, H.; Choi, B.Y., An updated review on molecular mechanisms underlying the anticancer effects of capsaicin. *Food. Sci. Biotechnol.* **2017**, *26*, s. 1–13.
41. Evangelista, S., Novel therapeutics in the field of capsaicin and pain. *Expert. Rev. Clin. Pharmacol.* **2015**, *8*, s. 373–375.
42. Cordell, G.A.; Araujo, O.E., Capsaicin: identification, nomenclature, and pharmacotherapy. *Annals of Pharmacotherapy.* **1993**, *27*, s. 330–336.
43. Saito, M.; Yoneshiro, T.; Matsushita, M., Food Ingredients as Anti-Obesity Agents. *Trends. Endocrinol. Metab.* **2015**, *26*, s. 585–587.
44. Diepvens, K.; Westerterp, K.R.; Westerterp-Plantenga, M.S., Obesity and thermogenesis related to the consumption of caffeine, ephedrine, capsaicin, and green tea. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* **2007**, *292*, s. 77–85.
45. Murakami, Y.; Iwabuchi, H.; Ohba, Y.; Fukami, H., Analysis of volatile compounds from chili peppers and characterization of habanero (*Capsicum Chinense*) volatiles. *J. Oleo. Sci.* **2019**, *68*, s. 1251–1260.
46. Thompson, R.Q.; Chu, C.; Gent, R.; Gould, A.P.; Rios, L.; Vertigan, Visualizing capsaicinoids: colorimetric analysis of chili peppers. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89*, s. 610–620.
47. Sánchez-Rangel, J.C.; Benavides, J.; Heredia, J.B.; Cisneros-Zevallos, L.; Jacobo-Velázquez, D.A., The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Anal. Methods.* **2013**, *5*, s. 5990–5999.
48. Trejo-Gonzales, A.; Tamirano, C.W., A New Method for the Determination of Capsaicin in *Capsicum* Fruits. *J. Food. Sci.* **1973**, *38*, s. 342–345.
49. Govindarajan, V.; Ananthakrishna, S.M., Paper chromatographic determination of capsaicin. *FlavourIndustry.* **1974**, *5*, s. 176–178.
50. Topuz, A.; Ozdemir, F., Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food. Chem.* **2004**, *86*, s. 509–515.
51. Iqbal, Q.; Amjad, M.; Asi, M.R, et al., Stability of capsaicinoids and antioxidants in dry hot peppers under different packaging and storage temperatures. *Foods.* **2015**, *4*, s. 51–64.

# LIITTEET

## Liite 1

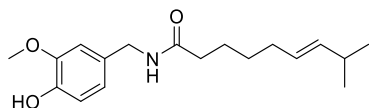
### TARINAN ALKU JA TYÖOHJE

*Cielo kemisti sai äitipuoleltaan lahjaksi paprikan ja kolme tulisuudeltaan erilaista chiliä. Pian hän kuitenkin unohti, mikä annetuista hedelmistä oli mikäkin. Äitipuoleltaan Cielo ei kehdannut kysyä, koska hän ei halunnut tämän luulevan, ettei ollut kuunnellut. Taaskaan. Maistamisestakaan ei ollut apua, sillä vähän aikaa sitten podettu flunssa oli toistaiseksi vienyt maku- ja hajuaistin. Voi surkeuksien surkeus! Mikä neuvoksi? Cielo keksi kuivata palan kutakin hedelmää uunissa ja jauhaa sen sitten hienoksi jauheeksi. Ei muuta kuin jauhepussit mukaan laboratorioon ja testailemaan!*

**Lue alla oleva tietolaatikko ja työohje. Valitse oikeat väittämät ja kirjoita puuttuvat sanat.**

#### Kapsaisiini

Chilien tulisuuuden aiheuttaa niiden sisältämä kapsaisiini (kuva 1). Kapsaisiini on rasvaliukoinen yhdiste. Veden juominen ei siis lievitä sen aiheuttamaa polttavaa tunnetta! Orgaanisiin liuottimiin se kuitenkin liukenee hyvin. Mitä enemmän chilissä on kapsaisiinia, sitä tulisempi se on. Chilen kanssa samaan sukuun kuuluva paprika ei sisällä kapsaisiinia.

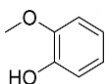


**Kuva 1:** Kapsaisiinin rakennekaava.

#### Folin-Ciocalteu -menetelmä

Folin-Ciocalteu -menetelmän taustalla on hapettumis-pelkistymisreaktio. Reaktiossa liuokseen muodostuu sininen väri, jonka intensiteetti voidaan mitata spektrofotometrillä aallonpituudella 760 nm. Liuos ei saa olla samea aallonpituutta mitattaessa!

Reaktio tapahtuu kapsaisiinin vanillyyliosan (kuva 2) kanssa. Menetelmä ei kuitenkaan ole kapsaisiinille spesifinen, vaan siinä hapettuu myös muita yhdisteitä.



**Kuva 2:** Kapsaisiinin vanillyyliosa.

## TYÖOHJE:

### Liuosten valmistaminen

Cielo punnitsi kutakin näytettä 0,100 g pieniin keitinlaseihin. Jokaiseen lasiin hän lisäsi 10,0 ml

- a) metanolia    b) vettä

ja sekoitteli tätä noin 5 minuuttia. Tämän jälkeen hänen täytyi erottaa lasissa oleva neste ja kiinteä sakka.

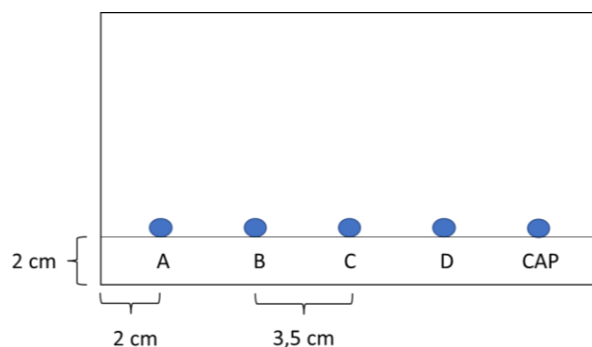
Tämän hän teki \_\_\_\_\_. Erotuksen jälkeen hän laimensi näyteliuoksen 1:2. Hän siis lisäsi näyteliuokseen metanolia vielä

- a) 10,0 ml      b) 20,0 ml      c) 30,0 ml

### Paperikromatografia

Cielo laittoi pisaran kutakin laimennettua näyteliuosta ja puhdasta kapsaisiiniliuosta kromatografiapaperille nähdäkseen, mitkä näytteistä sisälsivät kapsaisiinia. Näin hän saisi tietää, mikä näytteistä oli \_\_\_\_\_.

Pisarat olivat 2,0 cm:n päässä reunoista ja 3,5 cm:n etäisyydellä toisistaan (kuva 3). Pisaroiden kuivuttua hän asetti paperin keitinlasiin, jossa oli 30,0 ml ajoliuosta. Lopuksi hän laittoi keitinlasin päälle foliota kanneksi. 10–15 minuutin päästä hän otti paperin pois keitinlasista ja antoi sen kuivua pari minuuttia. Kuivalle paperille Cielo ruiskutti rauta(III)kloridi-liuoksen ja kaliumferrosyanidi-liuoksen sekoitusta.



**Kuva 3:** Kromatografiapaperi

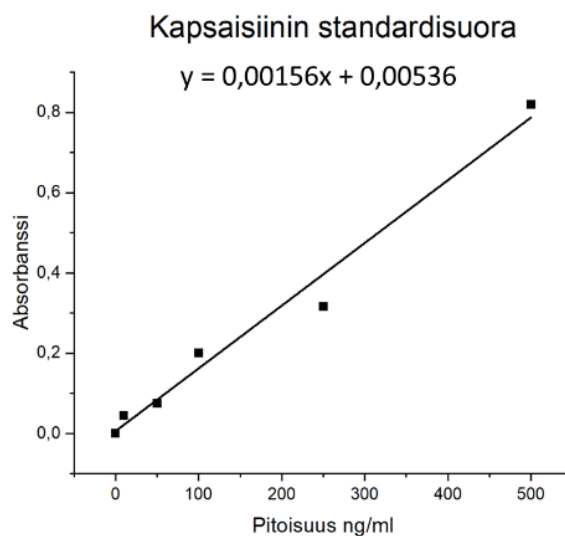
## Folin-Ciocalteu -menetelmä

Chilien tulisuusasteet Cielo selvitti tutkimalla niiden kapsaisiinipitoisuutta Folin-Ciocalteu -menetelmällä. Hän laitto vetokaapissa koeputkeen ensin laimentamaansa näyteliuosta 1,0 ml, Folin-Ciocalteu'n reagenssia 2,0 ml ja lopuksi natriumhydroksidia 5,0 ml.

Hän teki tämän jokaiselle näytteelle erikseen. Tämän jälkeen hän laitto koeputkien korkit kiinni, ravisteli niitä ja jätti ne reagoimaan tunniksi. Absorbansseja mitattaessa liuokset eivät missään nimessä saaneet olla

\_\_\_\_\_!

Kapsaisiinipitoisuuden tutkimista varten Cielo oli valmistanut puhtaasta kapsaisiinista eri pitoiset standardiliuokset. Folin-Ciocalteu -menetelmän avulla hän sai standardisuoran:



Mitattujen absorbanssien ja standardisuoran avulla hän pystyi laskemaan kapsaisiinipitoisuudet kussakin näytteessä yksikössä  $\frac{\text{mg}}{\text{g}}$

KYSELY

Chilikysely

TYÖOHJEEN LAATIMINEN

1. Olitko kiinnostunut siitä mitä teit?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| En | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

2. Tunsitko itsesi taitavaksi siinä mitä teit?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| En | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

3. Oliko tekemisesi haastavaa?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

4. Herättikö aihe uteliaisuutesi?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

5. Oliko tämä hyödyllistä sinulle?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

PAPERIKROMATOGRAFIA

6. Olitko kiinnostunut siitä mitä teit?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| En | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

7. Tunsitko itsesi taitavaksi siinä mitä teit?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| En | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

8. Oliko tekemisesi haastavaa?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

9. Herättikö aihe uteliaisuutesi?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

10. Oliko tämä hyödyllistä sinulle?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

FOLIN-CIOCALTEU -MENETELMÄ

11. Olitko kiinnostunut siitä mitä teit?

|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

12. Tunsitko itsesi taitavaksi siinä mitä teit?

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|



|    |                       |                       |                       |                       |                       |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

13. Oliko tekemisesi haastavaa?

|    |                       |                       |                       |                       |                       |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

14. Herättikö aihe uteliaisuutesi?

|    |                       |                       |                       |                       |                       |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |

15. Oliko tämä hyödyllistä sinulle?

|    |                       |                       |                       |                       |                       |       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |       |
| Ei | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Kyllä |