

Analyysimenetelmät lukion kemian opetuksessa: Klassinen ja mikrokemiallinen hapetus-pelkistytitraus

Marjut Oksanen, Maarit Saloranta ja Marika Östman

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä: Opetussuunnitelmassa korostetaan kokonaisuuden ymmärtämistä, mutta oppikirjoissa titraus analyysimenetelmänä esitetään usein irrallisena kokonaisuutena. Titraus eli volumetrinen analyysi on kemian kvantitatiivinen analyysimenetelmä, jolla voidaan määrittää tunnetun aineen ainemäärä ja pitoisuus. Yleisimmät titrausmenetelmät ovat happo-emäs- eli neutralointi-, kompleksinmuodostus-, saostus- ja hapetus-pelkistytitraus. Tutkimuskirjallisuudesta käy ilmi useita titrauksen opettamiseen liittyviä haasteita, joista tässä työssä otetaan huomioon erityisesti moolin käsite, menetelmän mittakaava, ryhmä koko, käänteisen oppimisen hyödyntäminen, simulaatiot ja arkielämän konteksti. Kahden viimeksi mainitun käyttö on perusteltua myös opetussuunnitelman näkökulmasta. Haasteiden ratkaisuksi tässä kehitystyössä opetuskokonaisuudessa esitetään mm. mooli-kertomusta, mikrokemiallista titrausta ja käänteisen oppimisen hyödyntämistä. Opetuskokonaisuudessa kemian makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso otetaan huomioon yhdistämällä ennakkotehtäviä ja oppituntityöskentelyä. Kokeellisessa työssä suoritetaan sekä klassinen että mikrokemiallinen hapetus-pelkistytitraus, jossa tutkitaan appelsiinin C-vitamiinipitoisuutta. Opetuskokonaisuus on rakennettu arkielämän kontekstiin, jolloin aiheesta muodostuu opiskelijoille mielekkäämpi ja se edistää oppimista.

Avainsanat: analyysimenetelmät, titraus, hapetus-pelkistytitraus, klassinen titraus, mikrokemiallinen titraus, käänteinen oppiminen

1 Johdanto

Lukion oppikirjoja analysoimalla havaitaan, että analyysimenetelmistä titrausta eli volumetrista analyysia käsitellään eri kirjasarjoissa eri tavoin. Seurauksena on, että menetelmästä muodostuu aina selkeää kokonaisuutta. Tämä selkeän kokonaisuuden hahmottamisen puute oppikirjoissa ja toisaalta titrauksen sisältyminen eksplisiittisesti lukion opetussuunnitelmaan loi tarpeen titraukseen liittyvän opetuskokonaisuuden kehittämiseksi lukion 3. kurssille. Kehittämisen tarvetta perustellaan opetussuunnitelman, oppikirjojen, tutkimuskirjallisuuden ja opetuskäytäntöjen näkökulmasta, joita käsitellään seuraavassa luvussa.



2 Tarveanalyysi

2.1 Opetussuunnitelma

Lukion kemian opetussuunnitelmassa korostetaan sitä, että opiskelijoita tulisi tukea muodostamaan looginen kokonaiskuva siitä, mitä opetettava käsite tai ilmiö merkitsee makroskooppisella, mikroskooppisella ja symbolisella tasolla. Lähtökohtana tulisi olla *“elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden havainnointi ja tutkiminen”*. (Opetushallitus, 2015, s. 157)

Lukion kemian 2. kurssin, “Ihmisen ja elinympäristön kemiaa”, opetussuunnitelman keskeisissä sisällöissä mainitaan ainemäärän ja pitoisuuden käsitteet (Opetushallitus, 2015, s. 158). Lukion kemian 3. kurssin, “Reaktiot ja energia”, keskeisissä sisällöissä mainitaan reaktioiden tutkiminen kokeellisesti, titraus analyysimenetelmänä, tutkimustulosten käsitteleminen, tulkitseminen ja esittäminen (Opetushallitus, 2015, s. 159).

Opetussuunnitelman mukaan pitoisuus käsitteenä esitellään oppilaille ensimmäisen kerran jo yläkoulussa arkisten esimerkkien yhteydessä. Opetuksessa pysytellään tällöin pääasiassa makroskooppisella tasolla (Opetushallitus, 2014).

2.2 Oppikirjat

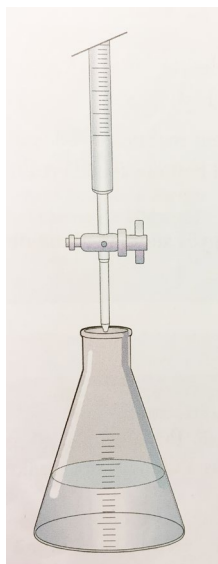
Lukion kemian 2. kurssin Mooli 2 -oppikirjassa (Turpeenoja & Lehtiniemi, 2016) tutustutaan ainemäärän ja konsentraation käsitteisiin kirjan teoriaosan ensimmäisissä kappaleissa. Lisäksi kirjan lopussa on työhjeita, jotka sisältävät kaksi happo-emäs- eli neutralointititrausta.

Lukion kemian 3. kurssin Mooli 3 -oppikirjan (Turpeenoja, 2018) teoriaosassa mainitaan happo-emästitraus neutraloitumisreaktion käsittelemisen yhteydessä. Kirjan lopussa on työhjeet erikseen happo-emäs-, saostus- ja hapetus-pelkistystitrauksille. Kirjan teoriaosassa esitetään, että happo-emästitrauksen ekvivalenttipiste voidaan havaita happo-emäsindikaattorin tai pH-mittarin avulla. Työhjeissa käytetään indikaattoria. Kirjassa ei ole esitetty titrauskäyrää.

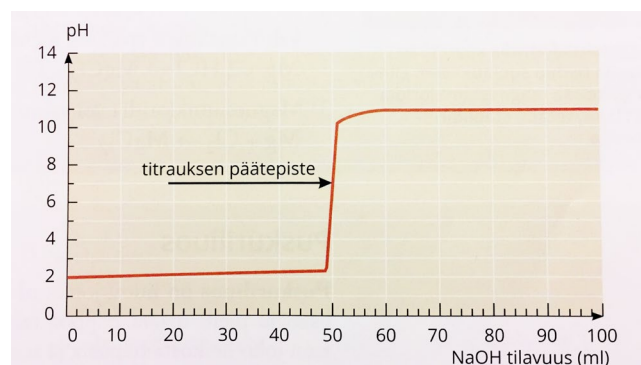
Lukion kemian 3. kurssin Lukion kemia KE3-oppikirjassa (Koskinen & Koskinen, 2017) titraus on esitelty yhtenä kvantitatiivisen analyysin menetelmänä kirjan viimeisessä kappaleessa, joka on nimetty ”Kemiallisia reaktioita”. Kappaleessa olevassa taulukossa kuvataan neljä erilaista titrausmenetelmää (happo-emäs-,

kompleksinmuodostus-, saostus- ja hapetus-pelkistytitraus) ja tekstissä viitataan lyhyesti käytännön sovelluksiin. Kolmesta titrausmenetelmästä on annettu myös esimerkkitapaukset laskutoimituksineen. Kappaleen taulukossa ja esimerkkitapausten teksteissä käytetään osittain eri termejä. Energiamuutokset-kappaleessa mainitaan lisäksi kokeellisena työnä termometrinen titraus. Tässä kirjassa ei esiinny titraukseen liittyviä kuvia tai kuvaajia.

Aikaisemmin omaksutun tiedon näkökulmasta todettakoon, että yläkoulun Titaani-kirjasarjan kemian kirja (Muilu & Virtanen, 2016) esittelee titrausta menetelmänä saada tuntemattoman happo-emäsluoksen pitoisuus mitattua. Menetelmäkuvauksen yhteyteen on liitetty kuva titrauksesta. Tässä oppikirjassa esitellään myös kokeellisia töitä neutraloitumisreaktion liittyen. Lisäksi ko. kirjassa kuvataan vahvan ja heikon hapon käsitteet visuaalisesti mikroskooppisella tasolla. Yläkoulun Ilmiö 7–9 -kirjasarjan kemian kirjassa (Ikonen et. al., 2018) mainitaan happo-emästitraus yhtenä neutraloitumisreaktion sovelluksena, kun halutaan selvittää hapon tai emäksen pitoisuus. Kirjassa on piirroskuva titrauslaitteistosta (Kuva 1) ja titrauskäyrää esittävä kuvaaja (Kuva 2).



Kuva 1. Titrauslaitteistoon lukeutuvat näyteliuosta sisältävä keittopullo ja byretti, jonka avulla tiputetaan titranttia näyteliuokseen (Ikonen et. al., 2017, s. 139).



Kuva 2. Happo-emästitrauksen etenemistä kuvaava titrauskäyrä, josta voidaan lukea titrauksen päätepiste (Ikonen et. al., 2017, s. 139)

2.3 Tutkimuskirjallisuus

2.3.1 Makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso kemian opetuksessa

Kemian ilmiöitä ja käsitteitä voidaan tarkastella ja esittää makroskooppisella, mikroskooppisella ja symbolisella tasolla (Gabel, 1999). Makroskooppinen tarkastelu tapahtuu tasolla, jonka voimme nähdä, tuntea tai muutoin havaita. Tähän kemian ensimmäiseen tasoon liittyy esimerkiksi kokeellisten töiden suorittaminen. Mikroskooppisella tasolla tarkastellaan kemiaa partikkelikoossa eli tasolla, jota emme pysty näkemään. Symbolinen taso puolestaan viittaa kemian ilmiöiden tarkasteluun käyttäen nimensä mukaisesti symboleita. Tästä kolmannelta tasosta tyypillinen esimerkki on reaktioyhtälö.

Gabelin (1999) ja Leen (1999) mukaan kemian opetukseen liittyvien virhekäsitysten taustalla on usein syynä kemian kolmitasoisuus. Gabel (1999) painottaa, ettei tasojen olemassaolo itsessään tuota ongelmia vaan tasojen välillä liikkuminen satunnaisesti ilman johdonmukaisuutta jättää oppijan epätietoisuuden valtaan. Gabelin mukaan oppikirjoissa asiat esitetään usein symbolisella tasolla, jolloin ilmiö voi jäädä opiskelijoille vieraaksi. Opetuksen aikana opettaja saattaa kuitenkin siirtyä huomaamattaan tarkastelutasolta toiselle. Opiskelija ei välttämättä osaa käsitellä ilmiötä samalla tavalla eikä näin ollen pysty yhdistämään eri tasoilla olevaa tietoa toisiinsa (Gabel, 1999). Leen (1999) mukaan virhekäsitysten syntyä voisi ehkäistä käyttämällä opetuksessa kemian kaikkia kolmea tasoa kiinnittäen huomiota erityisesti mikroskooppiseen tasoon. Leen (1999) mukaan aloittelevat opettajat hallitsevat usein makroskooppisen ja symbolisen kemian tasot, mutta tarvitsevat tukea mikroskooppisen tason käsittelyyn. Tuntemattomat materiaalit opetuksessa voivat Gabelin (1999) mukaan olla lisäsyynä oppimisen esteiden syntymiseksi, jos opiskelijat eivät hahmota kemian liittyvän heidän elämäänsä. Tutkijan mukaan tähän tulisi kiinnittää huomiota, jotta oppiminen olisi tehokkaampaa ja motivoivampaa.

2.3.2 Ajattelun taitotasot kemian opetuksessa

Kemian opetuksen tavoitteena on, että opiskelija käyttäisi korkeamman ajattelun taitotasoa työskennellessään tehtävien parissa (Pernaa, 2011). Pernaa (2011, s. 25) esittelee Krahtwohlin oppimiseen liittyvien kognitiivisten prosessien eli ajattelun taitotasojen luokittelun, joka pohjautuu Bloomin taksonomiaan. Nämä ajattelun kuusi taitotasoa ovat muistaminen, ymmärtäminen, soveltaminen, analysoiminen, arvioiminen ja luominen.

2.3.3 Titrauksen opettamisen haasteita ja suosituksia

Warrenin (2015) mukaan kvantitatiiviset analyysimenetelmät, kuten titraus, ovat vaikeita aiheita opettaa. Titrauksen haasteet liittyvät erityisesti moolin ja ainemäärän käsitteisiin, jotka saattavat olla opettajillekin vaikeita määrittää. Muita haasteita ovat mm. puutteelliset ja/tai vialliset laitteistot, suuret opetusryhmät, laitteiden ja pipetin käsittelyn hankaluus, mittaustulosten tulkinnan vaikeus sekä reaktion päätepisteen havaitseminen. Lisäksi opiskelijoilla on vaikeuksia kemiallisen kaavan ja tehtävän kokeen yhteyden ymmärtämisessä, eli siinä, miten makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso liittyvät toisiinsa. Haasteita titrauksen oppimiseen aiheuttavat myös puutteet kemian peruskäsitteiden ymmärtämisessä. (Warren, 2015)

Sheppardin (2006) tutkimuksessa lukio-opiskelijoilla Yhdysvalloissa oli paljon virhekäsityksiä happo-emäs-titraukseen liittyen. Lisäksi heillä oli vaikeuksia ymmärtää, mitä neutraloitumisreaktiossa oikeastaan tapahtuu. Opiskelijat eivät ymmärtäneet sitä, että aineen pH liittyy konsentraatioon ja vetyioneihin, eivätkä sitä, että pH:n asteikko on logaritminen eikä lineaarinen. Oletettiin myös, että kaikki indikaattorit vaihtavat väriään tasan pH-arvolla 7.

Sheppardin (2006) tutkimuksen mukaan opiskelijat eivät osanneet yhdistää, että neutraloitumisreaktiossa tapahtuu kemiallisia muutoksia. Osa opiskelijoista ymmärsi, että neutraloituminen on hapon ja emäksen sekoittumista, mutta kemiallisen muutoksen tasoa ei ymmärretty. Saattoi olla, että reaktioon liittyviä laskutoimituksia osattiin laskea, mutta asian kokonaiskuvan hahmottaminen jäi monella vajavaiseksi. Titrauskäyrää tarkastelemalla osa opiskelijoista ymmärsi, että neutralointireaktio tapahtuu vasta ekvivalenttipisteessä.

Warren (2015) ehdottaa opetusmenetelmäksi käänteisen oppimisen – eli flipped learning -pedagogiikkaa (Toivola, 2019 ja Toivola et. al., 2017) ja simulaatioiden

käyttämistä sekä mikrokemian soveltamista. Mikrokemian sovelluksissa kaikki oppilaat pääsevät konkreettisesti tekemään kokeita ja opetustilanteesta muodostuu mahdollisimman tehokas. Moolin käsitteen ymmärtämiseksi erityistä huomiota tulisi hänen mukaansa kiinnittää siihen, että yhteys kemiallisen reaktioyhtälön ja kokeessa käytettävien reagenssien määrien välillä tulisi opiskelijoille selväksi. Sheppardin (2006) mukaan digitaalinen pH-mittari, jota voidaan seurata reaaliaikaisesti voisi olla hyvä havainnointiväline pH:n muutoksen seuraamiseen happo-emästitrauksessa. Warren (2015) ehdottaa titrauksen opettamisen lähtökohdaksi moolin käsitteen avaamista.

2.4 Opetuskäytännöt

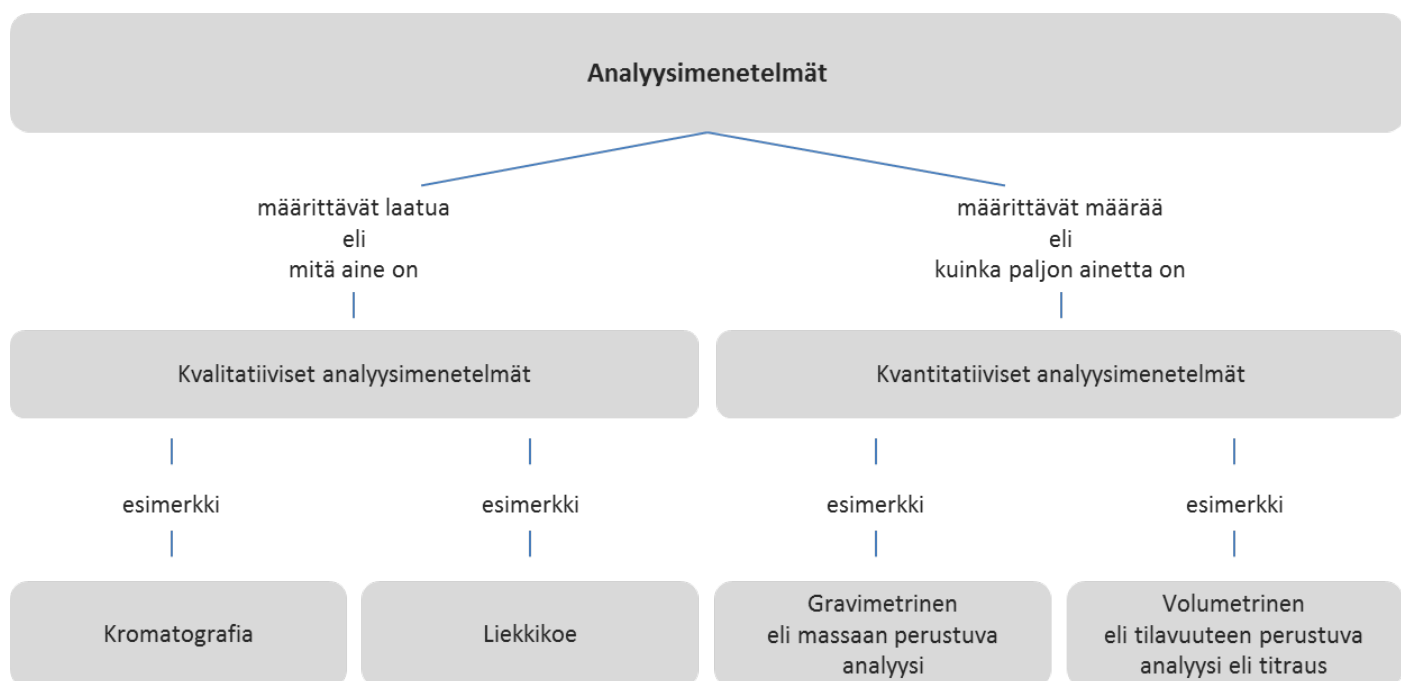
Tämän opetuskokonaisuuden kehittämisen yhteydessä haastateltiin marraskuussa 2019 kahta helsinkiläistä kemian opettajaa. Heidän mukaan titrausanalyysimenetelmänä opetetaan opiskelijoille useimmiten lukion kemian 5. kurssin yhteydessä. Yleensä kokeellisena työnä suoritetaan happo-emästitraus, josta piirretään myös titrauskäyrä. Erityiseksi haasteeksi titrauksen opettamisessa koettiin välineistön vähäinen määrä, mikä johtaa käytännössä opetusryhmän jakamiseen pienemmiksi opiskelijaryhmiksi. Laitteiston kunnossapidosta kyseisessä lukiossa vastaavat koulun opettajat yhdessä ja välineistö tarkastetaan säännöllisesti.

3 Kemiallinen näkökulma

Kemian analyysimenetelmät muodostavat laajan aihekokonaisuuden ja sen hahmottamiseen voidaan käyttää useita eri periaatteita. Tässä titrausta tarkastellaan aluksi osana analyysimenetelmien kenttää kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen analyysin näkökulmasta. Tämän jälkeen esitellään yleisimmät titrausmenetelmät sekä kehitettyyn opetuskokonaisuuteen liittyvän jodometrisen hapetus-pelkistystitrauksen kemiallinen ulottuvuus.

3.1 Analyysimenetelmät

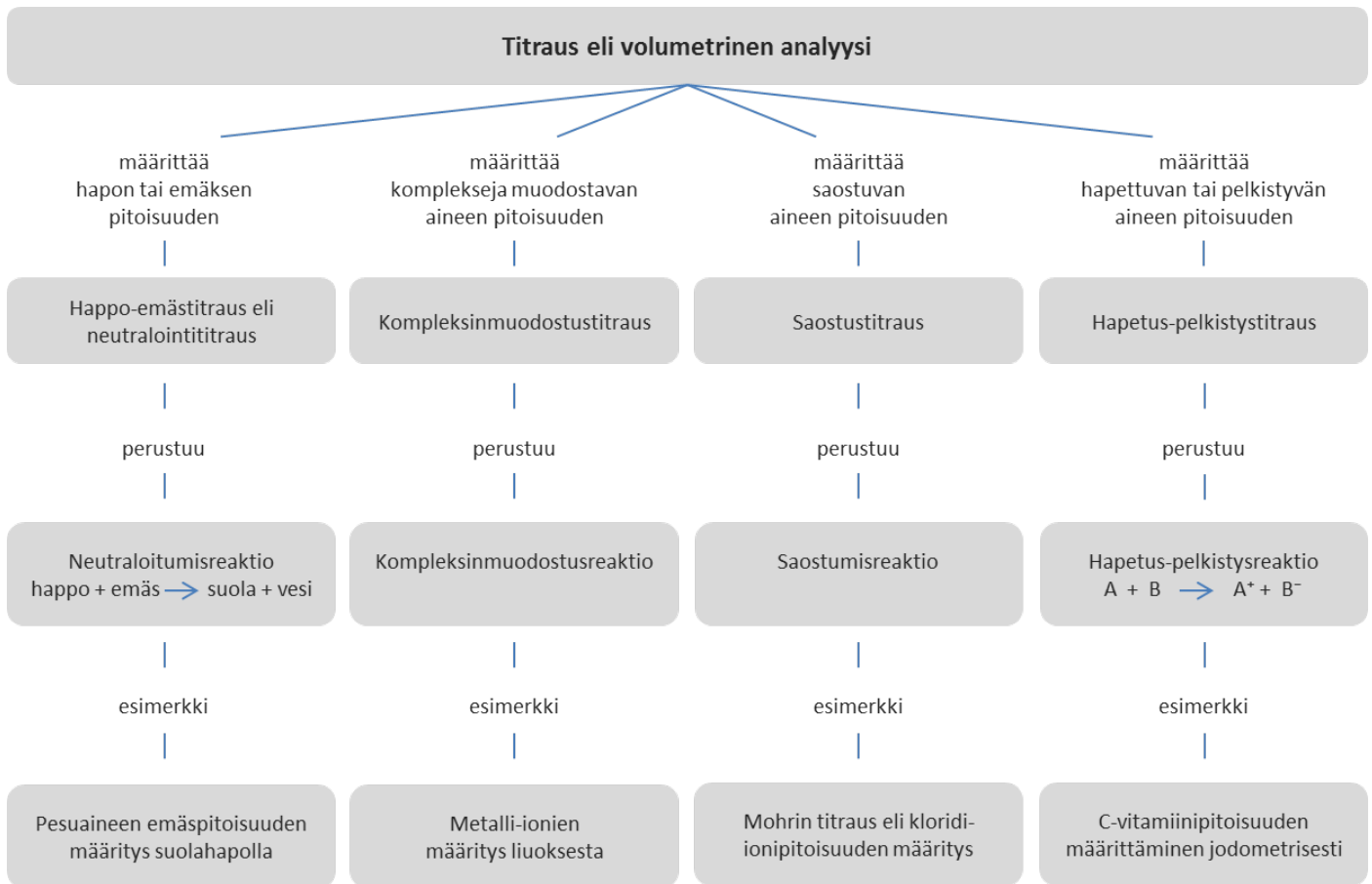
Analyysimenetelmät jaetaan usein kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin menetelmiin, vaikka muutkin jaotteluperiaatteet ovat mahdollisia. Titraus on yksi esimerkki kemian kvantitatiivisista analyysimenetelmistä. (Kuva 3)



Kuva 3. Analyysimenetelmien jako kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin analyysimenetelmiin (koostettu käyttäen soveltaen lähteinä mm. Eskeli et al., 2019; Koskinen & Koskinen, 2017)

3.2 Titrausmenetelmät

Yleisimmät titrausmenetelmät ovat happo-emäs- eli neutralointititraus, kompleksinmuodostustitraus, saostustitraus ja hapetus-pelkistystitraus. Titrauksessa tutkittavaan näytteeseen lisätään titranttia, jonka pitoisuus tiedetään. Titrantin kulutuksen perusteella selvitetään tutkittavan näytteen pitoisuus. Tässä opetuskokonaisuudessa käytettävä menetelmä perustuu hapetus-pelkistysreaktioon, kun C-vitamiinipitoisuutta määritetään jodometrisesti. (Kuva 4)



Kuva 4. Titrauksen eli volumetrisen analyysin yleisimmät menetelmät (koostettu käyttäen soveltaen lähteinä mm. Eskeli et al., 2019; Koskinen & Koskinen, 2017).

3.2.1 Jodometrinen hapetus-pelkistystitraus

Jodometrisessa hapetus-pelkistystitrauksessa näytettä titrataan jodiliuoksella. Jodiliuoksessa oleva jodidi pelkistyy jodi-ioneiksi ja näyteliuoksessa oleva askorbiinihappo puolestaan hapettuu dehydroaskorbiinihapoksi. Titrauksen päätepiste saavutetaan, kun näyteliuoksessa oleva askorbiinihappo on täysin hapettunut ja ylimääräinen jodi pääsee näin reagoimaan indikaattorina olevan tärkkelysliuoksen kanssa muodostaen sinimustan tärkkelys-jodi-kompleksin. Jodometrisen titrauksen reaktioyhtälö voidaan kirjoittaa seuraavasti:



Kokeellisessa työssä jodiliuoksen pitoisuus tulisi tarkistaa juuri ennen työn suorittamista, mikäli tavoitellaan täsmällisiä tuloksia - jodiliuoksen pitoisuus saattaa muuttua säilytyksen aikana. Lisäksi tutkittavat näytteet tulisi valmistaa juuri ennen

titrausta, koska C-vitamiinipitoisuus voi laskea C-vitamiinin hapettuessa valon vaikutuksesta. Titrauksen päätepisteen havaitsemisessa saattaa ilmetä haasteita, mikäli näytteen väri on voimakas. (University of Canterbury, 2011)

4 Kokeellinen työ

Kehittämämme opetuskokonaisuuden kokeellisen työn aihe on C-vitamiinin eli L-askorbiinihapon määrittäminen appelsiinista jodometrisenä hapetus-pelkistytitrauksena. C-vitamiini on oppilaille tuttu asia jokapäiväisestä elämästä, joten työ saadaan sidottua hyvin arkielämän kontekstiin. L-askorbiinihappoa kutsutaan puhekielessä C-vitamiiniksi. Tässä kappaleessa esitellään kehitettyyn opetuskokonaisuuteen liittyvän kokeellisen työn merkitys, työturvallisuus ja jätteiden käsittely sekä työn toteutus.

4.1 Työn merkitys

Päivittäinen C-vitamiinin tarpeemme on noin 70–100 mg. Tämä määrä saadaan jo yhdestä appelsiinista. C-vitamiinin päätehtävä elimistössämme on säädellä hapettumis-pelkistymisreaktioita. (Laine & Nikander, 1997). C-vitamiini toimii keripukkia ehkäisevänä ja sidekudosta ylläpitävänä vitamiinina elimistössämme (Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2019). Lisäksi se toimii hapettumisenestoaineena, minkä vuoksi sitä käytetään lisäaineena E300 monissa elintarvikkeissa (Laine & Nikander, 1997).

Keripukki on tauti, joka aiheutuu C-vitamiinin puutteesta. Se voi puhjeta jo 1–3 kuukauden C-vitamiinittoman ruokavalion jälkeen. Oireina ovat laajat mustelmat sekä turvonneet, tulehtuneet ja vuotavat ikenet, minkä seurauksena hampaat heiluvat ja irtoilevat. Keripukkia on viimeksi esiintynyt yleisesti teollistuneessa maailmassa toisen maailmansodan aikana, mutta sitä tavataan ajoittain edelleen. Yleisimmin tautiin sairastuvat puutteellisesti ruokailevat vanhukset ja alkoholistit, mutta uusia tapauksia on löytynyt lisäksi syömishäiriötä sairastavilla tai erikoisdieetteihin ryhtyneillä, muuten terveillä henkilöillä. (Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2001).

4.2 Työturvallisuus ja jätteiden käsittely

Jodiliuos on myrkyllistä ja tahrivaa. Muut työssä käytettävät aineet eivät ole haitallisia. Jodiliuoksen käytön vuoksi työ suoritetaan vetokaapissa. Lisäksi työhön suojaudutaan suojalaseilla, suojakäsineillä ja laboratoriotakilla.

Työn suorittamisen jälkeen jodiliuosta sisältävät jätteet kerätään “Jodi vesiliuoksessa” -jätepulloon. Jätepullo hävitetään asianmukaisesti. Muut työssä käytetyt liuokset voidaan huuhdella viemäriin.

4.3 Työn toteutus

Työ toteutetaan kahdessa osassa: suoritetaan erikseen klassinen¹ ja mikrokemiallinen² hapetus-pelkistystitraus. Klassinen titraus tässä opetuskokonaisuudessa viittaa analyysimenetelmään, jossa käytetään titrauslaitteistoa. Mikrokemiallinen titraus puolestaan viittaa pienen mittakaavan analyysimenetelmään, jossa käytetään mahdollisimman vähän reagensseja.

4.3.1 Klassinen hapetus-pelkistystitraus

Appelsiinimehusta määritetään pitoisuus perinteisellä jodometrisella titrauksella byrettiä käyttäen.

10 ml appelsiinista puristettua ja suodatettua mehua laimennetaan kolminkertaiseksi vedellä. Näytettä titrataan 0,005 M jodiliuoksella käyttäen tärkkelysliuosta (10 g/l) indikaattorina. Väri muuttuu titrauksen päätepisteessä siniseksi. Lasketaan appelsiinimehun C-vitamiinipitoisuus jodiliuoksen kulutuksen avulla.

4.3.2 Mikrokemiallinen hapetus-pelkistystitraus

Mikrokemiallisessa titrauksessa näytteenä on laimentamaton suodatettu appelsiinimehu. Titrausliuoksena on 0,05 M jodiliuos. Indikaattoriliuoksena on tärkkelysliuos (10 g/l). Vertailuliuokseksi valmistetaan 1 mg/ml L-askorbiinihappoliuos.

1 Klassisen hapetus-pelkistystitrauksen tarkka työohje liitteenä (ks. Liite 1).

2 Mikrokemiallisen hapetus-pelkistystitrauksen tarkka työohje liitteenä (ks. Liite 2).

Kennolevyn kuuteen kennoon pipetoidaan 3 pisaraa jodiliuosta. Kennoihin lisätään pisarat tärkkelysluosta. Kaikkien lisäysten välissä liuoksia sekoitetaan hammastikuilla. Kolmeen ensimmäiseen kennoon lisätään pisaroittain edellä valmistettua vertailuliuosta, kunnes sininen väri häviää. Kolmeen jäljellä olevaan kennoon lisätään suodatettua appelsiinimehua pisaroittain, kunnes sininen väri häviää. C-vitamiinin määrä mehussa saadaan laskettua, kun vertailuliuoksen pisaroiden lukumäärää verrataan mehun pisaroiden lukumäärään. Laskuissa käytetään kolmen pisaramäärän keskiarvoa.

5 Pedagoginen toteutus

Kehitetyn opetuskokonaisuuden pedagogisessa toteutuksessa käytetään elementtejä flipped learning - eli käänteisen oppimisen -menetelmästä (Toivola, 2019; Toivola et. al., 2017 & Warren, 2015). Opiskelijat tutustuvat titraukseen ennen oppitunnille saapumista kokeilemalla ennakkotehtäväksi annettua titraussimulaatiota. Lisäksi opiskelijat tutustuvat mikroskooppisen tason reaktioon katsomalla ennakkotehtäväksi annetun animaatiovideon. Opiskelijat tutustuvat etukäteen myös eri titrausmenetelmiin osana analyysimenetelmien kenttää esimerkiksi käsitekartan muodossa. Tällä tavoin opiskelijat ovat oppitunnille saavuttuaan heti valmiita toimintaan ja vuorovaikutukseen aiheesta.

Virittäytyminen aiheeseen varsinaisella oppitunnilla suoritetaan ennakkotehtäviin viittaamalla sekä erityisesti moolin käsitteen kertauksella moolikertomuksen ja esimerkin muodossa. Näin opiskelijat palauttavat mieleensä titraukseen oleellisesti liittyvän, lukion 2. kurssilla opitun tiedon. Moolikertomuksessa ja siihen liittyvässä esimerkissä käytetään helposti ymmärrettäviä käsitteitä ja apuna käytetään havainnollistavia ja elävöittäviä kuvia. Mooli esitetään yksikkönä, jota kemistit käyttävät, kun he haluavat tietää, että heillä on sama määrä aineen perusosasia.

Mooli-kertomus. ”Meillä voi olla tusina keksejä. Tämä tarkoittaa, että meillä on kaksitoista keksiä. Jos taas meillä on yksi mooli keksejä, se tarkoittaa, että meillä on 602 200 000 000 000 000 eli $6.02 \cdot 10^{23}$ keksiä. Erilaisten keksien koko ja massa (puhekielellä: paino) vaihtelevat. Tarvitsemme yhden keksin massan, että saamme laskettua massan tusinalle samoja keksejä. Samalla tavalla eri aineiden perusosaset (eli atomit, molekyylit, ionit, elektronit, muut hiukkaset tai niiden ryhmittymät) ovat erikokoisia ja tämän takia tarvitsemme näiden perusosasten

moolimassaa avuksi ratkaisemaan sen, paljonko mooli eli $6.02 \cdot 10^{23}$ kappaletta jonkun tietyn aineen perusosasta “painaa” eli mikä on sen massa.”

Esimerkki. ”Jos kauppalistassamme lukisi, että tarvitsemme yhden moolin ruokasuolaa ja haluaisimme saada tämän määrän kauppiaille ymmärrettävämpään muotoon eli grammoiksi, laskisimme seuraavasti:

$$m = n \cdot M (\text{NaCl}) = 1 \text{ mol} \cdot (23 + 35) \text{ g/mol} = 58 \text{ g,}$$

missä

m = massa (g)

n = ainemäärä (mol)

M = moolimassa (g/mol)

Eli tarvitsemme kauppiaalta 58 grammaa ruokasuolaa, jotta saisimme yhden moolin ruokasuolaa ostettua.”

Kokeellinen työ suoritetaan heti moolin käsitteen kertaamisen jälkeen kahden tai kolmen opiskelijan ryhmissä. Kokeellisen työn jälkeen reflektoidaan tapahtunutta: käydään läpi kokeellisessa työssä tehdyt havainnot, verrataan tuloksia toisiinsa, etsitään mahdollisia virhelähteitä ja lopuksi käsitellään tehtyjen makroskooppisten havaintojen yhteyttä kokeen kemialliseen reaktioon symbolisella tasolla sekä sidotaan nämä ennakkotehtävässä tarkasteltuun aiheen mikroskooppiseen tasoon.

6 Johtopäätökset

Opetussuunnitelmassa korostetaan kokonaisuuden ymmärtämistä, mutta oppikirjoissa titraus analyysimenetelmänä esitetään usein hajallaan kokonaisuudesta. Viittaukset liittyvät useimmiten happo-emäs-titraukseen: tästä opiskelija voi saada virheellisen käsityksen siitä, että titraus liittyy aina neutraloitumisreaktioon. Lisäksi opettajan tekemät valinnat ja käytettävissä oleva aika vaikuttavat opiskelijalle syntyvään kokonaiskuvaan varsinkin, jos kaikkia kirjassa esitettyjä kokeellisia töitä ei suoriteta. Joissakin oppikirjoissa toisistaan eroavat termit tekstissä ja tekstiin liittyvissä taulukoissa saattavat johtaa opiskelijaa harhaan ja hankaloittaa kokonaisuuden hahmottamista entisestään. Oppikirjoista puuttuu toisinaan myös tutkimuskirjallisuuden suosittelu havainnollistaminen: esimerkiksi titrauskäyrää ei ole aina esitetty kuvaamaan happo-emästitrauksen

kulkua ja ekvivalenttipisteen saavuttamista.

Tutkimuskirjallisuudesta käy ilmi useita titrauksen opettamiseen liittyviä haasteita, joista tässä opetuskokonaisuudessa otetaan huomioon erityisesti moolin käsite, menetelmän mittakaava, ryhmäkoko, käänteisen oppimisen hyödyntäminen, simulaatiot ja arkielämän konteksti. Kahden viimeksi mainitun käyttö on perusteltua myös opetussuunnitelman näkökulmasta.

Moolin käsitteen avaaminen kertomuksen avulla yksinkertaista kieltä käyttäen auttaa opiskelijoita palauttamaan mieleensä ja ymmärtämään jo edellisellä kurssilla opetetun ainemäärän käsitteen mielekkäällä ja mieleenpainuvalla tavalla.

Mikrokemian hyödyntäminen kokeellisessa työssä on perusteltua muun muassa, koska tutkimuskirjallisuuden mukaan laitteistoja ei välttämättä ole riittävästi käytettävissä ja näin ollen kokeellisen työn ryhmäkokoa saattaa klassisessa titrauksessa nousta liian suureksi. Mikrokemiallisen titrauksen hyvä puoli on lisäksi se, että siinä käytettävät mikrokennot ovat halpoja. Niitä on mahdollista hankkia luokkaan enemmän, jolloin on mahdollista tehdä kokeellinen työ pienemmissä opiskelijaryhmissä. Lisäksi reagenssien määrä on mikrokemiallisissa töissä huomattavasti pienempi, jolloin jätteitä syntyy vähemmän.

Käänteisen pedagogiikan hyödyntäminen on perusteltua tutkimuskirjallisuudesta nousevien suositusten mukaisesti. Opetuskokonaisuus pystytään näin ollen muodostamaan siten, että oppitunnilla keskitytään ensisijaisesti kokeellisuuteen ja aiheeseen liittyvän kemian eri tasojen yhteyksien luomiseen.

Opetuskokonaisuus on tutkimuskirjallisuuden ja opetussuunnitelman suositusten mukaisesti rakennettu arkielämän kontekstiin: Moolikertomuksessa käytetään esimerkkeinä keksejä ja suolaa. Kokeellinen työ puolestaan perustuu appelsiiniin ja C-vitamiiniin. Tällä tavoin kokonaisuus on opiskelijoille mielekkäämpi ja se edistää oppimista.

Tässä opetuskokonaisuudessa oppilaat saavat kokemusta lähes kaikista ajattelun taitotasoista. Ennakkotehtäviä tehdessään opiskelijat liikkuvat muistamisen ja ymmärtämisen tasolla palauttaessaan mieleensä aiemmin opittua asiaa sekä tutustuessaan syvemmin aiheeseen simulaatioon avulla. Kokeellisessa työssä ja siihen liittyvissä laskutehtävissä sovelletaan jo opittua asiaa. Opetuskokonaisuuden loppuvaiheessa liikutaan analysoimisen tasolla, kun analysoidaan kokeellisesta työstä saatuja tuloksia. Lopuksi arvioidaan mahdollisia virhelähteitä ja organisoidaan opetuskokonaisuudessa opittua kemian eri tasoille.

Opetuskokonaisuudessa kemian makroskooppinen, mikroskooppinen ja symbolinen taso otetaan huomioon yhdistelemällä ennakkotehtäviä ja oppituntityöskentelyä. Ennakkotehtävässä opiskelija pääsee tutustumaan aiheeseen liittyvään kemian mikroskooppiseen tasoon titrausanimaation avulla. Oppitunnilla opiskelijalla on mahdollisuus titrausta tehdessään havaita kemiallisen reaktion makroskooppinen taso. Titrauksen jälkeen oppitunnilla tutustutaan lopuksi symboliseen tasoon käyttäen reaktioyhtälöä, jonka avulla lasketaan appelsiinin C-vitamiinipitoisuus. Lopuksi ennakkotehtävien titrauksen mikroskooppinen tarkastelu sidotaan suoritetun kokeen havaintojen ja reaktioyhtälöiden kanssa kokonaisuudeksi.

Lähteet

- Eskeli, H., Hamara, J., Laukkanen, M. - L., Lehtonen, P. O., Luoto, K., Vihavainen, M., Ylihärsilä, A. (2019). Laboratorioanalyysit. Helsinki: Opetushallitus. Viitattu 26.11.2019: www.o3.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/index.html
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548–554. <https://doi.org/10.1021/ed076p548>
- Ikonen, M., Muilu, H. & Virtanen, T. (2018). *Titaani 7–9*. Keuruu: Otava.
- Koskinen, A. & Koskinen, P. (2017). *Lukio kemia, KE3, Reaktiot ja energia*. Helsinki: SanomaPro.
- Laine, R. & Nikander, T. (1997). *Impulssi kemian lisäkurssi*. Helsinki: Otava.
- Lee, K-W. L. (1999). A Comparison of University Lecturers' and Preservice Teachers' Understandings of a Chemical Reaction at the Particulate Level. *Journal of Chemical Education*, 76(7), 1008–1012.
- Opetushallitus. (2015) *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015*. Helsinki: Opetushallitus.
- Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*. Helsinki: Opetushallitus.
- Pernaa, J. (2011). *Kehittämistutkimus: Tieto- ja viestintäteknikkaa kemian opetukseen. Väitöskirja*. Helsingin yliopisto. Viitattu 21.9.2019: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-7291-8>
- Sheppard, K. (2005). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 32–45. <https://doi.org/10.1039/B5RP90014J>
- Suomalainen Lääkäriseura Duodecim (2019). *Duodecim terveyskirjasto, Lääketieteen sanasto: Askorbiinihappo*. Artikkelitunnus: ltt00304. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 4.11.2019: https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt00304
- Suomalainen Lääkäriseura Duodecim (2001). *Duodecim terveyskirjasto. Keripukki vaanii dieetti-intoilijaa*. Uutispalvelu Duodecim 7.9.2001. Artikkelin tunnus: uut01722. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 4.11.2019: https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_teos=uut&p_artikkeli=uut01722

- Toivola, M. (2019). Käänteinen oppiminen - kääntyykö koulutyö pääläelleen? In T. Tossavainen, & M. Löytönen (toim.), *Sähköistyvä koulu: Oppiminen ja oppimateriaalit muuttuvassa tietoympäristössä* (ss. 98-116). Helsinki: Suomen tietokirjailijat ry.
- Toivola, M., Peura, P. & Humaloja, M. (2017). *Flipped learning. Käänteinen oppiminen*. Helsinki: Edita.
- Turpeenoja, L. (2018). *Mooli 3, KE3, Reaktiot ja energia*. Helsinki: Otava.
- Turpeenoja, L. & Lehtiniemi, K. (2016). *Mooli 2, KE2, Ihmisen ja elinympäristön kemiaa*. Helsinki: Otava.
- Warren, D. (2015). Moles and titration: scary stuff? *Education in Chemistry* 1(52). Viitattu 16.10.2019: <https://edu.rsc.org/cpd/moles-and-titrations-scarystuff/2000006.article>

Liite 1. Klassinen hapetus-pelkistytitraus⁵

Reagenssit

1. Appelsiini
2. Suodatettu appelsiinimehu
3. 0,05 M jodiliuos (valmistus: 10 g Jodia + 8,3 g KI + 50 ml vettä. Kun jodi on luenut, laimenna 50 % etanolilla litraksi liuosta. Säilytä liuos valolta suojattuna, tummassa pullossa.
4. 1 mg/ml tärkkelysliuos (Valmistus: 1 g tärkkelystä liuotetaan 100 ml:aan kylmää vettä, jonka jälkeen liuos kuumennetaan melkein kiehuvaaksi. Liuoksen annetaan jäähtyä. Kestävöintiaineeksi voidaan lisätä 0,1 g salisyylisäapoa. Ilman kestävöintiainetta liuos on valmistettava juuri ennen käyttöä.)

Työturvallisuus ja jätteet

- Jodiliuos: haitallinen, ympäristölle vaarallinen, terveydelle haitallista hengitettynä ja joutuessaan iholle, erittäin myrkyllistä vesiliöille.
- Jodiliuoksen käytön vuoksi työ suoritetaan vetokaapissa. Suojalasit, suojakäsineet ja laboratoriotakki suojavarusteiksi.
- Jodiliuosta sisältävät jätteet kerätään "Jodi vesiliuoksessa" -jätepulloon.
- Muut syntyvät jätteet eivät ole ympäristölle haitallisia ja ne voidaan huuhtoa viemäriin.

Välineet

- 25 ml:n byretti
- 250 ml:n erlenmeyer
- Analyysivaaka
- 10 ml ja 5 ml täyspipetti
- 50 ml:n mittapullo
- Suodatinpaperi + suppilo

⁵ Työohje perustuu Canterburyn (2011) artikkeliin.

Työn suoritus

1. Purista appelsiinista mehua ja suodata se suppilon ja suodatinpaperin avulla. Vinkki! Suodatinpaperi menee helposti tukkoon hedelmänlihasta. Mehu kannattaa välillä siirtää suppilosta uuden suodatinpaperin päälle. Tämä nopeuttaa suodatusta.
2. Valmista tärkkelysliuos ohjeen mukaan.
3. Laimenna 0,05 M jodiliuos 0,005 M:ksi: 5,0 ml 0,05 M jodiliuosta pipetoidaan 5 ml täyspipetillä 50 ml:n mittapulloon.
4. Laimennetaan merkkiin vedellä. Täytä byretti 0,005 M jodiliuoksella. Tarkista, että byrettiin ei jää titrausta häiritseviä ilmakuplia.
5. Valmista näyte: 10,0 ml suodatettua appelsiinimehua pipetoidaan täyspipetillä 250 ml:n erlenmeyeriin ja näytteeseen lisätään 20 ml vettä.
6. Lisää muutama pisara tärkkelysliuosta indikaattoriksi.
7. Titraa näyteliuos 0,005 M jodiliuoksella. Päätepisteessä näyteliuos muuttuu siniseksi.
8. Ota ylös jodiliuoksen kulutus ja laske sen avulla appelsiinimehun C-vitamiinipitoisuus.



Liite 2. Mikrokemiallinen hapetus-pelkistystitraus⁶

Reagenssit

- Jodi
- Kaliumjodi
- 0,05 M jodiliuos (valmistus: 10 g Jodia + 8,3 g KI + 50 ml vettä. Kun jodi on liennut, laimenna 50 % etanolilla litraksi liuosta. Säilytä liuos valolta suojattuna, tummassa pullossa.
- Askorbiinihappo
- Vertailuliuos: 1 mg/ml C-vitamiiniliuos (Valmistus: 0,1 g askorbiinihappoa / 100 ml vettä)
- 1 mg/ml tärkkelysliuos (Valmistus: 1 g tärkkelystä liuotetaan 100 ml:aan kylmää vettä, jonka jälkeen liuos kuumennetaan melkein kiehuvaaksi. Liuoksen annetaan jäähtyä. Kestävöintiaineksi voidaan lisätä 0,1 g salisyylihappoa. Ilman kestävöintiainetta liuos on valmistettava juuri ennen käyttöä.)
- Appelsiini
- Suodatettu appelsiinimehu

Työturvallisuus ja jätteet

- Jodiliuos: haitallinen, ympäristölle vaarallinen, terveydelle haitallista hengitettynä ja joutuessaan iholle, erittäin myrkyllistä vesieliöille.
- Jodiliuoksen käytön vuoksi työ suoritetaan vetokaapissa. Suojalasit, suojakäsineet ja laboratoriotakki suojavarusteiksi.
- Jodiliuosta sisältävät jätteet kerätään "Jodi vesiliuoksessa" -jätepulloon.
- Muut syntyvät jätteet eivät ole ympäristölle haitallisia ja ne voidaan huuhtoa viemäriin.

Välineet

- Kennolevy ja valkoinen paperi
- Kertakäyttöpipettejä ja hammastikkuja
- 100 ml:n mittapullo
- Suodatinpaperi + suppilo

⁶ Työohjeen lähde: Laine & Nikander, 1997.

Työn suoritus:

1. Purista appelsiinista mehua ja suodata se suppilon ja suodatinpaperin avulla. Vinkki! Suodatinpaperi menee helposti tukkoon hedelmänlihasta. Mehu kannattaa välillä siirtää suppilosta uuden suodatinpaperin päälle. Tämä nopeuttaa suodatusta.
2. Valmista vertailuliuos.
3. Aseta valkoinen paperi kennolevyn alle.
4. Lisää kuuteen kennoon 3 pisaraa 0,05 M jodiliuosta. Pidä pipetti pystyasennossa, jotta pisarat olisivat samankokoisia.
5. Lisää kennoihin pisara tärkkelysliuosta ja sekoita hammastikulla.
6. Lisää ensimmäiseen kennoon vertailuliuosta pisaroittain, kunnes sininen väri häviää.
7. Laske pisarat ja muista sekoittaa jokaisen pisaran jälkeen. Merkitse kulunut pisaramäärä ylös.
8. Toista sama kahden seuraavan kennon kohdalla.
9. Lisää neljänteen kennoon suodatettua mehua pisaroittain, kunnes sininen väri häviää, ja laske pisarat.
10. Toista sama viidennen ja kuudennen kennon kohdalla.
11. Laske C-vitamiinin määrä (mg/ml) mehussa seuraavasti:

vertailuliuoksen pisaroiden lukumäärän keskiarvo \times 1 mg/ml

mehun pisaroiden lukumäärän keskiarvo

