

ONGELMAPERUSTAINEN LÄHESTYMISTAPA JA A. I. VIRTANEN KEMIAN OPETUKSESSA

Pro gradu-tutkielma

Tuomo Juppi

16.10.2006

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Heikki Saarinen

Maija Aksela

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	4
2. Ongelmaperustainen lähestymistapa kemian opetuksessa.....	6
2.1 Ongelmaperustainen lähestymistapa, PBL.....	6
2.1.1 PBL opetusmenetelmänä.....	6
2.1.2 Opettajan rooli PBL-menetelmässä.....	9
2.2 Opetussuunnitelman perusteet ja PBL.....	9
2.2.1 Tavoitteet kemian opetuksessa.....	9
2.2.2 Tavoitteet muissa oppiaineissa.....	11
2.2.3 Aihekokonaisuudet opetuksessa.....	11
2.2.4 Luonnontieteellisen ajattelun kehittäminen.....	14
2.2.5 Oppilaan arviointi.....	15
2.2.6 Kokeellisuus kemian opetuksessa.....	16
2.3 Kiinnostuksen herättäminen kemiaa kohtaan ja PBL.....	17
2.3.1 Kontekstuaalinen lähestymistapa kemian opetuksessa.....	18
2.3.2 Historiaan perustuva lähestymistapa.....	19
3. Artturi Ilmari Virtanen (1895 – 1973).....	20
3.1 A. I. Virtanen kemistinä.....	20
3.2 A. I. Virtasen tutkimukset.....	23
3.2.1 AIV-järjestelmä.....	23
3.2.1.1 AIV-menetelmä.....	25
3.2.1.2 AIV-rehu.....	25
3.2.2 AIV-voisuola.....	26
3.2.3 Palkokasvien typensidontaan liittyvät tutkimukset.....	27
3.2.4 Juustontuotantoon liittyvät tutkimukset.....	29
3.2.5 Muita merkittäviä tutkimuksia.....	30
4. AIV-rehu.....	33
4.1 AIV-rehun säilymisen perusteet.....	33
4.1.1 Rehun valmistuksen historiaa.....	34
4.1.2 Rehun säilöntään käytettäviä happoja.....	36
4.2 AIV-rehun kemiaa.....	39
4.2.1 Käymisreaktiot.....	39
4.2.2 Maitohappobakteerien toiminta.....	40

4.2.3 Voihappobakteerien toiminta.....	43
4.3 AIV-rehun laatu.....	44
4.3.1 Hyvälaatuinen AIV-rehu.....	45
4.3.2 Analyysimenetelmiä.....	46
5. Tutkimus.....	49
5.1 Tutkimuskysymykset.....	49
5.2 Tarveanalyysi.....	50
5.2.1 Tutkimuksen suoritus.....	50
5.2.2 Tutkimuksen tulokset.....	51
5.2.2.1 A. I. Virtanen kemian oppikirjoissa.....	51
5.2.2.2 A. I. Virtasen tutkimukset ja keksinnöt kemian oppikirjoissa.....	52
5.2.2.3 A. I. Virtanen ja oppikirjojen asiayhteydet.....	53
5.2.2.4 Kuvat, tekstit ja tehtävät ja A. I. Virtanen.....	54
5.3 Kehittämistutkimus.....	57
5.3.1 Lähtökohta.....	57
5.3.2 Tavoitteet.....	57
5.3.3 Kehitetty oppimateriaali.....	57
5.3.4 Oppimateriaalin kokeellisen osuuden testaus.....	58
5.3.5 Tulokset kokeellisen osuuden kehittämisestä.....	62
6. Yhteenveto ja pohdinta.....	65
6.1 Tarveanalyysi.....	65
6.2 Oppimateriaalin kehittäminen.....	66
6.3 PBL-menetelmä.....	67
6.4 Tutkimus jatkossa.....	68

LÄHTEET

LIITTEET

1. Johdanto

Kemian opetuksessa keskeinen haaste on herättää oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan. Kiinnostusta voidaan lisätä kemian opetuksessa käyttämällä esimerkiksi historialliseen tietoon pohjautuvaa materiaalia (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002). Perinteisesti kemian opetus on tapahtunut opettajajohtoisesti (Lavonen, Meisalo et al., 2006). Ongelmaperustaisessa lähestymistavassa (engl. Problem-based Learning) oppilas kohtaa kemian ongelmia arkielämäään liittyvissä konteksteissa. Tämä herättää kiinnostusta ja auttaa oppilasta ymmärtämään kemian ilmiöitä (Gilbert, 2006). Ongelmaperustaisessa lähestymistavassa oppilaat työskentelevät pienissä ryhmissä opettajan toimiessa oppimisen ohjaajana. Ongelmaperustainen lähestymistapa tukee oppilaan luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä ja kehittää oppilaan ryhmätyötaitoja, opiskelutaitoja ja tukee elinikäistä oppimista (Smith et al, 1995). Nämä ovat keskeisiä opetussuunnitelmien perusteiden (POPS 2004, LOPS 2003) kemian opetukselle asettamia tavoitteita. Luvussa kaksi esitellään PBL-menetelmä ja sen vaiheet sekä opetussuunnitelman perusteiden kemian opetukselle asettamat tavoitteet.

Tässä pro gradu-tutkielmassa suoritettiin kolmivaiheinen kehittämistutkimus, jonka tavoitteena oli kehittää oppimateriaalia perusopetuksen 8.-9. luokkien ja lukion kemian opetukseen. Oppimateriaali laadittiin siten, että se soveltuu käytettäväksi kemian opetuksessa ongelmaperustaisella lähestymistavalla. Oppimateriaalin lähtökohdaksi valittiin Suomen ainoa kemian nobelisti Artturi Ilmari Virtanen ja hänen tutkimuksensa. Luvussa kolme käsitellään A. I. Virtasta ja hänen keskeisimpiä tutkimuksiaan ja keksintöjään. Luvussa neljä esitellään A. I. Virtasen kehittämä AIV-rehu ja sen valmistukseen ja säilymiseen liittyvää kemiaa. Lisäksi käsitellään AIV-rehun historiaa ja kehittymistä 2000-luvulle. AIV-rehun valmistukseen liittyvässä kemiassa keskitytään hyvälaatuisen AIV-rehun valmistuksen kannalta tärkeimpiin ilmiöihin, kuten maitohappokäymiseen ja voihappobakteerien toimintaan.

Luvussa viisi esitellään suoritettu kehittämistutkimus ja sen keskeisimmät tulokset. Kolmevaiheisen kehittämistutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa suoritettiin tarveanalyysi tutkimalla perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjojen sisältöä A. I. Virtaseen ja hänen

tutkimuksiinsa liittyen. Kehittämistutkimuksen toisessa vaiheessa kehitettiin oppimateriaalia tarveanalyysin ja kirjallisuuden tuloksien pohjalta. Oppimateriaali perustuu A. I. Virtasen tutkimuksiin AIV-rehun säilymisestä ja sen vaikutuksesta emmentaljuuston valmistuksessa. Laadittu oppimateriaali eheyttää oppilaiden tietämystä happamuudesta ja sen merkityksestä muun muassa ravinnon säilömisessä. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa kehitettyä oppimateriaalin kokeellinen osuus testattiin käytännössä.

Luvussa kuusi pohditaan kehittämistutkimuksen tuloksia ja oppikirjojen oppilaalle antamaa kuvaa A. I. Virtasesta, sekä mahdollisuuksia käyttää tuloksia jatkotutkimusten lähtökohtana.

2. Ongelmaperustainen lähestymistapa kemian opetuksessa

Kemian opetusta ja opetuksen kokeellisuutta on pyritty uudistamaan eri aikakausina eri tavoin. Usein uudistusten lähtökohtana on ollut perinteinen opetustapa, jossa hyvin tarkasti määritettyä tietoa pyritään siirtämään oppilaan ajatuksiin. Tavoitteena perinteisessä opetuksessa on ollut nopea ja tehokas valmiin tiedon siirtäminen oppilaalle. Oppilaiden tehtäväksi on tällöin jäänyt tarjotun tiedon hyväksyminen, kopiointi ja omaksuminen. Oppimisesta ja siirtovaikutuksesta tehtyjen tutkimusten mukaan perinteinen lähestymistapa luonnontieteiden opetukseen ei tue merkitysten syntymistä ja sellaisten tietorakenteiden kehittymistä, joista olisi myöhemmin hyötyä ongelmien ratkaisemista vaativissa tehtävissä. (Lavonen, Meisalo et al., 2006) Tässä työssä PBL-menetelmää tulkitaan ja sovelletaan siten, että se soveltuu yläluokkien 8-9 ja lukion opetussuunnitelmien perusteiden mukaiseen kemian opetukseen.

2.1 Ongelmaperustainen lähestymistapa, PBL

Suomalaisessa kirjallisuudessa PBL:stä käytetään useita eri nimityksiä. Yleisimpiä ovat ongelmaperustaisen oppimisen lisäksi ongelmalähtöinen tai ongelma-keskeinen oppiminen. Joissain tapauksissa siitä käytetään nimitystä projektioppiminen tai sitä pidetään tutkivan oppimisen käytännön sovelluksena. Tässä opinnäytetyössä käytetään "problem-based learning"-menetelmästä lyhennettä PBL ja sen suomenkielistä vastinetta ongelmaperustainen oppiminen. (Poikela, 2002)

2.1.1 PBL opetusmenetelmänä

Ongelmaperustainen lähestymistapa (PBL, engl. Problem-based learning) kehitettiin alunperin 1960-luvulla Pohjois-Amerikan lääketieteellisen koulutuksen kehittämiseksi vastaamaan lääkäreiden työssä kohtaamia tilanteita. PBL-menetelmän lähtökohtana oli havainnot lääkäreiden laajasta asiantiedosta, mutta huonoista taidoista soveltaa tietoaan

käytännön ongelmiin (Gallagher & Stepien, 1995). Nykyään PBL-menetelmää käytetään useilla eri koulutuksen aloilla. Suomessa PBL-menetelmää sovelletaan ainakin lääkärin ja fysioterapeuttien koulutuksessa sekä Tampereen yliopistossa lastentarhan ja luokanopettajien koulutuksessa (Poikela & Nummenmaa, 2002). Lähteitä PBL-menetelmän käytöstä kemian tietojen ja taitojen opiskeluun ei löytynyt.

PBL on opetusmenetelmä ja filosofia, joka perustuu konstruktivistiseen ajattelutapaan oppimisesta ja opettamisesta. Siinä käytetään hyväksi aiemmin toimiviksi todettuja menetelmiä, kuten oppimista aktivoivia ja suuntaavia lähtökohtia, oppilaiden oppimista tukevaa opettajan ohjausta, pienryhmissä työskentelyä ja itsenäistä opiskelua. Tavoitteena on korostaa kokemuksellista oppimista, oppimisympäristön oppilaskeskeisyyttä ja saavuttaa sen avulla läpi elämän jatkuvien oppimisen taitojen kehittyminen sekä aktiivinen ja itseohjautuva oppilas. (Poikela, 2002)

Ongelmaperustaisessa lähestymistavassa on perusajatuksena rakenteeltaan avoin ongelma, kysymys tai pulma, joka halutaan ratkaista. Oppilaalle ei anneta valmista ratkaisumallia, vaan tarkoituksena on, että oppilas itse suunnittelee ratkaisureitin ja löytää sen avulla ratkaisun ongelmaan. Tämä vaatii oppilaalta tarvittavien tietolähteiden löytämistä, eri oppiaineiden tietojen yhdistämistä ja vaihtoehtoisten ratkaisujen kehittämistä ja ymmärtämistä. Ongelmaperustaisessa opetuksessa kehittyvät oppilaan ongelmaratkaisutaidot, itseohjautuvuus ja tietämys ongelmaan liittyviin asioihin ja sisältöihin. (Smith et al., 1995)

Ongelmaperustaista lähestymistapaa voidaan opetuksen tavoitteista riippuen käyttää mm. ongelmaratkaisutehtävien ratkaisuun tai tapausesimerkkeihin perustuvan case-opetuksen lähtökohtana. Case-opetuksessa oppilaalle annetaan luonnontieteisiin liittyvä ongelma, joka hänen tulee ratkaista. Ongelmakeskeisessä oppimisessä on oppimisen taustalla realistiset tilanteet ja niistä oppiminen. Ongelman valinnassa on kiinnitettävä huomiota aiheen kiinnostavuuteen ja vältettävä erikoisia ja monimutkaisia ongelmia. (Eloranta et al., 2005)

Ongelmaperusteisessa opetuksessa oppilaat voidaan jakaa pieniin (1-4 oppilasta) tai keskikokoisiin (5-12 oppilasta) ryhmiin. Suurempia ryhmiä muodostettaessa osa oppilaista passivoituu helposti ja PBL-menetelmälle asetetut oppimistavoitteet eivät toteudu. Pienissä ryhmissä oppilaiden ongelmaratkaisutaidot kehittyvät suurempia ryhmiä paremmin. (Lohman & Finkelstein, 2000)

PBL-menetelmä sisältää kuusi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa oppilaille esitellään ongelma. Toisessa vaiheessa oppilaat keskustelevat ongelmasta tarkoituksenaan määrittää asiat, jotka tulee hallita sopivan ratkaisun löytymiseksi. Kolmannessa vaiheessa oppilaat ottavat selvää, niistä asiasta ja menetelmistä, joita ei ryhmässä vielä hallita, mutta ovat tarpeellisia ratkaisun löytämisessä. Oppilaat yhdistävät tämän tiedon aikaisemmin käytettävissä olleeseen tietoon ja suunnittelevat ratkaisun löytämiseen vaadittavat vaiheet. Tavoitteena on, että oppilaat kehittävät useita erilaisia sopivaan ratkaisuun johtavia suunnitelmia ja hypoteeseja eri tavoilla saatavista ratkaisuista. Neljännessä vaiheessa oppilaat valitsevat ratkaisun löytymiseen käytettävät menetelmät. Menetelmät voivat sisältää kirjallista työskentelyä, ongelman tutkimista kokeellisilla menetelmillä, kenttätöskentelyä, haastatteluja tai videointia. Oppilaat suorittavat suunnittelemansa tutkimukset ja kirjaavat niiden tulokset. (Smith et al., 1995)

Oppilaiden tavoitteena on saavuttaa uutta tietoa, jonka avulla löydetään sopiva ratkaisu alussa esiintyneeseen ongelmaan. Ongelmaan ei välttämättä ole olemassa vain yhtä oikeaa ratkaisua. Oppilaiden tehtävänä on valita menetelmät mielestään sopivimman ratkaisun löytämiseksi. Viidennessä vaiheessa oppilaat keskustelevat tutkimustensa tuloksista. Tavoitteena on, että oppilaat keskustelevat ryhmässä ja käsittelevät kriittisesti tutkimustensa tuloksia. Oppilaat hyväksyvät tai hylkäävät ratkaisun ja esittävät sen muille. Mikäli oppilaat eivät saavuta tutkimuksillaan sopivaa ratkaisua ongelmaan, tulee oppilaiden palata takaisin vaiheeseen kolme ja pohtia ratkaisun löytymistä toisella tavalla. Kuudennessa vaiheessa oppilaat arvioivat PBL-menetelmän aikana tapahtunutta oppimista. Itsearviointi voidaan toteuttaa suullisesti tai kirjallisesti. Tavoitteena on, että oppilaat pohtivat omaa oppimistaan ja opiskelumenetelmien kehittymistä PBL-tapauksen aikana. Tavoitteena on, että oppilaista tulee parempia oppijoita. (Smith et al., 1995)

2.1.2 Opettajan rooli PBL-menetelmässä

PBL-menetelmä käyttö kemian opetuksessa vaatii opettajalta erilaisia tietoja ja taitoja. Perinteisesti opettaja toimii usein lähinnä tiedonsiirtäjänä ja oppilaan tietolähteenä. PBL-menetelmässä opettaja toimii pääasiassa oppimisen ja tiedonhakumenetelmien ohjaajana, ei tiedon lähteenä. Kun opettaja toimii ohjaajana, oppilaat joutuvat tekemään itse valintoja vaihtoehtojen välillä, toimimaan yhteistyössä ja käyttämään tiedonhaussa välttämättömiä taitoja. Tämän seurauksena oppilaan taidot itseohjautuvana oppijana kehittyvät ja hänen mahdollisuutensa elinikäiseen oppimiseen paranevat. (Smith et al., 1995)

Opettaja voidaan PBL-menetelmässä ajatella ”metakognitiiviseksi valmentajaksi”. Opettajan tehtävänä on auttaa oppilasta ymmärtämään ongelman ympärillä esiintyviä kysymyksiä, informaation paikantamisessa ja auttaa luokittelemaan mahdollisia ratkaisuja. Tällöin oppilaat tulevat tietoisiksi kognitiivisista taidoistaan sekä ymmärtävät ja osaavat käyttää niitä ongelman ratkaisussa. (Gallagher & Stepien, 1995)

2.2 Opetussuunnitelman perusteet ja PBL

2.2.1 Tavoitteet kemian opetuksessa

Perusopetuksen 7-9 luokilla kemian opetuksen yhtenä tavoitteena on auttaa oppilasta ymmärtämään kemian ja teknologian merkitys jokapäiväisessä elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa. Tavoitteena on myös, että opetus tukeutuu kokeelliseen lähestymistapaan, jossa lähtökohtana on elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden havaitseminen ja tutkiminen. Oppilas oppii tuntemaan kemian ilmiöiden ja sovellusten merkityksen ihmiselle ja yhteiskunnalle sekä osaa tehdä luonnontieteellistä tutkimusta sekä esittää tutkimuksen tuloksia. (POPS, 2004)

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (POPS, 2004) 7-9 luokilla määrittelee kemian keskeisiksi sisällöiksi esimerkiksi veden happamuuden ja sen mittaamisen, orgaanisten yhdisteiden hapettumisreaktiossa syntyvät karboksyylihapot ja niiden ominaisuudet sekä käyttötarkoitukset. Nämä ovat keskeisiä asioita myös AIV-rehun

valmistukseen liittyvissä kemiallisissa ilmiöissä. Kemian historian kannalta merkittävien henkilöiden tai keksintöjen tuntemista ei mainita opetussuunnitelman perusteiden tavoitteissa.

Lukion opetussuunnitelman perusteiden yleisissä tavoitteissa sanotaan, että opetus tulee järjestää siten, että opiskelijalla on mahdollisuus laaja-alaisen yleissivistyksen hankkimiseen. Opiskelijan tulee saada olennaista tietoa eri tieteen- ja taiteenalojen tuottamasta tiedosta luonnosta, ihmisistä ja yhteiskunnasta. (LOPS, 2003)

Kemian opetuksen tavoitteena lukiossa on kehittää luonnontieteille ominaista ajattelua. Kemian opetukselle on luonteenomaista aineiden ja ilmiöiden tutkiminen kokeellisesti, havaintojen tekeminen ja ilmiöiden selittäminen mallien avulla. Tavoitteena on, että oppilas ymmärtää kemian ilmiöiden olevan osa jokapäiväistä elämää ja että kemian tunneilla opittavia kemian tietoja ja taitoja voi käyttää ja käytetään myös luokkahuoneen ulkopuolella. (LOPS, 2003)

Lukion 1. kurssin tavoitteet soveltuvat hyvin A. I. Virtasen ja hänen AIV-rehuun ja typensidontaan liittyvien tutkimusten käsittelyyn. Lukion kaikille yhteisen 1. kurssin tavoitteina on antaa oppilaalle kuva kemiasta, sen mahdollisuuksista ja merkityksestä. Tavoitteena on, että oppilas osaa orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktiota sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle. Lisäksi tavoitteena on, että oppilas oppii kokeellisen työskentelyn taitoja ja osaa tutkia orgaanisten yhdisteiden ominaisuuksia ja reaktiota. Keskeisinä sisältöinä ovat orgaaniset yhdisteryhmät, kuten karboksyylihapot ja orgaaniset typpiyhdisteet sekä niiden ominaisuuksia ja sovellutuksia. Orgaanisten yhdisteiden hapettumis- ja pelkistymisreaktiot sekä protoninsiirtoreaktiot kuuluvat myös 1. kurssin keskeisiin sisältöihin. Lukion kemian 5. kurssissa keskeisenä sisältönä ovat muun muassa happo-emästasapaino, vahvat ja heikot protolyytit, sekä puskuriliuokset ja niiden merkitys. (LOPS, 2003)

PBL opetusmenetelmänä tukee opetussuunnitelman perusteiden (POPS 2004, LOPS 2003) kemian opetukselle asetettamia tavoitteita luonnontieteellisen ajattelun kehittymisestä ja oppilaiden omien tutkimusten tekemisestä ja niiden tulosten käsittelemisestä ja esittämisestä.

2.2.2 Tavoitteet muissa oppiaineissa

Myös muiden oppiaineiden opetussuunnitelman perusteiden tavoitteet ja keskeiset sisällöt tukevat A. I. Virtasen ja hänen tutkimustensa käyttämistä osana opetusta. Perusopetuksen biologian tavoitteissa vuosiluokille 7-9 sanotaan, että opetuksen tulee perustua tutkivaan oppimiseen ja kehittää oppilaan luonnontieteellistä ajattelua. Lisäksi opetuksen tavoitteena on antaa oppilaalle valmiudet havainnoida ja tutkia luontoa (POPS, 2004).

Lukion biologian tulee luoda perusta ymmärtää biotieteiden tarjoamia mahdollisuuksia edistää ihmiskunnan, muun eliökunnan ja elinympäristöjen hyvinvointia. Opetuksen tulee kehittää opiskelijan luonnontieteellistä ajattelua ja herättää kiinnostusta biotieteisiin. (LOPS, 2003)

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (POPS, 2004) mainitaan äidinkielen keskeisissä sisällöissä vuosiluokille 6-9 kirjallisuuden yleissivistyksen luominen, tietoa keskeisistä teoksista, niiden kirjoittajista ja Suomen kirjallisuuden päävaiheista. Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS, 2003) äidinkielen 6. kurssin *kieli, kirjallisuus ja identiteetti* kohdalla tavoitteena on, että oppilaat tuntevat suomalaisen kirjallisuuden keskeisiä teoksia ja saavat yleiskuvan suomalaisen kirjallisuuden ja kulttuurin merkityksestä yksilölle ja yhteiskunnalle. Näitä tavoitteita on vaikea saavuttaa mainitsematta lainkaan kirjallisuuden Nobelin saanutta F. E. Sillanpäää. Sen sijaan opetussuunnitelmien perusteiden kemian opetukselle asettamissa tavoitteissa ei ohjata opettajaa A. I. Virtasen tai hänen saavutuksiensa esittelemiseen.

2.2.3 Aihekokonaisuudet opetuksessa

Opetus voi olla ainejakoista tai eheytettyä. Opetuksen eheytyksen tavoitteena on tarkastella eri tiedonalojen näkökulmasta kokonaisuuksia rakentaen. Aihekokonaisuudet ovat sellaisia kasvatuksen tai opetuksen kannalta keskeisiä aihealueita, jotka sisältyvät usean eri oppiaineiden sisältöihin ja tavoitteisiin. (POPS, 2004)

Aihekokonaisuudet tulee toteuttaa oppiaineelle luonteen omaisella lähestymistavalla. Aihekokonaisuuksien tavoitteena on kehittää oppilaan opiskelutaitoja, yrittäjyyttä ja ymmärrystä teknologiasta ja sen merkityksestä ihmisille. (POPS, 2004)

Opettajan tulee valita, soveltaa ja kehittää oppimistavoitteita, sisältöjä ja työtapoja paikallisten ja alueellisten olosuhteiden sekä oppilaiden tarpeiden mukaisesti valtakunnallista opetussuunnitelman perusteita noudattaen. Tiedon voimakas lisääntyminen ja ainejakoinen opetussuunnitelma saattavat johtaa tiedon sirpaloitumiseen. (Jeronen, 2005)

Opetuksen ja oppimisen keskeisenä teemana tulee olla eri oppiaineiden yhteisten alueiden hahmottaminen ja huomioon ottaminen opetuksen suunnittelussa ja toteuttamisessa. Kaikille luonnontieteille on yhteistä kokeellinen työskentely tiedonhankinnan välineenä. (Jeronen, 2005)

Ongelmaperustaisessa lähestymistavassa oppilaalla on ratkaistavana luova ongelmaratkaisuprosessi. PBL-menetelmän käyttö kemian opetuksessa tukee oppiaineiden integrointia ja aihekokonaisuuksien käyttöä, etenkin *ihminen ja teknologia*-kokonaisuuden opettamista.

Luonnontieteissä tutkitaan luonnon rakenteita ja luonnossa tapahtuvia ilmiöitä. Tavoitteena on selvittää muun muassa mitä ilmiöissä tapahtuu ja mikä aiheuttaa erilaiset havaittavat ilmiöt. Ihminen on aina pyrkinyt käyttämään tietoisesti hyväkseen luonnossa tapahtuvia ilmiöitä, kuten palamista. Tästä pyrkimyksestä hallita luonnonilmiöitä on saanut alkunsa myös teknologian ja tekniikan kehitys. Teknologialla tarkoitetaan tietoa, jota tarvitaan laitteiden, aineiden ja prosessien kehittämisessä. Sen tavoitteena on aineiden ja laitteiden kehittäminen ja sitä kautta ihmisten, eläinten tai kasvien elintason parantaminen ja elämän helpottaminen. Hyödyllisten tuotteiden syntyyn johtava prosessi on luonteeltaan luova ongelmanratkaisuprosessi. Sen tavoitteena on luovasti ja tehokkaasti yhdistää teknologian alaan liittyviä tietoja, niin että tuloksena syntyy uusi tuote. (Lavonen, 2004)

Luonnontieteiden ja teknologian kehitys ovat aina kulkeneet rintarinnan. Luonnontieteilijät tuottavat uutta tietoa, jota teknologia pian käyttää hyväkseen. Toimimattomasta laitteesta tai menetelmästä syytetään usein luonnontieteilijöitä. Monesti vika löytyy kuitenkin

teknologiasta ja sen käyttäjästä. (Lavonen, 2004) Näin kävi myös 1930-luvulla AIV-rehun keksimisen jälkeen, kun happolisäysten ohjeiden mukainen toteuttaminen maatiloilla tuotti hankaluuksia. Rehu säilöttiin silppuamatta ja happoa ei levitetty tasaisesti rehun joukkoon. Seurauksena oli rehun epätasainen laatu, jossa tavoitteena ollut $\text{pH} < 4$ ei aina toteutunut. Seurauksena oli voihappobakteerien lisääntyminen ja maidosta valmistettujen juustojen pilaantuminen. Yleisesti syylliseksi asetettiin A. I. Virtasen keksimä AIV-rehu. (Heikonen, 1993)

Vesianalyysit, maaperänäytteet ja ympäristöongelmat, kuten happamoituminen ovat aihealueita, joista saadaan kokonaisvaltaisempia yhdistämällä biologian, fysiikan ja kemian tietoja ja taitoja suoritettaviin analyysihin, mittauksiin ja kokeisiin. Kemia ja fysiikka yhdistetään biologiaan usein science-tyyppisessä opetuksessa, joka on yleistä esimerkiksi Iso-Britanniassa. Suomessa oppiaineiden integrointia vaikeuttaa 7-9 luokilla olevat tiukasti oppiaineittain jaetut kurssit ja niiden ajallisesti hajautettu opetus. (Palmberg, 2005)

PBL-menetelmä soveltuu hyvin käytettäväksi kemian opetuksessa luokilla 8-9 ja lukiossa. Johtuen opetussuunnitelmien perusteiden (POPS 2004, LOPS 2003) tiiviistä asiasisällöstä sekä vähäisestä oppiaineiden integroinnista, PBL-menetelmää tulee soveltaa sopivaksi kouluopetukseen. Useita tunteja kestävien tutkimusten tekeminen tai laajojen opetussuunnitelmien perusteiden ulkopuolisten sisältöjen opiskelu ei ole tarkoituksen mukaista tai edes mahdollista. Tästä johtuen kemian opetuksessa tulee käyttää lähtökohtana etukäteen harkittuja ongelmia, jotka ovat toteutettavissa nykyisen opetussuunnitelman perusteiden mukaisessa opetuksessa ja tukevat tavoitteiden mukaista oppimista. Ongelman käsittelyyn käytettävä aika riippuu ongelman sisällöstä, työtavoista ja mahdollisesti oppiaineiden välillä tapahtuvasta integroinnista. Ryhmän kokoon vaikuttaa käsiteltävän ongelmatapauksen laajuus ja sisältö.

2.2.4 Luonnontieteellisen ajattelun kehittäminen

PBL-menetelmän mukainen opetus tukee oppilaan oman ajattelun kehittymistä. Eri oppiaineiden integroinnin avulla saadaan luotua oppilaan kannalta mielenkiintoisia ongelmatehtäviä, jotka ovat mielenkiintoisessa ja yhteiskunnallisesti merkittävässä kontekstissa. (Poikela, 2002)

Luonnontieteiden opetuksen tulisi olla aidosti avointa vaihtoehtoisille näkemyksille ja oivaltamiselle. Samaa kysymystä voidaan aina tarkastella useasta eri näkökulmasta. Luokkahuoneessa suoritettavat kokeet tulisi suunnitella siten, että niitä tehdessä on riittävästi aikaa ja tilaa oppilaan omalle oivallukselle. (Matthews, 1998)

Kemian opetuksen tavoitteena on tukea oppilaan luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä ja antaa oppilaalle kuva luonnontieteen luonteesta sekä rohkaista suhtautumaan kriittisesti annettuun tietoon (POPS 2004, LOPS 2003). Oppilaiden ajattelu kehittyy, kun he saavat itse tehdä valintoja sopivien menetelmien ja työtapojen käytössä. Luonnontieteellistä ajattelua ei voi opettaa perinteisellä opettajajohtoisella opetuksella, jossa opettaja siirtää määrittämänsä tietoa oppilaan ajatuksiin olettaen, että oppilas sisäistää sen sellaisenaan. Luonnontieteellistä ajattelua ei voi myöskään opettaa kehottamalla oppilaita ajattelemaan luonnontieteille ominaisella tavalla. Luonnontieteellinen ajattelu kehittyy hitaasti oppilaan omien ajatusprosessien kautta. Tällöin se voi tarjota oppilaalle käsityksen myös tulevan työelämän tarpeita palvelevista asiakokonaisuuksista (Poikela, 2002).

Luonnontieteiden luonnetta tulee opettaa lähestymällä opetettavaa asiaa johdonmukaisesti ja antamatta valmiita ratkaisuja. Tämä toteutuu hyvin, kun käytetään opetuksessa luonnontieteiden filosofiaan (ja historiaan) pohjautuvaa case-opetusta. (Matthews, 1998)

Luonnontieteellistä ajattelua voidaan kehittää keskustelulla ja kysymyksillä, kemian historiaan liittyvillä kertomuksilla, aiheeseen sopivien tiedemiesten henkilökuvilla ja kokeellisilla töillä, jotka sisältävät historiallisesti merkittäviä kokeita tai tutkimuksia. (Matthews, 1998)

Historiallisen tiedon käyttäminen luonnontieteiden opetuksessa opettaa oppilaille luonnontieteiden luonnetta ja rohkaisee kriittiseen ajatteluun. Historiallisen lähestymistavan avulla opettaja pystyy kertomaan mielekkäästi luonnontieteiden kehittymisestä ja siihen liittyvästä henkilöhistoriasta. (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002)

2.2.5 Oppilaan arviointi

Ongelmaperustaisessa oppimisessa tulee arvioida myös oppilaan oppimisprosessia ja sen kehittymistä. Arvioinnin tulee olla jatkuvaa tukeakseen oppilaan itseohjautumista. Arvioinnissa tulisi ottaa huomioon oppilaan ongelmaratkaisutaitojen, ryhmätyötaitojen, vuorovaikutustaitojen, tiedonhankintataitojen hallinta ja kehittyminen sekä kyky kriittiseen ajatteluun. (Poikela, 2002)

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (POPS 2004) luokille 7-9 määritetään valtakunnallisesti opetuksessa käytettävät oppilaan arviontikriteerit. Arvionti jaetaan opintojen aikaiseen arviointiin ja päättöarviointiin. Opintojen aikaisessa arvioinnissa tulee oppilaan arvioinnin olla totuudenmukaista ja perustua monipuoliseen näyttöön. Sen tulee ohjata ja kannustaa oppilasta ymmärtämään omaa oppimistaan. Tärkeänä osana on opettajan antama jatkuva palaute. Työskentelyn arviointi on osa oppilaan arviontia. Työskentelyn arviointi tulee kohdistua oppilaan taitoihin suunnitella, toteuttaa ja arvioida omaa työskentelyään sekä oppilaan taitoihin toimia osana ryhmää. Perusopetuksen yhtenä tehtävänä on tukea oppilaan itsearviointi- ja opiskelutaitojen kehittymistä. Säännöllisen palautteen avulla oppilas oppii itse asettamaan tavoitteita oppimiselleen ja säätämään oppimisprosessiaan. (POPS, 2004)

Oppilaan päättöarvioinnin vuosiluokalla yhdeksän tulee olla valtakunnallisesti vertailukelpoista ja tasavertaista. Päättöarvioinnin tulee perustua oppilaan osaamiseen perusopetuksen päättövaiheessa vuosiluokilla 8-9. Päättöarvioinnissa noudatetaan kemian opetuksen tavoitteissa määriteltyjä päättöarvioinnin kriteereitä monipuoliseen näyttöön perustuen. Kemian päättöarvioinnin kriteereissä arvosanalle 8 sanotaan, että oppilaan tulee osata tehdä yksinkertaisia luonnontieteellisiä kokeita yksin ja ryhmässä ja esittää niiden

tuloksia. Esimerkkinä mainitaan vesiliuoksen happamuuden mittaaminen. Lisäksi tulee tuntee kemian ilmiöiden ja sovellusten merkitys ihmiselle ja yhteiskunnalle. Oppilaan tulee tutkia ja luokitella aineita aineen ominaisuuksien mukaan. (POPS, 2004)

Oppilaan opetussuunnitelman perusteiden (POPS, 2004) mukainen opintojen aikainen arviointi tukee hyvin ongelmaperustaisen lähestymistavan käyttöä kemian opetuksessa. PBL-menetelmän mukaisessa opetuksessa kehittyvät itseohjautuvuus ja ryhmätyötaidot ovat osa oppilaan arvioinnin kriteereistä. Kemian päättöarvioinnille asetetut kriteerit tietojen ja taitojen osalta tukevat A. I. Virtasen kehittämän AIV-rehun käyttämistä osana kemian opetusta. AIV-rehun valmistuksessa ja tutkimisessa vaadittavat kemian tiedot ja taidot löytyvät opetussuunnitelman perusteiden (POPS, 2004) määrittämissä kemian opetuksen sisällöistä ja päättöarvioinnin kriteereistä.

Opetussuunnitelman perusteiden määrittämät arvioinnin kriteerit (POPS, 2004) eivät sisällä kaikkia PBL-menetelmän avulla saavutettavien taitojen kehittymisen arviointia. Tällaisia ovat vuorovaikutustaidot tai luonnontieteellisen ajattelun kehittyminen. Näiden taitojen yksiselitteinen ja oikeudenmukainen arviointi on usein erittäin vaikeaa.

2.2.6 Kokeellisuus kemian opetuksessa

Kemian opetuksessa keskeisenä asiana on elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden tutkiminen kokeellisia menetelmiä käyttäen (POPS, 2004). A. I. Virtasen AIV-rehuun liittyvien tutkimusten käyttö PBL-opetusmenetelmän lähtökohtana tukee erittäin hyvin opetussuunnitelman perusteissa kokeelliselle työskentelylle asettuja tavoitteita. Oppilaiden itsenäinen kokeellinen työskentely AIV-rehun valmistukseen ja säilymiseen liittyen kehittää monipuolisesti oppilaan kokeellisia tietoja ja taitoja.

Kokeellisuuden avulla oppilas hahmottaa luonnontieteiden luonnetta, kehittää käden taitoja ja oppii toimimaan yhteistyössä muiden oppilaiden kanssa. Kokeellisuuden tavoitteena on innostaa oppilasta kemian opiskeluun myös jatko-opinnoissa. (POPS, 2004) Kemian opetukselle on luonteenomaista aineiden ja ilmiöiden tutkiminen kokeellisesti, havaintojen tekeminen ja ilmiöiden selittäminen mallien avulla (LOPS, 2003).

Luonnontieteiden opetukselle on tyypillistä tutkiva kokeellinen työskentely. Perinteisessä kemian opetuksessa on ollut lähestymistapana empiristinen filosofia, jossa opeteltavaa asiaa lähestytään voimakkaasti teorian kautta. Opetetun teorian jälkeen suoritetaan luonnontieteellisiä kokeita, jossa todetaan valmiin teorian toimivuus myös käytännössä. (Duschl, 1994)

Kokeellisen työskentelyn mekanismi on yleisesti tunnettu, sillä tiedemiehet ovat toimineet samalla tavoin kautta historian. Tehdään hypoteesi, tutkitaan ilmiötä suorittamalla kokeita, kirjataan havainnot ja tulokset, katsotaan, toteutuiko hypoteesi ja lopuksi hyväksytään tai hylätään alussa tehty hypoteesi. (Duschl, 1994)

Perinteisesti empirististä lähestymistapaa on käytetty kemian opetuksessa siten, että opettaja kertoo oppilaille asiaan sisältyvän teorian. Annetun teorian pohjalta oppilaat suorittavat teoriaan liittyviä kokeellisia töitä valmiin opettajan antaman työohjeen mukaisesti. Tällainen tarkkojen työohjeiden noudattaminen kokeellisen työskentelyn yhteydessä ns. keittokirjamainen työskentely (engl. cookbook science) antaa luonnonilmiöstä ja niiden tutkimisesta liian yksinkertaisen kuvan. Tutkittavaan ilmiöön liittyvät käsitteet saattavat jäädä irrallisiksi ja oppimisesta tulee helposti mekaanista. (Green et al., 2004)

Avoimet tutkimustehtävät tukevat hyvin luonnontieteellisen ajattelun kehittämistä. Avoimien tehtävien tekemiseen saattaa liittyä suurempi epäonnistumisen riski kuin perinteisessä keittokirjamaisessa työskentelyssä. Tämä ei kuitenkaan ole lainkaan huono asia, sillä mahdolliset epäonnistumiset ja niihin johtaneiden syiden pohtiminen ovat tärkeä osa luonnontieteellisen ajattelun kehittymisessä. Tutkimuksen tuloksista keskustelu ja niiden tulkinnat tukevat oppilaiden luonnontieteille ominaista ajattelua. (Palmberg, 2005)

2.3 Kiinnostuksen herättäminen kemiaa kohtaan ja PBL

Tärkeimpiä haasteita kemian opetuksessa ovat oppilaan kiinnostuksen herättäminen luonnontieteitä kohtaan ja luonnontieteellisen ajattelun kehittäminen. Kiinnostuksen herättäminen luonnontieteitä kohtaan on koettu uuden opetussuunnitelman perusteissa

(POPS, 2004; LOPS, 2003) niin keskeiseksi, että se on kirjattu sekä perusopetuksen että lukion opetussuunnitelmien perusteisiin fysiikan ja kemian opetukselle asetettuihin tavoitteisiin. (POPS, 2004; LOPS, 2003).

2.3.1 Kontekstuaalinen lähestymistapa kemian opetuksessa

Kiinnostuksen muodostumiseen kemiaa kohtaan vaikuttaa monet erilaiset tekijät. Oppilaiden kiinnostus riippuu käsiteltävästä asiasta, kontekstista ja työtavoista. Yksi tärkeimmistä on konteksti, jossa luonnontieteisiin liittyvää tietoa käsitellään. Luonnontieteiden kiinnostavuutta voidaan lisätä opettamalla sitä ihmiseen, luontoon, elinympäristöön ja teknologiaan liittyvissä konteksteissa. Kontekstuaalisella opetustavalla on päämääränä herättää oppilaan kiinnostus luonnontieteisiin ja näyttää, että luonnontieteet ovat jatkuvasti läsnä myös ihmisten arkielämässä. Tutkimusten mukaan kontekstuaalinen lähestymistapa vaikuttaa positiivisesti oppilaiden asenteisiin ja motivaatioon opiskella luonnontieteitä. (Pilot & Bulte, 2006)

Kontekstuaalisella lähestymistavalla kemianopetukseen on pitkät perinteet. Vuonna 1988 yhdysvaltalaisessa Chemistry in the Community-projektissa laadittiin oppimateriaaleja, joissa opetuksessa lähdetään liikkeelle mm. arkipäivän teknologiaan ja käytäntöön sekä yhteiskuntaan liittyvistä tilanteista. Keskeisenä päämääränä oli herättää oppilaiden kiinnostus luonnontieteisiin ja pyrkiä osoittamaan, kuinka luonnontieteet liittyvät arkipäivään. Tällainen lähestymistapa on tarkoituksenmukaisempi kuin yksistään kemian ilmiöiden opettaminen, sillä myös yhteiskunnassa käytetään kemiaa jatkuvasti arkielämään ja teknologiaan liittyvissä konteksteissa. (Lavonen, Meisalo et al., 2006)

Opiskeltaessa kemian ilmiöitä kontekstuaalisen lähestymistavan mukaisesti oppilaat kokevat opiskelun usein tarkoituksenmukaiseksi ja jopa nautinnolliseksi. Oppilaiden kiinnostus kemiaan lisääntyy ja kemian opiskelu koetaan merkitykselliseksi. Kontekstuaalinen lähestymistapa tuo kemian opiskelun lähemmäksi oppilaan omia kiinnostuksen aiheita. (Pilot & Bulte, 2006)

Kun oppilas kohtaa kemian ilmiön itselleen merkityksellisessä ympäristössä, niin oppilaan kiinnostus kemian opiskeluun lisääntyy. Samalla oppilas ymmärtää opiskeltavan kemian ilmiön merkityksen ja hänen taitonsa käyttää oppimaansa tietoa luokkahuoneen ulkopuolella uusissa tilanteissa tai eri konteksteissa ovat paremmat. (Gilbert, 2006)

2.3.2 Historiaan perustuva lähestymistapa

Historiaan perustuva lähestymistapa tukee kiinnostuksen herättämistä luonnontieteitä kohtaan. Oppilaiden työskentely ongelma-perustaisella lähestymistavalla mahdollistaa historiallisesti merkittävien tutkimusten käytön kemian opetuksessa. Oppilaat kokevat historiaan perustuvan lähestymistavan mielekkääksi ja ovat kiinnostuneita tietämään, miten kemian historiassa keksinnöt ovat syntyneet (Ahonen, 2005).

Kemian oppiminen on merkityksellistä, kun oppilas pystyy käyttämään kemian tunnilla oppimaansa tietoa myös luokkahuoneen ulkopuolella. Merkityksellistä oppimista on tapahtunut, jos oppilas havaitsee kemian ilmiöitä arkielämässä tekemiensä havaintojen selityksenä. Tätä tulisi tavoitella lähestymällä kemian ilmiötä eri suunnista ja useassa erilaisessa kontekstissa. Historiaan perustuva lähestymistapa kemian opetukseen antaa tähän hyviä mahdollisuuksia. Käyttämällä kemian tieteen historiaa kemian opetuksessa on kemian opettajalla mahdollisuus kehittää ja käyttää historiaan pohjautuvaa materiaalia oppimisen edistämiseksi. Kemian käsitteet ja ilmiöt ovat usein silloin helpommin muistettavia ja merkityksellisiä. Kemian opetuksen tulisi auttaa oppilasta luomaan merkityksellistä ja mielekästä tietoa aineesta sekä aineen muutoksesta. (Wandersee & Baudoin Griffard, 2002)

A. I. Virtasen AIV-rehuun liittyvät tutkimukset soveltuvat hyvin ongelma-perustaisella lähestymistavalla suoritettavan historiallisen tutkimuksen lähtökohdaksi. Tämän tyyppinen kemian opiskelu tukee oppilaiden itseohjautuvuutta ja luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä sekä herättää kiinnostusta kemian opiskeluun. Nämä ovat kemian opetuksen keskeisiä tavoitteita opetussuunnitelman perusteissa.

3. Artturi Ilmari Virtanen (1895 – 1973)

Tässä luvussa esitellään A. I. Virtanen ja hänen keskeisimmät tutkimuksensa ja keksintönsä. Lisäksi kerrotaan taustatietoa Virtasen suorittamista tutkimuksista ja niiden merkityksestä suomalaiselle tieteelle, yhteiskunnalle ja etenkin maa- ja meijeritalouden kehittymiselle. AIV-rehun valmistusta ja siihen liittyvää kemiaa käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.1 A. I. Virtanen kemistinä

Artturi Ilmari Virtanen syntyi Helsingissä 15.1. 1895. Hän oli seitsemän lapsisen perheen kolmas lapsi. Lapsuuden ja nuoruuden hän vietti Viipurissa, jonne Virtasen perhe muutti Artturin ollessa vasta kolmen kuukauden ikäinen. Kansakoulun ja oppikoulun hän kävi Viipurissa ja tietämystään luonnontieteistä hän syvensi käyttämällä ahkerasti Viipurin kaupunginkirjastoa. Vuonna 1913 A. I. Virtanen kirjoitti ylioppilaaksi ja samana vuonna hän aloitti opintonsa Helsingin Keisarillisen Aleksanterin Yliopiston filosofisessa tiedekunnassa. Opiskeltaviksi oppiaineiksi hän valitsi kemian, kasvitieteen, eläintieteen ja maantieteen, joista kemiasta tuli pääaine. Väitöskirja, ”Tutkimuksia pinabietinihapon konstitutiosta” valmistui tarkastettavaksi 1918. Lisensiaatintutkinnon suoritettuaan A. I. Virtanen valmistui filosofian tohtoriksi alkuvuonna 1919. (Heikonen, 1990a)

Työt Valion kemianlaboratoriossa Virtanen aloitti syksyllä 1919 ja kaksi vuotta myöhemmin hänet nimitettiin laboratorion johtajaksi. Virtanen toimi Valion laboratorion johtajana vuosina 1921-1970 eli lähes 50 vuotta. Pitkän Valiolla tekemänsä työuran aikana A. I. Virtanen suoritti merkittävimmät tutkimuksensa, jotka vaikuttivat olennaisesti suomalaisten hyvinvointiin.

Yleisimmin tunnettu on vuonna 1928 kehitetty AIV-rehunsäilytysmenetelmä. Se mainittiin tärkeimpänä tutkimuksena, kun Suomelle myönnettiin toistaiseksi ainut kemian Nobel-palkinto vuonna 1945.

Muita Virtasen merkittäviä keksintöjä oli AIV-voisuola vuodelta 1926, jossa voin säilyvyyttä parannettiin huomattavasti puskuroimalla sen pH sopivaksi. Tämä oli myös kansantaloudellisesti merkittävä keksintö, sillä tuolloin suomalainen voi oli merkittävä vientituote. (mm. VALIO, 2006)

A. I. Virtanen teki useita palkokasvien typensidontaan liittyviä tutkimuksia, joiden tuloksena opittiin ymmärtämään muun muassa maaperän happamuuden ja juurinysträbakteerien merkitys palkokasvien viljelyssä. Virtasen palkokasveihin liittyvät tutkimukset olivat lähtökohtana myöhemmin kehitetylle AIV-menetelmälle.

Valion laboratoriossa työskennellessään Virtanen joutui tekemisiin monien Valion valmistamien elintarvikkeiden kanssa. 1920- ja 1930-luvuilla oli suuria ongelmia ensiluokkaisen emmentalin valmistamisessa. Ongelmat liittyivät muun muassa voihiappobakteereita sisältävään lypsykarjan ruokintaan ja muihin sen valmistuksessa ja kypsymisvaiheessa tapahtuneisiin virheisiin. Virtanen ratkaisi tutkimuksillaan ongelmat ja palautti toisen maailmansodan jälkeen suomalaisten juustonvalmistajien maineen ensiluokkaisena emmentaljuuston valmistajana. Tutkimusten ja niistä seuranneiden keksintöjen avulla Virtanen vaikutti merkittävästi suomalaiseen meijeriteollisuuteen. Keksinnöt loivat perustan korkealaatuisen voin, emmentalin ja maidon valmistukselle Suomessa.

A. I. Virtasen vaikutus Suomen kemian tutkimuksen kehittämisessä on merkittävä. Hänen keksintönsä Valion laboratoriossa johtivat Valiolla ja suomalaisessa yhteiskunnassa vahvan luottamuksen kehittymiseen kemian tutkimustyötä kohtaan. Vuonna 1931 Valio ja kaksi vuotta aikaisemmin perustettu Kemiantutkimus-Säätiö rakennuttivat yhteisen Biokemiallisen tutkimuslaitoksen Helsinkiin. (Hokkanen, 1980)

Tutkimuslaitoksen johtajaksi nimitettiin A. I. Virtanen ja sen avajaisiin kutsuttiin johtavia kemistejä ympäri Eurooppaa. Avajaisissa olivat myös tasavallan presidentti P. E. Svinhufvud ja koko Suomen tärkein johto. Suomen valtio ymmärsi uuden Biokemiallisen tutkimuslaitoksen merkityksen Suomelle. Siitä kertovat tutkimuslaitokselle 1930-luvulla annetut runsaat (30-40 % säätiön menoista) avustukset (Heikonen, 1990a).

Virtanen itse kuvaili Biokemiallista tutkimuslaitosta seuraavasti: ”Tässä rakennuksessa on neljä nurkkaa. Yksi nurkka nojaa AIV-voisuolaan, toinen AIV-rehuun, kolmas juustonvalmistukseen säilörehulla tuotetusta maidosta ja neljäs palkokasveihin ja rehuntuotantotutkimuksiin. Näin minä tämän asian hahmottelen.” (Kreula, 1994)

Pitkän työuransa aikana A. I. Virtanen ehti toimia myös monessa merkittävässä virassa suomalaisen kemian eturintamassa. Hän toimi Biokemiallisen tutkimuslaitoksen johtajana vuosina 1931-1973, Teknillisen korkeakoulun biokemian professorina vuosina 1931-1939 ja Helsingin yliopiston kemian professorina 1939-1949. Tutkijanuransa aikana hän kirjoitti noin 1500 tieteellistä julkaisua. A. I. Virtanen kuoli 11. marraskuuta 1973 lonkkamurtuman jälkiseurauksiin.

Vuonna 1980 Suomen posti julkaisi postimerkin A. I. Virtasesta (Kuva 1). Yhteisenä sarjan aiheena oli merkkihenkilöt ja suomalaiset Nobel-palkinnon saajat. Taiteilijana Eeva Oivon suunnittelemaa kemisti A. I. Virtasta kuvaavaa postimerkkiä painettiin 3 000 000 kappaletta. Sama päivänä julkaistua nobelisti F. E. Sillanpään postimerkkiä painettiin 6 000 000 kappaletta. (POSTI, 2006)



Kuva 1. Nobelisti A. I. Virtasen postimerkki.

3.2 A. I. Virtasen tutkimukset

3.2.1 AIV-järjestelmä

AIV-järjestelmä sisältää ohjeita rehuntuotannosta ja karjanruokinnasta. Sen tavoitteena oli pyrkiä suomalaisen maatalouden kotimaisuusasteen kohottamiseen ja suomalaisten monipuoliseen ravitsemiseen. Virtasen tavoitteena oli omavarainen, hyvinvoiva ja terve Suomen kansa, joka jaksaa tehdä työnsä ja edistää Suomen kehittymistä toisen maailman sodan jälkeisessä Euroopassa.

AIV-järjestelmän lähtökohtana oli kohottaa suomalainen maidontuotanto tasolle, jossa jokaisella suomalaisella on saatavilla riittävästi korkealaatuista maitoa ravinnon perustaksi. Runsas korkealaatuinen maidontuotanto mahdollistaa myös ensiluokkaisen voin ja juuston valmistamisen vientiä varten.

AIV-järjestelmässä tarkoituksena oli viljellä palkokasveja juurinystyräbakteerien avulla ilman ulkomailta tuotavia lannoitteita, sekä niittää ja säilöä rehusato 2-3 kertaa kesän aikana. Pellolta saatu sato tuli niittää 2-3 viikkoa ennen kukintaa, jolloin sen ravintoarvo on vitamiinien ja valkuaisien suhteen huomattavasti parempi, kuin kukinnan aikana tai sen jälkeen. Koska apilalla on hyvä jälleenkasvukyky, saadaan varhaisella ensimmäisellä niitolla samalta peltoalalta myös toinen tai aikaisina kesinä jopa kolmas sato. Niitetty rehu säilöttiin AIV-menetelmän mukaisesti AIV-rehuna. AIV-järjestelmän mukaisessa karjanruokinnassa oli tavoitteena lehmien ympärivuotinen ”laiduntaminen”. Kesäisin lehmät laidunsivat niityllä ja talviruokintaan käytettiin AIV-menetelmän mukaisesti säilöttyä AIV-rehua. (Virtanen, 1947)

AIV-järjestelmän mukaan oli panostettava palkokasvien tehostettuun viljelyyn, sillä palkokasvit sisältävät lähes kaksinkertaisen määrään valkuaista heinään verrattuna. Palkokasvien sisältämä runsas valkuainen on välttämätöntä tuotettaessa ravintoarvoltaan korkealaatuista maitoa. Palkokasvit eivät myöskään tarvitse erillisiä typpilannoitteita. Palkokasvit sitovat typpeä ilmasta juurinystyröiden avulla. Juurinystyräbakteereille maa ei saa olla liian hapanta (pH alle 6) eikä liian tiivistä ja sen on sisällettävä riittävästi kalsiumia. (Virtanen, 1947)

Virtanen ja hänen tutkimusryhmänsä suorittivat AIV-rehun alkuaikoina lukuisia tutkimuksia AIV-rehuun vaikuttavista seikoista. Niissä tutkittiin muun muassa korjuuajan, kuivattamisen ja säilömisen vaikutuksia AIV-rehun ravintosisältöön.

Valion laboratorion vuonna 1934 yhdessä Maatalousseurojen Keskusliiton kanssa suorittamissa tutkimuksissa havaittiin selvä ero perinteisen ja uuden AIV-järjestelmän mukaisen apilasadon korjuutapojen välillä. Apila niitettiin ja kuivattiin perinteisellä tavalla 3.-20.7. välisenä aikana ja kerättiin kuivana talteen talviruokinnan tarpeiksi. Kokeissa, joissa käytettiin AIV-järjestelmän mukaisesta korjuutapaa ensimmäinen sato korjattiin 14.-29.6. välisenä aikana ja säilöttiin AIV-rehuksi. Lisäksi osassa kokeissa korjattiin yksi ja osassa kaksi jälkisatoa. Myös jälkisadot säilöttiin AIV-rehuksi. AIV-järjestelmän mukaisessa sadonkorjuussa saatiin keskimäärin 22% suurempi rehusato ja lehmien ruokintaan 43% enemmän valkuaista. Ruokintakokeet osoittivat, että suurempi sato ja etenkin sen sisältämä runsas valkuaisten määrä vaikuttivat merkittävästi lehmien maidontuotantoon. (Virtanen, 1947)

AIV-järjestelmän merkitys maidontuotannolle oli suuri. 1920-luvulla oltiin vakuuttuneita siitä, että yhden lehmän on mahdotonta tuottaa yli 3000 kiloa maitoa vuodessa ilman valkuaisrikkaiden väkirehujen käyttöä ja juurikasvien huomattavaa viljelyä. AIV-järjestelmän kehittelyn myötä 1930-luvulle tultaessa saavutettiin kuitenkin yleisesti jo yli 4000 maitokilon ja paikoitellen hyvillä lehmillä jopa 5000 maitokilon vuotuinen tuotanto. (Virtanen, 1947)

Virtasen kehittämän AIV-järjestelmän yhtenä tavoitteena oli edistää maatalouden tutkimusta. Suomen lyhyt kasvukausi (vain noin neljä kuukautta) ja usein kylmät yöt ja kuivuus heikensivät merkittävästi kasvillisuuden kehittymistä. Näissä olosuhteissa maanviljelijä tarvitsee tietoja ja taitoja pitääkseen suomalaisen maanviljelyn kilpailukykyisenä. Tehokkaalla tutkimus- ja kokeilutyöllä voitiin Virtasen mukaan hankkia edellytykset menestyksekkäälle maanviljelykselle.

3.2.1.1 AIV-menetelmä

AIV-menetelmällä tarkoitetaan A. I. Virtasen määrittämiä rehun niittoon, korjuuseen ja silppuamiseen sisältyviä toimintaohjeita ja rehun säilömistä AIV-rehun periaatteiden mukaisesti. Sen avulla voidaan säilöä nuoria kasvisatoja säästä riippumatta. Menetelmässä ainehäviö on pieni (vain 2–4 %) ja lopputuloksena on ravintoarvoltaan korkealaatuista rehua. AIV-menetelmän periaatteet ovat edelleen käytössä, vaikka maatalous ja tekniikka ovat kehittyneet vuosikymmenien aikana paljon sekä korjuutavat ja rehunsäilöntäaineet ovat muuttuneet.

3.2.1.2 AIV-rehu

Suomalaista karjan talviruokintaa häirtäsi jo 1800-luvun lopulla rehun säilymiseen liittyvät ongelmat. Ennen AIV-rehun keksimistä tuore rehu säilöttiin ns. painorehuna sullomalla rehu tiiviisti siiloon ilman mitään happolisäystä. Painorehun säilyminen perustui maitohappokäymiseen ja vaati onnistuakseen rehun, jossa oli runsaasti sokereita ja vain vähän valkuaisaineita. Tällöinkin säilöntätappiot olivat suuret ja rehun laatu usein heikkoa. Rehunvalmistusta häiritsivät merkittävästi haitalliset käymiset, proteiinien hajoaminen säilömistä aikana ja kasvien soluhengitys. (Salo, 1971)

A. I. Virtanen ratkaisi rehunvalmistuksessa esiintyvät ongelmat yksinkertaisella tavalla säätämällä rehun pH:n happolisäyksellä välille 3–4 (mm. Suomen tieteen historia 2000). Ensimmäiset tutkimukset happolisäyksen vaikutuksesta rehumassan happamuuteen suoritettiin vuonna 1928. Silloin pH:n säätämiseen käytettiin 2 M suolahappoa. Sitä lisättiin sadan gramman rehunäytteisiin eri määriä, jotta saatiin määritettyä pH-arvoon neljä vaadittavan happolisäyksen suuruus. (Heikonen, 1990a)

Kaikkialla Suomessa ei suhtauduttu täysin varauksettomasti väkevän tehdasvalmisteisen suolahapon ja rikkihapon avulla suoritettuun happamuuden säätöön. Erityisesti maatalouden parissa työskentelevien tiedemiesten keskuudessa oudoksuttiin ja jopa pelättiin perinteisestä maitohappokäymisestä poikkeavaa menetelmää. (Pulkki, 1994)

AIV-rehun alkutaival oli varsinaista tieteellistä ”sodankäyntiä”. Saksalaiset yrittivät tehdä kaikkensa estääkseen AIV-rehulle Saksassa anotun patentin myöntämisen. Saksassa oli yritetty ratkaista samaa rehun säilymiseen liittyvää ongelmaa jo 20 vuotta, mutta huonoin tuloksin. Englannissa AIV-menetelmä otettiin käyttöön osittain, mutta se ei saavuttanut suurta suosiota. Englantilaiset kokivat syövyttävien happojen käsittelyn hankalaksi ja jopa vaaralliseksi rehunsäilömismenetelmässä (McDonald, 1981).

Skandinaviassa AIV-rehu otettiin käyttöön 1930-luvulla, mutta alkuinnostuksen jälkeen sen suosio hieman laski. Ongelmana oli vahvat hapot, jotka syövyttivät laitteita ja olivat jossain määrin epäterveellisiä eläimille. AIV-menetelmän käyttö rehun säilytysmenetelmänä lisääntyi voimakkaasti 1960-70-luvuilla muurahaishapon käyttöönoton ja maatalouden koneellistumisen myötä. (Salo, 1971)

3.2.2 AIV-voisuola

Maidon jalostuksella on Suomessa pitkät perinteet. Suomalaiset olivat ensimmäisten eurooppalaisten kansojen joukossa, jotka osasivat valmistaa voita. Suomi oli jo 1500-luvulla tunnettu ”kestävästä ja voimakkaasta voistaan” ja ”maukkaista juustoistaan”. Silloin myös voinin vienti ulkomaille oli olosuhteisiin nähden merkittävää. Suomessa aloitettiin voinin valmistuksen tutkiminen jo 1700-luvulla. Kemian professori Per Adrian Gadd suoritti vuosina 1751-53 voininvalmistukseen liittyviä tutkimuksia. Tutkimuksissa todettiin metalli, savi ja lasiastioiden soveltuvan paremmin maidon ja kerman käsittelyyn kuin puuastioiden, joita on vaikea pitää hapottomina. Lisäksi matalista ja leveistä astioista saatiin kirnuamalla enemmän kermaa kuin ahtaista ja syvistä astioista. (Ollila et al., 1939)

1920-luvulla vointuotannon maailmanmarkkinat kiristyivät tuotantomäärien kasvaessa. Tällöin ryhdyttiin Suomessa erityisiin toimiin voinin laadun ja säilymisen parantamiseksi. Tämän kehityksen seurauksena Valiolla otettiin käyttöön muun muassa voihuoneet ja Virtanen sai tehtäväkseen parantaa voinin laatua.

Vuonna 1925 Virtanen keskittyi tutkimuksissaan voion laadun parantamiseen. Tarkoituksena oli selvittää, mikä aiheuttaa voihin öljyisen maun sitä varastoitaessa. Virhemaun aiheuttama happokatalysoitu hydrolyysi voitiin estää puskuroimalla voion pH 6,5:n yläpuolelle. Vuodesta 1926 alkaen voion pH säädettiin sopivaksi lisäämällä voihin Virtasen kehittämää AIV-voisuolaa, joka sisälsi dinatriumfosfaattia ja natriumkarbonaattia. Suolan koostumus säilyi salaisuutena 14 vuotta, jonka aikana suomalainen voio tuli tunnetuksi ulkomailla hyvän säilyvyytensä ansiosta. (Miettinen, 1994)

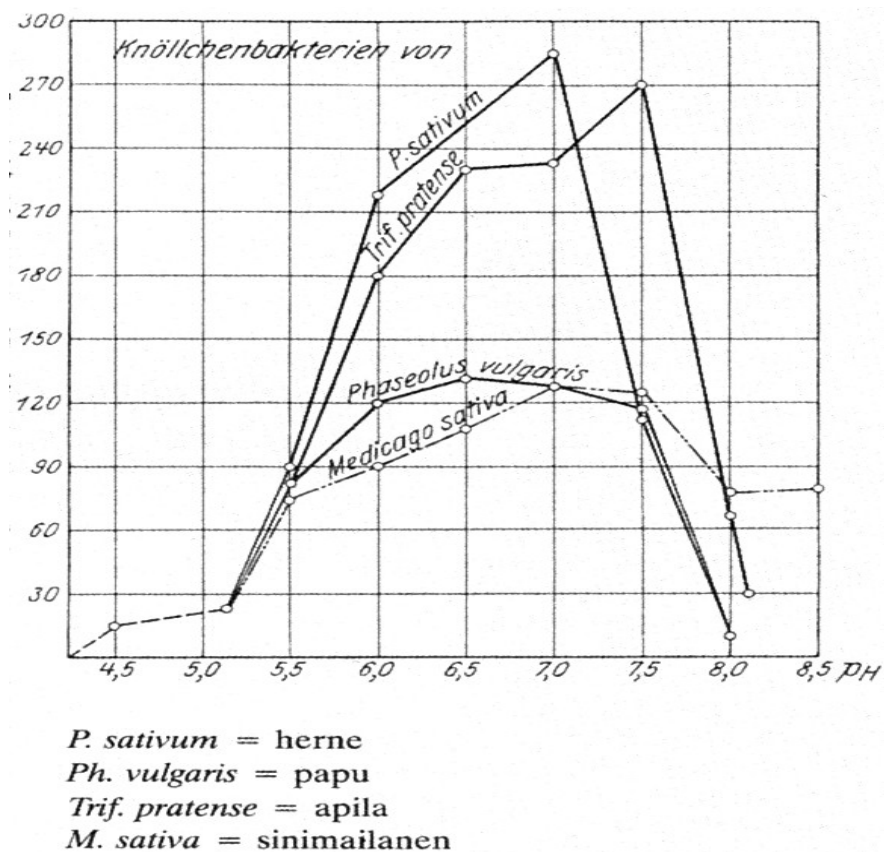
3.2.3 Palkokasvien typensidontaan liittyvät tutkimukset

Vuonna 1924 A. I. Virtanen aloitti palkokasvien viljelyyn liittyvät tutkimukset. Erityisesti A. I. Virtasta kiinnostivat palkokasvien juurinystyröissä tapahtuva typensitoutuminen. Juurinystyräbakteerien osallistuminen palkokasvien typensidontaan ilmasta oli tutkimusten keskeisimpiä tuloksia. Nystyräbakteerien toimittaminen viljeliöille aloitettiin jo vuonna 1925. (Heikonen, 1990a)

Palkokasvien tuottama runsaasti aminohappoja sisältämä sato kasvatti merkitystään myöhemmin, kun Virtasen kehittämä AIV-rehunsäilöimismenetelmä valmistui. Menetelmän myötä runsaasti valkuaista sisältänyt rehusato saatiin säilymään hyvälaatuisena aina kevääseen saakka (Virtanen, 1947).

A. I. Virtanen määritteli vuonna 1930 painetussa Maatalouden tietosanakirjassa palkokasvibakteereihin liittyvien tutkimustensa tuloksia seuraavasti: *”Palkokasvibakteerit ovat vahvasti aerobisia, ja kasvavat sen vuoksi vain runsaan ilmamäärän läsnäollessa. Nystyräbakteerit ottavat solujensa valkuaisaineiden muodostukseen tarvittavan typen ilmasta. Tarvitsemansa hiilen ne saavat isäntäkasvien hiilihydraateista. Sama nystyräbakteeri ei muodosta nystyröitä kaikkiin palkokasveihin. Apilaiden nystyräbakteeri ei esimerkiksi toimi herneessä ja päinvastoin. Muutamat palkokasvit pitävät erikoisesti niistä tyyppiyhdistyksistä, joita ne saavat juurinystyröistään. Ilman nystyräbakteereja eivät nämä palkokasvit kasva oikein hyvin, vaikka maassa olisi riittävästi ammoniumsuoloja ja nitraatteja.”*

Palkokasvien menestymiseen vaikuttaa voimakkaimmin maan happamuus. Juurinystyräbakteerien toiminnan kannalta maaperän pH-arvon tulee olla 6,5-7. Maaperän pH:n laskiessa juurinystyräbakteerien toiminta heikkenee ja pH:n ollessa alle 4,5 juurinystyröiden toiminta estyy eikä uusia juurinystyröitä muodostu. Tämä näkyy kasvin heikkona kasvuna. (Virtanen, 1945) (Kuva 2 ja Kuva 3)



Kuva 2. Juurinystyräbakteerien suhteellinen määrä maaperässä eri pH:ssa (Heikonen, AIV-keksitöjen aika, s. 132).



6. Kenttäkoe herneellä typpiköyhässä maassa. Taulut osoittavat maan happamuutta eri kohdissa koealuetta.

Kuva 3. Maaperän happamuuden vaikutus herneen kasvuun. (Maatalouden tietosanakirja 1930, s. 144).

Näiden tuloksien perusteella Valion laboratoriossa alettiin vuonna 1925 valmistamaan palkokasvibakteerien puhdasviljelyksiä. Peltomailla, joilla oli useampana vuonna aikaisemmin viljelty palkokasveja, saavutettiin puhdasviljelmillä 10-25 % suurempi sato. (Virtanen, 1930)

Nykyään tietämys palkokasveista ja typpeäsitovien juurinystyräbakteerien toiminnasta on syvällisempää, kuin A. I. Virtasen tutkimuksien aikana. Bakteerit ja kasvi elävät synergisessä symbioosissa, jossa bakteerien toiminta edistää kasvin kasvamista ja suojaa ympäristön haitallisilta vaikutuksilta. Kasvi sen sijaan tarjoaa bakteereille juurinystyröissään kasvualustan ja luovuttaa bakteereille toiminnan kannalta välttämättömiä hivenaineita. Tämä synerginen symbioosi on erittäin tärkeää etenkin niukkaravinteisessa viljelysmaassa. (Sen, 2002)

3.2.4 Juustontuotantoon liittyvät tutkimukset

1920-luvun puoliväliin tultaessa Suomen juustoteollisuus joutui historiansa vakavimpaan kriisiin. Emmentaalin hinta Keski-Euroopassa oli pydonnut jyrkästi ja keväällä 1926 romahti suomalaisten juustojen laatu pahasti. Ongelmia aiheuttivat sokerijuurikasruokinta ja ulkomailta tuotu väkirehu, jonka laatu oli usein varsin kehnoa. Valion laboratoriossa tutkituista maitonäytteistä löytyi usein juuston normaalia käymistä estäviä bakteereita. (Hokkanen, 1980)

Juuston valmistukseen liittyvät ongelmat jatkuivat 1930-luvulla AIV-rehun keksimisestä huolimatta. Etenkin emmentalin laatu oli huonoa. Yhtenä syynä oli edelleen bakteriologisesti kelvottomat rehut, joiden joukkoon oli nyt liittynyt myös AIV-rehu. AIV-rehun voi happokäymistä ei pystytty vielä hallitsemaan sen aikaisilla rehunkorjuumenetelmillä. Tämä johti siihen, että AIV-rehun käyttö juustolamaidon tuotantoon kiellettiin kokonaan. Ongelmia juustonvalmistuksessa oli myös valmistustekniikassa ja liian lämpimissä kypsytystiloissa. (Heikonen, 1993)

Virtanen oli suorittanut jo 1920-luvulla kokeita juuston laadun parantamiseksi ja voi happokäymisen estämiseksi. Vuonna 1929 ongelmaa yritettiin ratkaista kloraattilisäyksen avulla, mutta tulokset eivät olleet tyydyttäviä. Vuonna 1931 valmistui Biokemiallinen tutkimuslaitos. A. I. Virtasen johtamassa laitoksessa oli oma koejuustola, jossa voitiin tutkia entistä tarkemmin juustojen valmistusta ja säilymiseen vaikuttavia tekijöitä. Kokeissa todettiin, että emmentaliin oli kloraatin ohella lisättävä myös propionihappobakteereja. Vuonna 1937 löydettiin lopulta ratkaisu voi happokäymiseen liittyviin ongelmiin, jonka seurauksena jätettiin patenttihakemus haitallisten käymisten estämiseksi kloraatin ja bromaahtin ohella formaldehydiä muodostavilla yhdisteillä, kuten heksametyleenitetramiinilla. Myöhemmin Virtanen ratkaisi vielä emmentalín rosoisuuten liittyviä ongelmia säätämällä juustonkeitossa heran pH:n 6,35 yläpuolelle. (Heikonen, 1993)

A. I. Virtasen kehittämä menetelmä ensiluokkaisen emmentaaljuuston valmistamiseksi AIV-rehuruokinnalla tuotetusta maidosta palautti suomalaisen emmentalín maineen korkealuokkaiseksi juustona. (Hokkanen, 1980)

3.2.5 Muita merkittäviä tutkimuksia

A. I. Virtanen suoritti yli 50 vuotta kestäneellä biokemistin urallaan useita kansanterveydellisesti merkittäviä tutkimuksia. Tavoitteena oli kotimaisuuteen perustuva maa- ja karjatalous sekä terve kansa. Riittävä ruoka, vitamiinit ja kivennäisaineet olivat kansanterveydelle välttämättömiä. Taitavana biokemistinä Virtanen vaikutti suomalaisten ravintoon ja terveyteen ohjaamalla oikeaoppiseen ravitsemukseen. Maatalouden

kotimaisuusaste kohosi merkittävästi AIV-järjestelmän myötä. AIV-järjestelmä paransi suomalaisten saaman ravinnon laatua, lisäämällä maidontuotantoa ja sen sisältämien valkuaisaineiden ja vitamiinien määrää. (Heikonen, 1993)

1930-luvun alussa tunnettiin A-, C-, D- ja E-vitamiinit sekä joukko B-vitamiineja. Virtanen kiinnostui vuonna 1929 AIV-rehulla tuotetun talvivoin väristä. Voin keltainen väri oli samanlaista kuin kesävoissa ja erosi siihen aikaan tuotetun talvivoin kalpeasta väristä. Virtanen totesi sen johtuvan AIV-rehussa säilyneestä A-vitamiinista. Tämä osoitettiin myöhemmin vuonna 1932 Biokemiallisen tutkimuslaitoksen AIV-rehulle ja heinälle tekemissä karoteenitutkimuksissa. A-vitamiini säilyi AIV-rehussa talven yli, mutta ei kuivatussa heinässä. 1930-luvun lopulla Virtanen esitti A-vitamiinin käyttämistä infektioiden, keuhkotulehdusten ja tuberkuloosin torjuntaan. Aihe oli Virtaselle henkilökohtaisesti merkittävä, sillä hänen neljä veljeään oli kuollut keuhkokuumeeseen alle vuoden ikäisinä. Virtasen mielestä syynä oli puutteellinen ravinto, joka ei sisältänyt riittävästi A-vitamiinia. Virtanen teki myös useita D-, C- ja B2-vitamiinien määrittämiseen ja vaikutuksiin liittyviä tutkimuksia. Julkaisemalla ahkerasti tutkimustensa tuloksia ja kirjoittamalla lukuisia artikkeleita A. I. Virtanen vaikutti merkittävästi suomalaisten tietämykseen ja asenteisiin hyvälaatuisesta ja monipuolisesta ravinnosta. (Heikonen, 1993)

Ravinnon jodipitoisuuden vaikutus endeemisen struuman syntyyn oli 1930-luvulla yleisesti tiedossa ja useassa maassa ruokasuolaan oli lisätty jodia jo yli 10 vuotta. Suomessa etenkin lääkärit suhtautuivat jodin vaikutukseen struuman synnyssä vähätellen. Yleisen keskustelun käydessä kiivaana kansanravitsemuskomitea antoi A. I. Virtaselle tehtäväksi selvittää, kuinka paljon suomalaisten ravinto sisältää jodia. Näin Valion kouluttamat rehuneuvojat saivat tehtäväkseen kerätä virtsanäytteitä käydessään maatiloilla. Näytteistä saatujen tulosten mukaan suomalaiset saivat jodia niukasti. Suomalainen sai ravinnon mukana vain 52 - 67 mikrogrammaa jodia päivässä, joka oli noin puolet 1930-luvulla suositellusta määrästä. (Heikonen, 1993) Tutkimusten tulosten johdosta ruokasuolaan lisätään edelleen jodia endeemisen struuman ehkäisemiseksi.

Vuonna 1959 A. I. Virtanen aloitti tutkimukset urean käyttömahdollisuuksista karjarehun valkuaislähteenä. Tulokset olivat laboratorio-olosuhteissa erittäin myönteisiä, mutta menetelmä ei saavuttanut suurta suosiota. 1960-luvun lopulla A. I. Virtanen kehitti

proteiinittoman lehmänrehun ja tutki puusta erotetun sokeroituneen hemiselluloosan käyttömahdollisuuksia väkirehujen korvaajana. (Hokkanen, 1980) A. I. Virtanen osoitti myös ensimmäisenä, että fosforyloituminen on käymisissä yleinen ilmiö. (Miettinen, 1994)

4. AIV-rehu

Tässä luvussa käsitellään AIV-rehun valmistamista ja säilömistä sekä siihen liittyvää kemiaa. AIV-rehun valmistamiseen ja säilömiseen liittyen kerrotaan nykyisistä menetelmistä ja niiden kehittymisestä AIV-rehun keksimisen jälkeen. AIV-rehun kemiasta käsitellään niitä reaktioita ja mekanismeja, jotka ovat selkeästi merkityksellisiä hyvälaatuisen AIV-rehun valmistuksen ja säilymisen kannalta.

AIV-rehu on tuoreista ja puhtaista kasvinosista valmistettua eläinten ravintoa. Silputut kasvinosat saadaan säilymään happolisäyksen avulla, jolloin rehumassan pH laskee lähelle arvoa neljä. Sopivan happamuuden saavuttamiseksi käytetään nykyään useita eri happoja ja säilyvyyttä parannetaan myös muilla säilöntäaineilla. Oikein valmistettuna AIV-rehu säilyy hyvälaatuisena ja maittavana kevääseen saakka.

AIV-rehun valmistuksessa tavoitteena on valmistaa lehmille ravintoarvoltaan korkealaatuista ja hyvin säilyvää ravintoa talviruokinnan perustaksi. Lisäksi AIV-rehun tulee täyttää maidon- ja juustontuotannon sille asettamat vaatimukset. Säilörehun valmistus perustuu aerobisten mikrobien, kuten hiivojen ja homeiden toiminnan estämiseen ja toisaalta anaerobisten bakteerien, kuten maitohappobakteerien hyväksikäyttöön. (Salo, 1971)

4.1 AIV-rehun säilymisen perusteet

AIV-rehun säilymiseksi tulee käyttää tuoretta ja puhdasta vastaniitettyä rehua. Rehumassan joukossa ei saa olla multaa. Se tulee säilöä nopeasti, ettei rehumassa pääse lämpenemään. (mm. Maito ja Me, 1999) Rehu sisältää aina aerobisia bakteereita ja hiivoja, joiden toiminta käynnistyy silputussa rehussa. Niiden toiminnan seurauksena tapahtuu palamista, jossa kasvin sisältämät ravintoaineet yhdistyvät happeen ja muodostuu hiilidioksiidia ja vettä. Samalla rehumassan lämpötila kohoaa, mikä edelleen kiihdyttää aerobisten bakteerien ja hiivojen toimintaa. (Salo, 1971)

Rehun säilömisen onnistumisen kannalta happamuuden säätäminen on erittäin merkittävä tekijä. Rehun joukkoon tulee lisätä happoja niin, että rehun pH-arvo laskee lähelle neljää. Tällä happamuuden säädöllä estetään rehussa säilönnän aikana tapahtuva haitallinen mikrobitoiminta. Mikäli rehun pH säilömisen aikana pääsee kohoamaan arvoon 4,5 esimerkiksi ravintoaineiden hajoamisen seurauksena, niin lähes puolet säilötyistä rehuista pilaantuvat. (Moisio & Heikonen, 1992) Rehu tulee puristaa kasaan ilman poistamiseksi ja säilöä ilmatiiviisti rehusäilöön tai paaleihin. Rehun säilymisen kannalta hapeton ympäristö on ehdottoman tärkeä, sillä ilman sitä rehu pilaantuu aina hiivojen, homeiden ja aerobisten bakteerien toiminnan seurauksena. Rehusäilöä käytettäessä tulee hapen sisään pääsyn estämiseksi rehumassa peittää muovilla ja painottaa huolellisesti. (Maito ja Me, 1999)

Rehumassan sopiva lämpötila säilömisen aikana on 20-30 °C. Liian korkea lämpötila lisää säilönnän aikana syntyviä ravintoainetappioita. Tästä johtuen kevätsadon ravintoainetappiot ovat yleensä syyssatoa huomattavasti suuremmat. (Moisio & Heikonen, 1992)

Rehun esikuivatus on myös hyvä keino parantaa säilymistä ja vähentää ravintoainetappioita säilytyksen aikana. Esikuivatuksella pyritään saavuttamaan tilanne, jossa kuiva-aine pitoisuus on noin 35 – 40 % rehun massasta. Tällöin säilönnän aikana syntyy puristemehua vain vähän ja ravintoainetappiot ovat hyvin pieniä. Rehun esikuivaus vähentää myös säilöntäaineen käyttöä. (Salo, 1971) Sateella ei kannata tehdä säilörehua, sillä rehun vesipitoisuuden kasvaessa lisääntyy myös puristemehun määrä ja myös ravintoainetappiot. Puristemehun määrän pysyessä 20-30% välillä rehunpainosta ravintoainehäviöt ovat alle 10%. (Virtanen, 1947)

4.1.1 Rehun valmistuksen historiaa

Ihmiset ovat säilöneet ruohoa ja vihreitä kasvinosia jo kauan. Ensimmäiset merkit kasvien säilömisestä nykyaikaista rehun valmistusta muistuttavin keinoin ovat löytyneet Egyptistä. Seinämaalaukset, jotka on tehty noin 1200 eKr. sisältävät kuvia kasvien säilömisestä siiloihin eläinten ravinnoksi. Egyptiläiset ymmärsivät jo tuolloin säilymisen ehtona olevan ilmatiivis ympäristö. Keski-Euroopassa on myös valmistettu rehua pitkään. Esimerkiksi Italiassa on säilötty kasvinosia ainakin 700 vuotta. Pohjoismaihin rehun

säilömismenetelmät saapuivat vasta 1800-luvulla. (McDonald et al., 1991) Silloin rehun säilöminen perustui pelkästään maitohappokäymiseen ja rehu säilöttiin ns. painorehuna. Menetelmä oli varsin epäluotettava ja tuloksena oli usein pilaantunutta rehua. Vaihtoehtojen puuttuessa sitä käytettiin kuitenkin laajasti aina AIV-menetelmän keksimiseen saakka. (Salo, 1971)

AIV-menetelmän keksimisen jälkeen alettiin rehua säilöä uusin menetelmin ja painorehun valmistus maatiloilla väheni. AIV-menetelmä mahdollisti hyvälaatuisen rehun ja suhteellisen vähäiset säilöntätappiot. Sen laajamittaista käyttöönottoa hidastivat kuitenkin maanviljelyksen vaativat ja puutteelliset olosuhteet. 1930-luvulla maanviljelys oli erittäin työlästä ja AIV-menetelmän käyttöön maatiloilla liittyi monia käytännön ongelmia. Ongelmia oli niitossa, rehuheinän keräämisessä, säilömisessä ja AIV-liuoksen käsittelyssä. 1950-luvulla otettiin käyttöön polyeteenimuovit rehujen peittämisessä. Ne paransivat selvästi mahdollisuuksia säilöä AIV-rehu ilmatiiviisti. Seuraavaksi helpottui happojen käsittely, kun vanhat ja hankalat 50 litran lasipullot korvattiin muovikanistereilla. AIV-liuokseen käytettyjen happojen kehittyttyä ja niittosilppurien yleistyttyä 1970-luvulla AIV-menetelmän käyttö yleistyi Suomessa nopeasti. (Moisio & Heikonen, 1992)

Nykyään perinteisen AIV-rehun valmistuksen rinnalle on tullut uusia menetelmiä. Esikuivattun rehun säilöminen pyöröpaaleihin yleistyi Suomessa 1990-luvulla. Maatilojen kasvaessa tilojen hajanaisuus ja kunnollisten rehusäilöjen puuttuminen ovat vaikeuttaneet perinteisiä AIV-rehunkorjuumenetelmiä. Pyöröpaali-menetelmässä esikuivattu rehu paalataan pyöröpaalaimella 100-200 kg paaleiksi. Paalain lisää rehun joukkoon säilöntä-aineena käytetyn hapon, puristaa tiiviiksi ja ympäröi muovilla useaan kertaan. Näitä suuria valkoisia ”kananmunia” näkyy peltojen laidoilla joka puolella Suomea. Hyvin tehty paalirehu säilyy hyvälaatuisena koko talven ja sitä voidaan käyttää ruokintaan sopivina annoksina. Paalauksen haittapuolena on suuret muovikustannukset ja käytetyn muovin kierrättämiseen liittyvät ratkaisemattomat ongelmat. Oikein tehtynä paalirehu säilyy hyvin ja on ravintoarvoltaan tasavertaista perinteisen säilörehun kanssa. (mm. Maito ja Me, 1999)

4.1.2 Rehun säilöntään käytettäviä happoja

AIV-rehun valmistukseen voidaan käyttää useita eri happoja ja niiden seoksia. Yleisimmät AIV-rehun valmistuksessa käytetyt hapot ja niiden pK_a -arvot on esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. AIV-rehun valmistukseen käytettyjä happoja.

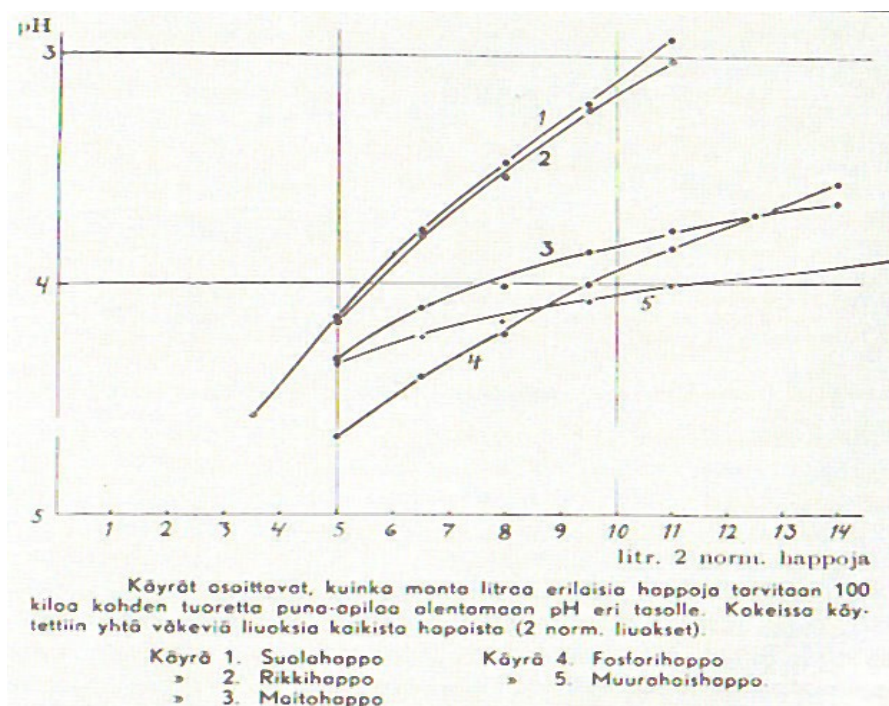
Nimi	Kaava	pK_a
Suolahappo	HCl	n.-7
Rikkihappo	H ₂ SO ₄	n.-3
Muurahaishappo	HCOOH	3,7
Maitohappo	CH ₃ CHOHCOOH	3,8
Etikkahappo	CH ₃ COOH	4,76
Bentsoehappo	C ₆ H ₅ COOH	4,2
Ortofosforihappo	H ₃ PO ₄	2,15-7,20-12,38
Propionihappo	CH ₃ CH ₂ COOH	4,9

A. I. Virtasen kehittämässä AIV-rehussa käytettiin alussa happamuuden säätämiseen 10 molaarista happoseosta, joka sisälsi lähes pelkästään suolahappoa ja vain hieman rikkihappoa. Vuonna 1935 AIV-liuoksen koostumus vakiintui 14-molaariseksi, jossa rikkihapon ja suolahapon molaarisuus oli seitsemän. Liuos laimennettiin sopivaksi paikan päällä sekoittamalla puusaavissa yksi osa happoseosta kuuteen osaan vettä. Tätä laimennettua AIV-liuosta annosteltiin kumisella ruiskukannulla 7-8 litraa sataa rehukiloa kohti. Vastaniitetty rehu säilöttiin kerroksittain rehutorniin tai maakuoppaan ja poljettiin tiukkaan säiliön pohjalle. Lopuksi rehu peitettiin paperilla tai sahanpuruilla ja päälle asetettiin betoni- tai kivipainot. 1960-luvulla otettiin käyttöön muurahaishappo AIV-liuoksessa. Virtanen oli kokeillut sen käyttömahdollisuuksia jo 1940-luvulla ja huomannut sen hyvät säilöntäominaisuudet. Tuolloin muurahaishappo oli vielä niin kallista, että sen käyttö AIV-liuoksissa ei ollut taloudellisesti järkevää. (Heikonen, 1990b)

Muurahaishapon käyttöönoton jälkeen happolisäyksen merkitys muuttui hieman. Virtasen kehittämässä AIV-liuoksessa käytettiin suolahapon ja rikkihapon seosta, jolla pyrittiin laskemaan rehumassan pH suoraan arvoon 4 tai hieman sen alapuolelle. Muurahaishapon

käyttöönoton jälkeen on rehumassan pH pyritty laskemaan lähelle arvoa 4, jolloin maitohappobakteerien toiminta käynnistyy. Menetelmä perustuu maitohappobakteerien kykyyn selviytyä vahingollisia bakteereita happamammassa ympäristössä. (Salo, 1971)

Muurahaishapon käyttö vahvojen kivennäishappojen tilalla muutti myös säilöntäaineena käytetyn liuosten annostelua. Muurahaishappo on heikko happo ($pK_a = 3,7$), joten se dissoituu vesiliuoksessa vain osittain. Suolahappo ja rikkihappo ovat vahvoja happoja ja ne dissosioituvat vesiliuoksessa täydellisesti vaikuttaen liuoksen happamuuteen huomattavasti muurahaishappoa enemmän. Muurahaishappoa pitää lisätä rehumassan joukkoon paljon enemmän kuin suolahappoa saman happamuuden saavuttamiseksi (Kuva 4). Maatiloilla AIV-rehun valmistuksessa käytettävän muurahaishappoliuoksen määrä oli kuitenkin vain hieman alkuperäistä kivennäishappoliuoksen määrää suurempi. Tähän vaikuttivat maatiloille toimitettavan muurahaishappoliuoksen suurempi konsentraatio, muurahaishapon muut säilöntään soveltuvat ominaisuudet, sekä samaan aikaan kehittyneet maatalouskoneet, joiden ansiosta rehu pystyttiin silppuamaan pienemmäksi. (Heikonen, 1990)



Kuva 4. Happolisäyksen vaikutus rehumassan happamuuteen (Heikonen, 1990 s. 99).

Rehun säilömiseen voidaan käyttää myös pelkästään maitohappobakteerien toimintaan perustuvaa säilömismenetelmää. Tämä on yleistä Keski- ja Etelä-Euroopan maissa, jossa ruohon sokeripitoisuus on korkea. Tällöin esikuivattu rehu saadaan säilymään maitohappobakteerien tuottaman maitohapon avulla ilman happolisäystä. (Salo, 1971)

Nykyään elintarviketurvallisuusviraston (lyh. Evira) vuonna 2005 kansallisesti hyväksymät tuoreen rehukasvin säilöntäaineet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään; muurahaishappopohjaiset, maitohappopohjaiset ja hapottomat säilöntäaineet.

Muurahaishappopohjaiset säilöntäaineet sisältävät 43-80 % muurahaishappoa. Lisäksi niissä on valmisteesta riippuen yhtä tai useampaa seuraavista aineista; ammoniumformiaattia, ortofosforihappoa, etyylibentsoaattia, propionihappoa, bentsoehappoa, etikkahappoa, kaliumsorbaattia tai lignosulfonaattia. (Evira, 2005)

Muurahaishapon etuna on rehumassan happamuuteen alentavasti vaikuttavien käymisten pysähtyminen hieman (0,1-0,3 yksikköä) Virtasen AIV-rehua ylempänä. Muurahaishapolla hapotettu rehu sisältää myös vähemmän ns. vapaita happoja. Tällöin ei syömisvaiheessa tarvita yhtä suurta neutralointia, kuin Virtasen kehittämän vahvoja kivennäishappoja sisältävän AIV-rehun käytössä ruokintaan. Tämä vaikuttaa positiivisesti rehun maittavuuteen. Muurahaishapon käyttö säilöntähappona vaikuttaa tutkimusten mukaan myös merkittävästi säilörehun valmistuksen onnistumisprosenttiin ja rehun korkeaan laatuun (Moisio & Heikonen, 1992).

Maitohappopohjaiset rehunsäilöntäaineet sisältävät useita erilaisia fermentoituja, konsentroituja ja pakastekuivattuja maitohappobakteereita, sekä niiden toimintaa edistäviä lisäaineita. Niiden toiminta perustuu valmisteiden sisältämien maitohappobakteerien voimakkaaseen toimintaan, jonka seurauksena syntyy maitohappoa ja rehumassan pH laskee nopeasti säilymisen kannalta sopivaksi. (mm. Evira, 2005) Maitohappobakteereita on useita sukuja, joista muun muassa *Enterococcus faecium* käytetään säilörehun valmistuksessa (mm. Palva, 2002).

Hapottomia rehunsäilöntäaineita on markkinoilla vain yksi. Se sisältää natriumbentsoaattia (15%), natriumnitriittiä (12%), heksametyleenitetra-amiinia (8%) ja natriumpropionaattia (5,5%). Sen toiminta perustuu siihen, että natriumnitriitti estää voi happobakteerien toimintaa ja natriumbentsoaatti toimii säilöntäaineena estäen hiivojen ja sienien muodostumista. Vaikka aine ei sisällä suoranaisesti happoa, sen toiminta perustuu myös happamuuden säätämiseen. Käytettäessä valmistetta rehumassan pH laskee arvoon 4,4 maitohappokäymisen seurauksena. Se on hieman korkeampi kuin useimmilla muurahaishappopohjaisilla säilöntäaineilla, joten rehun maittavuus on hieman parempi. Hapoton rehunsäilöntäaine on lisäksi turvallista käyttää ja se ei syövytä työkoneita. (Evira, 2005)

4.2 AIV-rehun kemiaa

AIV-rehu sisältää satoja eri yhdisteitä, joiden väliset kemialliset reaktiot on hyvin monimutkaisia eikä niitä kaikkia voida mitenkään määrittää. Tässä kappaleessa käsitellään rehun valmistukseen ja säilömiseen liittyvää kemiaa. Kappaleessa keskitytään niihin tunnettuihin reaktioihin ja mekanismeihin, jotka ovat selvästi merkityksellisiä rehun pH:n ja säilymisen kannalta.

4.2.1 Käymisreaktiot

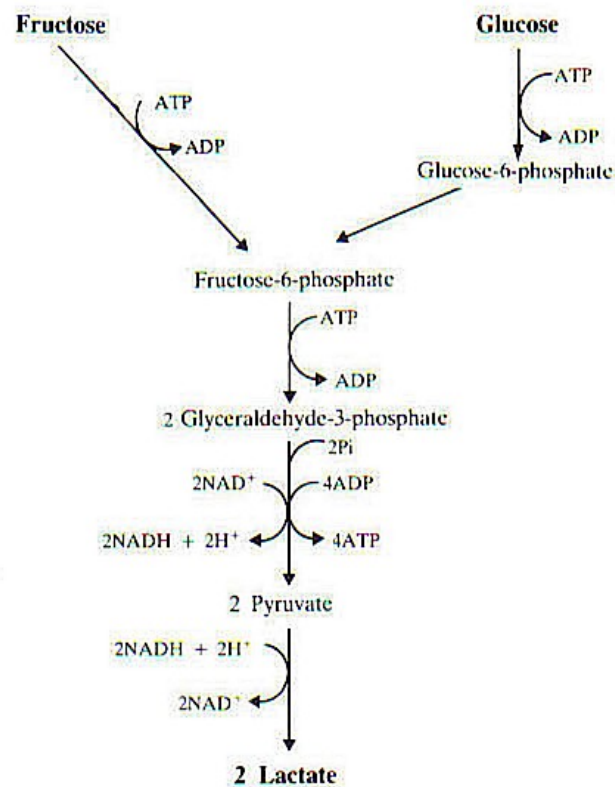
Käymisellä eli fermentaatiolla tarkoitetaan bakteerien solussa tapahtuvaa hapetus-pelkistys-reaktiosarjaa, missä jokaisen yhdisteen hapettumisen korvaa toisen vastaavan yhdisteen pelkistyminen. Tällöin käyminen voi tapahtua ilman happea. Käymisen lopputuotteina syntyy yhdisteitä, kuten maitohappoa, etanolia tai etikkahappoa. Käymisessä tapahtuu katabolisten entsyymireaktioiden sarja, jossa mikrobin päämääränä on tuottaa ATP:tä orgaanisesta aineesta, joka sisältää happea ja vetyä. Tällaisia aineita ovat hiilihydraatit ja aminohapot. (mm. Salkinoja-Salonen, 2002)

Ranskalainen kemisti Louis Pasteur (1822-1895) osoitti vuosina 1857-1876 tekemillään tutkimuksilla kaikkien eri käymisien tapahtuvan eri mikrobilajin aiheuttamana. Näistä AIV-rehun valmistuksen ja säilymisen kannalta ovat olennaisia maitohappo-, voi- ja alkoholikäyminen. (mm. Salkinoja-Salonen, 2002)

Maitohappo- ja voi- ja happokäyminen ovat rehussa hapettomissa olosuhteissa tapahtuvia käymisreaktioita. Ne tapahtuvat bakteeritoiminnan seurauksena, kun bakteerit käyttävät rehun sisältämiä sokereita ja valkuaisaineita ravintonaan. AIV-rehun valmistuksessa pyritään saavuttamaan olosuhteet, joissa tapahtuu maitohappokäymistä ja samalla estetään säilönnän kannalta vahingollinen voi- ja happokäyminen. Tämä saavutetaan hapettomissa olosuhteissa ja sopivassa happamuudessa. Samalla estetään myös haitalliset alkoholikäymiset, kun hiivojen toimintaan tarvittavaa happea ei ole saatavilla. (mm. Salo, 1971)

4.2.2 Maitohappobakteerien toiminta

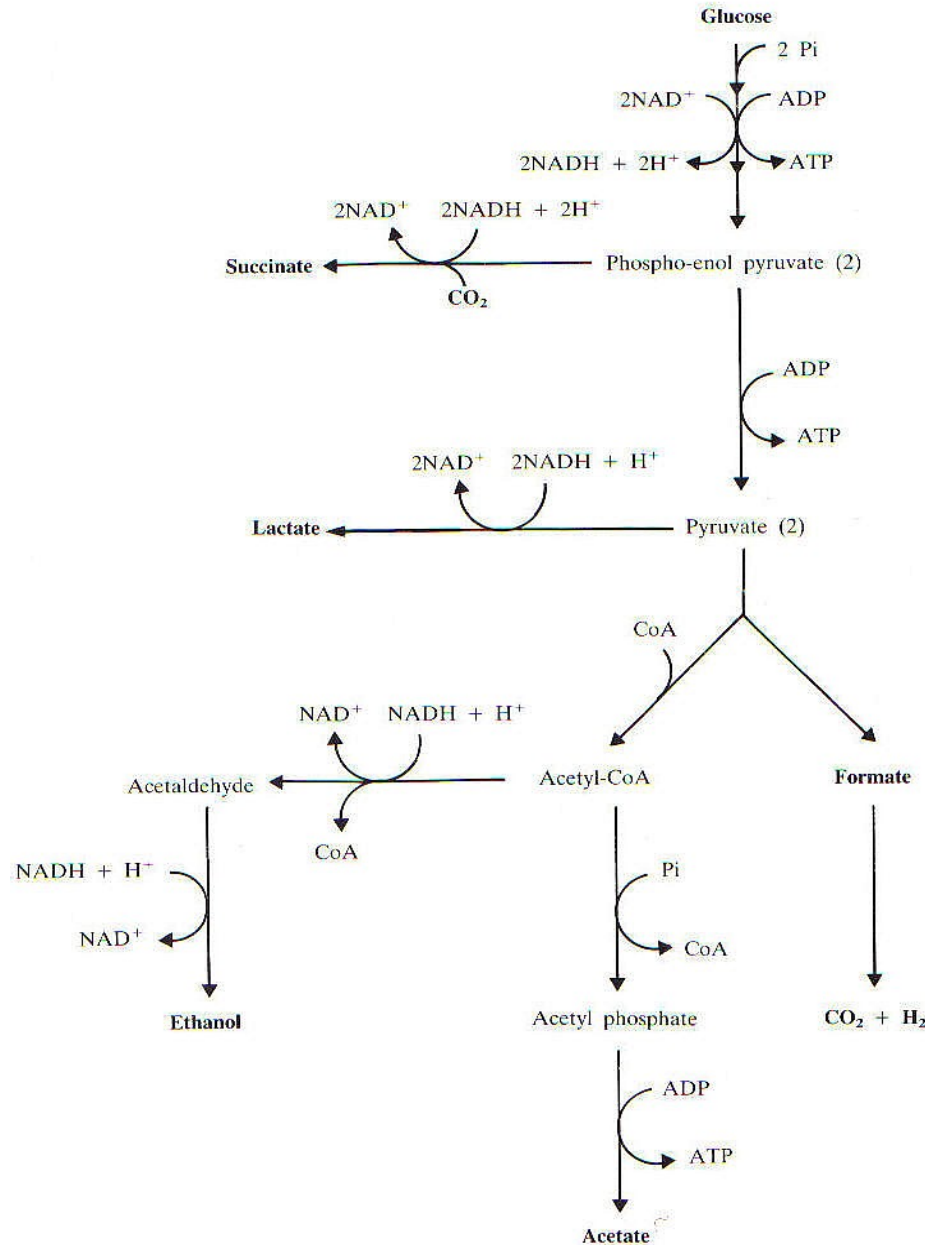
Maitohappobakteerit ovat fermentatiivisia mikrobeja, joiden sokerikatabolian pääasiallinen lopputuote on maitohappo. Yleisesti maitohappobakteerien aikaansaama sokerikäyminen tapahtuu glykolyysillä, jolloin lopputuotteena syntyy pelkästään maitohappoa. Tämä reaktioreitti on nimeltään *Embden-Meyerhof*-reitti (Kuva 5). Glykolyysin kautta tapahtuvaa maitohappokäymistä kutsutaan homolaktiseksi käymiseksi. Siinä maitohappobakteerien toiminnan seurauksena yhdestä moolista glukoosia tai fruktoosia muodostuu kaksi moolia laktaattia ja muita lopputuotteita ei synny. (McDonald et al., 1991)



Sum: Glucose (or fructose) + 2ADP + 2Pi → 2 Lactate + 2ATP + 2H₂O

Kuva 5. Maitohapon muodostuminen homolaktisessa fermentaatiossa, ns. *Embden-Meyerhof*-reitti (McDonald et al., 1991 s. 91).

Maitohappobakteerien aikaansaama sokerien hajoaminen voi tapahtua myös fosfoketolaasireittiä pitkin, jolloin sitä kutsutaan heterolaktiseksi käymiseksi. Siinä syntyy maitohapon lisäksi huomattava määrä myös etanolia, etikkahappoa, hiilidioksiidia ja vetyä. (Kuva 6) Heterolaktisessa käymisessä muodostuu samasta glukoosimäärästä merkittävästi vähemmän maitohappoa kuin homolaktisessa käymisessä. (Palva, 2002) AIV-rehun valmistuksessa pyritään tukemaan homolaktista käymistä sen tuottaman suuremman happomäärän takia (McDonald et al., 1991).



Kuva 6. Fosfoketolaasi-reitti (McDonald et al., 1991 s. 104).

Maitohappobakteerien tuottama maitohappo laskee rehumassan pH:ta. Maitohapon avulla maitohappobakteerit pyrkivät säätämään olosuhteet toimintansa kannalta ihanteelliseksi, jolloin maitohapon muodostus loppuu. Maitohappobakteerien kannalta maitohappo ei ole määräävä tekijä, vaan rehumassan happamuus. Tästä johtuen maitohappobakteerien toimintaan voidaan vaikuttaa ulkopuolisella happolisäyksellä. (Salo, 1971)

AIV-liuosta voidaan käyttää tavoitellun happamuuden saavuttamiseksi siten, että lisätään happoja vain osa tarvittavasta määrästä ja rehussa tapahtuvan maitohappokäymisen seurauksena saavutetaan lopullinen tavoiteltu happamuus. (Salo, 1971)

AIV-rehun säilymisen kannalta on tärkeää, että se sisältää riittävästi maitohappobakteereja. Säilönnän aikana AIV-rehussa tapahtuu aina jonkin verran ravintoaineiden pilkkoutumista, joka vaikuttaa maitohappobakteerien toimintaan. Esimerkiksi valkuaisaineiden hajoamisen seurauksena syntyy säilörehuun hajoamistuotteita, jotka nostavat rehumassan pH:ta. Maitohappobakteerit reagoivat kohonneeseen pH-arvoon muodostamalla lisää maitohappoa, jolloin rehumassan pH palaa ennalleen. (mm. Heikonen & Moisio, 1992)

Maitohappobakteerien menestymistä rehumassassa voidaan auttaa monella tavalla. Laskemalla rehun pH:ta lähelle arvoa neljä lisäämällä happoa tai muita säilöntäaineita maitohappobakteerit saavat ylivallan haitallisista bakteereista ja maitohappokäyminen käynnistyy. Myös esikuivaamalla rehua ennen säilömistä edistetään maitohappobakteerien toimintaa rehussa. Näistä pH:n säätäminen maitohappobakteereille sopivaksi toteutui jo aikanaan AIV-rehun valmistuksessa. (Salo, 1971)

4.2.3 Voihappobakteerien toiminta

Voihappobakteerit ovat maaperässä luonnostaan esiintyviä bakteereita. Yhdessä grammassa multaa esiintyy noin 300 - 400 kappaletta voihappobakteeria tai niiden itiöitä. (Maito ja Me, 1999) Ne menestyvät hyvin rehussa, jonka kuiva-aine pitoisuus ja vesiliukoisten hiilihydraattien määrä on pieni sekä lämpötila on 30 - 40 °C (McDonald et al., 1991). Mikäli olosuhteet ovat epäedulliset voihappobakteerit muodostavat lepoitön, joka kestää hyvin kuivuutta, kylmää ja happamia olosuhteita. Tähän perustuu voihappobakteerien haitallisuus ja vaarallisuus meijeritoiminnalle. (Maito ja Me, 1999)

Voihappobakteerit muuttavat maitohappoa voihapoksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Tätä mekanismia kutsutaan voihappokäymiseksi. Se on puolikovien ja kovien juustojen valmistuksessa erittäin haitallinen käymisreaktio. (Antila & Mantere-Alhonen, 1990)

Se ilmenee kypsyemisvaiheessa 3-4 viikkoa juuston valmistuksesta. Voihappokäymisen seurauksena juustojen massa muuttuu sitkeäksi, maku kitkeräksi, säännöllisten kolojen muodostuminen häiriintyy ja koko juusto paisuu. (Antila & Mantere-Alhonen, 1990)

AIV-rehu sisältää aina muiden bakteerien lisäksi myös voihappobakteereja. Rehuun joutuneista voihappobakteereista on haittaa vain, jos ne pääsevät kasvamaan ja lisääntymään. Tämän estämiseksi on niitetyn rehun pH laskettava nopeasti arvoon 4 tai lähelle sitä ja säilöttävä rehu huolellisesti, ettei rehun lämpötila pääse säilömisessä yhteydessä kohoamaan (Salo, 1971). Voihappobakteerien pääsyä rehun joukkoon voidaan ehkäistä välttämällä liian lyhyen nurmen niittämistä ja karjalannan levittämistä jo kasvaneen nurmen pintaan. Lisäksi on kaikin keinoin estettävä mullan pääsy säilötyn rehun joukkoon, esimerkiksi saappaiden tai työkoneiden mukana. (Maito ja Me, 1999)

Mikäli lehmien ruokintaan käytetty rehu sisältää runsaasti voihappobakteereita on todennäistä, että voihappobakteerien itiöitä löytyy myös lypsetystä maidosta. Bakteri-itiöt kulkeutuvat lehmän ruuansulatuskanavan läpi ja niitä on lannassa noin kymmenen kertaa enemmän kuin rehussa. Lannan mukana itiöt leviävät kaikkialle. Lypsän yhteydessä nänneihin ajautuneet bakteri-itiöt siirtyvät lypsettyyn maitoon. Voihappobakteerien esiintyminen maidossa on edelleen suuri ongelma juustontuotannolle. (Maito ja Me, 1999)

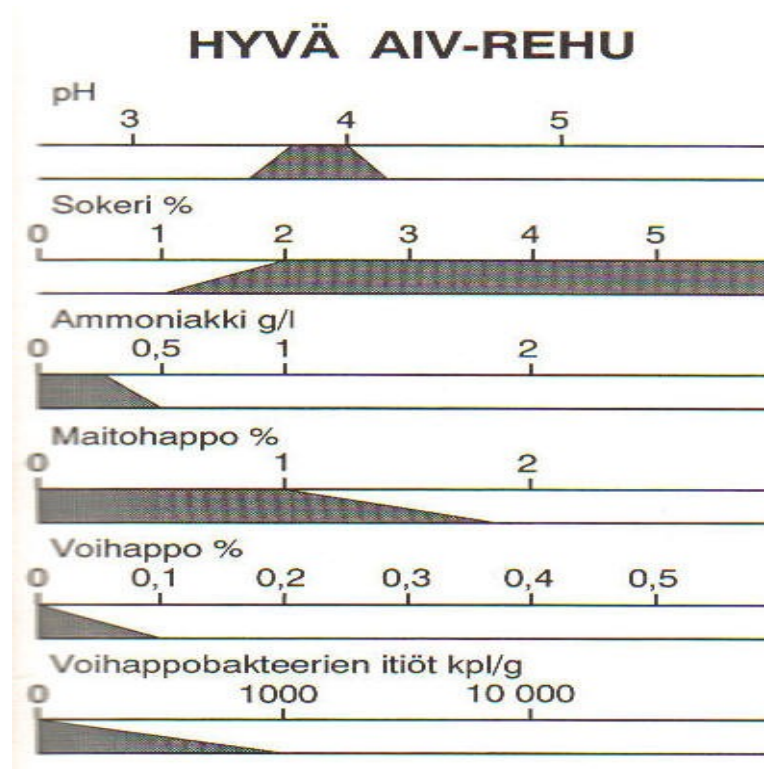
4.3 AIV-rehun laatu

Rehun laadunarvostelukriteerit ovat muuttuneet koko 1900-luvun ajan. 1920-luvulla hyvälaatuinen rehu ei saanut olla pahanhajuista, eikä sisältää voihappoa. AIV-rehun keksimisen jälkeen rehun pH-arvon merkitys tuli tärkeimmäksi tekijäksi laadun arvioinnissa. (Moisio & Heikonen, 1992)

4.3.1 Hyvälaatuinen AIV-rehu

Vuonna 1922 Edin ja Sandberg kertoivat julkaisussaan päätelmiään hyvän säilörehun edellytyksistä. Heidän mukaan onnistuneessa säilörehun valmistuksessa ei tapahdu voi happokäymistä, joten rehumassa ei sisällä voi happobakteereja. Lisäksi hyvälaatuisen rehun pH on noin 3,75 ja huonolaatuisen 4,55. Olennaisinta heidän tutkimuksissaan AIV-rehun keksimiselle oli tutkimuksien sisältämät rehun puristenesteen pH-mittaukset ja titrauskäyrät. (Heikonen, 1990a)

Hyvälaatuisen AIV-rehun väri on vaaleahko, hieman kellertävä ja haju raikkaan hapan. Puristenesteen pH on alle 4, sokeripitoisuus yli 2 % ja ammoniakkipitoisuus alle 0,5 g/l. Hyvälaatuisessa AIV-rehussa ei esiinny voi happokäymistä. (Rauramaa, 1983) Vuosina 1976-87 hyvälaatuisen AIV-rehun puristenesteen koostumusta havainnollistettiin seuraavan kuvan avulla. (Kuva 7)



Kuva 7. Hyvälaatuisen AIV-rehun ominaisuudet ovat kuvassa tummalla värillä. (Heikonen & Moisio, 1992, AIV-rehun perusteet s.33).

Hyvälaatuisessa rehussa pitäisi olla sokereita vähintään 10 g/l. Huonolaatuisessa rehussa aminohappoihin sitoutunutta typpeä on vain 20 % kokonaistypen määrästä. Alhainen aminohappotypen määrä kuvaa luotettavasti rehun huonoa laatua. (Moisio & Heikonen, 1989)

4.3.2 Analyysimenetelmiä

Rehun laadun määrittäminen 1920-luvulla perustui aistien avulla suoritettavaan arviointiin ja pH-määrittelyyn. Rehu ei saanut olla pahanhajuista ja happojen määrä sai olla enintään 2 %. Rehusta tutkittiin voi happobakteerien määrä bakteeriviljelyn avulla, sillä tiedettiin voi hapon vaikuttavan rehuun haitallisesti. Rehusta määritettiin myös pelkistävien sokereiden, ammoniakkin ja typpettömien uuteaineiden pitoisuudet käymisten laadun ja määrän selvittämiseksi. Analyysimenetelmät olivat kuitenkin hankalia ja veivät niin paljon aikaa, ettei niillä ollut käytännön merkitystä rehun laatua arvioitaessa. Vuonna 1932 AIV-rehun laadun arvostelu helpottui huomattavasti, kun rehun pH-määrittelyn avuksi kehitettiin pH-paperi. Sen avulla maanviljelijät pystyivät tarkkailemaan AIV-rehun laatua itsenäisesti ja melko luotettavasti. (Moisio & Heikonen, 1992)

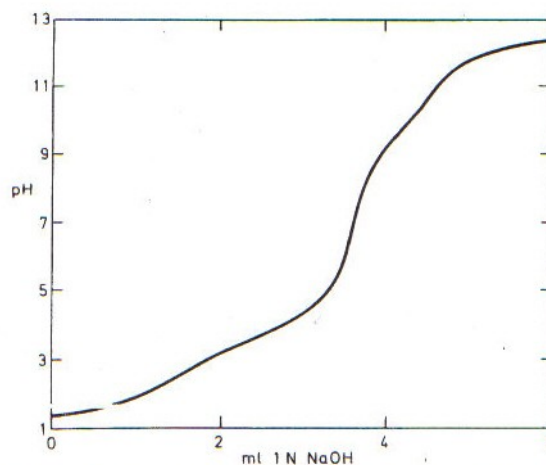
1940-luvun lopulla opittiin määrittämään paperikromatografisesti orgaanisia happoja, joka helpotti etenkin voi hapon määrittelyä rehusta (Moisio & Heikonen, 1992). 1950-luvulle saakka AIV-neuvojat olivat suorittaneet rehun tarkastukset maataloilla. Vuonna 1953 säilörehun valmistamisen lisääntyessä laadun arviointi siirtyi meijereihin. Tuolloin rehua arvioitiin aistinvaraisesti ja mittaamalla sen pH. (Rauramaa, 1983)

Vuonna 1971 julkaistu Rehuoppia-kirja luettelee virallisen rehuanalyysin sisältävän kuusi erilaista määrittelyä; vesi, tuhka, raakarasva, raakavalkuainen, raakakuuti ja typpettömät uuteaineet. Osa määrittelyistä on epätarkkoja, mutta antavat kuitenkin melko hyvän kuvan säilötyn rehun laadusta. Vesi määritetään kuivaamalla näyte uunissa ja tuhka polttamalla, jolloin orgaaninen aine palaa ja jäljelle jää tuhkaa. Raakarasva määritetään uuttamalla eetterillä ja haihduttamalla eetteri pois. Raakavalkuainen saadaan keittämällä näytettä väkevässä rikkihapossa ja tislamalla ammoniakkin liuoksesta. (Salo, 1971)

Raakakuidun määrittäminen on monimutkainen ja epätarkka, mutta sitä tarvitaan typettömien uuteaineiden laskemiseen. Ne saadaan erotuksena, kun sadasta prosentista vähennetään veden, tuhkan, raakarasvan, raakavalkuaisen ja raakakuidun prosenttimäärät. (Salo, 1971)

Vuosina 1975-76 otettiin käyttöön Clinitest- ja Merckoquant-menetelmät, joiden avulla pystyttiin määrittämään säilörehunäytteiden käymisaste ja mahdolliset virheikäymiset. Tuolloin määriteltiin hyvän AIV-rehun puristenesteen tunnusmerkeiksi, että se on aistinvaraisesti arvioituna moitteeton ja pH on 3,7 - 4,0. Lisäksi pelkistävien sokerien pitoisuus tuli olla yli 1-2 % ja ammoniakkipitoisuus enintään 0,5 g/l. (Moisio & Heikonen, 1992)

Vuonna 1987-1988 säilörehun tarkastus uudistui täydellisesti. Hyvälaatuisen AIV-rehun määrittely säilyi samana, mutta laadun tarkastukseen käytettävät menetelmät tarkentuivat analyysien monipuolistuessa (Moisio & Heikonen, 1992). Nyt rehujen laaduntarkastus perustui rehusta puristetun mehun happo-emästitraukseen. Rehusta puristettu näyte tehtiin ensin reilusti happamaksi lisäämällä siihen suolahappoa niin paljon, että näytteen pH laskee alle kahden. Tämän jälkeen lisättiin pieninä annoksina NaOH-liuosta kunnes näytteen pH saavutti arvon 12. Titrauskäyrästä saatavan informaation avulla voitiin määrittää rehunäytteen pH, etikkahappo, maitohappo, sokerit ja valkuaisen hajoamistuotteet (Kuva 8). (Moisio & Heikonen, 1987)



Kuva 8. Puristenesteestä saatu titrauskäyrä (Moisio & Heikonen, 1987).

Rehun kemiallista koostumusta ja ravintoarvoa tarkastellessa on käytettävä muita keinoja kuin pelkkää pH:n määrittämistä. Rehun puristenesteestä suoritettut pH-mittaukset antavat tietoa vain rehun bakteriologisesta sisällöstä, joka on yksi tekijä määritettäessä rehun laatua. Bakterien toiminnan säätelyssä happamuuden merkitys on erittäin suuri, siksi pH tulee aina määrittää arviotaessa rehun laatua. (Moisio & Heikonen, 1992)

5. Tutkimus

Suoritettu tutkimus on kehittämistutkimus (Edelson, 2002), joka toteutettiin kolmessa eri vaiheessa. Sen ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin tarve uuden oppimateriaalin kehittämiseksi. Tarveanalyysissä tutkittiin perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjojen tapaa esitellä A. I. Virtasta ja hänen tutkimuksiaan ja keksintöjään. Tutkimuksen toisessa vaiheessa kehitettiin oppimateriaalia tarveanalyysin tuloksien pohjalta. Oppimateriaalin kehittämiseen käytettiin lähdekirjallisuutena A. I. Virtasen tutkimuksia ja niiden tuloksia sekä AIV-rehun valmistuksessa yleisesti käytettäviä ohjeita (mm. Heikonen, 1990a). Oppimateriaali suunniteltiin tukemaan PBL-menetelmän käyttöä osana kemian opetusta. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa kehitetty oppimateriaali testattiin käytännössä. Testauksen suoritti tutkimuksen tekijä. Oppimateriaalin testaus tapahtui Järvenpäässä Kartanon koulun kemian luokassa perusopetuksessa käytettävillä aineilla ja välineillä.

5.1 Tutkimuskysymykset

1. Miten A. I. Virtanen ja hänen tutkimuksensa ovat esillä perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjoissa 2000-luvulla?
 - 1.1 Mitä oppikirjat mainitsevat A. I. Virtasesta?
 - 1.2 Mitä oppikirjat mainitsevat A. I. Virtasen tutkimuksista ja keksinnöistä?
 - 1.3 Missä asiayhteydessä kemian oppikirjat käsittelevät A. I. Virtasta tai hänen tutkimuksiaan?
 - 1.4 Miten laajasti ja millä tavoin oppikirjat käsittelevät A. I. Virtasta ja hänen tutkimuksiaan?
2. Miten voidaan käyttää A. I. Virtasta ja hänen tutkimuksiaan kemian opetuksessa ongelma-perustaista lähestymistapaa käyttäen?

5.2 Tarveanalyysi

Kehittämistutkimuksen 1. vaiheessa toteutettiin tarveanalyysi oppikirjoista, jonka avulla saatiin selville oppikirjojen sisältämän aineiston nykytilanne ja tarpeet oppimateriaalien kehittämiseksi. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millä tavalla Suomen ainoa kemian nobelisti A. I. Virtanen tai hän keksintönsä ja tutkimuksensa ovat esillä perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjoissa sekä minkälaisissa asiayhteyksissä ja kuinka laajasti eri oppikirjat käsittelevät historiallista kemian merkkihenkilöä. Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää, minkälaisia tehtäviä, kokeellista työskentelyä tai työohjeita perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjat sisältävät A. I. Virtaseen tai hänen tutkimuksiinsa liittyen. Tarveanalyysin pohjalta nähdään kokonaistilanne, mahdolliset puutteet ja voidaan asettaa tavoitteet kehitettävälle oppimateriaalille.

5.2.1 Tutkimuksen suoritus

Tutkimusmenetelmänä oli niin sanottu sisällönanalyysitutkimus (Hirsjärvi et al., 2000), jossa selvitettiin kemian oppikirjojen sisältämän A. I. Virtaseen liittyvän tiedon laatua ja määrää. Tutkimuksessa oli mukana seitsemän perusopetuksen kemian oppikirjaa ja 17 lukion kemian oppikirjaa. Perusopetuksen kirjoista kolme oli vanhan opetussuunnitelman (POPS, 1993) perusteiden mukaisia ja neljä uuden opetussuunnitelman (POPS, 2004) perusteiden mukaisia oppikirjoja. Lukion oppikirjoista neljä oli vanhan opetussuunnitelman perusteiden mukaisia (LOPS, 1994) ja 13 uuden opetussuunnitelman perusteiden (LOPS, 2003) mukaisia oppikirjoja. Kaikki tutkimuksessa mukana olleet lukion kemian oppikirjat olivat lukion opetussuunnitelmien perusteiden määrittelemien kolmen ensimmäisen kemian kurssin mukaisia oppikirjoja. Tutkimuksessa oli mukana saatavilla olevat eri kustantajien kouluille tarjoamat kemian eri kurssien oppikirjat. Oppikirjoista analysoitiin aina uusin saatavilla ollut painos ja saman kirjasarjan vanhan opetussuunnitelman (POPS, 1993 tai LOPS, 1994) mukaista oppikirjaa ei analysoitu, jos uuden opetussuunnitelman perusteiden mukainen versio samasta oppikirjasta oli saatavilla. Tutkimuksessa ei ole mukana kaikkia oppikirjoihin tai oppikirjasarjoihin kuuluvia erillisiä työkirjoja tai -vihkoja, eikä erillisiä kokeellisia työohjeita sisältäviä oppikirjojen lisämateriaaleja.

Kaikki tutkimuksessa mukana olleiden oppikirjojen nimet löytyvät liitteestä 1. Oppikirjat ovat aakkosjärjestyksessä siten, että perusopetuksen oppikirjat ovat ensimmäisinä. Oppikirjat on numeroitu tulosten käsittelyn helpottamiseksi ja luettavuuden parantamiseksi siten, että perusopetuksen oppikirjat (P1-P7) on merkitty tunnuksella P ja lukion oppikirjat (L1-L17) tunnuksella L.

Sisällönanalyysitutkimus (Hirsjärvi et al., 2000) tehtiin käymällä koko oppikirjan sisältö huolellisesti läpi. Ensimmäiseksi katsottiin sisällysluettelosta etukäteen avainsanoiksi määriteltujen sanojen löytymistä. Avainsanoiksi määriteltiin; A. I. Virtanen, AIV-rehu, happamuus, kemian historia, Nobel, pH, suomalaiset kemistit ja Virtanen A. I. Mikäli avainsanoja löytyi, merkittiin sivut muistiin, jonka jälkeen tutkittiin oppikirjan sisältö kokonaisuudessaan.

Sisällönanalyysitutkimuksessa keskityttiin oppikirjojen sisältämän informaation määrälliseen tutkimukseen. Tutkimuksessa ei ole tarkasteltu oppikirjojen sisältämän informaation oikeellisuutta, tärkeyttä tai mielekkyyttä kemian opiskelijan näkökulmasta.

5.2.2 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuksessa oli yhteensä mukana 24 kemian oppikirjaa. Näistä 13 ei sisältänyt minkäänlaista mainintaa A. I. Virtasesta eikä hänen tutkimuksistaan tai keksinnöistään. Tutkimuksen keskeisimmät tulokset on esitetty neljän taulukon avulla (Taulukot 3-6), jotka löytyvät liitteestä 2. Tutkimusaineisto on kokonaisuudessaan luettavissa liitteestä 7.

5.2.2.1 A. I. Virtanen kemian oppikirjoissa

Tutkimuksessa oli yhteensä mukana 24 kemian oppikirjaa, joista 16 ei sisältänyt mikäänlaista mainintaa henkilöstä nimeltä A. I. Virtanen. Oppikirjoista kuudessa oli mainittu A. I. Virtanen sekä AIV-rehun keksijänä että Nobel-palkinnon saajana. Lisäksi viidessä edellä mainituista oppikirjoista oli valokuva tai piirretty kuva A. I. Virtasesta.

A. I. Virtanen merkittävänä biokemistinä oli mainittu kolmessa oppikirjassa (P4, L8, L12) ja hänen toimiminen Teknillisen korkeakoulun ja Helsingin yliopiston kemian professorina oli mainittu kahdessa oppikirjassa (P4, L8). Yksi kirja kertoi A. I. Virtasen merkityksestä suomalaiselle maataloudelle ja hänen suorittamistaan pH-tutkimuksista (L2). (Taulukko 3, Liite 2)

”Virtanen Artturi Ilmari (1895-1973), suom. Toimi Teknillisen korkeakoulun ja Helsingin yliopiston professorina, Suomen biokemiallisen tutkimuksen perustaja. Sai 1945 Nobelin kemianpalkinnon ravintokemian alalla tekemistään tutkimuksista ja keksinnöistä ja erityisesti rehunsäilöntämenetelmästä (AIV-rehu).” (L8)

5.2.2.2 A. I. Virtasen tutkimukset ja keksinnöt kemian oppikirjoissa

Tutkimuksessa mukana olleista oppikirjoista 13 ei sisältänyt minkäänlaista mainintaa A. I. Virtasen tutkimuksiin tai keksintöihin liittyen. AIV-rehu oli mainittu kaikkiaan yhdeksän oppikirjan tekstissä. Näistä viisi oppikirjaa (P1, P7, L8, L10, L15) sisälsi maininnan AIV-rehusta ilman minkäänlaista lisäselvitystä. Näiden oppikirjojen teksteissä ei selitetty tarkemmin, mitä AIV-rehu on tai mihin sen säilyminen perustuu.

”Muurahaishappoa käytetään AIV-rehun säilöntäaineena, desifointiaineena ja teollisuuden raaka-aineena.” (P1)

”Metaanihappoa käytetään AIV-säilörehuliuoksen valmistuksessa, paperin ja tekstiilien värjäyksessä, nahan käsittelyssä ja lääkeainesynteeeseissä.” (L10)

Yksi oppikirja (L12) mainitsi A. I. Virtasen keksineen rehunsäilömismenetelmän, jossa tuorerehua hapotetaan (Liite 2).

Tutkimuksessa mukana olleista oppikirjoista neljässä (P3, P4, P5, L3) oli selitetty rehunsäilömismenetelmän ideaa ja neljässä (P4, P5, L2, L8) oli mainittu A. I. Virtasen voin säilyvyyteen liittyvistä tutkimuksista. (Taulukko 4, Liite 2)

”Suomalaisen biokemian isä Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) sai vuonna 1945 Nobelin kemianpalkinnon. Hän kehitti AIV-rehunsäilömismenetelmän, jossa tuorerehun pH laskettiin välille 3-4, niin että käymisreaktiot merkittävästi vähenivät. Nykyisin tuorerehun säilöntään käytettävä liuos sisältää pääosin muurahaishappoa (metaanihappoa).” (P5)

A. I. Virtasen tutkimukset juustojen säilyvyyden parantamiseksi oli mainittu kolmessa oppikirjassa (P4, P5, L8) ja palkokasvien typensidontaan liittyvät tutkimukset kahdessa oppikirjassa (P4, L8). (Taulukko 4, Liite 2)

”A. I. Virtasen tutkimusryhmä tutki myös elintarvikkeiden säilyvyyttä. Kymmenien vuosien tutkimustyön tuloksena suomalaisesta emmentaljuustosta tuli kuuluisa vientituote.” (P5)

”A. I. Virtanen kehitti jo 1920-luvulla voin ja juustojen säilyvyyttä parantavan menetelmän. Virtanen tutki myös kasvien sisältämiä aineita, kuten aminohappoja, typpi- ja rikkiyhdisteitä sekä fungisidejä sekä kasvitautien torjunta-aineita. Hernekasvien typensidontaa koskeneet tutkimukset johtivat sittemmin AIV-rehun keksimiseen.” (P4)

Yhdessä oppikirjassa (L2) oli mainittu A. I. Virtasen kehittämän voisuolan periaate ja merkitys suomalaisille voinvalmistajille. Teksti löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 7.

5.2.2.3 A. I. Virtanen ja oppikirjojen asiayhteydet

Yleisimmin A. I. Virtanen ja hänen keksintönsä tai tutkimuksensa oli mainittu oppikirjoissa karboksyylihapojen kohdalla. Näitä mainintoja löytyi seitsemän kappaletta (P1, P4, P5, P7, L8, L10, L15). A. I. Virtanen tai hänen keksintönsä mainittiin happojen ja emästen yhteydessä kaksi kertaa (P3, L3) ja myös pH:n yhteydessä löytyi maininta kahdesta oppikirjasta (L2, L8). Happamuuden yhteydessä mainittiin A. I. Virtanen tai hänen tutkimuksensa yhden kerran (L8). (Taulukko 5, Liite 2)

”Muurahaishappoa käytetään desifiointiaineena, teollisuuden raaka-aineena, tekstiilien ja nahan värjäyksessä sekä AIV-rehun valmistuksessa.” (P7, hapot ja emäkset)

”Muurahaishappoa käytetään teollisuudessa esimerkiksi AIV-rehuliuoksen valmistamiseen yhdessä suolahapon kanssa.” (L8, karboksyylihapot)

Kemian historian yhteydessä A. I. Virtanen oli mainittu kahdessa oppikirjassa (L1, L8).

”Tehtävä: Tutustu kemian historiaan tietosanakirjan tai Internetin avulla. Mikä merkitys suomalaisella kemian nobelistilla A. I. Virtasella on ollut Suomen hyvinvointiin?”

(L1, kemian historia)

Muita asiayhteyksiä, joissa A. I. Virtanen tai hänen tutkimuksensa oli mainittu olivat; glykolyysi ja käyminen (L3), Nobel-palkinto (P4) ja typenyhdisteet (L12).

”A. I. Virtanen on ainoa suomalainen nobelin palkinnon saanut tutkija. Hän sai palkinnon vuonna 1945 rehunsäilöntään liittyvistä tutkimuksistaan. Virtasen mukaan nimettyä AIV-rehua valmistetaan nykyäänkin, vaikka säilöntäkemikaalit ja -menetelmät ovatkin hiukan muuttuneet.” (L3, glykolyysi ja käyminen)

Tutkimuksessa mukana olleista kemian oppikirjoista 13 ei käsitellyt ollenkaan A. I. Virtasta tai hänen tutkimuksiaan. Näistä yksi oppikirja sisälsi kuitenkin tehtävän kemian historiaan liittyvässä kappaleessa. (Taulukko 5, Liite 2)

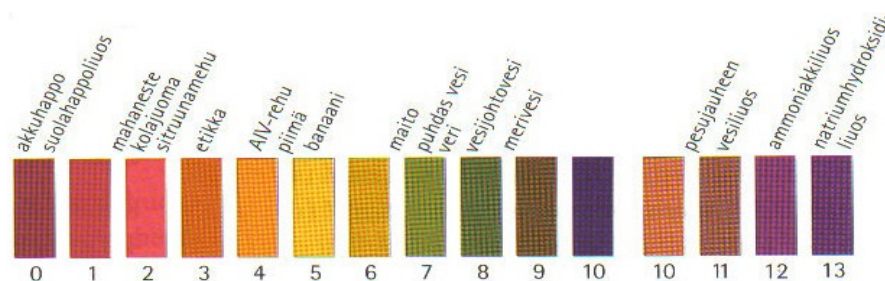
5.2.2.4 Kuvat, tekstit ja tehtävät ja A. I. Virtanen

Tutkimuksessa mukana olleista oppikirjoista kahdeksassa (P3, P4, P5, P7, L2, L3, L8, L12) oli yksi tai useampi kuva A. I. Virtasesta tai hänen keksinnöistään. Näistä oppikirjoista viisi (P3, P4, L3, L8, L12) sisälsi kuvan A. I. Virtasesta (Taulukko 6, Liite 2). (Kuva 9)



Kuva 9. A. I. Virtanen (Avain 3, 2005, s.43).

Oppikirjoissa oli yhteensä kolme kuvaa AIV-rehun valmistuksesta ja kaksi kuvaa AIV-liuoskanisterista. Lisäksi löytyi kuva voion valmistuksesta (L2), juustojen tasalaatuisuuden esittelystä (P5) ja pH-asteikosta, johon oli merkitty AIV-rehu pH = 4 kohdalle (L8) (Kuva 10).



Kuva 10. pH-asteikko (Kide 1, 2004, s.41).

Oppikirjoista 11 sisälsi A. I. Virtasta tai hänen tutkimuksiaan ja keksintöjään esittelevää tekstiä. Tekstin määrä vaihteli oppikirjojen välillä suuresti. Neljässä oppikirjassa (P1, P7, L10, L15) oli tekstin määrä vähäistä (alle 4 riviä) ja viidessä oppikirjassa (P3, P5, L2, L12) oli tekstin määrä kohtuullinen (8-14 riviä). Tarkastelluista oppikirjoista kolme (P4, L3, L8) kertoi A. I. Virtasesta ja hänen tutkimuksistaan laajemmin (19-35 riviä). (Taulukko 6, Liite 2)

Analysoiduista oppikirjoista yhdessä (L8) oli käsitelty A. I. Virtasta tai hänen keksintöjään kolmella eri kirjan sivulla ja kahdessa oppikirjassa (P4, L3) oli A. I. Virtaseen liittyvää tekstiä kahdella kirjan sivulla. (Taulukko 6, Liite 2)

Tutkituista oppikirjoista viisi sisälsi A. I. Virtaseen tai AIV-rehuun liittyvän tehtävän. Näistä kahdessa (P4, L15) oli tehtävän tarkoituksena ottaa selvää, kuka on A. I. Virtanen ja tehtävistä kaksi (P3, P7) liittyi AIV-rehuun tai sen käyttöön.

”Selvitä, mitä on AIV-rehu ja miten sitä valmistetaan?” (P3)

”Kuka on suomalainen kemian nobelisti? Milloin hänelle myönnettiin palkinto?” (L15)

Yhdessä oppikirjassa (L1) olleessa tehtävässä oli tarkoituksena selvittää A. I. Virtasen merkitys Suomen hyvinvoinnille.

”Tutustu kemian historiaan tietosanakirjan tai Internetin avulla. Mikä merkitys suomalaisella kemian nobelistilla A. I. Virtasella on ollut Suomen hyvinvointiin?” (L1)

A. I. Virtasen tutkimuksiin liittyvää kokeellisuutta tai kokeellisia työohjeita ei tutkimuksessa olleista kemian oppikirjoista löytynyt lainkaan (Taulukko 6, Liite 2). Tutkimuksessa mukana olleista oppikirjoista ei löytynyt myöskään viittauksia A. I. Virtasesta ja hänen tutkimuksistaan kertovaan lisäkirjallisuuteen ja sen käyttämiseen opetusmateriaalina. Sen sijaan Dimension numerosta 7/93 löytyi AIV-rehun keksimiseen liittyvää oppimateriaalia, joka sisältää kokeellisen työohjeen (Aksela, 1993).

5.3 Kehittämistutkimus

5.3.1 Lähtökohta

Tarveanalyysin yhtenä tavoitteena oli selvittää, minkälaista opetusmateriaalia A. I. Virtasesta kemian oppikirjat sisältävät. Tutkimuksen lähtökohtana oli, että testataan ja kehitetään tarveanalyysissä löytyviä Virtasen tutkimuksiin liittyviä oppimateriaaleja. Koska Virtasen tutkimuksiin liittyviä oppimateriaaleja ei löytynyt yhtään kappaletta, muodostui kehittämistutkimuksen päämääräksi kokonaan uuden oppimateriaalin kehittäminen, joka soveltuu käytettäväksi PBL-menetelmän mukaisessa kemian opetuksessa.

5.3.2 Tavoitteet

Tavoitteena on kehittää A. I. Virtaseen ja hänen tutkimuksiin liittyvää opetusmateriaalia perusopetuksen 8.-9.-luokkien ja lukion kemianopetukseen. Opetusmateriaalin tulee tukea valtakunnallisten opetussuunnitelman perusteiden (POPS 2004 ja LOPS 2003) mukaista kemian opetusta ja opetusmateriaalin tulee olla toteutettavissa perusopetuksessa ja lukiossa käytettävillä kemianluokan välineillä ja aineilla. Tavoitteena on eheyttää oppilaiden tietämystä happamuudesta ja sen merkityksestä ravinnon säilömisessä sekä tuoda esille A. I. Virtasen kemian tutkimusten merkitystä Suomen maataloudelle. Lisäksi oppimateriaalin tulee tukea PBL-menetelmän mukaista kemian opetusta.

5.3.3 Kehitetty oppimateriaali

Kehitetty oppimateriaali sisältää aiheeseen johdattelevan tarinan "Ongelmia juuston valmistuksessa" (Liite 3). Tarina laadittiin todellisen historiallisen tiedon pohjalta (mm. Heikonen, 1990a). Tarinasta pyrittiin tekemään mielenkiintoiseksi kuvailemalla idean syntymiseen johtaneita vaiheita kuvitteellisesti. Tarinassa Valion pääjohtaja antaa kemisti A. I. Virtaselle tehtäväksi selvittää emmentaljuuston valmistukseen liittyvän ongelman. Ongelma johdattaa A. I. Virtasen säilörehun säilymiseen liittyviin vaikeuksiin.

Oppimateriaalin toisessa osassa oleva kokeellinen työohje laadittiin PBL-menetelmän oppimiselle asettamien tavoitteiden mukaiseksi ja se sisältää myös osion, jossa esitellään PBL-menetelmän vaiheet (Smith et al., 1995). Työohjeen lähdemateriaalina käytettiin kirjaa AIV-keksintöjen aika (Heikonen, 1990a), ja Karjalatous-lehden maanviljeliöille laatimaa AIV-rehun valmistuksen huoneentaulu-julistetta (Keski-Vähälä, 1980) sekä AIV ja pH - artikkelia (Aksela, 1993).

5.3.4 Oppimateriaalin kokeellisen osuuden testaus

Oppimateriaalin kokeellisen osuuden testaus sisälsi kolme vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa valmistettiin AIV-rehunäytteet ja säilöttiin ne 10 vuorokauden ajaksi. Toisessa vaiheessa säilötyt näytteet avattiin ja niiden laatua arvioitiin aistien avulla. Tulokset kirjattiin taulukkoon 2. Kolmannessa vaiheessa arvioitiin näytteistä saatujen puristemehujen laatua aistien avulla ja määritettiin puristemehujen pH-arvo pH-mittarin avulla. Seuraavassa kuvataan oppimateriaalin kokeellisen osuuden testauksen eri vaiheet yksityiskohtaisesti ja kuvien avulla. Työohje perusopetuksen 8.-9.luokille on kokonaisuudessaan liitteessä 5 ja lukioon liitteessä 6..

Oppimateriaalin kokeellista tutkimusta varten käytetty ruoho leikattiin ”tavallisella” ruohonleikkurilla ja säilöttiin AIV-menetelmän mukaisesti laboratorio-olosuhteissa. Aluksi ruohonleikkurin sisältämä ”vanha ruohoaines” poistettiin ja leikkuri puhdistettiin vedellä. Leikkurin puhdistuksella oli tavoitteena poistaa mahdollisesti ruohon säilymiselle haitallinen bakteerikanta ja homeitiöt. Leikkurilla leikattiin ruohoa noin 50 neliömetrin alalta.

Märkä ruoho kerättiin talteen leikkurin teräsuojuksen sisältä, jonne se leikkauksen yhteydessä kiinnittyi. Leikattu ruoho kerättiin ämpäriin ja kuljetettiin kemian luokkaan, jossa AIV-rehunäytteiden valmistaminen suoritettiin. Leikattua ruohoa tarvittiin noin 2-3 litraa (Kuva 11).

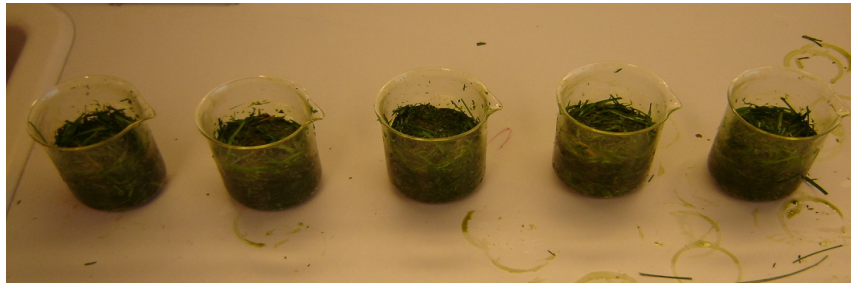


Kuva 11. Leikattua ruohoa.

Kemianluokassa ruohon seasta poistettiin kuivuneet ja mädäntyneet lehdet, sienien kappaleet ja maa-aines, joka leikkauksen yhteydessä oli ruohomassaan sekoittunut. Puhdistetusta ruhosta valmistettiin viisi erilaista AIV-rehunäytettä. Näytteet valmistettiin dekantterilaseihin, joiden tilavuus oli 250 millilitraa (Kuva 12). Jokaiseen dekantterilasiin punnittiin 150 grammaa puhdistettua ruohoa. Dekantterilaseihin lisättiin eri määrä väkevästä suolahaposta valmistettua noin 1 M suolahappoa. Happolisäysten suuruudet olivat 0 ml, 5 ml, 10 ml, 20 ml ja 30 ml. Happolisäyksen jälkeen ruohomassa painettiin tiiviisti kasaan dekantterilasia pienemmällä muoviasiastian pohjalla (Kuva 13).



Kuva 12. Näytteiden valmistukseen käytettäviä välineitä.



Kuva 13. Happolisäyksen jälkeen kasaanpainetut näytteet.

AIV-rehunäytteiden päälle asetettiin kaksinkertainen muovikelmu ja painotettiin kolmella 100 gramman punnuksella. Lopuksi dekantterilasit peitettiin muovikalvolla dekantterilasien yläosaan jääneen ilmatilan pienentämiseksi. Tavoitteena oli luoda rehunsäilymisen kannalta tärkeä ilmatiivis ympäristö (Kuvat 14a ja 14b). AIV-rehunäytteitä säilytettiin kymmenen vuorokautta laatikossa valolta suojattuna.



Kuva 14a. Valmistettu rehunäyte.



Kuva 14b. Valmistettu rehunäyte.

Toisessa vaiheessa näytteet avattiin poistamalla dekanttilasin päällä ollut muovikalvo. Sisällä olleet punnukset ja ruohomassa päällä ollut muovikalvo poistettiin. Rehunäytteen laatua arvioitiin aistien avulla ja tulokset kirjattiin muistiin. (Kuvat 15a, 15b ja 15c)



Kuva 15a. Rehunäyte 10 vuorokauden säilytyksen jälkeen.



Kuva 15b. Avattu rehunäyte.



Kuva 15c. Avattu rehunäyte.

Kolmannessa vaiheessa tutkittiin näytteistä saatujen puristemehujen laatua. AIV-rehunäytettä painettiin kasaan dekantterilasia pienemmällä muoviasialla, jolloin puristemehu erottui näytteen pinnalle. Puristemehua kaadettiin pienen dekantterilasin (80 ml) pohjalle 20 - 30 millilitraa. Puristemehun laatua arvioitiin aistinvaraisesti ja tulokset kirjattiin muistiin. Lopuksi määritettiin puristemehun pH-arvo pH-mittarin avulla. Tulokset kirjattiin muistiin.

5.3.5 Tulokset kokeellisen osuuden kehittämisestä

Kokeellisen osuuden testaamisen vaiheissa kaksi ja kolme saadut tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon 2.

Taulukko 2. AIV-rehunäytteiden säilymiseen liittyvät tulokset.

<i>Näyte (N)</i>	<i>Happolisäys (ml)</i>	<i>Puristenesteen pH</i>	<i>Rehun laatu</i>	<i>Tuoksu</i>	<i>Puristenesteen laatu</i>
N1	0	4,23	pinnalta paksussa homeessa ja mustunut lähes kokonaan	tunkkainen, mädäntynyt	sameaa
N2	5	3,42	pinnalta homeessa, ruohomassa tumman vihreää	hieman hapokas	melko sameaa
N3	10	2,99	pinnalta homeessa, ruohomassa hieman kellertävää	kirpeän hapokas	hieman sameaa
N4	20	2,59	pinnalta hieman homeessa, ruohomassa kellertävää	kirpeän hapokas	melko kirkasta
N5	30	1,23	pinnalla pieni hometäplä, ruohomassa selvästi kellertävää	voimakkaasti kirpeän hapokas	kirkasta

Aistinvaraisesti arvioituna näyte 1 oli selvästi pilaantunutta (Kuva 16a). Rehun pinnalla oli hometta ja näyte oli mustunut lähes kokonaan. Näyte tuoksui tunkkaiselle ja mädäntyneelle. Näytteestä puristettu puristemehu oli sameaa ja sen pH-arvoksi mitattiin 4,23. Näyte 2 oli myös pinnasta homeessa, mutta pintakerroksen alla näyte näytti vain hieman tummuneelta ja tuoksui hieman kirpeän hapokkaalle. Puristeneste oli kirkaampaa, kuin näytteessä 1, mutta melko sameaa. Puristenesteen pH-arvoksi mitattiin 3,42. Näyte 3 oli myös pinnalta homeessa, mutta pintakerroksen alla ruoho oli hieman kellertävää. Tuoksu kirpeän hapokas ja sen erotti selvästi myös puristenesteestä, joka oli hieman sameaa. Puristenesteen pH-arvoksi mitattiin 2,99. Näyte 4 oli pinnalta hieman homeessa ja pintakerroksen alla ruohomassa oli kellertävää. Puristemehu oli melko kirkasta, kirpeän hajuista ja sen pH-arvoksi mitattiin 2,58. Näytteen 5 pinnalla oli vain pieni hometäplä ja rehumassa oli selvästi kellertävää. Puristeneste oli kirkasta ja tuoksui voimakkaasti kirpeän hapokkaalle. Puristenesteen pH-arvoksi mitattiin 1,23. (Kuvat 16a-d) (Taulukko 2)



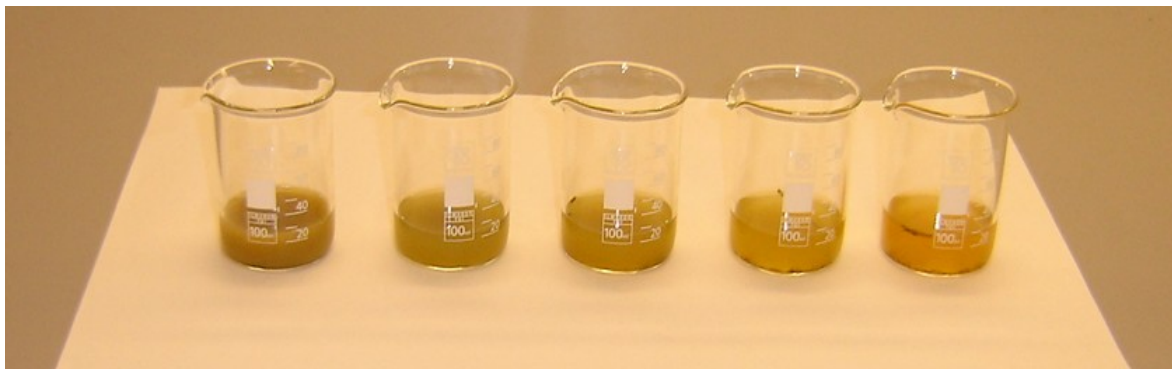
Kuva 16a. Avatut rehunäytteet. Näytteet 1-5 järjestyksessä vasemmalta oikealle.



Kuva 16b. Rehunäytteet ja niistä puristetut puristemehut. (Vasemmalta oikealle happolisäyksen määrät 0ml, 5ml, 10ml, 20ml ja 30ml.)



Kuva 16c. Puristemehut. (Vasemmalta oikealle happolisäyksen määrät 0ml, 5ml, 10ml, 20ml ja 30ml.)



Kuva 16d. Puristemehut. (Vasemmalta oikealle happolisäyksen määrät 0ml, 5ml, 10ml, 20ml ja 30ml.)

6. Yhteenveto ja pohdinta

6.1 Tarveanalyysi

Tutkimus osoittaa, että suomalaisen kemian historian kannalta merkittävän henkilön saavutuksista kerrotaan oppikirjoissa liian vähän. Kaksi kolmasosaa tutkituista oppikirjoista ei maininut lainkaan A. I. Virtasta. Jos oppikirjassa kerrotaan jotain A. I. Virtasesta kerrotaan se yleensä karboksyylihapojen, etenkin muurahaishapon yhteydessä. Tuolloin hänen kerrotaan ainoastaan keksineen AIV-rehun ja saaneen siitä Nobelin-palkinnon. Usein tässä yhteydessä on esitetty myös kuva A. I. Virtasesta.

Oppikirja-analyysin perusteella perusopetuksen ja lukion kemian oppikirjat antavat A. I. Virtasesta varsin yksipuolisen kuvan. Oppikirjojen sisältämä tieto on vähäistä verrattuna A. I. Virtasen saavutuksiin ja merkitykseen suomalaiselle kemian tutkimukselle ja maataloudelle. Toisaalta oppikirjojen tapa käsitellä kemian historiaa ja historiallista lähestymistapaa kemian opetuksessa on myös varsin vähäistä. Vaikka tutkimuksessa ei tarkasteltu oppikirjojen A. I. Virtasesta kertoman tekstin oikeellisuutta tai mielekkyyttä, oli teksti laadullisesti hyvää ja oleellista.

A. I. Virtaseen liittyviä tehtäviä on vähän, mutta ne olivat pääasiassa hyviä. Niistä monet olivat avoimia tiedohakutehtäviä, joihin ei ole olemassa yhtä oikeaa vastausta. Niissä tarkoituksena oli etsiä tietoa A. I. Virtasesta tai AIV-rehusta Internetistä tai kirjallisuudesta. Erityismaininnan ansaitsee yhden oppikirjan (L1) käyttämä tapa lähestyä A. I. Virtasta tehtävän avulla. Lähestymistapa oli poikkeuksellinen, koska oppikirja ei sisältänyt lainkaan kerrottua tietoa A. I. Virtasesta tai hänen tutkimuksistaan.

”Tutustu kemian historiaan tietosanakirjan tai Internetin avulla. Mikä merkitys suomalaisella kemian nobelistilla A. I. Virtasella on ollut Suomen hyvinvointiin?” (L1)

Lukion kemian 1. kurssin tavoitteet ja keskeiset sisällöt tukevat erinomaisesti A. I. Virtasen tekemien tutkimusten käsittelyä kurssi aikana (LOPS 2003). Oppikirja-analyysistä saatujen tulosten perusteella oppikirjojen tekijät eivät ole kuitenkaan käyttäneet A. I. Virtasen

tutkimuksia oppikirjojen materiaalina. Tutkimuksessa mukana olleista lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS, 2003) mukaisista kuudesta oppikirjasta vain kolmen kirjan tekstistä löytyi maininta Virtasesta. Näistä kahdessa oppikirjassa tekijät olivat nähneet merkitykselliseksi mainita muutakin kuin AIV-rehun.

A. I. Virtasen toimiminen lähes 50 vuotta Valion laboratoriossa ei tullut esille suoraan yhdessäkään oppikirjassa, vaikka nimenomaan Valion laboratoriossa tapahtuivat hänen merkittävimmät tutkimuksensa ja keksintönsä.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli myös löytää A. I. Virtasen tutkimuksiin liittyviä kokeellisia työohjeita, joiden toimivuutta olisi tarkasteltu ja tarvittaessa kehitetty edelleen. Näitä kokeellisia työohjeita ei löytynyt yhtään.

6.2 Oppimateriaalin kehittäminen

Kirjallisuuden pohjalta laadittu tarina (Liite 3) soveltuu hyvin ”virittäytymistehtäväksi”. Tarinan avulla oppilaalle syntyy kuva AIV-rehun keksimiseen johtaneista vaiheista ja tutkimukselle syntyy merkityksellinen lähtöasetelma. Kokeellisen tutkimuksen suoritus onnistuu hyvin kemian luokasta löytyvillä välineillä ja aineilla. Ainoastaan pH-mittarin saatavuus tai toimivuus saattaa aiheuttaa ongelmia. Toisaalta näytteiden pH-arvot voidaan määrittää esimerkiksi lukiossa titraamalla 1 M NaOH-liuoksella ja määrittämällä pH laskennallisesti.

Tutkimuksessa suoritettu AIV-rehujen valmistus onnistui hyvin. Tulokset vastasivat kirjallisuudesta (Moisio & Heikonen, 1992) löytyviä rehujen laatua kuvaavien tutkimusten tuloksia. Ongelmallista oli saada näytteitä ilmatiiviiksi, jonka johdosta kaikkien näytteiden pinnalta löytyi homea. Tutkimuksen mukaisessa näytteiden valmistuksessa käytettiin myös liian paljon suolahappoa. Hapon määrää oli vaikeaa arvioida, koska leikattu ruoho oli sateen johdosta märkää ja lisäksi näytteen pieni koko vaikeutti arviointia. Kirjallisuudesta löytyvissä rehujen valmistusoppaissa käytetään nykyaikaisia AIV-liuoksia, jotka sisältävät useita rehun säilymiseen vaikuttavia aineita. AIV-liuosten annosteluohjeet on usein laadittu huomattavasti 150 grammaa suuremmille rehumäärille, kuten tuhatta rehukiloa kohti.

Tästä johtuen rehun säilymiseen vaadittava pH-arvo alle neljän saavutettiin jo ensimmäisen 5 millilitran suolahappolisäyksen jälkeen. Tämän johdosta työohjetta kehitettiin siten, että lisättävän suolahapon määrät ovat lopullisessa työohjeessa, 0 ml, 1ml, 3ml, 5ml, 10ml. Ruohon määrä on edelleen 150 grammaa. Ruohon määrää voidaan muuttaa käytettävien astioiden mukaan ja pH:n säätämiseen voidaan käyttää myös muita happoja kuin suolahappoa. Tuolloin on arvioitava happolisäysten suuruutta kuitenkin tapauskohtaisesti.

Kehitetty oppimateriaali soveltuu käytettäväksi perusopetuksen 8.-9. luokkien kemian opetuksessa. Sopivia asiayhteyksiä ovat esimerkiksi happamuus, karboksyylihapot tai elinympäristön kemia.

6.3 PBL-menetelmä

Kolmivaiheisessa kehittämistutkimuksessa laadittiin opettajan käyttöön tarkoitettu ohje PBL-menetelmän käytöstä kemian opetuksessa (Liite 4). PBL-menetelmä soveltuu käytettäväksi tässä tutkimuksessa esitetyn oppimateriaalin ja muiden A. I. Virtasen tutkimusten opiskeluun. Samalla toteutuu nykyisten opetussuunnitelman perusteiden (POPS 2004, LOPS 2003) mukaiset kemian opetukselle asetetut tavoitteet. Tavoitteisiin on kirjattu oppiaineiden välinen integraatio ja erilliset aihekokonaisuudet. Lisäksi painotetaan oppilaan luonnontieteellisen ajattelun kehittämistä, niin kemian, fysiikan kuin biologian osalta. PBL-menetelmä ohjaa oppilasta kehittämään opiskelutaitoja ja itseohjautuvuutta (vrt. Smith et al., 1995). AIV-rehun valmistuksessa ja näytteiden tutkimisen yhteydessä oppilaan kokeellisen työskentelyn taidot kehittyvät ja oppilas ymmärtää happamuuden merkityksen.

PBL-menetelmän laajempi käyttöönotto kemian opetuksen runkona perusopetuksessa tai lukiossa on mahdollista vain nykyisten opetussuunnitelmien perusteiden voimakkaalla muuttamisella ja sen sisältämän arvioinnin uudistamisella. Oppiaineiden integrointia olisi lisättävä ja eri oppiaineiden välisistä tiukoista ainerajoista olisi luovuttava. Esimerkiksi kemian, fysiikan ja biologian opettaminen perusopetuksessa erillisinä oppiaineina kurssimuotoisessa opinto-ohjelmassa vaikeuttaa oppiaineiden välistä integrointia. Lisäksi oppilaan arvionnissa pitäisi keskittyä myös opiskelutaitojen ja itseohjautuvuuden arviointiin.

6.4 Tutkimus jatkossa

Ongelmaperustainen lähestymistapa tarjoaa hyvän mahdollisuuden uusien oppimateriaalien kehittämiseksi kemian opetukseen. PBL-menetelmän avulla mekaanisista ja opettajajohtoisista oppimateriaaleista voidaan kehittää oppilaalle mielenkiintoisia tutkimustöitä. Tämä tutkimus toimii esimerkkinä PBL-menetelmään pohjautuvien uusien oppimateriaalien kehittämiseksi. PBL-menetelmän käytön mahdollisuuksia kemian opetuksen keskeisenä opetusmenetelmänä tulee jatkossa tutkia. Seuraava tutkimuksen kohde voisi olla kokonaisen kemian kurssin sisällön laatiminen PBL-menetelmän mukaisesti. Opetussuunnitelman perusteiden (POPS 2004) mukainen opetus PBL-menetelmää soveltaen edellyttää esimerkiksi kemian, fysiikan ja biologian oppisisältöjen laajempaa integrointia. Ennen laajemman integroinnin toteuttamista tarvitaan vielä lisää tutkimusta PBL-menetelmän eduista ja haitoista.

Lähteet

- Ahonen T., 2005, Historiaan pohjautuva lähestymistapa kemian opetuksessa. Helsinki; pro gradu -tutkielma.
- Aksela M., 1993, AIV ja pH, Dimensio 7/93, s. 42-43.
- Antila M. & Mantere-Alhonen S., 1990, Juustonvalmistuksen mikrobiologia teoksessa: Mantere-Alhonen S. (toim.), Maidon ja maitovalmisteiden mikrobit, s. 107-119. Helsinki; Valtion painantakeskus.
- Duschl R., 1994, Research on the history and philosophy of science, teoksessa: Gabel D. (toim.), Handbook of research on science teaching and learning, s.443-465.
- Edelson D., 2002, Design Research: What We Learn When We Engage in Design, The Journal of The Learning Sciences 11(1), pp. 105-121.
- Eloranta, Jeronen & Palmberg, 2005, Biologia eläväksi, biologian didaktiikka. Jyväskylä; PS-kustannus.
- Eloranta V., 2005, Biologia eläväksi, biologian didaktiikka. Jyväskylä; PS-kustannus.
- Gallagher S. & Stepien W., 1995, School Science & Mathematics; Vol 95 issue 3; Implementing problem-based Learning in Science Classrooms.
- Gilbert J., 2006, On the Nature of "Context" in Chemical Education. Teoksessa International Journal of Science Education, Vol. 28, No. 9, pp. 957-976.
- Green W., Elliot C. & Cummins R., 2004, "Prompted" inquiry-Based Learning in the Introductory Chemistry Laboratory, Journal of Chemical Education Vol. 81 No. 2 pp. 239-242.
- Heikonen M., 1990a, AIV-Keksintöjen aika. Hämeenlinna; Kirjayhtymä Oy.

- Heikonen M., 1990b, AIV-Vanhan laboratorion aika. Helsinki; Valion tutkimus ja tuotekehityskeskus.
- Heikonen M., 1993, AIV-Isänmaan aika. Hämeenlinna; Kirjayhtymä Oy.
- Hirsjärvi S., Remes P. & Sajavaara P., 2000, Tutki ja kirjoita. Vantaa; Tummavuoren kirjapaino Oy.
- Hokkanen K., 1980, Maidon tie, Valio ja osuusmeijerijärjestö 1905-1980. Helsinki; Kirjayhtymä.
- Jeronen E., 2005, Biologian suhde muihin oppiaineisiin. Teoksessa: Irmeli Palmberg (toim.), Biologia eläväksi, biologian didaktiikka, s. 37-43. Jyväskylä; PS-kustannus.
- Keski-Vähälä I., 1980, AIV-rehun valmistuksen huoneentaulu, Karjatalous Nro 2, s. 40-41.
- Kreula M., 1994, A. I. Virtanen johtajatuksenaan ”työ ihmiskunnan hyvinvoinnin edistämiseksi”, teoksessa Heikonen M. (toim), A. I. Virtanen-työtovereiden silmin, s. 31-48.
- Lavonen J., 2004, Teknologian kohde, menetelmä ja tavoite. Teoksessa: M-L Loukola (toim.), Aihekokonaisuudet perusopetuksen opetussuunnitelmassa, s. 147-149
- Lavonen, Meisalo & al. 2006, Kokeellisen opetuksen uudistaminen-verkkomateriaali. Helsinki; Sokla. <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/> (viitattu 10.7.2006)
- Lohman M. & Finkelstein M., 2000, Designing groups in problem-based learning to promote problem-solving skill and self-directedness, instructional Science Vol. 28, pp. 291-307.
- Maito ja Me, 1999. <http://www.valio.fi/maitojame/sailorehu/sailonta.html> (viitattu 16.8.2006)

- Matthews M. R., 1998, The Nature of Science and Science Teaching, Fraser & Tobin (toim.), International Handbook of Science Education, pp. 981-999.
- McDonald P., 1981, The Biochemistry of Silage. Manchester; Pitman Press.
- McDonald P., Hendersson N. & Heron S., 1991, The Biochemistry of Silage, second edition. Aberystwyth; Chalcombe Publications.
- Miettinen J. K., 1994, AIV:n elämänkerta, teoksessa: Heikonen M. (toim), A. I. Virtanen-työtovereiden silmin s. 11-16.
- Moisio T. & Heikonen M., 1987, Säilörehujen tarkastus uudistuu, Karjatalous 63, n:o 9, s. 22-23.
- Moisio T. & Heikonen M., 1989, A Titration Method for Silage Assessment, In Animal Feed Science and Technology 22, s. 341-353.
- Moisio T. & Heikonen M., 1992, AIV-rehun perusteet. Helsinki; Kirjayhtymä Oy.
- Ollila, Kaitera & Paasiltahti, 1939, Keksintöjen kirja -maatalous ja ravintoaineet. Porvoo; WSOY.
- Opetushallitus, 2003, (LOPS) Lukion opetussuunnitelman perusteet; Helsinki.
- Opetushallitus, 2004, (POPS) Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet; Helsinki.
- Palmberg I., 2005, Laboroinnit ja kokeilut tutkivan ja ongelmakeskeisen oppimisen työtapoina, Teoksessa: Palmberg I. (toim.), Biologia eläväksi, biologian didaktiikka, s.118-124. Jyväskylä; PS-kustannus.
- Palva A., 2002, Maitohappobakteerien biologiaa, teoksessa: Salkinoja-Salonen M. (toim.), Mikrobiologian perusteita, s. 593-597. Jyväskylä; Gummerus Kirjapaino Oy.

- Pilot A. & Bulte A., 2006, The Use of "Contexts" as a Challenge for the Chemistry Curriculum: Its successes and the need for further development and understanding, In International Journal of Science Education, Vol. 28, No. 9, pp. 1087-1112.
- Poikela E., 2002, Ongelmaperusteinen pedagogiikka. Tampere; Tampereen yliopistopaino Juvenes print Oy.
- Poikela E. & Nummenmaa A., 2002, teoksessa: Poikela E. (toim.), Ongelmaperustainen pedagogiikka s. 33-52. Tampere; Tampereen yliopistopaino Juvenes print Oy.
- Posti, 2006. <http://postimuseo.posti.fi/kiosks/14/>, (viitattu 17.8.2006)
- Pulkki H., 1994, Alokkaaksi A. I. Virtasen talliin, teoksessa: Heikonen M. (toim), A. I. Virtanen -työtovereiden silmin, s. 20-27.
- Rauramaa A., 1983, Valmista hyvää AIV-rehua, Karjatalous Nro: 4, s. 8-9.
- Salkinoja-Salonen M., 2002, Mikrobiologian perusteita. Jyväskylä; Gummerus Kirjapaino Oy.
- Salo Maija-Liisa, 1971, Rehuoppia. Helsinki; Yliopiston kotieläintieteen laitos.
- Sen Robin, 2002, Sienijuuret, teoksessa: Salkinoja-Salonen M. (toim.), Mikrobiologian perusteita, s. 397-408. Jyväskylä; Gummerus Kirjapaino Oy.
- Smith C., Powell S. & Wood E., 1995, Problem-based Learning and Problem-solving Skills, Biochemical Education Vol. 23, pp 149-152.
- Suomen tieteen historia, 2000; WSOY, Helsinki.
- Valio, 2006. http://www.valio.fi/channels/konserni/fin/edellakavija/unnamed_7.html, (viitattu 10.7.2006)

- Virtanen A. I., 1930, Palkokasvibakteerit teoksessa: Maatalouden tietosanakirja s.144-149. Helsinki; Otava.
- Virtanen A. I., 1945, The biological fixation of nitrogen and the preservation of fodder in agriculture, and their importance to human nutrition, Nobel lecture.
- Virtanen A. I., 1947, Rehunviljelys ja maidontuotanto, teoksessa: Rehunviljelyopas AIV-rehun valmistajia varten, s. 1-13. Helsinki; Maanviljelysjärjestön AIV-neuvonnan keskusvaliokunta.
- Wandersee J. & Baudoin Griffard P., 2002, The History of Chemistry: Potential and Actual contributions to Chemical Education, Gilbert J. K. (toim.) Chemical Education: Towards Research-based Practice, pp. 29-46.

Liite 1

Tarveanalyysissä tutkitut kemian oppikirjat:

Perusopetus:

- P1 Aine ja energia
- P2 Avain 1
- P3 Avain 2
- P4 Avain 3
- P5 Lumo
- P6 Ydin 7
- P7 Ydin 8

Lukio:

- L1 Dipoli 1
- L2 Katalyytti epäorgaaninen kemia
- L3 Katalyytti orgaaninen kemia
- L4 Katalyytti peruskurssi
- L5 Kemisti 1
- L6 Kemisti 2
- L7 Kemisti 3
- L8 Kide 1
- L9 Kide 2
- L10 Mooli 1
- L11 Mooli 2
- L12 Neon 1
- L13 Neon 2
- L14 Neon 3
- L15 Reaktio 1
- L16 Reaktio 2
- L17 Reaktio 3

Liite 2

Tarveanalyysin tuloksia:

Taulukko3. A. I. Virtanen kemian oppikirjojen tekstissä.

<i>Kirja</i>	<i>Ei mainintaa</i>	<i>AIV- rehun keksijä</i>	<i>Nobel- palkinto</i>	<i>Kuva Virtasesta</i>	<i>Bioke- misti</i>	<i>Va- lio*</i>	<i>pH-mit- taukset</i>	<i>Johto- tehtä- vät</i>	<i>Msm</i>
P1	X								
P2	X								
P3		X	X	X					
P4		X	X	X	X			X	
P5		X	X						
P6	X								
P7	X								
L1	X								
L2							X		X
L3		X	X	X					
L4	X								
L5	X								
L6	X								
L7	X								
L8		X	X	X	X			X	
L9	X								
L10	X								
L11	X								
L12		(X)	X	X	X				
L13	X								
L14	X								
L15		X							
L16	X								
L17	X								

Msm = merkitys suomalaiselle maataloudelle

* Virtanen toimi Valion laboratorion johtajana lähes 50 vuotta. Tuona aikana hän suoritti kaikki merkittävimmät tutkimuksensa.

Taulukko 4. A. I. Virtasen tutkimukset ja keksinnöt kemian oppikirjojen teksteissä.
(Ei välttämättä mainittu A. I. Virtasta.)

<i>Kirja</i>	<i>Ei mitään</i>	<i>AIV-rehu</i>	<i>AIV-rehun idea</i>	<i>Voitutumukset</i>	<i>Voisuolan idea</i>	<i>Typensidontaan liittyvät tutkimukset</i>	<i>Juustotutkimukset</i>	<i>Muut</i>
P1		X						
P2	X							
P3		X	X					
P4		X	X	X		X	X	X
P5		X	X	X			X	X
P6	X							
P7		X						
L1	X							
L2				X	X			X
L3		X	X					
L4	X							
L5	X							
L6	X							
L7	X							
L8		X		X		X	X	X
L9	X							
L10		X						
L11	X							
L12		(X)						
L13	X							
L14	X							
L15		X						
L16	X							
L17	X							

Taulukko 5. Asiayhteys, jossa A. I. Virtanen tai hänen keksintönsä on mainittu.

<i>Kirja</i>	<i>Ei mai- nittu</i>	<i>Happa- muus</i>	<i>pH</i>	<i>Karbok- syyli- hapot</i>	<i>Hapot / emäkset</i>	<i>Nobel- palkinto</i>	<i>Typen- yhdisteet</i>	<i>Glykolyysi ja käyminen</i>	<i>Kemian historia</i>
P1				X					
P2	X								
P3					X				
P4				X		X			
P5				X					
P6	X								
P7				X					
L1									X
L2			X						
L3					X			X	
L4	X								
L5	X								
L6	X								
L7	X								
L8		X	X	X					X
L9	X								
L10				X					
L11	X								
L12							X		
L13	X								
L14	X								
L15				X					
L16	X								
L17	X								

Taulukko 6. Oppikirjojen tapa tuoda esille A. I. Virtanen tai hänen tutkimuksensa.

<i>Kirja</i>	<i>Ei käsitelty</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Leipätekstin rivimäärä*</i>	<i>Tehtäviä (kpl)</i>	<i>Kokeellisuutta (kpl)</i>
P1			2		Ei
P2	X				Ei
P3		1	9	1	Ei
P4		2	35	1	Ei
P5		1	14		Ei
P6	X				Ei
P7		2	3	1	Ei
L1	(X)			1	Ei
L2		1	13		Ei
L3		3	19		Ei
L4	X				Ei
L5	X				Ei
L6	X				Ei
L7	X				Ei
L8		2	19		Ei
L9	X				Ei
L10			3		Ei
L11	X				Ei
L12		1	8		Ei
L13	X				Ei
L14	X				Ei
L15			2	1	Ei
L16	X				Ei
L17	X				Ei

* Rivimäärällä tarkoitetaan liitteessä 7 olevan taulukon sisältämän tekstin rivimäärää, joka on ollut kirjan leipätekstinä. Tämä on vertailu kannalta selkeämpi, sillä kirjojen palstojen leveydet vaihtelevat suuresti.

Ongelmia juuston valmistuksessa.

Tapahtumapaikka: Valion laboratorio

Aika: Vuosi 1928

Valion pääjohtajalla oli nyt paljon mietittävää. Juustomestarit olivat juuri poistuneet hänen työhuoneestaan ja heidän viestinsä oli huolestuttava. Valiolle toimitettavan maidon laatu oli niin kehnoa, ettei siitä voinut valmistaa juustoa. Juusto saostui kyllä hyvin, mutta kypsymisvaiheessa ne alkoivat paisua ja niiden haju muuttui kuvottavaksi. Syynä oli maidon sisältämät voihappobakteerit.

Valion laboratoriolle oli vuonna 1919 aloittanut nuori ja varsin pätevä tutkija, jonka apua nyt totisesti tarvittiin. Niinpä paikalle kutsuttiin tutkimuslaboratorin johtaja kemisti A. I. Virtanen, joka oli kaksi vuotta aikaisemmin tehnyt merkittäviä löytöjä palkokasvien viljelyksiin liittyen.

Valion pääjohtaja aloitti:

”Meillä on vakava ongelma juustolassa. Emmentaljuustoista vain 10 % on ensiluokkaista. Puolet ovat sellaista moskaa, ettei edes sioille voi syöttää. Syynä ovat ne maidon sisältämät voihappobakteerit. Eikö niitä saisi mitenkään pois maidon joukosta?”

Virtanen:

”Niin, tiedän kyllä mistä puhut. Niitä on kyllä yritetty nujertaa lämmittämällä ja jäähdyttämällä maitoa, mutta ne bakteerit kestävät kovin hyvin erilaisia olosuhteita. Maitoa ei voi enempää kuumentaa, muuten siitä ei millään saa enää juustoa. Mielestäni ongelmaa ei voida enää ratkaista, jos maito sisältää niitä voihappobakteereita.”

Johtaja: ”No mitä me sitten voimme tehdä?”

Virtanen: ”Meidän tulee estää voihappobakteerien pääsy maitoon.”

Johtaja: ”Miten se estetään?”

Virtanen: ”Syy on lehmien ruokinnassa”

Johtaja: ”Anteeksi kuinka...?”

Virtanen: ”Voihappobakteereita on kaikkialla maaperässämme. Samoin myös pelloilla, joilla viljelemme rehuheinää lehmille. Niitä joutuu aina myös rehun joukkoon rehua säilöittäessä talviruokinnan ajaksi.”

Johtaja: ”Emme siis mahda asialle mitään. Täytyykö meidän lopettaa emmentaalien valmistus kokonaan?”

Virtanen: ”Ei tarvitse. Emme voi mitenkään estää voi happobakteereita pääsemään rehun joukkoon. Meidän täytyy löytää keino, jolla estämme voi happobakteerien lisääntyminen säilömisen aikana. Samalla rehun tulisi säilyä maistavana ja ravitsevana koko talven ajan. Rehun säilymistä on maailmalla tutkittu paljon, mutta varsinaista ratkaisua tähän säilymisongelmaan ei ole kukaan vielä löytänyt.”

Johtaja: ”Asia selvä! Keskeytät toistaiseksi kaikki muut tutkimuksesi ja alat työskennellä tosissaan tämän asian parissa. Tavoitteena on löytää nopeasti keino, jolla saamme voi happobakteerit kuriin ja juustomme taas ensiluokkaisen maistavaksi. Luotan sinuun, joten ryhtykää toimeen!”

Virtanen marssi seuraavana päivänä laboratorioon. Hän kutsui laboratorion työntekijät koolle ja esitteli heille ongelman:

Virtanen: ”....., että sellainen ongelma meillä olisi ratkottavana. Tarkastelin eilen illalla tähän rehun säilymiseen liittyviä tutkimuksia ja tulin siihen tulokseen, että ongelmaan voisi löytyä ratkaisu säätämällä happamuutta sopivaksi. Sen avulla saisimme rehun säilymään ja voi happobakteerien toiminnan estetyksi. Päätelmieni mukaan meidän tulee pyrkiä tilanteeseen, jossa säilötyn rehun pH-arvo on noin 4. Silloin estämme haitallisen bakteeritoiminnan ja saamme maistavaa rehua lehmille talviruokinnan ajaksi.”

Liite 4

Ohje opettajalle PBL-menetelmän käytöstä

PBL-menetelmä

PBL-menetelmässä oppilaat työskentelevät 3-7 hengen ryhmissä. Ryhmän koko riippuu käsiteltävästä asiasta ja kuinka laajasti ongelmaa käsitellään. Ryhmän kokoon vaikuttaa myös mahdollisesti eri oppiaineiden välillä suoritettujen integroinnin laajuus. Nämä tekijät vaikuttavat myös siihen kuinka paljon käsiteltävään asiaan on tarpeellista/mahdollista käyttää aikaa.

Oppilaille tulee esitellä PBL-menetelmän sisältämät vaiheet ennen kuin oppilailta voidaan edellyttää PBL-menetelmän mukaista työskentelyä.

PBL-opetuksen vaiheet:

Jaetaan oppilaat 3-7 hengen ryhmiin. Tavoitteena on muodostaa heterogeenisiä ryhmiä, joista jokainen ryhmä sisältää mahdollisimman paljon erilaista osaamista sekä tiedollista, että taidollista.

Oppilaille esitellään tarina tai tapausesimerkki, johon liittyy ratkaistava ongelma. Tavoitteena on, että oppilaat itse keskustelevalle ryhmässä tapauksesta ja määrittävät siinä esiintyvät ratkaistavat ongelmat. (Menetelmää voidaan soveltaa siten, että tapauksen esittelyn yhteydessä oppilaille selkeästi määritellään ratkaistava ongelma. Tämä nopeuttaa tapauksen käsittelyä hieman ja voi olla järkevää etenkin perusopetuksessa luokilla 7-9.)

Oppilaat jakavat ratkaistavat ongelmat aihealueisiin ja selvittävät ryhmässä keskustelemalla, mitä tietoja ja taitoja sopivan ratkaisun löytymiseksi vaaditaan. Mitä tietoja ja taitoja ryhmässä hallitaan ja mitä tulee vielä selvittää ja opiskella ja lisää. Jokaisella oppilaalla ryhmässä on oma vastuualueensa, jonka asiantuntijana hän toimii.

Oppilaat opiskelevat vastuualueeseensa liittyviä ongelman ratkaisuun vaadittavia tietoja ja taitoja esimerkiksi tietokoneen, kirjallisuuden ja harjoituslaboratorion avulla.

Ryhmä kokoontuu selvityskierroksen jälkeen ja vastuualueiden asiantuntijat esittävät ryhmän muille jäsenille löytämänsä ”uutta tietoa”. Asiantuntijoiden puheenvuorojen jälkeen ryhmä pohtii erilaisia menetelmiä määrittelemiensä ongelmien ratkaisemiseksi. Ryhmän tavoitteena on sen tietojen ja taitojen pohjalta luoda useita mahdollisia ratkaisumalleja ja hypoteeseja niiden tuloksista. Oppilaat valitsevat ongelman ratkaisemiseen parhaiten soveltuvat ”ratkaisureitit”.

Ryhmä suorittaa ongelman ratkaisemiseksi valitsemansa menetelmät. Menetelmät voivat sisältää muun muassa kokeellista työskentelyä, mittaamista, kirjallista työskentelyä, videointia ja tietokoneella mallintamista. Ryhmä kirjaa ja kokoaa tulokset. Piirtää mahdolliset kuvaajat.

Ryhmä esittää mielestään ongelman ratkaisuun parhaiten soveltuvan menetelmän ja sen tulokset muille ryhmille. Tärkeää on huomata, että ei ole olemassa vain yhtä ”oikeaa” ratkaisua, vaan useita erilaisia toisistaan poikkeavia vaihtoehtoisia ratkaisumalleja.

Oppilaat arvioivat omaa oppimistaan kirjallisesti tai suullisesti. Itsearvioinnissa oppilaat pohtivat omien opiskelutaitojen ja -menetelmien kehittymistä sekä opiskeltavaan aiheeseen liittyvien tietojen ja taitojen kehittymistä.

PBL-menetelmä kehittää oppilaan itseohjautuvuutta, opiskelutaitoja ja kannustaa elinikäiseen oppimiseen. Sen avulla oppilas oppii kemian tietoja ja taitoja ja kehittää luonnontieteille ominaista ajattelutapaa. Nämä kaikki ovat keskeisiä asioita myös perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa (POPS 2004 & LOPS 2003).

Liite 5

Työohje kemian opetukseen luokille 8-9

Aihe:	Happamuus ja sen vaikutus AIV-rehun säilymiseen
Suoritustapa:	Oppilaat työskentelevät sovelletusti PBL-menetelmän mukaisesti
Käytettävä aika:	Työn suunnittelu ja näytteiden valmistus (2h), näytteiden tutkiminen (2h), tulosten raportointi, esittäminen ja itsearviointi (2h)

Tehtävänä on tutustua AIV-rehun valmistukseen ja suorittaa ryhmässä tutkimus, jolla voidaan tutkia AIV-rehun säilymistä eri pH-arvoilla. Käytettävänä on kemian luokasta löytyviä aineita ja välineitä. Säilöttävänä rehuna käytetään maatilalta saatavaa rehua tai leikattua ja silpottua ruohoa. Suorita näytteiden valmistus työohjeiden mukaisesti.

AIV-rehunäytteiden valmistukseen tarvitaan noin 1 kilogramma leikattua ruohoa ryhmää kohden. Leikattu ruoho tulee ensiksi puhdistaa sen mahdollisesti sisältävästä kuolleesta kasviaineksesta ja sienen osista. Jos ruoho on leikattu ruohonleikkurilla, se soveltuu sellaisenaan rehunäytteiden valmistukseen. Saksilla leikattu ruoho tulee pilkkoa ennen näytteiden valmistamista.

Ruohomassasta punnitaan 5 yhtä painavaa erää, jotka siirretään AIV-rehun valmistukseen käytettäviin astioihin. Sopiva ruohomäärä on 100-200 grammaa ja astiaksi käy keitinlasi (250 ml) tai jokin muu hapon kestävä astia. Näytteiden joukkoon lisätään eri määrät suolahappoa (1 M) siten, että ensimmäiseen näytteeseen lisätään suolahappoa 0 ml, toiseen 1 ml, kolmanteen 3 ml, neljänteen 5 ml ja viidenteen 10 ml. Happo lisätään ruohon sekaan pipetillä pudottamalla pisaroita eri puolille ruohomassaa.

Näyte painetaan tiiviisti kasaan painamiseen soveltuvalla esineellä esimerkiksi pienemmän astian pohjalla. Paina rehumassaa tasaisesti eri puolilta ja etenkin reunoilta. Painamisen tavoitteena on poistaa ruohomassan sekaan jäänyt ilma. Painamisen jälkeen AIV-rehunäyte peitetään muovikelmulla tai kannella, ettei näytteeseen pääse ilmaa säilytyksen aikana.

Rehumassa pinnalle laitetun pinnan tai kannen päälle asetetaan painoksi kiviä tai muuta painavaa. Painotuksen tarkoituksena on pitää ruohomassa säilytyksen aikana muodostuvan nestepinnan alapuolella. Näytteet asetetaan huoneenlämpöiseen pimeään paikkaan noin viikoksi. Muista merkitä näytekupkeihin lisätyn hapon määrä!

Näytteet avataan noin viikon kuluttua ja näytteiden pH-arvot määritetään pH-mittarilla tai muulla opettajan ilmoittamalla tavalla. Kirjaa tulokset oheiseen taulukkoon ja vertaa tuloksia Internetistä tai kirjallisuudesta löytyvään tietoon. Tutkimuksen jälkeen ryhmä laatii työselostuksen tutkimuksen vaiheista ja esittelee tuloksensa muille ryhmille. Jokainen oppilas tekee kirjallisen itsearvion projektin aikana oppimistaan tiedoista ja taidoista. Työselostus tutkimuksen vaiheista ja itsearviot palautetaan opettajalle.

<i>Näytteen nimi</i>	<i>Punnittu ruohon määrä (g)</i>	<i>Lisätyn hapon määrä (ml)</i>	<i>Mitattu pH-arvo</i>	<i>Näyte säilömisestä jälkeen</i>	<i>Puristenesteen väri/haju.</i>

Lisätietoa:

www-lähteet:

www.valio.fi

www.valio.fi/maitojame/sailorehu/sailonta.htm

www.evira.fi (Elintarviketurvallisuusvirasto)

fi.wikipedia.org/wiki/AIV-rehu

www.google.fi

Kirjallisuutta:

Heikonen M., 1993, AIV-Isänmaan aika

Heikonen M., 1990, AIV-keksintöjen aika

Moisio T. & Heikonen M., 1992, AIV-rehun perusteet

Suomen tieteen historia 2000, WSOY

Liite 6

Työohje kemian opetukseen lukiossa

Aihe:	Happamuus ja sen vaikutus AIV-rehun säilymiseen
Suoritustapa:	Oppilaat työskentelevät PBL-menetelmän mukaisesti
Käytettävä aika:	Työn suunnittelu (2h), Näytteiden valmistus (2h), Näytteiden tutkiminen (2h), Tulosten raportointi ja esittäminen + itsearviointi (2h)

Tehtävänäsi on tutustua AIV-rehun valmistukseen ja suunnitella ryhmässä tutkimus, jolla voidaan tutkia AIV-rehun säilymistä eri pH-arvoilla. Käytettävänä on kemian luokasta löytyviä aineita ja välineitä. Säilöttävänä rehuna voidaan käyttää leikattua nurmea.

Suunnittele toimintatavat, ota selvää uusista asioista, suorita kokeita ja kirjaa tulokset. Tutkimuksen jälkeen ryhmä esittelee ratkaisunsa muille ryhmille ja jokainen ryhmän jäsen tekee kirjallisen itsearvion projektin aikana oppimista tiedoista ja taidoista. Työselostus tutkimuksen vaiheista ja itsearvio palautetaan opettajalle.

Lähdemateriaalia:

www-lähteet:

www.valio.fi
www.valio.fi/maitojame/sailorehu/sailonta.html
www.evira.fi (Elintarviketurvallisuusvirasto)
fi.wikipedia.org/wiki/AIV-rehu
www.google.fi

Kirjallisuutta:

Heikonen M., 1993, AIV-Isänmaan aika
Heikonen M., 1990, AIV-keksintöjen aika
Moisio T. & Heikonen M., 1992, AIV-rehun perusteet

Liite 7

Oppikirja-analyysi

A. I. Virtanen ja hänen tutkimustensa esiintyminen kemian oppikirjoissa.

(po/lo = perusopetus / lukio)

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
P1	Aspholm, Hir- vonen, Lavonen, Penttilä, Saari, Viiri, Hongisto 2005	Muurahaishappoa käytetään AIV-rehun säilöntäaineena, desifiointiaineena ja teollisuuden raaka-aineena. (s. 164)		3 riviä	po	Erilaisia karboksyyli- happoja (s. 164)	
P2	Happonen, Heinonen, Muilu, Nyrhinen 2003	Ei mitään.			po		
P3	Happonen, Heinonen, Muilu, Nyrhinen 2004	Suomalainen kemisti Artturi Ilmari Virtanen kehitti 1930-luvulla rehunsäilömismenetelmän, joka perustuu happojen käyttöön. Kun vastaniitetty rehu tehdään riittävän happamaksi muurahaishappoa sisältävällä liuoksella, rehua pilaavat bakteerit kuolevat ja rehu säilyy. Virtanen palkittiin tästä keksinnöstä, AIV-rehusta, kemian Nobelin palkinnolla vuonna 1945. Kuvateksti: A. I. Virtanen on ainoa kemian Nobelin palkinnon saanut suomalainen. (s. 49)	Piirretty kasvokuva A.I. Virtasesta.	7 riviä	po	Hapot/ Erilaisten happojen käyttötarkoituksia.(s. 49)	Selvitä, mitä on AIV-rehu ja miten sitä valmistetaan? (s. 50)
P4	Happonen, Heinonen, Muilu,	Muurahaishappoa käytetään säilöntä- ja desifioimisaineena. Esimerkiksi Nobel-palkinnon saanut suomalainen keksintö,	Kuvat: Rehupaalin	4 + 40 riviä	po	Karboksyylihapot ja esterit	Tee selkoa Nobel-palkinnon

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
	Nyrhinen 2005	AIV-rehu, säilyttää tuoreutensa muurahaishapon vaikutuksesta. Kuvateksti: Säilyvyyden parantamiseksi karjan rehun joukkoon lisätään muurahaishappoa. (s. 38) Henkilökuva: A. I. Virtanen on yksi kolmesta suomalaisesta Nobel-palkitusta: Suomalaisia Nobel-palkittuja on kolme: F.E. Sillanpää, A.I. Virtanen ja R. Granit. Sillanpää sai kirjallisuuden Nobel-palkinnon vuonna 1939 ja A.I. Virtanen kemian Nobelin vuonna 1945. Suomalaissyntyinen R. Granit sai puolestaan fysiologian ja lääketieteen Nobel-palkinnon vuonna 1967. Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) oli biokemisti ja akateemikko. Nobel-palkintonsa hän sai kehittämästään rehunsäilöntämenetelmästä, joka perustui havaintoon, että lisäämällä tuorerehuun laimeaa happoa kasvien entsyymitoiminta saadaan hidastumaan ja jopa pyshtymään kokonaan. Tällöin rehun säilyvyys paranee ratkaisevasti. Hapolla käsitelty rehu nimettiin keksijänsä mukaaan AIV-rehuksi. Nykyisin tuorerehun säilöntään käytettävä liuos sisältää suureksi osaksi muurahaishappoa. Hapolla käsiteltynä rehu säilyy hyvin eikä ole vaaraksi sitä syöväälle eläimelle. A. I. Virtanen kehitti jo 1920-luvulla voin ja juustojen säilyvyyttä parantavan menetelmän. Virtanen tutki myös kasvien sisältämiä aineita, kuten aminohappoja, typpi- ja rikkiyhdisteitä sekä fungisidejä sekä kasvitautien torjunta-aineita. Hernekasvien typensidontaa koskeneet tutkimukset johtivat sittemmin AIV-rehun keksimiseen. A.	teosta pellolla ja A. I. Virtasesta (s. 43)			(s. 38), Nobel-palkinnon yhteydessä. (s. 43)	saaneesta suomalaisesta kemististä, A. I. Virtasesta. (s. 42)

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
		I. Virtanen toimi Biokemiallisen tutkimuslaitoksen johtajana yli 40 vuotta aina kuolemaansa saakka. Lisäksi hän oli professorina Teknillisessä korkeakoulussa ja Helsingin yliopistossa lähes 20 vuotta. Suomen Akatemian jäsenenä hän toimi vuosina 1948-1965. (s. 43)					
P5	Kärnä, Leskinen, Montonen, Repo 1997	Suomalaisen biokemian isä Artturi Ilmari Virtanen (1895-1973) sai vuonna 1945 Nobelin kemianpalkinnon. Hän kehitti AIV- rehunsäilömismenetelmän, jossa tuorerehun pH laskettiin välille 3-4, niin että käymisreaktiot merkittävästi vähenivät. Nykyisin tuorerehun säilöntään käytettävä liuos sisältää pääosin muurahaishappoa (metaanihappoa). A. I. Virtanen tutki myös juuston ja voin säilyvyyttä. Virtasen tutkimukset struuman ehkäisemiseksi johtivat siihen, että yhä käytämme ruokasuolaa, johon on lisätty jodia. Kuvateksti: A. I. Virtasen tutkimusryhmä tutki myös elintarvikkeiden säilyvyyttä. Kymmenien vuosien tutkimustyön tuloksena suomalaisesta emmentaljuustosta tuli kuuluisa vientituote. (s. 203)	Kuva miehestä (Virtanen?) esittelemäsä juuston tasalaatuisuutta.	14 + 4 riviä	po	Elämän rakennus-aineet/ Happamia ruoka-aineita, karboksyylihapot. (s. 203)	
P6	Levävaara, Kuusijärvi, Pohjola, Voutilainen 1986	Ei mitään.					
P7	Levävaara, Kuusijärvi, Pohjola, Voutilainen 1989	AIV-liuos on yleensä muurahaishapon ja suolahapon seosta. Sitä käytetään maataloudessa tuorerehun säilöntään. (s. 125)	2 kuvaa AIV-liuoskanisterista.	4 riviä + 2 kuvaa	po	Orgaaninen kemia/ karboksyylihapot (s. 125)	Kuvatehtävä; Täydennä puhekuplat. (s. 127)

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
			(s.105)				
L1	Ojala, Meriläinen, Kaila, Salo, Andersson, 2002				lo		Tutustu kemian historiaan tietosanakirjan tai Internetin avulla. Mikä merkitys suomalaisella kemian nobelistilla A. I. Virtasella on ollut Suomen hyvinvointiin? (s. 10)
L2	Kanerva, Karkela, Valste 1995	Kuvateksti: Nobelisti A. I. Virtanen tutustui pH-mittauksiin Ruotsissa ja toi ensimmäiset mittauslaitteet Suomeen 1920-luvun alussa. Hänen ensimmäinen suuri työnsä oli taloudellisesti hyvin merkittävän voisuolan kehittäminen. Niihin aikoihin voita kuljetettiin kauas ja säilytettiin pitkiä aikoja, ja siihen tuli helposti makuvirheitä. Virtasen voisuolassa oli natriumvetyfosfaattia ja natriumkarbonaattia, jotka neutraloivat voihin syntyviä happoja ja toimivat puskurina happamuuden muutoksille. Keksinnön jälkeen suomalaisesta voista tuli säilyvää ja hyvälaatuista. Suomalaiset voinalmistaajat saivat vuosikausiksi huomattavan markkinaedun, sillä kilpailijat eivät saaneet salaisuutta selville. (s. 140)	Kuva voinalmistaajasta Valiolla.	21 riviä	lo	Liuoksen pH:n mittaaminen (s. 140)	

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
L3	Kanerva, Karkela, Valste 1995	Muurahaishappoa käytetään desifiointiaineena, teollisuuden raaka-aineena, tekstiilien ja nahan värjäyksessä sekä AIV-rehun valmistuksessa. (s. 80) Kuvatestit: 1. A.I.Virtanen on ainoa suomalainen nobelin palkinnon saanut tutkija. Hän sai palkinnon vuonna 1945 rehunsäilöntään liittyvistä utkimuksistaan. Virtasen mukaan nimettyä AIV-rehua valmistetaan nykyäänkin, vaikka säilöntäkemikaalit ja -menetelmät ovatkin hiukan muuttuneet. 2. Rehua valmistettaessa tuore heinä silputaan ja kastellaan happoliuoksella, jossa on 80% muurahaishappoa ja 20% fosforihappoa. Kun happokäsitelty kasvimassa puristetaan mahdollisimman hapettomaan tilaan muovin alle; mikrobitoiminta estyy ja rehu säilyy kelvollisena kevääseen. 3. AIV-rehusta irtoaa puristenestettä, joka on hyvin ravinnepitoista. Sitä ei saa päästää valumaan vesistöihin. Lannoiteeksi se sen sijaan kelpaa. (s. 147)	kuva A. I. Virtasesta ja kaksi kuvaa AIV-rehun valmistuksesta. (s. 147)	23 riviä	lo	Erilaisia happoja ja suoloja kappale (s.80), elämän kemia-Miten yhdisteet muuntuvat ja syntyvät elimistössä, Glykolyysi ja käyminen. (s. 147)	
L4	Kanerva, Karkela, Valste, 1998	Ei mitään.			lo		
L5	Lampiselkä, Sorjonen, Vakkinen, Aroluoma, Kanerva, Karkela ja Mäkelä 2004	Ei mitään.			lo		
L6	Lampiselkä,	Ei mitään.			lo		

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
	Sorjonen, Vakki- lainen, Aroluoma, Kanerva, Karkela ja Mäkelä 2004						
L7	Lampiselkä, Sorjonen, Vakki- lainen, Aroluoma, Kanerva, Karkela ja Mäkelä 2005	Ei mitään.			lo		
L8	Kalkku, Kalmi & Korvenranta 2004	Kuvateksti: Biokemisti A. I. Virtanen (1895-1973) sai 1945 Nobelin kemianpalkinnon tutkimuksistaan ja keksinnöistään ravinto- ja maanviljelyskemian alalla ja erityisesti rehunsäilöntämenetelmästäan (AIV-rehu). Se perustuu happamuuden lisäämiseen, jolloin viherrehu säilyttää makunsa ja vitamiinisisältönsä. Tämän lisäksi hän tutki muun muassa erilaisia käymisilmiöitä, voion ja juuston säilyvyyttä, hernekasvien juurissa tapahtuvaa typensidontaa sekä kasvien sisältämiä aminohappoja. (s. 39) Muurahaishappoa käytetään teollisuudessa esimerkiksi AIV-rehuliuksen valmistamiseen yhdessä suolahapon kanssa. (s. 92) Virtanen Artturi Ilmari (1895-1973), suom. Toimi Teknillisen korkeakoulun ja Helsingin yliopiston professorina, Suomen biokemiallisen tutkimuksen perustaja. Sai 1945 Nobelin kemianpalkinnon ravintokemian alalla tekemistään tutkimuksista ja	Kuva A. I. Virtasen postimerkistä (s.39), AIV-rehu eräiden aineiden pH:ta kuvaavassa pH-asteikossa. (s. 41)	3 + 15 + 7 riviä	lo	Liuosten happamuus (s. 39), pH-luku (s. 41), Karboksyylihappoja (s.92), Liitteet, Kemian historiaa (s.134)	

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
		keksinnöistä ja erityisesti rehunsäilöntämenetelmästäan (AIV-rehu). (s. 134)					
L9	Kalkku, Kalmi & Korvenranta 2005	Ei mitään.			lo		
L10	Lehtinen & Turpeenoja 2004	Metaanihappoa käytetään AIV-säilörehuliuksen valmistuksessa, paperin ja tekstiilien värjäyksessä, nahan käsittelyssä ja lääkeainesynteeiseissä. (s. 114)		4 riviä	lo	Karboksyyli- hapot/ metaa- ni- eli muura- haishappo. (s. 114)	
L11	Lehtinen & Turpeenoja 2005	Ei mitään.			lo		
L12	Hannola-Teitto, Jokela, Leskelä, Näsäkkälä, Pohjakallio, Rassi 2004	Kuvateksti: Suomalainen tiedemies, Suomen biokemian isä, Artturi Ilmari Virtanen (1895- 1973) sai ensimmäisenä suomalaisena tiedemiehenä Nobelin kemian palkinnon vuonna 1945 tutkimuksistaan ja keksinnöistään maanviljelys- ja ravintokemian aloilta, erityisesti rehunsäilömismenetelmistään. Nykyisin tuorerehu hapotetaan muurahaishappoliuoksella ja kääritään ilmatiiviiksi paaleiksi jo pellolla. (s. 117)	Kuva A. I. Virtasesta laboratorio ssa	12 riviä	lo	Kemiasta terveyttä, Orgaaniset typpi yhdis- teet. (s. 117)	
L13	Hannola-Teitto, Jokela, Leskelä, Näsäkkälä, Pohjakallio, Rassi 2004	Ei mitään.			lo		

<i>Kir- ja</i>	<i>Tekijät</i>	<i>Mitä sanotaan</i>	<i>Kuvia</i>	<i>Määrä</i>	<i>po/ lo</i>	<i>Missä yhteydessä</i>	<i>Tehtäviä</i>
L14	Hannola-Teitto, Jokela, Leskelä, Näsäkkälä, Pohjakallio, Rassi 2004	Ei mitään.			lo		
L15	Kaila, Meri- läinen, Ojala, Pihko 2005	Muurahaishappoa käytetään viherrehujen säilöntään A. I. Virtasen kehittämässä AIV-menetelmässä.		2 +2 riviä	Lo	Kemia- keskeinen luonnontiede, Karboksyyli- hapot ja esterit (s.105)	Kuka on suomalainen kemian nobelisti? Milloin hänelle myönnettiin palkinto? (s. 11)
L16	Kaila, Meri- läinen, Ojala, Pihko 2005	Eimitään.			lo		
L17	Kaila, Meri- läinen, Ojala, Pihko 2006	Ei mitään.			lo		