



**ONGELMAPERUSTAISEN OPETUKSEN JA
OPPIMISEN KEHITTÄMINEN OULUN SEUDUN
AMMATTIKORKEAKOULUN LABORATORIO-
ALALLA**

Jukka Rautiainen

**Kehittämishankeraportti
Maaliskuu 2009**



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**
Ammatillinen opettajakorkeakoulu

| | | |
|---|--|--------------------------|
| Tekijä(t) Jukka Rautiainen | Julkaisun laji Kehittämishankeraportti | |
| | Sivumäärä 56 | Julkaisun kieli Suomi |
| | Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen saakka | |
| Työn nimi Ongelmaperustaisen opetuksen ja oppimisen kehittäminen Oulun seudun ammattikorkeakoulun laboratorioalalla | | |
| Koulutusohjelma Ammatillinen opettajakorkeakoulu | | |
| Työn ohjaaja(t) Weissmann, Kirsti | | |
| Toimeksiantaja(t) Oulun seudun ammattikorkeakoulun laboratorioalan koulutusvastaava Pirkko Kekarainen, Oulu | | |
| Tiivistelmä <p>Ongelmaperustaisen opetuksen ja opiskelun kehittäminen Oulun seudun ammattikorkeakoulun laboratorioalalla on tehty yhteistyössä Oulun seudun ammattikorkeakoulun kanssa. Myös väitöskirjaohjaajani Maija Aksela Helsingin yliopistosta on ollut työssä mukana.</p> <p>Kehittämishankkeen tarkoituksena on tutkia miten hyvin PBL soveltuu ammattikorkeakouluopetukseen. Raporttiosuudessa kuvataan ongelmaperustaista opetusta ja Oulun seudun ammattikorkeakoulua. Myös toteutettavan kurssin kuvaus on raportissa.</p> <p>Ongelmaperustaisessa oppimisessa painottuu työelämälähtöisyys. Opetus on tarkoitettu laboratorioanalyytikoiksi valmistuville ammattikorkeakouluopiskelijoille. Tavoitteena on kehittää opiskelijoiden luonnontieteellistä ajattelutapaa, kemian teorian soveltamiskykyä käytäntöön, opettaa tiedonhakuja ja kehittää ongelmanratkaisutaitoja ja ryhmätyöskentelyä. Tavoitteena on myös se, että opiskelija hallitsee erilaisten analyysimenetelmien validoinnin ja testauksen sekä ymmärtää validoinnin merkityksen analyysitulosten luotettavuuden ja laboratorion toiminnan kannalta.</p> <p>Ongelmaperustaiseen oppimiseen perehtyminen muutti ajattelutapaa ongelman ratkaisusta. Se on hyvä vaihtoehto ammattikorkeakouluopetukseen.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Ongelmaperustainen oppiminen, analyttinen kemia | | |
| Muut tiedot - | | |

| | | |
|--|---|---------------------|
| Author(s) Jukka Rautiainen | Type of publication Development project report | |
| | Pages 58 | Language Finnish |
| | Confidential <input type="checkbox"/> Salainen <input type="checkbox"/> saakka | |
| Title The development of problem based learning for Oulu University of Applied Sciences (laboratory sciences) | | |
| Degree Programme Teachers Education College | | |
| Tutor(s) Weissmann Kirsti | | |
| Assigned by Director of Degree Programme Pirkko Kekarainen, Oulu university of applied sciences (laboratory sciences) | | |
| Abstract The development of problem based learning is done in co-operation with Oulu University of Applied Sciences. My supervisor Maija Aksela has been in this project as well. The aim of this development project was to find out is the problem based learning suitable for university of applied sciences. The report describes problem based learning and Oulu University of Applied Sciences. The description of the laboratory course is in this report as well. Working life is emphasized in problem based learning. The course is for 3 rd year students studying in Oulu University of Applied Sciences. The aim is to develop their way of thinking, application of theory of chemistry, to develop their information retrieval, and to develop solving problems and team work. Students should possess validation and understand the meaning of validation. Studying problem based learning changed my thoughts of solving problems. It is good option to teach in university of applied sciences. | | |
| Key words Problem based learning, analytical chemistry | | |
| Miscellaneous - | | |

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----------|
| 1. Johdanto..... | 1 |
| 2. Oppilaitos..... | 2 |
| 2.1. Oulun seudun ammattikorkeakoulu..... | 2 |
| 2.1.1. Koulutus..... | 2 |
| 2.1.2. Pedagoginen strategia..... | 2 |
| 2.2. Laboratorioala..... | 3 |
| 2.2.1. Bioteknologian suuntautumisvaihtoehto..... | 3 |
| 2.2.2. Laboratorioanalytiikan suuntautumisvaihtoehto..... | 4 |
| 2.2.3. Laboratorioalan opetussuunnitelma..... | 4 |
| 2.2.4. Laboratorioalan pedagogisesta strategiasta..... | 6 |
| 3. Ongelmaperustainen oppiminen..... | 8 |
| 3.1. Määritelmä..... | 8 |
| 3.2. Toteutusmallit..... | 10 |
| 3.2.1. Ongelmaperustaisen oppimisen 7 askelta..... | 10 |
| 3.2.2. Syklimalli..... | 15 |
| 3.3. Opettajan rooli ja opiskelijan rooli..... | 16 |
| 3.4. Vahvuudet ja heikkoudet..... | 17 |
| 3.5. Arviointi..... | 17 |
| 3.5.1. Arviointimenetelmiä..... | 18 |
| 4. Aikaisemmat kokemukset PBL:stä..... | 22 |
| 5. Kurssin suunnittelun aloittaminen..... | 24 |
| 6. Suunnitelma kurssin toteuttamiseksi..... | 24 |
| 6.1. Kurssin sisältö ja tavoitteet..... | 24 |
| 6.1.1. Tavoitteet..... | 26 |
| 6.1.2. Sisältö..... | 25 |
| 6.2. PBL-ryhmätyöskentelyn toteutus..... | 27 |
| 6.3. Oppimateriaali..... | 27 |
| 6.4. Arviointi..... | 27 |
| 7. Yhteenveto..... | 28 |

LÄHTEET

LIITTEET

1. Johdanto

Ongelmaperustainen oppiminen (PBL = problem based learning) on opiskelun ja opetuksen muoto, jossa ryhmän vuorovaikutus korostuu. Ongelmaperustaisessa oppimisessa kehitetään oppimistaitoja ja perinteistä ulkoa opettelua vältetään. Opetusmenetelmässä käytetään hyödyksi opiskelijoiden vanhaa tietoa ja uuden tiedon etsimistä käytännön ongelmien ratkaisussa. Ongelmaperustaisen oppimisen taustalla on humanistinen ihmiskäsitys. Sen perustalta nousee vahva usko ihmisen omaan tahtoon ja kykyihin.

Ongelmaperustainen oppiminen kehittää myös tiedonhankinta ja –sovellustaitoja. Sisältöön liittyvää tietoa opitaan tehokkaasti tosielämän ongelmaan liittyvässä asiayhteydessä. PBL lisää mielenkiintoa työelämälähtöisyyden kautta. Heikkoutena on se, että sen toteuttaminen on vaativaa ja vie enemmän aikaa kuin perinteinen opetus. Oppimistuloksia pidetään vaillinaisina opiskelijoiden vastuun vuoksi. Ongelmaperustaista opetusta on käytetty laajalti lääketieteessä reilun kolmenkymmenen vuoden ajan.

Tämä kehittämishanke on suunnattu Oulun seudun ammattikorkeakoulun laboratorioalalle. Työssä kehitettiin ja suunniteltiin laboratoriotyökurssi, johon sisältyy myös tilastotieteellisiä laskutehtäviä analyttisen kemian kontekstissa ja tiedonhakuharjoituksia. Laboratoriotyö toteutetaan PBL:n periaatteiden mukaisesti 7 askeleen menetelmää soveltaen. Työn tarkoituksena on tutkia miten hyvin PBL soveltuu ammattikorkeakouluopetukseen. Työ alkoi yhteyden otolla laboratorioalan koulutusohjelmavastaavaan.

2. Oppilaitos

2.1. Oulun seudun ammattikorkeakoulu

2.1.1. Koulutus

Oulun seudun ammattikorkeakoulun tehtävänä on Pohjois-Suomen hyvinvoinnin vahvistaminen järjestämällä työelämän tarpeita vastaavaa korkeakouluopetusta. Työelämän kanssa kehitetään opetusta ja edistetään yritysten kilpailukykyä sekä alueen väestön työllistymistä ja hyvinvointia. (Oamk, 2008)

Koulutustarjonta on monipuolinen. Koulussa järjestetään korkeakoulututkintoon tähtäävää opetusta, ammatillisia erikoistumisopintoja, opettajan pedagogisia opintoja, avointa AMK opetusta sekä täydennyskoulutusta. (Oamk, 2008)

Ammattikorkeakoulututkinto on mahdollista opiskella 30 koulutusohjelmassa, joista 3 on englanninkielisiä. (Oamk, 2008)

AMK-tutkintoon johtavien opintojen tavoitteena on antaa monialaiset valmiudet sekä teoreettiset tiedot asiantuntijana toimimista varten. Tekniikan yksikkö ja sen tarjoamat koulutusohjelmat ovat osa ammattikorkeakoulutarjontaa. (Oamk, 2008)

2.1.2. Pedagoginen strategia

Oamk:ussa ollaan laatimassa uutta strategiaa vuoteen 2015 kuten kaikissa muissakin korkeakoulussa OPM:n ohjauksen mukaisesti. Tällä hetkellä ei ole koko ammattikorkeakoulua kattavaa pedagogista strategiaa. Se on tietoinen valinta. Tällä tavoin koulutusohjelmille (yksiköille) annetaan tilaa omille pedagogisille valinnoilleen. Sen sijaan strategian mukaisesti opetuksen ja oppimisen ydinprosessia ohjataan tarkemmin kehittämissuunnitelman avulla. Se konkretisoituu vuosittaisissa toimintasuunnitelmissa. Syksyllä otettiin käyttöön em. kehittämissuunnitelman mukaisesti osaamisperustaiset opintosuunnitelmat ja opintosuunnitelmien arviointi ja

kehittäminen käynnistyi samanaikaisesti jatkuvan kehittämisen periaatteiden mukaisesti. Siinä on tarkoitus pohtia ja tarkentaa mm. pedagogisia valintoja. Meneillään oleva strategia- ja arviointityö oletettavasti antaa aihetta tarkentaa Oamk:un opetuksen ja oppimisen kehittämissuunnitelmaa. (sähköposti, Oamk:n rehtorin toimisto)

2.2. Laboratorioala

Laboratorioalan koulutusohjelmasta valmistuu laboratorioanalyttikoksi. Opintojen laajuus on 210 opintopistettä ja opinnot kestävät 3.5 vuotta. Valmistuttuaan laboratorioanalyttikko osaa matemaattisluonnontieteellisen ajattelutavan, omaa hyvät kemian tiedot, hallitsee työskentelyn laboratoriossa, analyysimenetelmät ja -laitteet sekä tietää miten käsitellä analyysituloksia. Laboratorioanalyttikolla on myös valmiudet toimia esimies- ja asiantuntijatehtävissä. (Oamk, 2008)

Laboratorioala edellyttää hyvää kemiallisten, fysikaalisten ja biokemiallisten tutkimusmenetelmien hallintaa, joten koulutuksessa on teoriaopintojen lisäksi runsaasti laboratorioharjoituksia. Erilaisten projektien, työharjoittelun ja opinnäytetyön kautta luodaan yhteyksiä työelämään sekä kehitetään tiimityöskentely- ja ongelmanratkaisutaitoja. Osan opinnoista voi suorittaa kansainvälisessä opiskelijavaihdossa. (Oamk, 2008)

2.2.1. Bioteknologian suuntautumisvaihtoehto

Bioteknologian suuntautumisvaihtoehdossa syvennetään geenitekniikan, bioprosessien ja proteiinianalytiikan osaamista. Bioprosessitekniikassa paneudutaan bioprosessien hallintaan, prosessituotteiden puhdistamiseen ja tuotteiden hyödyntämiseen. Geenitekniikassa perehdytään yhdistelmä- DNA- tekniikan uusimpiin menetelmiin, kuten DNA:n eristämiseen pro- ja eukariotisolusta, DNA:n pilkkomiseen restriktioentsyymeillä, agaroosigeelielektroforeesiin, sekvensointiin, hybridisaatioon, transformaatioon ja PCR-tekniikkaan. (Oamk, 2008)

Suuntautumisvaihtoehdosta valmistuneet työskentelevät pääasiassa lääke- ja elintarviketeollisuudessa sekä viranomaislaboratorioissa ja erilaisissa tutkimuslaitoksissa. Toimessaan laboratorioanalytytikot ovat tutkimus-, tuotekehitys-, esimies- ja asiantuntijatehtävissä sekä suunnittelu- ja laadunvarmistustehtävissä. (Oamk, 2008)

2.2.2. Laboratorioanalytiikan suuntautumisvaihtoehto

Laboratorioanalytytikon suuntautumisvaihtoehdossa syvennetään laite- ja analyysimenetelmien osaamista, joihin sisältyy mm. laite- ja menetelmätestaus sekä näytteenkäsittelytekniikat. Erityisesti keskitytään spektrometria- ja kromatografialaitteilla tehtävään ympäristö- ja elintarvikeanalytiikkaan, kuten PCB- ja PAH-yhdisteiden määrittämiseen kromatografisin menetelmin sekä raskasmetallien määrittämiseen spektrometrian avulla. Monipuolisella laite- ja menetelmätuntemuksella luodaan valmiuksia analyysimenetelmien ylläpitämiseen ja kehittämiseen. Laite- ja menetelmävalidoinneilla taataan laadukas laboratoriotyöskentely. (Oamk, 2008)

Suuntautumisvaihtoehdosta valmistuneet työskentelevät pääasiassa kemian-, elintarvike- ja lääketeollisuudessa sekä viranomaislaboratorioissa ja erilaisissa tutkimuslaitoksissa. Toimessaan laboratorioanalytytikot ovat tutkimus-, tuotekehitys-, esimies- ja asiantuntijatehtävissä sekä suunnittelu- ja laadunvarmistustehtävissä. (Oamk, 2008)

2.2.3. Laboratorioalan opetussuunnitelma

Ensimmäisenä opiskeluvuonna opiskellaan turvallisuuskasvatusta ja työsuojelua. Näiden kautta perehdytään laboratorion turvallisuuteen liittyviin asioihin, kuten oikeisiin työskentelymenetelmiin ja ensiaputaitoihin. Kemian opiskelu alkaa yleisen, orgaanisen, analytyttisen sekä fysikaalisen kemian opinnoilla. Laitetekniikkaan perehtymisen ensimmäinen kurssi on spektrometria. Ensimmäiseen opintovuoteen kuuluu myös englantia, tietotekniikkaa, fysiikkaa, matematiikkaa ja tilastomenetelmiä. ja laboratoriolaatua. (Oamk, 2008)

Toisena vuonna jatkuu orgaanisen ja fysikaalisen kemian opiskelu. Epäorgaanisen kemian opinnoissa perehdytään alkuainekemiaan ja biokemian opinnoissa solun toimintaan. Laitetekniikan opinnot jatkuvat kromatografian opinnoilla.

Spektrometrian tietomäärää myös lisätään. Toisen vuoden opintoihin kuuluu myös kirjoitus- ja puheviestinnän, mikrobiologian, tutkimus- ja projektitoiminnan ja laboratoriolaadun opintoja. (Oamk, 2008)

Kolmantena vuotena jatketaan biokemian ja mikrobiologian opiskelua, tutustutaan ympäristökemiaan ja syvennetään laboratorion laatutoimintaan liittyviä asioita.

Kolmantena vuonna valitaan joko bioteknologian tai laboratorioanalytiikan suuntaavat opinnot. Näiden lisäksi opiskellaan esimiestaitoja ja yritystoimintaa. Kieliopinnoina on virkamiesruotsi. Koulutus sisältää paljon laboratoriotöitä ja työharjoittelua. Opiskelija voi hakeutua suorittamaan opintojaan tai harjoittelemaan myös ulkomaille. Ulkomaan vaihtoon meneville kuuluu pakollisena valmentava kurssi. (Oamk, 2008)

Bioteknologian omaksi suuntautumisvaihtoehdoksi valinneet opiskelevat suuntaavina ammattiopintoina geenitekniikkaa, proteiinianalytiikkaa ympäristömikrobiologiaa ja immunologiaa. Vapaasti valittavina opintoina, joita koulutusohjelma suosittelee, voi lukea laiteanalytiikkaa ja menetelmän testausta. Kaikkiaan on valittava opintoja 15 opintopisteen edestä. Lisäksi opintoihin kuuluu harjoittelu ja opinnäytetyö. (Oamk, 2008)

Laboratorioanalytikoksi haluava puolestaan opiskelee suuntaavina ammattiopintoina laiteanalytiikkaa ja menetelmän testausta. Bioteknologian suuntaavia ammattiopintoja suositellaan vapaasti valinnaisiksi opinnoiksi. on valittava opintoja 15 opintopisteen edestä. Lisäksi opintoihin kuuluu harjoittelu ja opinnäytetyö. (Oamk, 2008)

Tekniikan yksikön yhteiset vapaasti valittavat opinnot sisältävät mm kieliä ja multimedia opintoja. (Oamk, 2008)

2.2.4. Laboratorioalan pedagogisesta strategiasta

Laboratorioalan osaamisalueet on jaettu kahteen, yleisiin osaamisalueisiin ja koulutusohjelma-/suuntautumisvaihtoehtokohtaisiin osaamisalueisiin. Yleiset osaamisalueet sisältävät viestintä- ja vuorovaikutustaidot, matemaattis-luonnontieteellisen osaamisen ja yritystalous- ja johtamisosaamisen. Koulutusohjelma/suuntautumis-vaihtoehtokohtaiset osaamisalueet ovat luonnontieteellinen osaaminen, laboratoriotaidot, analyttinen osaaminen, laiteosaaminen, laboratorio toimintaympäristönä, laiteanalytiikan osaaminen ja bioteknologian osaaminen. Seuraavassa on kuvattu mitkä ovat kunkin osaamisalueen tavoitteet.

Viestintä- ja vuorovaikutustaidot

- osaa toimia tavoitteellisesti oman alan tyypillisissä viestintä- ja vuorovaikutustilanteissa
- omaa oman alan työtehtävissä ja niissä kehittymisessä tarvittavan kirjallisen ja suullisen kielitaidon
- osaa hyödyntää oman alansa tietolähteitä
- ymmärtää tiimi- ja projektityöskentelyn periaatteet ja osaa työskennellä yhdessä toisten kanssa monialaisissa työryhmissä
- osaa hyödyntää tieto- ja viestintätekniikkaa omassa työssään

Matemaattis-luonnontieteellinen osaaminen

- kykenee loogis-matemaattiseen ajatteluun ja lähestymistapaan teknisessä ongelmanratkaisussa
- osaa hyödyntää matemaattisia periaatteita, menetelmiä ja työkaluja

- tuntee fysiikan ja kemian perusteet ja ymmärtää niiden yhteyden oman alansa tekniikkaan

Yritystalous- ja johtamisosaaminen

- tuntee kannattavan liiketoiminnan edellytykset
- osaa tehdä yksinkertaisia kustannus- ja investointilaskelmia
- tuntee yleiset johtamisen periaatteet

Luonnontieteellinen osaaminen

- osaa hyödyntää matemaattisluonnontieteellistä ajattelutapaa erilaisissa työtehtävissä, esimerkiksi ongelmanratkaisussa ja päättelyssä
- hallitsee kemian, biokemian, mikrobiologian, matematiikan ja fysiikan käsitteet ja lainalaisuudet siten, että osaa soveltaa niitä käytäntöön

Laboratoriotaidot

- hallitsee laboratorioalan perustyömenetelmät
- osaa työskennellä tarkasti ja huolellisesti
- osaa dokumentoida analyysituloksia ja laatia ohjeita
- huolehtii työturvallisuudesta

Analyyttinen osaaminen

- hallitsee monipuolisesti eri analyysimenetelmien teoriataustan
- hallitsee analyysin tekemisen näytteenotosta tulosten käsittelyyn ja raportointiin
- osaa kehittää ja validoida analyysimenetelmiä
- osaa hyödyntää tietojaan tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä

Laitesaaminen

- ymmärtää laboratoriolaitteiden toimintaperiaatteet
- osaa ylläpitää ja käyttää laitteita
- omaa valmiuden perehtyä uusiin laitteisiin ja niiden ohjelmistoihin

Laboratorio toimintaympäristönä

- osaa organisoida laboratorion käytännön toimia
- hallitsee laboratoriotointaa ohjaavat tieto-, ympäristö-, turvallisuus- ja laatujärjestelmät ja osaa soveltaa niitä omaan työhönsä sekä koko laboratorion toimintaan
- kykenee esimiestehtäviin
- osaa toimia yhdyshenkilönä asiakkaan ja palvelun tuottajan välillä

Laitteanalytiikan osaaminen

- hallitsee näytteenkäsittelytekniikat ja analyysimenetelmien testauksen
- hallitsee monipuolisesti laitteilla tehtävää laboratorioanalytiikkaa
- kykenee soveltamaan itsenäisesti analyttistä osaamistaan ammatissaan

Bioteknologian osaaminen

- hallitsee geenitekniikan menetelmiä ja bioprosesseja
- hallitsee bioprosessituotteiden puhdistamisen ja tuotteiden analysoinnin
- kykenee soveltamaan itsenäisesti bioteknologian osaamistaan ammatissaan

Tavoitteisiin pääseminen pedagogisesti on opetuksen sisällä tapahtuva valinta (Oamk, 2008)

3. Ongelmaperustainen oppiminen

3.1. Määritelmä

Ongelmaperustainen oppiminen, joka on suora käännös englannin kielestä (problem based learning, PBL) on opiskelun ja opetuksen muoto, jossa korostetaan ryhmän keskinäistä vuorovaikutusta, ryhmän yhdessä määrittelemiä oppimistarpeita, vuorovaikutuksellista ja yhteisöllistä tiedonmuodostusta. (Väisänen 2000). PBL:ssä kehitetään oppimistaitoja ja perinteistä ulkoa opettelua vältetään.

Opetusmenetelmässä käytetään hyödyksi opiskelijoiden vanhaa tietoa ja uuden tiedon etsimistä käytännön ongelmien ratkaisussa. (Boud & Feletti 2000, 31; Engel 1999, 33-38). Ongelmaperustaisen oppimisen taustalla on humanistinen ihmiskäsitys. Sen perustalta nousee vahva usko ihmisen omaan tahtoon ja kykyihin. Sen mukaan ihminen on subjekti, jolla on vapaus ja kyky tehdä valintoja ja luoda omia tavoitteita. Ihminen ottaa vastuun omasta elämästään ja hän haluaa kehittyä jatkuvasti. (Lahden ammattikorkeakoulu, 2005)

Ongelmaperustainen oppiminen pohjautuu ajatukselle oppimisen tilannesidonnaisuudesta. Sen mukaan opittavalle sisällölle saavutetaan parempi käyttöarvo, mikäli oppiminen tapahtuu aitoja tosielämän ongelmia ratkomalla aiheen pelkän teoreettisen käsittelyn sijaan. Ongelmakeskeisellä oppimisella on myös todettu olevan toivottavia vaikutuksia opittavan asian ymmärtämiseen, opiskeltavan sisällön liittämiseen aiempiin tietorakenteisiin, itsesäätelyyn, ongelmaratkaisutaitojen kehittymisen, oman oppimisen suunnitteluun sekä oppimiseen liittyviin asenteisiin (Capon & Kuhn, 2004).

Pohjimmiltaan ongelmalähtöinen oppiminen on ajattelutapa, joka poikkeaa paljon sisältökeskeisestä oppimisesta. Eroa voidaan tarkastella asiantuntijuuden näkökulmasta. Sisältökeskeisessä ajattelussa asiantuntijuus lähtee sisällöstä. Asiantuntija on sellainen, joka tietää paljon asioita ja pystyy sanomaan miten asia on. PBL:ssa asiantuntijalla on kyky tunnistaa ongelmat ja tietää miten on helpointa lähteä etenemään ongelman ratkaisussa. Ongelmien käsittely edellyttää paljon propositionaalista tietoa. (Boud & Feletti 2000, 55) Propositionaalinen tieto edellyttää kieltä, jonka merkkien avulla voidaan muotoilla väitelauseita. Tavallisin propositionaalisen tiedon ilmaisukeino on luonnollinen kieli, vaikka vastaavanlaista tietoa voidaan ilmaista myös merkeillä, piirroksilla ja äänillä. (Koskennurmi-Sivonen, 2008). Asiantuntijuus ei kuitenkaan ole sama asia kuin propositionaalinen

tieto. Ongelmalähtöisessä ajattelussa kehitetään kykyä hankkia propositionaalista tietoa tarpeen mukaan ja käyttää sitä mahdollisimman hyödyllisesti. PBL ei kiistä sisällön tärkeyttä, vaan se kiistää abstraktin tiedon hankinnan olevan paras tapa hankkia tietoa. Ongelmalähtöisessä menetelmässä edellytetään ”miten jokin asia on-” ja ”miten jokin asia tehdään”-tiedon välillä on voimakas yhteys. PBL:ssa ei määrätä mikä on olennaista sisältöä toisin kuin sisältökeskeisessä opetuksessa (Boud & Feletti 2000, 55).

3.2. Toteutusmallit

Ongelmaperustaista oppimista kuvaillaan erilaisten mallien avulla. Osa niistä painottaa ongelmanratkaisun prosessin kuvausta ja osa toimii laajemmin työskentelyn strategiamallina. Ongelmaratkaisuun keskittyvät mallit ovat käyttökelpoisia erityisesti PBL:n soveltamisen alkuvaiheessa, koska ne jäsentävät oppimisprosessia tarkasti. Niiden myötä ongelmaperustainen oppiminen voidaan yksinkertaistaa tekniikan tasolle tai rinnastaa suoraan ongelman ratkaisuun. Polyan esittämä strategia: määrittele, suunnittele, toimi, katso takaisin, on ongelmanratkaisumallien klassikko. Puhtaat ongelmanratkaisumallit kutistavat ongelmanratkaisun ja sitä myötä oppimisen sarjaksi suoritettavia toimintoja. Ongelmaperustainen oppiminen vaikuttaa koko opetussuunnitelman, opetuksen organisoinnin ja ohjaamisen tasolla. Ongelmaperustaisen oppimisen mallien esitystavat ja oppimisen vaiheiden painotus poikkeavat toisistaan, mutta vaiheet ovat pitkälti yhteneväisiä. (Haapasalo, 1994,179-181)

3.2.1. Ongelmaperustaisen oppimisen 7 askelta

Ongelmaperustaisessa oppimisessa pienelle opiskelijaryhmälle esitetään tapaus, jota ei kyetä heti ratkaisemaan aiemman tiedon pohjalta. Tämän jälkeen edetään ns seitsemän askeleen mukaan (Hakkarainen et. al.1999, 217). Vaiheet 1-5 suoritetaan ensimmäisen tutor-istunnon aikana, jonka jälkeen on itseopiskeluvaihe. Se puretaan toisessa istunnossa (Siivonen, 2005). Seitsemän askelta ovat:

1. käsitteiden selventäminen
2. ongelman määrittäminen
3. aivoriihi
4. ongelman analysointi/selitysmallin rakentaminen
5. oppimistavoitteiden muodostaminen
6. itsenäinen opiskelu
7. purku ja arviointi

1. Käsitteiden selventäminen

Kun opiskelijat ovat tutustuneet virikkeisiin, he etsivät epäselvät käsitteet. Opettaja voi auttaa ongelmallisten käsitteiden selvittämisessä. Tämän vaiheen tarkoitus on välttää mahdollisia väärinymmärtämisä muissa työn vaiheissa ja muodostaa yhteinen kieli aihepiirin ympärille, jota tutkitaan. Aikaa käsitteiden selvittämiseen menee yleensä maksimissaan 5 minuuttia. Mikäli aihepiiri on ennestään opiskelijoille tuttua tai vieraita käsitteitä ei ole, voidaan vaihe ohittaa tarpeettomana. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

2. Ongelman määrittäminen

Tämä askel on tarkoitettu ongelman määrittämiseen. Se määritetään virikkeen pohjalta aivoriiehen lähtökohdaksi. Muodostettu ongelma on työotsake, joka kertoo mistä ongelmassa on kysymys. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

3. Aivoriihi

Aivoriihi on yksi luovan ongelmanratkaisun standardimenetelmistä, jolla tuotetaan ideoita ryhmässä. Sen tarkoituksena on aktivoida aikaisemmat tiedot aihepiiristä. Aivoriihikokouksella on vetäjä ja noin 5 - 12 hengen ryhmä, joka ideoi ratkaisua ongelmaan tai tilanteeseen, jonka toivotaan olevan toisin. Suurta ryhmää käytetään siksi, että tottumattomilla ideanikkareilla on vaikeuksia löytää pienessä ryhmässä lennokkaita ideoita. Toisaalta suuressa ryhmässä on helpompaa vetäytyä taka-alalle.

Sen tähden ryhmän vetäjän on oltava herkkä vaistoamaan ideoinnin ongelmat ja pyrittävä ohjaamaan ryhmän työskentelyä.



KUVA 2. Aivoriihivaihe, jossa ryhmän vetäjä kirjaa kaikki esitetyt ideat näkyviin (Lavonen, Meisalo et al., 2008)

Aivoriihi-istunto alkaa esivaiheella, jossa ongelma rajataan ja asetetaan. Sen jälkeen pyritään vapautumaan turhista ennakkoluuloista ja mieltä rajoittavista tekijöistä. Ideointivaihe alkaa vapaalla ideoinnilla. Tässä vaiheessa ryhmän jäsenet ottavat esiin ongelmaan liittyviä asioita perustelematta. Opiskelijat eivät kritisoi tai kommentoi toisten esille ottamia asioita, vaan tarkoituksena on listata mahdollisimman paljon esille tulevia asioita, jotka sihteeri listaa (KUVA 2). Valintavaiheessa tarkastellaan ideoita ja arvioidaan niitä kriittisesti. Valintavaihe ei varsinaisesti kuulu aivoriiheen. Tuotetut ideat voidaan arvioida siten, että kukin ryhmäläinen käy merkitsemässä plus-merkin hyväksi katsomansa idean perään. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

Standardiaivoriihestä on monia muunnelmia. Ideakävelymenetelmässä (KUVA 3) kukin ryhmäläinen kirjoittaa taululle niin monta ideaa, kun tulee mieleen. Kun ideointi alkaa tyrehtyä, ryhmäläiset alkavat tarkastella muiden ideoita. Näitä kehitellään edelleen ja näin syntyneet ideat kirjoitetaan aina alkuperäisten läheisyyteen. Toisten esittämät ideat synnyttävät yleensä uusia ideoita, jotka myös kirjataan näkyviin. Ideat voidaan lopuksi arvioida edellä kuvatulla plus-tekniikalla. Aivoriihi voidaan tehdä myös pöydän ääressä. Kukin ryhmäläinen kirjoittaa paperilapulle yhden idean ja laittaa sen oikealle puolelleen. Kun omat ideat alkavat loppua, otetaan vasemmalta puolelta pinon päällimmäinen naapurin idea. Lopuksi

ideakortit lajitellaan ja arvioidaan. Ideakortteja kierrättämällä saadaan toisten ideoista virikkeitä uusille ideoille. (Lavonen, Meisalo et al., 2008)



KUVA 3. Ideakävelymenetelmä. Ryhmäläiset kirjoittamassa ideoita taululle. (Lavonen, Meisalo et al., 2008)

4. Ongelman analysointi/selitysmallin rakentaminen

Ongelman analysointivaiheessa aivoriivessä esille tuodut asiat ryhmitellään kokonaisuuksiksi, joiden pohjalta hahmotellaan ilmiölle selitysmalli. Tarkoituksena on luoda yhteyksiä ja syy-seuraus -suhteita listattujen asioiden ja selitysten välille. Kokonaisuus hahmottuu paremmin yhteyksien kautta kuin pelkillä idealuetteloilla. Ilmiöön liittyvät epäselvät kohdat ja selitysmallissa olevat aukot otetaan huomioon tässä vaiheessa. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että sihteeri muodostaa yhteyksiä ryhmäläisten ehdotusten pohjalta käyttäen apunaan tarralappuja, yhdistäviä viivoja ja nuolia. (Husko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

5. Oppimistavoitteiden muodostaminen

Tämän askeleen tarkoituksena on luoda ryhmän jäsenille yhteiset oppimistavoitteet, jotka helpottavat itseopiskelua ja asiasta keskustelua purkutilanteesta. Oppimistavoitteet pohjautuvat asioihin, joita opiskelijat huomasivat, että he eivät vielä tiedä ong-elmaan liittyen. Tarkoituksena on samalla luoda yhteys selitysmalliin ja siinä esiin tulleisiin asioihin. Oppimistavoite tai -tavoitteet muodostetaan selkeästi, hyvin määritellyin käsittein ja termein. Tuutori auttaa tarvittaessa

oppimistavoitteiden muodostamisessa, jos näyttää, että opiskelijoiden muodostamat tavoitteet eivät ole relevantteja asian käsittelyn kannalta. Keskeisintä on opiskelijoiden kuitenkin itse miettiä, mikä käsiteltävässä aiheessa on tärkeintä. Oppimistavoitteita muodostetaan yleensä yhdestä neljään. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

6. Itsenäinen opiskelu

Tämä vaihe alkaa ryhmän muodostamien oppimistavoitteiden pohjalta (Hakkarainen et. al.1999, 217). Niiden saavuttamiseksi opiskelijat perehtyvät tarvittavaan materiaaliin. Materiaali voi olla kurssinpitäjien puolelta löysästi määriteltyä tai sitten opiskelijoiden itsensä etsimää. Esimerkiksi ne voivat olla lähdevinkkejä, kuten käsikirjoja tai artikkeliluetteloita, käsiteltävästä aihepiiristä. Opiskelija oppii arvioimaan käyttämänsä materiaalin sopivuutta ja sen luotettavuutta lähteenä. Opiskelijoille on hyvä korostaa myös opiskeluun käytettävän ajan merkitystä. Materiaalin hankkimiseen ja siihen tutustumiseen sekä purkutilanteeseen valmistautumiseen menee yllättävän paljon aikaa, josta kannattaa puhua opiskelijoiden kanssa etukäteen. Muistiinpanojen tekeminen materiaalista on tärkeää, jotta on mahdollista palata käsiteltyyn asiaan myös myöhemmin. Itseopiskelun aikana muodostetaan yhteyksiä aikaisemman tiedon ja uuden tiedon välille. Tarvittaessa voidaan ottaa yhteyttä myös ryhmän tuutoriin tai kurssin vastuushenkilöihin epäselvien kohtien selvittämiseksi. Itseopiskeluun täytyy varata aikaa vähintään puolitoista työpäivää. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

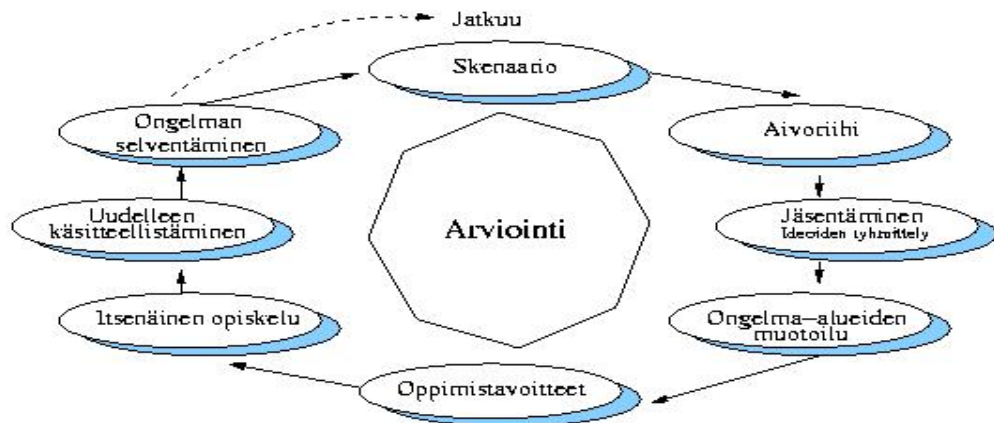
7. Purku ja arviointi

Oppimistehtävän purkutilanne, on tapahtuma, jossa keskustellaan ryhmässä itseopiskelun jälkeen. Keskustelussa käydään läpi mitä ryhmän jäsenet ovat saaneet selville käsiteltävästä aiheesta. Jokainen tuo esille lyhyesti ja ytimekkäästi, mitä jokainen on opiskellut välipäivien aikana. Opitun tiedon perusteella pyritään yhdessä vastaamaan asetettuihin oppimistavoitteisiin ja luomaan yhteyksiä annettuun virikkeeseen. Purkutilanteessa opiskelijat voivat myös kysyä itseopiskelun aikana ilmenneitä epäselviä kohtia. Purkutilaisuuden tarkoituksena on, että jokainen ryhmäläinen ymmärtää käsiteltävään aiheeseen liittyvän ilmiön tarvittavalla

syvyydellä. Purkutilannetta helpottaa, jos sovitaan, mitä asioita käsitellään ja miten paljon niihin käytetään aikaa. Tässä erityisesti ryhmän puheenjohtajalla on merkittävä rooli. Jokaisessa purkutilanteessa on lyhyt kierros, milloin ryhmän jäsenet voivat arvioida mitä mieltä olivat ryhmän toiminnasta sekä tapauksesta. (Huusko, Jokinen & Sarajärvi, 2001)

3.2.2. Syklimalli

Oppimisen kokemuksellisuutta korostavissa ongelmaperustaisen oppimisen malleissa painottuu vaihe- ja askelmalleja enemmän oppimisen prosessiluonne, ongelmanratkaisun jatkuvuus ja jatkuvan arvioinnin merkitys. Näissä malleissa oppimis- ja ongelmanratkaisuprosessi esitetään syklisessä muodossa (Poikela, 1998, 77). Ongelma on luonteeltaan skenaario, joka voi laajimmillaan kantaa oppimista pidemmälle kuin yhden oppimissyklin ajan (ks. kuva 4).



KUVA 4. Syklimallin vaiheet. (Poikela, 1998)

Mallin ensimmäisessä vaiheessa oppijat pyrkivät pääsemään yhteisymmärrykseen miten skenaariota tarkastellaan ja ongelmaan liittyvistä käsitteistä. Toisessa vaiheessa on tarkoitus on tuoda esiin aikaisempi skenaarioon liittyvä tietämys ja saada uusia ideoita ongelman käsittelyyn. Kolmannessa vaiheessa ideat ja tietämys jäsenetään eri ryhmiin. Neljännessä vaiheessa taas kolmannen vaiheen ideoista valitaan käsittelyn kannalta tärkeimmät osa-alueet. Sen jälkeen määritellään

oppimisen tavoitteet niiltä osa-alueilta, joissa ryhmällä näyttää olevan epäselvyyttä. Kuudennessa vaiheessa on opiskelijoiden itsenäistä opiskelua. Seitsemännessä vaiheessa tavoitteena on johtaa hankittu tieto ongelma-alueiden uudelleen käsitteellistämiseen. Lopuksi palataan alkuperäiseen skenaarioon ja pyritään selkiyttämään kuvaa etenemisestä. Siinä voidaan myös luoda uusi pohja etenemiselle. (Poikela, 1998)

3.3. Opettajan ja opiskelijan rooli

PBL on konstruktivismia, joka perustuu käsitykselle oppijasta aktiivisena tiedon muokkaajana sekä käsitykselle itse tiedon dynaamisuudesta. Konstruktivistisen käsityksen mukaan tietoa ei voida sellaisenaan välittää oppijalle, vaan oppija on aktiivinen tietorakenteiden muodostaja oppimisprosessissa. Oppija tulkitsee tiedon omalla tavallaan ja luo tiedon konstruktionsa aikaisempien tietojensa ja kokemustensa pohjalta. Myös oppimistilanteen fyysiset ja sosiaaliset tekijät vaikuttavat muodostuvaan konstruktion. Oppijan ajattelun aktiivisuus, tiedon käsittelytaidot sekä niitä ohjaavat metakognitiiviset taidot ovat konstruktivistisen oppimiskäsityksen avaintemoja. (Virtuaaliyliopisto, 2006)

Ongelmaperustaisessa opetuksessa opettajan rooli on erilainen kuin perinteisessä opetuksessa. Perinteisessä opetuksessa opettaja toimii auktoriteettina ja tiedon jakajana, kun taas PBL:ssa opettajan tehtävänä on auttaa opiskelijoita läpi kustakin keskustelun ja päätöksenteon vaiheesta, sekä toimia ennaltaehkäisevästi ja välittävästi ryhmän yhteistyön vaikeuksissa. (Boud & Feletti 2000, 39)

Ongelmaperustainen oppiminen on ennen kaikkea ryhmätyöskentelyä ja se saattaa aiheuttaa vaikeuksia yksilötyöskentelijöille. Jotta ryhmätyöskentely toimii, on ryhmä dynamiikan oltava toimivaa ja ryhmän työskentelyn täytyy johtaa haluttuun lopputulokseen. PBL on oppimismuoto, joka vaatii opiskelijoilta aktiivista osallistumista. Opiskelijan on itse otettava vastuu oppimisestaan. (Poikela, 1998)

3.4. Vahvuudet ja heikkoudet

Ongelmaperustaisen oppimisen vahvuutena on sen tiedonhankinnan ja sovellustaitojen kehittäminen. Sisältöön liittyvää tietoa opitaan tehokkaasti tosielämän ongelmaan liittyvässä asiayhteydessä. Opiskelijoiden selitysmallien rakentaminen edistää tiedon ymmärtämistä. Ongelmaperustainen oppiminen lisää mielenkiintoa opittavaan asiaan itseasetettujen tavoitteiden kautta. PBL on työelämälähtöistä. Kritiikkiäkin on PBL:ää kohtaan esitetty ja heikkouksiakin löytyy. Sen toteuttaminen on vaativaa ja vie enemmän aikaa kuin perinteinen opetus. Kyseessä on uusi opetusmuoto ja se aiheuttaa muutoksen pelkoa ja ennakkoluuloja PBL:ää kohtaan. Opetusmuotoa pidetään epäsystemaattisena. Oppimistuloksia pidetään vaillinaisina opiskelijoiden vastuun vuoksi. (Hakkarainen, et. al., 1999)

3.5. Arviointi

Arviointimenetelmän lähtökohtana voidaan pitää sitä, että mitä halutaan arvioida. Yksityiskohtaisten käyttäytymistä koskevien tavoitteiden mukainen arviointimalli olisi PBL menetelmän antiteesi. Kannattaa kuitenkin kysyä, onko PBL menetelmällä koulutetun olevan erilainen tai parempi kuin perinteisellä menetelmällä opetettu. Voidaan kuitenkin olettaa, että ongelmalähtöisen tai muunlaisen koulutuksen saaneilla on enemmän samankaltaisuutta kuin eroja. Myös kirjallisuus viittaa tähän (Vernon & Blake, 1993) Ongelmalähtöisestä koulutuksesta valmistuneilla vaikuttaa olevan hieman heikompi tai samantasoinen tietopohja, samantasoiset taidot muilla osa-alueilla ja heidän mielikuvansa opiskeluajasta on positiivisempi. Erojen puutteen voi väittää johtuvan ongelmaperustaisen arviointimenetelmän riittämättömyydestä. (Boud & Feletti, 2000, s.297)

Yksi ajatuksista on, että PBL:n keskeinen tehtävä on ongelmanratkaisutaitojen hankkiminen ja kehittäminen. Näitä taitoja voidaan soveltaa käytäntöön. Tältä

pohjalta on kehitettävä keinoja mitata ongelmanratkaisutaitoja tietopohjasta riippumattomasti. (Boud & Feletti, 2000, s.298)

Koska tieto ja ongelmanratkaisu ovat läheisesti yhteydessä, voidaan vaatia, että opiskelijat tietävät jotakin ja se pitäisi pystyä testaamaan. Tähän liittyy kaksi kysymystä. Ensinnäkin mikä on paras tapa testata PBL:n avulla saatua tietoa ja toiseksi millainen vaikutus testauksella on oppimiseen. Monivalintatehtäviä suositetaan testimenetelmänä. Lyhyesti lauseilla vastattaviin kysymyksiin perustuva menetelmä ei ole niin tehokas. (Norman et al, 1987) Viimeaikoina on kokeiltu monivalintatehtäviä, jotka perustuvat kliiniseen aineistoon. Tämän on oletettu vaativan parempia prosessointitaitoja ja on täten erottelevampi. Ainakaan yhden tutkimuksen mukaan etua ei löytynyt. (Case et. al., 1996; Boud & Feletti, 2000, s.299)

Loppuenttien käyttö ongelmalähtöisen arvioinnin menetelmänä voidaan kyseenalaistaa. On osoitettu, että kokeet ohjailevat voimakkaasti opintosuunnitelmaa (Newble & Jaeger, 1982) ja tämä vaikutus näkyy myös PBL-koulutuksessa (Blumberg & Daugherty, 1989) huolimatta opettajien taipumuksesta vähätellä asiaa. Opettajilla on taipumus ja tarve osoittaa opiskelijoiden kyvyt. Taitoa vaatiikin sellaisten arviointimenetelmien käyttö, jotka ohjaavat opiskelijoiden oppimista. (Boud & Feletti, 2000, s.299)

Yksi ratkaisu kokeiden opetussuunnitelmaa ohjaavaan vaikutuksen on edistymisen testaus. Tämänkaltaisen testaamisen pioneereja ovat Maastrichtin yliopisto (Verwijnen et. al, 1982) ja Missourin yliopisto (Arnold ja Willoughby, 1990). Opiskelijoita testataan useita kertoja vuodessa opintosuunnitelman kokonaisuuksista riippumattomina ajankohtina ja testattavat asiat kattavat koko lääketieteen alan. Tutkimuksen mukaan tällä menetelmällä ei ole opiskelijoiden oppimista ohjaavaa vaikutusta millään tasolla. (Blake, et. al,1996; Boud & Feletti, 2000, s.299)

3.5.1. Arviointimenetelmiä

Ongelmalähtöiset opetusohjelmat korostavat yleensä kommunikaatiotaitoja tutoriaaliryhmissä, vastuun ottamista oppimisesta, oppimaan oppimista sekä

ongelmanratkaisutaitojen kehittämistä. Sen seurauksena prosessikeskeiset arviointimenetelmät yleensä keskittyvät yhteen tai useampaan näistä. (Boud & Feletti, 2000, s.305)

Tutor-, vertais-, ja itsearviointia käytetään yleisesti monenlaisten taitojen, mm. työmäärän, itseohjatun oppimisen, ryhmätyöskentelyn ja viestintätaitojen arviointiin. Tutorien ja vertaisryhmän käyttäminen perustuu uskomukseen, että työtoverit pystyvät arvioimaan toisiaan. Itsearviointien käyttö sopii hyvin yhteen sen kanssa, että ongelmalähtöinen oppiminen korostaa oppilaan omaa tietomäärän arvostelua oppimisprosessin osana. Arviointien käytössä on psykologisiin mittauksiin liittyviä ja käytännön ongelmia. (Boud & Feletti, 2000, s.305)

Mahdollisesti esiintyvistä ongelmista olkoon esimerkkinä Maastrichtin yliopiston terveystieteiden koulu. Kun vertaisarviointia käytettiin formatiivisesti, opiskelijat joko eivät ottaneet niitä vakavissaan tai eivät suostuneet täyttämään niitä. Kun käyttö oli summatiivista, arviot olivat tasaisen korkeita ja siten hyödyttömiä. Variaatioita ei saatu tuloksiin, koska keinot näiden saamiseksi aiheuttivat opiskelijoiden keskuudessa suurta vastarintaa. Lopulta tästä piti luopua. Saman yliopiston lääketieteellisessä tiedekunnassa uskotaan, ettei opettajan ja arvioijan rooli sovi yhteen. Ihmissuhteet saavat erilaisen merkityksen, kun opettajat ovat mukana arvioinnissa, ja työtovereiden on vaikea olla objektiivisia. (Boud & Feletti, 2000, s.305)

Nämä tulokset käyvät yksiin tutkimustulosten kanssa, jonka mukaan tutor-, ja vertaisarviointi eivät mittaa juuri mitään. (Rezler, 1989) Yleisesti ottaen eri kohtien väliset korrelaatiot ovat korkeita, mikä viittaa siihen, että yleisvaikutelma pystyttiin arvioimaan, muttei erillisiä taitoja pystytty erottamaan. Lisäksi arvioijien ankaruudessa on eroja, joten erot opiskelijoiden välillä saattavat kuvastaa eri arvioijien erilaisia arviointiperusteita. Itsearviointinnissa on samankaltaisia ongelmia. (Boud & Feletti, 2000, s.305-306)

Oppimisharjoitus on toinen prosessikeskeinen arviointimenetelmä. Siinä arvosanojen annossa voidaan kiinnittää huomiota sekä prosessikeskeisiin että tuloskeskeisiin osaluokkiin. Esimerkkinä olkoon nk. ”kolmiloikka-harjoitus” (Painvin et al, 1979).

Kullekin oppilaalle annetaan ongelmatilanne. Tehtävästä ja oppimistarpeista keskustellaan suullisen kuulustelijan kanssa. Sen jälkeen haetaan ja käydään läpi lähdeaineistoa. Lopuksi opiskelijat tapaavat alkuperäisen suullisen kuulustelijan ja keskustelevat tehtävästä tehdyistä päätelmistä, käytetyistä lähdeaineistosta ja suorituksen laadusta. Tämän jälkeen ongelmanratkaisutaidot arvioidaan ja tiedot tehtävästä. (Boud & Feletti, 2000, s.306)

Harjoitus muistuttaa kontrolloitua ja standardisoitua ongelmalähtöistä oppimisprosessia. Vaikka psykologisiin mittauksiin liittyvää tutkimusta on vähän (Powles et al, 1981), on todennäköistä, että opiskelijoiden suoritukset vaihtelevat paljon. Yhden tai muutaman tehtävän kokeet eivät anna toistettavissa olevaa, tarkkaa kuvaa opiskelijoiden taidoista. (Boud & Feletti, 2000, s.306-307)

Prosessikeskeinen opiskelijoiden arviointimenetelmä voi perustua myös oppimistapahtuman huomaamattomaan mittaamiseen. Se voi olla esimerkiksi artikkeleita, kirjoja tms. Vaihtoehtona voi olla opiskelijan pitämä päiväkirja oppimisestaan. Näitä menetelmiä kuitenkin käytetään yleensä opinto-ohjelmien kuin opiskelijoiden arviointiin. (Boud & Feletti, 2000, s.306)

Ongelmaratkaisutaitojen kehittäminen on eräs ongelmalähtöisen oppimisen painopisteistä, joten näiden taitojen arviointi on luontevaa. Tutkimuksen mukaan esim. lääketieteellistä ongelmanratkaisua ei tule pitää yhtenäisenä, sisällöstä riippumattomana taitona, joka ajan myötä kasvaa. (Norman, 1988) Prosessin tehokkuus riippuu ongelmanratkaisuprosessia tukevien tietojen ja taitojen rakenteen yksityiskohdista, ei prosessin karkeammasta tiedosta. (Boud & Feletti, 2000, s.307)

Elabruoitua tietoa pidetään soveliaana arvioinnin kohteena. Koekysymysten tulisi edellyttää, että oppilaat soveltavat oikeiden ongelmien ratkaisussa tietojaan. Koetehtäviin vastatessaan opiskelijoiden pitää pystyä analysoimaan esitetty tilanne ja päätellä ratkaisu. Kysymysten siis pitää edellyttää opiskelijoiden soveltavan tietojaan usein esiintyvissä käytännön ongelmissa. (Boud & Feletti, 2000, s.308)

Useita arviointimenetelmiä voidaan käyttää elabruoidun tiedon mittaamiseen ongelman ratkaisussa. Puolestapuhujia löytyy niin kirjoitetuille tai

tietokonepohjaisille kliinisille simulaatioille, esseille, monivalintakokeille kuin pikkukysymyskokeillekin. (Boud & Feletti, 2000, s.309)

Tietokonepohjaiset tai kirjoitetut kliiniset simulaatiot aloitetaan yleensä alkuasetelmalla, jossa kuvaillaan ongelma. Tämän jälkeen oppilaat keräävät tietoa ongelman ratkaisemiseksi. Kirjoitetussa simulaatiossa käytetään valikkoa vaihtoehtojen valitsemiseen ja valintojen seurausten paljastamiseen.

Tietokonesimulaatioissa näppäimistö ja näyttö ajavat saman asian. (Boud & Feletti, 2000, s.309)

1980-luvulle asti erityisesti lääketieteessä kliinisiä simulaatioita käytettiin, mutta niissä on puutteita. Psykometrisen tutkimuksen mukaan opiskelijoiden vastaamistyyli vaikutti liikaa pisteisiin. Tarvittiin myös hyvin pitkiä kokeita, jopa 10 tuntisia, jotta saatiin toistettavissa olevia tuloksia. Tämän vuoksi kliinisistä simulaatioista on luovuttu. (Boud & Feletti, 2000, s.309-310)

Esseet ovat suosittuja ongelmalähtöisissä koulutusohjelmissä. Tämä koemuoto antaa perusteellisen arvioinnin ongelmanratkaisutaidoista. Ongelmia syntyy, jos pisteitä aiotaan käyttää summatiiviseen arviointiin. (Norcini et al, 1990) Kysymysten epämääräisyyden vuoksi opiskelija joutuu liian usein arvailemaan, mitä opettaja tehtävällä tarkoittaa. Kysymykset vievät paljon aikaa vastaamiseen ja tarkastamiseen. Sen vuoksi tehtäviä on usein vähän. Esseekokeet saattavat antaa hyvinkin tarkan kuvan opiskelijoiden ymmärtämyksestä aiheissa, joita todella kysyttiin, mutta epätarkan käsityksen laajemmalla alalla, jolta kysymykset valittiin. (Boud & Feletti, 2000, s.310)

Perinteisistä monivalintakokeista ei pidetä ongelmaperustaisessa arvioinnissa, koska niiden uskotaan arvioivan ainoastaan asiantietoja (West et al, 1985) ja sen seurauksena niillä saattaa olla haitallisia koulutuksellisia vaikutuksia. On kuitenkin mahdollista laatia monivalintakokeita, jotka vaativat soveltamaan ongelmanratkaisussa. (Case ja Swanson, 1996) Tällaiset kokeet säilyttävät monivalintakokeiden hyvät puolet, sisällön laajan otannan, korjauksen helppouden ja suuren luotettavuuden. (Boud & Feletti, 2000, s.310-311)

Pikkukysymyksiä voidaan myös käyttää ongelmalähtöisessä arvioinnissa. (de Graaf et al, 1987) Psykologisiin mittauksiin liittyvien piirteiden tulisi olla samankaltaisia kuin monivalintakokeiden. (Norman et al, 1996) Monivalintakokeiden tapaan pikkukysymyskokeiden arvioimat taidot ovat tehtävisidonnaisia. (Boud & Feletti, 2000, s.313)

Prosessin arviointiin käytetyt välineet ovat läheisessä yhteydessä ongelmalähtöiseen lähestymistapaan. Ne on myös suunniteltu siten, että niillä on suotuisa vaikutus oppimiseen. Psykometrisesti nämä menetelmät ovat kuitenkin suurelta osaltaan arveluttavia ja tärkeiden opintojen etenemiseen liittyvien päätösten perustamista tulisi välttää. Tuloskeskeiset menetelmät ovat puolestaan kehittyneet ja niillä on monia psykometrisiä etuja. Kokeiden tulisi keskittyä tiedon soveltamiseen ongelmanratkaisutilanteissa. Erityisesti monivalintakokeet oikein laadittuina ovat todella tehokkaita. (Boud & Feletti, 2000, s.314-315)

4. Aikaisemmat kokemukset PBL:stä

Kelly et. al ovat kokeilleet ongelmaperusteista opetusta laboratoriotöissä ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoille. Heidän tavoitteenaan oli kehittää opiskelijoiden käytännön taitoja kuin myös tieteellistä ymmärrystä. Ennen varsinaisia laboratoriotöitä oli valmisteleva laboratoriotyöosio. Opiskelijat olivat hyvinkin aktiivisia ja ryhmätyöhenkisiä valmistelevan laboratoriotyöosion aikana. Yhdistelemällä ryhmätyötä, keskustelua ja käytännön harjoituksia, opiskelijoille tarjotaan heidän syvällistä oppimista edistävä ympäristö. (Kelly 2007)

PBL-työt olivat sisällytetty laboratoriomoduliin, jotka kestivät yli 2 lukukautta. Laboratoriotyökerta oli kolmen tunnin mittainen ja se sisälsi valmistelevan laboratoriotyökeskustelun ja/tai suullisen/posteriesityksen, jotka pidettiin laboratoriotyöaikana. Joissain tapauksissa ongelmien käsittelyyn meni kaksi laboratoriotyökertaa. Opiskelijoille annettiin tehtävät viikkoa ennen työvaihetta ja heillä piti olla jotain mustaa valkoisella ennen valmistelevaa laboratoriotyötä. Oli tarkoitus, että opiskelijat etsisivät tietoa teoriasta, käytännön asioista, joilla ongelmaa voi ratkaista ja tarvittavia teknisiä laitteita, joilla työ voitaisiin tehdä.

Valmisteleavassa laboratoriotyövaiheessa opiskelijat pohtivat joko ryhmässä tai yksin, miten ongelmaa voitaisiin ratkaista. Ennen laboratoriotyötä oli demonstraatioita työturvallisuudesta ja laitteiden käytöstä. Laboratoriotyöskentely tehtiin joko yksin tai ryhmissä. Ongelman ratkaistua opiskelijat kirjoittivat raportit ja joissain tapauksissa pidettiin suullinen esitelmä tai posterisessio työstä. (Kelly, 2007)

Ensimmäinen vaihe ongelmaperustaisen laboratoriotyöskentelyn kehittämisesssä oli pohtia miten päästään haluttuun lopputulokseen, kun laboratoriotyön pitäisi kehittää erilaisia taitoja. Garratin (1997) mielestä laboratoriotöiden pitäisi kehittää mm. teknisiä taitoja, tulosten tulkitsemista, suullisia taitoja ja raportointia. Laboratoriotöiden pitäisi myös lisätä kokemusta tieteellisen kokeen suunnittelemisesta ja vahvistaa alan tietämystä. (Garratt 1997)

Ongelmaperustainen laboratoriotyöskentely sisälsi töitä kolmelta eri kemian alalta: analyttisestä, orgaanisesta ja fysikaalisesta kemiasta. Työt käsittelivät happo/emästeoriaa, titrimetriaa, moolien laskemista, reaktionopeuksia, kaasulakia, Lambert-Beerin lakia, uudelleen kiteyttämistä ja orgaanista synteesiä. (Kelly 2007)

Seuraava vaihe suunnittelussa oli opetus- ja oppimisympäristön suunnitteleminen. Tässä vaiheessa suunniteltiin valmistelevat laboratoriotyöt, ryhmätyöskentely, keskustelu ja arviointi. Nämä kaikki olivat arvioinnin elementtejä. Ongelmat pääasiassa kohdistuivat käsitteisiin, taitojen kehittämiseen tai asioiden ymmärtämiseen. Esimerkiksi käsitteellinen ongelma oli selvittää olivatko omenat tai appelsiinit happamia ja määrittää happamuus. Taitoja sai harjoitella keittämällä kananmuna käyttämättä polttoperustaista lämpölähdettä. Ymmärrystä puolestaan sai kehittää ongelmassa, jossa piti suunnitella sarja kokeita, jotka tukivat kaasulakeja. Ongelmat olivat ensimmäisellä viikolla helpompia ja ne vaikeutuivat viikoittain. (Kelly, 2007)

Arvioinnissa pääasiat olivat oppiminen ja arvioinnin vaikutus ryhmätyöhön. Juuri tätä opiskelijat identifioivat arvioinneissaan. Opiskelijoiden mielestä arviointi ei kuvastanut hyvin heidän sitoutumistaan ongelmaan. Arviointi oli hyvin pitkälti laboratorioraporttien varassa. Ryhmätyöskentelyä ei arvioitu negatiivisesti. (Kelly, 2007)

Yleisesti ottaen hyödyllisimpinä pidettiin valmistelevaa laboratoriotyötä ja ryhmätyöskentelyä. Sekä perinteisellä että PBL-menetelmällä tehdyt laboratoriotyöt opettavat opiskelijoille samoja tekniikoita ja kemian käsitteitä samalla aikamäärällä ja resursseilla. PBL antaa enemmän ulottuvuuksia taitojen kehittämiseen, käsitteiden ymmärtämiseen ja kokeelliseen prosessiin. Kaiken lisäksi PBL:llä toteutetut laboratoriotyöt olivat opiskelijoiden mielestä hauskoja. (Kelly, 2007)

5. Kurssin suunnittelun aloittaminen

Laboratorioalan koulutusohjelmavastaava Pirkko Kekarainen kiinnostui käyttämään ongelma-perustaista opetusta syksyn 2009 opintojaksolla. Etäisyyden vuoksi olemme olleet yhteyksissä sähköpostitse. Sovimme, että teen kehittämishankkeena laboratorioskurssin, johon sisältyy myös tilastotieteen laskuharjoituksia analyttiseen kemiaan soveltaen ja tiedonhakuharjoituksia. Laboratoriotyö toteutetaan PBL:n periaatteiden mukaisesti 7 askeleen menetelmää soveltaen. Teen kaiken kurssimateriaalin. Pirkko Kekarainen toteuttaa sen. Kurssilla on tarkoitus kokeilla miten hyvin PBL soveltuu laboratoriotyöskentelyyn. Kurssi on osa kolmannen vuoden menetelmäntestausopintoja, jonka kokonaisopintopistemäärä on 10 op eli kontaktitunteina 140 tuntia. Kehittämishankkeeni on osa väitöstutkimustani.

6. Suunnitelma kurssin toteuttamiseksi

6.1. Kurssin sisältö ja tavoitteet

6.1.1. Tavoitteet

Kurssin tavoitteena on opiskelijan luonnontieteellisen ajattelutavan kehittäminen, kemian teorian soveltamiskyky käytäntöön, tiedonhankinnan oppiminen, ongelmanratkaisutaitojen ja ryhmätyöskentelyn kehittäminen. Tavoitteena on myös se, että opiskelija hallitsee erilaisten analyysimenetelmien validoinnin ja testauksen sekä ymmärtää validoinnin merkityksen analyysitulosten luotettavuuden ja laboratorion toiminnan kannalta.

6.1.2. Sisältö

Kurssi alkaa tavoitteiden määrittämisellä ja johdatuksella PBL:ään. Esitetään video PBL:n periaatteista ja tehdään yksi harjoitus PBL-ryhmätyö. Tähän käytetään aikaa 4 tuntia.

Tämän jälkeen on kaksi tuntia kestävä PBL-ryhmätyöskentelyn toteutus. PBL-ryhmätyöskentelyssä sovitetaan 7 askeleen menetelmää. Ensimmäiset 5 askelta käydään yhden istunnon aikana. Istunnon loputtua tutor tarkastaa löydetyt ongelmat ja antaa itsenäisen osuuden tehtäväksi etsiä 3 määrittämenetelmää, joilla kyseinen metalli voidaan määrittää.

Ennen itsenäistä vaihetta on tiedonhakuharjoituksia. Harjoitukset kestävät 2 tuntia. Harjoituksissa etsitään artikkeleita ammattikorkeakoulun tietokantoja hyväksi käyttäen. Harjoituksissa annetaan tehtäväksi etsiä jonkin metallin määrittämenetelmä, joko ennalta sanottuna tai opiskelijat voivat itse etsiä sen.

Tiedonhakuharjoituksia seuraa PBL-projektien suunnitelman esittely ja keskustelu, jossa kaikki ryhmät esittelevät hakemansa menetelmät. Menetelmistä valitaan kaksi, joilla varsinainen laboratoriotyö tehdään. Itsenäinen työ jatkuu, mikäli sopivia menetelmiä ei ole löydetty. Mikäli näin käy, tutor opastaa oikealle uralle ja tarkastaa menetelmät ennen laboratoriotyöskentelyä. Tämä vaihe kestää 2 tuntia.

Ennen laboratoriotoita on 4 tuntia kestävä tilastotieteen harjoitukset analyyttisen kemian kontekstissa. Käydään läpi keskiarvo, keskihajonta, varianssi, luottamusväli, kalibrointisuora, lineaarinen regressio, havaintoraja, F-testi ja t-testi. Nämä ovat tilastotieteellisiä työkaluja, joita analyyttisen kemian tutkimustulosten tarkastelussa

tarvitaan. Ennen varsinaisia harjoitustehtäviä esitetään esimerkkejä ja harjoitustehtävät lasketaan yhdessä käyttäen Excel-ohjelmaa.

PBL-tutkimuksen kokeellinen osuus, jona on siis laboratoriotyöskentely, tehdään valvovan silmän alla. Laboratoriotöihin on varattu aikaa 20 tuntia. Saaduista tutkimustuloksista tehdään esitelmä, jotka esitetään tutorille ennen suullista esitystä. Samalla tarkastetaan ovatko laskut oikein ja tehdään tarvittavat korjaukset.

Esitelmät + opponointi toimii seitsemäntenä vaiheena. Tähän on varattu aikaa 3 tuntia. Kullakin ryhmällä on opponoiva ryhmä, joka on valittu PBL-projektien esittelyvaiheessa. Opponointivuorossa oleva ryhmä tutustuu opponoitavan ryhmän tutkimustuloksiin ennen esitelmiä ja muodostaa kysymyksiä niistä. Kysymykset esitetään esitelmien jälkeen ja keskustellaan niistä myös muiden ryhmien kanssa.

Kurssista on kolmen tunnin tentti, jonka yhteydessä täytetään arviointilomake. Tehtäviä tulee myös PBL:stä. Lopuksi on kurssin koonti, jossa puretaan arviointilomakkeet ja tunnot kurssista. Kurssin koontiin on varattu aikaa tunti.

Kurssin tuntijako on liitteessä 1.

6.2. PBL-ryhmätyöskentelyn toteutus

Ryhmäkoko voi olla maksimissaan 15 opiskelijaa. Ryhmä jaetaan kolmeen suurin piirtein yhtä suureen pienryhmään. Tällöin kussakin ryhmässä on maksimissaan 5 opiskelijaa, mikä on ehdoton maksimi laboratoriotyöskentelyn toteuttamiseksi. Suuremmissa ryhmissä ongelmaksi tulee sählääminen ja mahdollisuus jäädä taustalle ja teettää työ muilla. Tutor esittelee virikkeet, joista kukin pienryhmä valitsee yhden kolmesta virikkeestä. Hyvä virike on mieleenpainuva ja kiinnostava. Sen pitää aktivoida oppijan aikaisempi tieto. Hyvän virikkeen pitää myös mahdollistaa erilaisia näkökulmia. Hyvä virike saa opiskelijat tekemään itsenäisiä päätöksiä ja arviointeja perustellen saadun tiedon perusteella. (Huusko)

Virikkeiden tekeminen oli haastavaa. Piti saada riittävän mielenkiintoisia ja haastavia muttei liian vaikeita. Pyrin luomaan virikkeisiin todelliseen elämään liittyviä ongelmia ja joitain harhauttavia asioita. Harhauttavaa on arkipäivän elämään liittyviä asioita. Opiskelijoiden tehtävänä on erottaa oleellinen asia epäolennaisesta. Virikkeet ovat osin keksittyjä. Kaikella ei ole todellisuuspää. Vesien epäpuhtauksien ongelmat ovat todellisia, joita voi tulla, mikäli kyseistä metallia ihminen saa liikaa.

Virikkeiden tekemiseen sain hyviä neuvoja Helsingin yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan koulutussuunnittelija Matti Aarniolta sekä teknillisen korkeakoulun Design Factoryn tutkijoilta Tuija Björklundilta ja Meri-Maaria Elorannalta. Virikkeen tehtävä on herättää mielenkiinto ja sen perusteella ratkaista mikä on ongelma. Virikkeet ovat liitteenä (LIITE 5.)

6.3. Oppimateriaali

Kurssin tilasto-osion runkona on kirja Miller & Miller: Statistics for analytical chemistry. Laadin tämän kirjan ja Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen epäorgaanisen ja analyttisen kemian osaston tutkimustulosten pohjalta tilastomateriaalin, joka on liitteessä 2. Laatimani tilastomateriaalin ja Millerin kirjan pohjalta laadin laskuharjoitukset vastauksineen, jotka ovat liitteinä. (LIITE 3.)

Lisäksi etsin valmiiksi mallimenetelmiä, joiden avulla laboratoriotyöt voi suorittaa. Menetelmät on valittu vanhan tiedon pohjalta ja sellaisiksi, joilla on työ helpointa suorittaa. Tarkoituksena on tehdä laboratoriotyöt mahdollisimman paljon spektrofotometrisillä menetelmillä, koska niitä menetelmiä käytetään teollisuudessa. Vaihtelun vuoksi mukaan on otettu perinteisiä menetelmiä, kuten titrimetriaa. Mallimenetelmistä on liite. (LIITE 4.)

6.4. Arviointi

Yhtenä arviointimenetelmänä on tentti. Tentin tehtävät muotoutuvat kurssin toteutuksen yhteydessä. Myös ryhmätyöskentelyä ja aktiivisuutta arvioidaan. Kurssin

arvosanaksi tulee hyväksyty/hylätty. Kurssin saa suoritettua, kun arviointilomakkeen on palauttanut.

7. Yhteenveto

Ongelmaperustainen opetus vaikuttaa opetusmuodolta, joka voisi hyvin soveltua ammattikorkeakouluopetukseen. Ammattikorkeakouluissa, varsinkin tekniikan aloilla, projektit ovat olennainen osa opetusta. Ammattikorkeakoulut eivät ole kiinnostuneet yliopistojen käyttämistä reseptimenetelmistä laboratorio-opetuksessa. Mitä lähempänä käytäntöä ja työelämää, sitä parempi. Harmi, että toteutus on vasta syksyllä. Luottavaisin mielin odotan kokeilua. Mikäli tulokset ovat positiivisia, haluan soveltaa ongelmaperustaista opetusta laajemmaltikin ammattikorkeakouluopetuksessa.

LÄHTEET

Arnold, L., & Willoughby, T.L. (1990) The quarterly profile test, *Academic Medicine*, 65,515-516

Blake, J.M., et al, (1996) Introducing progress testing in McMaster University's problem based medical curriculum: Psychometric properties and effect on learning, *Academic Medicine*, 71, 1002-1007

Blumberg, P. & Daugherty, S. (1989) "Good student or good physician: what are we trying to encourage?" Esitetty American Educational Research Associationin vuosikokouksessa San Franciscossa

Boud, D.& Feletti, G. (toim.) (2000). *Ongelmalähtöinen oppiminen. Uusi tapa oppia.*

Helsinki, Hakapaino.

Capon, N. and Kuhn, D. (2004). What's so good about problem based learning, *Cognition and Instruction*, 22, 61-79.

Case, S.& Swanson, D.(1996) *Constructing Written Test Questions for the Basic and Clinical Sciences*. Philidelphia: National Board of Medical Examiners

Case, S.M., Swanson, D.B. & Becker, D.F.(1996) Verbosity, window dressing and red herrings: Do they make a better test item? *Academic Medicine*, 71, 528-530

de Graaf, E., Post, G., & Drop, M. (1987) Validation of a measure of clinical problem-solving. *Medical Education*, 21, 213-218

Garratt, J. (1997) Virtual investigations: ways to accelerate experience, *University Chemistry Education*, 1, 19-27

Haapasalo, L. (1994) *Oppiminen, tieto, ongelmaratkaisu*. Vaajakoski, Medusa - software.

Hakkarainen, K., Lonka, K., & Lipponen, L. (1999). *Tutkiva oppiminen, Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen*. Juva, WSOY

Huusko, M. www.joensuu.fi/hallinto/jopke/dokumentit/PBL_Joensuu.ppt (luettu, 16.3.2009)

Huusko, R., Jokinen, S. & Sarajärvi, T. Ongelmaperustaisen oppimisen seitsemän vaihetta. <http://www oulu.fi/opetkeh/kehtoimi/PBL/seitsemanaskelta.html> (luettu 24.08.2008).

Kelly, O.C., Finlayson O.E. (2007) Providing solutions through problem-based learning for the undergraduate 1st year chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, 8, 347-361

Koskennurmi-Sivonen, R. (2008) Tieto, taito ja tekijän hiljainen tieto. <http://www.helsinki.fi/~rkosken/tietojataito.html> (luettu 24.08.2008).

Lahden ammattikorkeakoulu, (2005) Sosiaali- ja terveystieteiden opetussuunnitelma <http://www.lamk.fi/material/tth05e.doc> (luettu 9.3.2009)

Lavonen, Meisalo et al., (2008) Luovan ongelmanratkaisun työtavat. <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/lor/main.htm> (luettu 24.08.2008).

Newble, D.I., & Jaeger, K. (1983) The effect of assessment and examinations on the learning of medical students, *Medical Education*, 13, 263-268

Norcini, J. et al (1990) Free-response formats for evaluating clinical judgement, *Academic Medicine*, 65:9 (liite), S41-S42

Norman, G.R., et al., (1987) Knowledge and clinical problem solving, *Medical Education*, 13, 263-268

Norman, G. (1988) Problem-solving skills, solving problems and problem based learning, *Medical Education*, 22, 279-286

Norman, G. Swanson, D., & Case, S.(1996) Conceptual and methodological issues in studies comparing assessment formats, *Teaching and Learning in Medicine*, 8, 4, 208-216

Oamk, 2008 <http://www.oamk.fi/> (luettu 11.2.2009)

Painvin, C. et al (1979) The triple jump exercise: a structured measure of problem-solving and self directed learning. *Proceedings of the 18th Annual Conference on Research in Medical Education*, 73-77

Poikela, S. (1998) *Ongelmaperustainen oppiminen uusi tapa oppia ja opettaa*. Tampere Tampereen yliopisto jäljennepalvelu

Powles, A. et al. (1981) The triple jump exercise: further studies of an evaluative technique. *Proceedings of the 20th Annual Conference on Research in Medical Education*, 73-79

Rezler, A. (1989) Self-assessment in problem-based groups, *Medical Teacher*, 11, 151-156

Siivonen, T., Sinisalo, T. (2005) *Ongelmalähtöinen oppimisympäristö*. Turku, Turun ammattikorkeakoulu

Vernon, D.T.A., Blake, R.L., (1993) Does problem based learning work? A meta-analysis of evaluate research, *Academic Medicine*, 68, 550-563

Verwijnen, G.M., et.al. (1982) The evaluation system at the medical school at Maastricht, *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 3, 225-244

Virtuaaliyliopisto (2006) Konstruktivismi

http://tievie.oulu.fi/verkkopedagogiikka/luku_3/konstruktivismi.htm (luettu 9.3.2009)

Väisänen, P.(2000) Ongelmaperustainen opiskelu verkossa

<http://sokl.joensuu.fi/verkkojulkaisut/kipinat/PerttiV.htm> (luettu 24.8.2008)

West, D., Umland B., Lucero, S. (1985) Evaluating student performance. Teoksessa A. kaufman (toim.) *Implementing Problem-Based Medical Education*. New York. Springer

LIITTEET

LIITE 1. Kurssin tuntijako

LIITE 2. Tilastomenetelmistä analyttisessä kemiassa

LIITE 3. Laskuharjoitukset

LIITE 4. Mallimenetelmät

LIITE 5. Virikkeet

LIITE 1.

KURSSIN TUNTIJAKO

4h Kurssin tavoitteet ja toteutus, johdatus PBL:ään, esimerkki ja video

2h PBL-ryhmätyöskentelyn toteutus

2h Tiedonhakuharjoituksia

2h PBL-projektien suunnitelman esittely (joka ryhmä) ja keskustelu

4h Tilastotieteen harjoituksia kemian kontekstissa (keskiarvo, keskiahajonta, varianssi, luottamusväli, kalibrointisuora, lineaarinen regressio, havaintoraja, F-testi ja t-testi)

20h Oman PBL-tutkimuksen kokeellinen osuus

3h PBL -projektitöiden esittely + opponointi

3h Tentti ja arviointilomake

1h Kurssin koonti

YHT. 41h opetusta + lisäksi itsenäistä työskentelyä noin 10 h

LIITE 2.

TILASTOMENETELMISTÄ ANALYYTTISESSÄ KEMIASSA

Keskiarvosta ja keskihajonnasta

Käytettyä keskiarvoa kutsutaan **aritmeettiseksi keskiarvoksi**, \bar{x} , joka on kaikkien mitattujen arvojen summa jaettuna mittausten määrällä:

$$\bar{x} = \sum_i \frac{x_i}{n} \quad (\text{kaava 1})$$

Eniten käytetty ja tärkein hajonnan mitta on **standardipoikkeama eli keskihajonta**, s .

$$s = \sqrt{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{kaava 2})$$

Varianssilla tarkoitetaan standardipoikkeaman neliötä, s^2 .

Toinen hyvin laajasti käytetty termi on **variaatiokerroin (CV)** tai **relatiivinen standardipoikkeama (RSD)** ja se saadaan lasketua kaavasta

$$RSD = 100 * \frac{s}{\bar{x}} \quad (\text{kaava 3})$$

CV:n tai RSD:n yksikkö on prosentti ja se on esimerkki suhteellisesta virheestä. Suhteellista virhettä käytetään tulosten tarkkuuksien vertailussa, joilla on eri yksiköt tai suuruudet. (MILLER)

Tilastollisen päättelyn kaksi keskeistä käsitettä ovat luottamusväli ja luottamustaso. Luottamustaso ja luottamusväli ovat täysin toisiinsa sitoutuneita käsitteitä. Tieto luottamusvälistä ei ole mielekäs, jos ei ole tietoa luottamustasosta ja päinvastoin.

Luottamusrajasta

Luottamusväli (*confidence interval*) kertoo millä välillä todellinen perusjoukon tunnusluvun arvo on tietyllä todennäköisyydellä. Tämän alueen ääriarvoja sanotaan **luottamusrajoiksi**. Luottamusvälin laajuus riippuu siitä, millä varmuudella todellinen arvo on rajojen sisäpuolella. Ts. mitä suurempi varmuus, sitä suuremmat välit.

Luottamusväli 95%:n todennäköisyydellä voidaan ilmaista kaavalla:

$$\bar{x} - 1.96\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \bar{x} + 1.96\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (\text{kaava 4})$$

Luottamustaso (*confidence level*) kertoo, millä todennäköisyydellä perusjoukkoa kuvaava tunnusluku on jollain tietyllä luottamusvälillä.

ESIMERKKI

Lasketaan nitraatin ionikonsentraation luottamusrajat 95%: tasolla. Olkoon $\bar{x} = 0.500$ ja $n = 50$. Ainoa tekijä, jota ei tiedetä, on σ . Tällaisessa laajassa otoksessa s :llä ($s = 0.0165$) voidaan korvata σ . Joten luottamusväliksi saadaan 95%:n todennäköisyydellä

$$0.500 - 1.96 * \left(\frac{0.0165}{\sqrt{50}}\right) < \mu < 0.500 + 1.96 * \left(\frac{0.0165}{\sqrt{50}}\right)$$

Yhtälö antaa tulokseksi luottamusväleinen

$$\mu = 0.500 \pm 0.046 \mu\text{g} / \text{ml}$$

Myös luottamusväliä 99%:n todennäköisyydellä käytetään paljon. Se voidaan ilmaista kaavalla

$$\bar{x} - 2.58\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \bar{x} + 2.58\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (\text{kaava 5})$$

Vastaavasti 99.7 %:n luottamusväli on

$$\bar{x} - 2.97\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) < \mu < \bar{x} + 2.97\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (\text{kaava 6})$$

Kun näytteiden määrä pienenee, s :llä ei voi enää korvata δ :aa, koska epävarmuus kasvaa. Tällöin luottamusrajan laskemiseen voidaan käyttää kaavaa

$$\mu = \bar{x} \pm t\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right) \quad (\text{kaava 7})$$

jossa t :n arvo riippuu sekä $(n-1)$:stä, joka tunnetaan **vapausasteena**, ja vaaditun luottamuksen asteesta.

ESIMERKKI

Oletetaan, että spektrofotometrisellä menetelmällä jonkin standardin absorbanssi on 0.470. Kymmenen mittauksen keskiarvoksi saadaan $\bar{x} = 0.461$ ja $s = 0.003$. Nyt pitäisi löytää 95 %:n luottamusrajat mitatulle absorbanssille. 95 %:n luottamusraja on

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{x} \pm t \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \\ &= 0.461 \pm 2.26 * \left(\frac{0.003}{\sqrt{10}} \right) \\ &= 0.461 \pm 0.002\end{aligned}$$

t:n arvo on saatu taulukosta. Tästä huomataan, että tunnettu absorbanssi ei mahdu luottamusvälin sisäpuolelle. Tällöin voidaan olettaa mittauksessa olevan systemaattista virhettä.

F-testistä

On myös tarpeellista verrata keskihajontoja, ts. kahden sarjan satunnaisia virheitä. Vertailuun voidaan käyttää kahta tapaa: voidaan testata onko menetelmä A tarkempi kuin menetelmä B (yksisuuntainen testi), tai voidaan testata eroavatko menetelmät A ja B tarkuudeltaan (kaksisuuntainen testi). Näiden kahden testi ei ole helposti huomattavissa, mutta käytännössä on tärkeitä erottaa nämä toisistaan. Ensimmäisessä tapauksessa voidaan olettaa ettei menetelmä B ole tarkempi kuin menetelmä A. Käänteisen tapauksen mahdollisuus on vain mahdollista testata. Toisessa tapauksessa ei välttämättä tarvitse olla minkäänlaista käsitystä menetelmien tarkkuudesta, jotnen mikä tahansa merkittävä ero voidaan testata sillä tavalla. Siis, jos halutaan tietä onko uusi määrittämenetelmä tarkempi kuin vanha, käytetään yksisuuntaista F-testiä. Jos puolestaan halutaan selvittää miten keskihajonnat eroavat toisistaan, käytetään kaksisuuntaista F-testiä.

F-testi kuvaa kahden näytteen varianssien suhdetta, ts keskihajontojen neliöiden suhdetta. kaavana ilmaistuna se on

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (\text{kaava 8})$$

Osamäärä lasketaan aina siten, että $F \geq 1$. Nollahypoteesina on se, että populaatiot, joista näytteet on otettu on normaali ja populaation varianssit ovat yhtäsuuret. Jos nollahypoteesi on totta, pitäisi varianssien suhde olla lähellä yhtä. Poikkeamat yhdestä johtuvat satunnaisesta hajonnasta, mutta jos ero on liian suuri, ero ei vohtua tästä syystä. Jos F:n laskettu arvo ei alia tiettyä taulukosta saatua arvoa, silloin nollahypoteesi on hylätty. F:n kriittinen arvo riippuu kahden näytteen koosta, merkitsevyytasosta ja käytetyn testin tyypistä.

ESIMERKKI

Lannoiteäytteitä on määritetty ICP-OES:llä kahdessa eri laboratoriossa. Halutaan selvittää onko laboratorioden välillä eroa. Alla olevassa taulukossa saadut mittaustulokset (mg/l Cu)

| LABORATORIO 1 | LABORATORIO 2 |
|------------------|------------------|
| 0.875 | 0.877 |
| 0.883 | 0.880 |
| 0.837 | 0.845 |
| 0.880 | 0.891 |
| 0.898 | 0.892 |
| 0.881 | 0.878 |

Laboratorio 1:n mittaustulosten keskiarvo $\bar{x} = 0.8755$ mg/l ja varianssi $s_1^2 = 0.000417$. Laboratorio 2:n mittaustulosten ka $\bar{x} = 0.8772$ mg/l ja varianssi $s_2^2 = 0.000291$. Käyttäen kaavaa

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

saadaan

$$F = \frac{0.00417}{0.00291} = 1.433$$

Kun taulukosta saatu kriittinen arvo on 5.05, voidaan todeta, ettei laboratorioden välillä ole merkittävää eroa.

F-Test Two-Sample for Variances

| | LBR 1 | LBR 2 |
|---------------------|----------|----------|
| Mean | 0,8755 | 0,877167 |
| Variance | 0,000417 | 0,000291 |
| Observations | 6 | 6 |
| df | 5 | 5 |
| F | 1,433498 | |
| P(F<=f) one-tail | 0,35118 | |
| F Critical one-tail | 5,050329 | |

Riippumattomien otosten t-testistä

Kun vertaillaan kahta täysin toisistaan riippumatonta osajoukkoa toisiinsa ja halutaan tietää eroavatko ryhmien keskiarvot toisistaan, voidaan tilastollisena menetelmänä käyttää riippumattomien otosten t -testiä. Testisuureen jakauma perustuu jälleen normaalijakautuneeseen muuttajaan ja koska yleensä otoskeskihajonnat joudutaan estimoimaan havaintoaineistosta, on testisuure t -jakautunut.

Testin oletuksia ovat muuttujan normaalijakautuneisuus ja riippumattomat otokset.

Testisuureen valintaan vaikuttaa ovatko varianssit (keskihajonnat) molemmissa osajoukoissa yhtäsuuret.

Mikäli varianssit ovat yhtäsuuret (equal variances):

Testisuure ja sen jakauma:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (\text{kaava 9})$$

missä

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (\text{kaava 10})$$

Vapausasteita on $n_1 + n_2 - 2$

Mikäli varianssit ovat erisuuret (unequal variances):

Testisuure ja sen jakauma:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (\text{kaava 11})$$

$$\text{Vapausasteita on } \left[\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 + 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 + 1}} \right] - 2$$

Kaikissa kaavoissa x_1 ja x_2 ovat ryhmittäiset keskiarvot, s_1 ja s_2 ovat ryhmittäiset keskihajonnat ja n_1 ja n_2 ryhmittäiset otoskoot.

ESIMERKKI

Ruokatavarasta on määritetty tinaa. Näytteet refluksoitiin vetykloridihapossa eri ajan. Tulokset olivat seuraavat

| Refluksointi aika (minuuttia) | Tinaa (mg/kg) |
|----------------------------------|------------------------|
| 30 | 55, 57, 59, 56, 56, 59 |
| 75 | 57, 55, 58, 59, 59, 59 |

Eroaako keskimääräinen tinan määrä merkittävästi eri refluksointiajoilla?

$$\bar{x}_1 = 57.0 \quad s_1^2 = 2.80$$

$$\bar{x}_2 = 57.8 \quad s_2^2 = 2.57$$

Nollahypoteesi: Refluksointiajoilla ei ole merkitystä saantomäärään

Kaavalla 10 saadaan pooled varianssi:

$$s = \sqrt{\frac{5 * 2.80 + 5 * 2.57}{10}} = 1.64$$

ja t-arvoksi saadaan

$$t = \frac{57 - 57.8}{1.64 \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}} = 0.84$$

10 vapausasteella kriittinen |t| on 2.23 (P=0.05). Koska laskettu arvo on pienempi kuin kriittinen arvo, nollahypoteesi toteutuu. Refluksointiajalla ei ole merkitystä saantomäärään.

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

| | <i>Ref a</i> | <i>ref b</i> |
|------------------------------|--------------|--------------|
| Mean | 57 | 57,83333 |
| Variance | 2,8 | 2,566667 |
| Observations | 6 | 6 |
| Pooled Variance | 2,683333 | |
| Hypothesized Mean Difference | 0 | |
| df | 10 | |
| t Stat | -0,88113 | |
| P(T<=t) one-tail | 0,199464 | |
| t Critical one-tail | 1,812461 | |
| P(T<=t) two-tail | 0,398928 | |
| t Critical two-tail | 2,228139 | |

Parittaisesta t-testistä

Joskus on edullisempaa valmistaa tutkittavan yhdisteen pitoisuuden suhteen identtisiä näytepareja, joista toinen sisältää näytetaustan. Tällöin sovelletaan **parittaista t-testiä** ja yhtälöt ovat:

$$t = \bar{x}_d \frac{\sqrt{n}}{s_d} \quad (\text{kaava 12})$$

jossa

$$\bar{x}_d = \sum_i^n \frac{(d_{i1} - d_{i2})}{n} \quad (\text{kaava 13})$$

eli tulosparien erotusten keskiarvo, s_d = erotusten keskihajonta ja n = mittausparien lukumäärä ≤ 30

Kriittinen arvo valitaan riskin ja vapausasteen avulla, yleensä riskillä $\alpha = 0.05$.

Parittaisen t-testin vapausasteet ovat $n-1$.

ESIMERKKI

Seuraavassa taulukossa on lyijyn pitoisuudet ($\mu\text{g/l}$), jotka on saatu kahdella eri menetelmällä neljästä näytteestä

| NÄYTE | MÄRKÄPOLTTO | SUORA UUTTO |
|-------|-------------|-------------|
| 1 | 71 | 76 |
| 2 | 61 | 68 |
| 3 | 50 | 48 |
| 4 | 60 | 57 |

Testi, joka vertaa vain keskiarvoja ei sovi tässä tapauksessa, koska menetelmistä johtuva vaihtelu katoaa testinäytteiden erojen vuoksi. Tästä ongelmasta päästään tutkimalla molempien parien tulosten eroja. Hyväksymällä nollahypoteesi, että näillä menetelmillä saaduilla konsentraation keskiarvoilla ei ole merkittävää eroa, voidaan testata poikkeako hajontojen keskiarvo nolasta.

Parien erot ovat $71 - 76 = -5$, $61 - 68 = -7$, $50 - 48 = 2$ ja $60 - 57 = 3$. Keskihajonnan keskiarvo $\bar{x}_d = -1.75$ ja keskihajonta, $s_d = 4.99$. Koska $\mu = 0$, saadaan yhtälöllä

$$t = \bar{x}_d \frac{\sqrt{n}}{s_d} = -0.61, \text{ missä } n = 3, \text{ kun } t\text{:llä on } (n-1) \text{ vapausastetta. Kriittinen arvo}$$

on $|t| = 3.18$ ($P = 0.05$) ja koska laskettu arvo on pienempi kuin kriittinen arvo, voidaan todeta, että menetelmät eivät poikkea toisistaan merkittävästi.

Lineaarista regressiosta

Korrelaatiokertoimesta

Oletetaan, että suoralla on yhtälö:

$$y = bx + a \quad (\text{kaava 14})$$

missä b on kulmakerroin ja a poikkeama y -akselilta eli intercept. Suoran yksittäiset pisteet merkitään seuraavasti: $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, kun on n kpl pisteitä. x -arvojen keskiarvo on \bar{x} ja y -arvojen keskiarvoa kutsutaan vastaavasti \bar{y} :ksi.

Kun arvioimme kuinka hyvin kokeelliset pisteet sopivat suoralle viivalle, lasketaan korrelaatiokerroin, r . Arvolle r on määritetty kaava, joka on

$$r = \frac{\sum_i [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left\{ \left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_i (y_i - \bar{y})^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (\text{kaava 15})$$

kaavan lähempi tarkastelu osoittaa, että r saa arvoja väliltä $-1 \leq r \leq +1$. r :n arvo -1 kuvaa täydellistä negatiivista korrelaatiota, eli kaikki pisteet luovat suoran, jolla on negatiivinen kulmakerroin. Vastaavasti arvolla $+1$ saadaan täydellinen positiivinen korrelaatio. Kun x :n ja y :n välillä ei ole korrelaatiota, $r = 0$. Käytännössä analyytisessä työskentelyssä kalibroinnille saadaan $r > 0.99$ ja arvot $r > 0.90$ ovat epätavallisia.

r :n arvo voi olla lähellä yhtä, vaikka pisteet poikkeaisivatkin parhaalta kalibraatiosuoralta. Tällöin em kaavan osoittava ja nimittäjä ovat yhtäsuuria. Laskutoimitukset tulisikin suorittaa riittävällä pistemäärällä.

Yleensä r :n arvot ovat erittäin hyviä. Tämä yhdessä kalibroitisuoran kanssa riittää vakuuttamaan analyytikon kalibroinnin lineaarisuudesta. On myös tapauksia, joissa saavutetaan paljon pienempi r :n arvo. Tällöin on tarpeellista käyttää tilastollista testiä, jotta nähdään onko korrelaatiokerroin merkittävä. Yksinkertaisinta tämä on laskea t -arvo kaavalla

$$t = \frac{|r|\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \quad (\text{kaava 16})$$

Lasketta t :n arvoa verrataan taulukoituun arvoon käyttämällä kaksisuuntaista t -testiä ja $(n-2)$ vapausastetta. Tässä tapauksessa nollahypoteesina on se, ettei x :n ja y :n välillä ole korrelaatiota. Jos laskettu t :n arvo on suurempi kuin taulukoitu arvo, nollahypoteesi on hylätty, ts. merkittävä korrelaation on olemassa.

ESIMERKKI

Fluoreseiini standardiliuosta tutkitaan fluoresenssispektrometrillä ja saadaan alla olevassa taulukossa olevat intensiteetit

| | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| INTENSI TEETTI | 2.1 | 5.0 | 9.0 | 12.6 | 17.3 | 21.0 | 24.7 |
| KONSEN TRAATI O, PG/ML | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |

Seuraavaan taulukkoon on koottu arvoja, joiden avulla r voidaan laskea

$$\bar{x} = 42/7 = 6 \text{ ja } \bar{y} = 91.7/7 = 13.1$$

| | x_i | y_i | $x_i - \bar{x}$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $y_i - \bar{y}$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ |
|----------|-------|-------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| | 0 | 2.1 | -6 | 36 | -11.0 | 121.0 | 66.0 |
| | 2 | 5.0 | -4 | 16 | -8.1 | 65.61 | 32.4 |
| | 4 | 9.0 | -2 | 4 | -4.1 | 16.81 | 8.2 |
| | 6 | 12.6 | 0 | 0 | -0.5 | 0.25 | 0 |
| | 8 | 17.3 | 2 | 4 | 4.2 | 17.64 | 8.4 |
| | 10 | 21.0 | 4 | 16 | 7.9 | 62.41 | 31.6 |
| | 12 | 24.7 | 6 | 36 | 11.6 | 134.56 | 69.6 |
| Σ | 42 | 91.7 | 0 | 112 | 0 | 418.28 | 216.2 |

Kun käytetään korrelaatiokertoimen laskemiseen tarvittavaa kaavaa

$$r = \frac{\sum_i [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left\{ \left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_i (y_i - \bar{y})^2 \right] \right\}^{1/2}}$$

saadaan

$$r = \frac{216.2}{(112 * 418.28)^{1/2}} = 0.9989$$

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|------------------|
| Multiple R | 0,9988796 |
| R Square | 0,9977604 |
| Adjusted R Square | 0,9973125 |
| Standard Error | 0,4328477 |
| Observations | 7 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------------|
| Regression | 1 | 417,3432 | 417,3432 | 2227,528 | 8,07E-08 |
| Residual | 5 | 0,936786 | 0,187357 | | |
| Total | 6 | 418,28 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95,0%</i> |
|------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|
| Intercept | 1,5178571 | 0,294936 | 5,146395 | 0,003626 | 0,7597 | 2,276014 | 0,7597 |
| x | 1,9303571 | 0,0409 | 47,19669 | 8,07E-08 | 1,82522 | 2,035495 | 1,82522 |

Regressiosuorasta

Signaalin (y) ja konsentraation (x) välillä on lineaarinen suhde. Jos oletetaan, että kaikki virhe on y:ssä, niin silloin etsitään suoraa, joka minimoi poikkeaman y suunnassa mitatun ja lasketun suoran väliltä. Koska osa poikkeamista on positiivisia ja osa negatiivisia, on järkevää etsiä jäämän summan neliön minimiä. Tämä selittää sen, miksi usein menetelmästä käytetään nimeä pienemmän neliön menetelmä. Suorin suora saadaan laskettua seuraavilla kaavoilla

$$b = \frac{\sum_i [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{kaava 17})$$

ja

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{kaava 18})$$

Suora, joka laskettiin on nimeltään y:n regressiosuora x:llä eli suora osoittaa kuinka y vaihtelee, kun x muuttuu. Tämä ei ole sama asia kuin x:n regressiosuora y:llä. Tämä suora olettaa, että kaikki virheet ovat x-suunnassa.

ESIMERKKI

Lasketaan regressioviivan kulmakerroin ja leikkauspiste edellisen esimerkin arvoilla. $b = 216.2/112 = 1.93$ ja $a = 13.1 - (1.93 \cdot 6) = 1.52$. Tästä saadaan regressiosuoran yhtälöksi $y = 1.93x + 1.52$

Kulmakertoimen virheestä ja regressiosuoran poikkeamasta

Regressiosuoraa käytetään silloin, kun näytteiden konsentraatio määritetään interpolaatiolla ja kun analyttisen menetelmän havaintoraja (LOD) pitää määrittää. Kulmakertoimen satunnaiset virheet ovat tärkeitä ja sen laskemiseksi tarvitaan muutamia kaavoja. Ensiksi täytyy laskea tilastollinen $s_{y/x}$, joka saadaan kaavalla

$$s_{y/x} = \left[\frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{n - 2} \right]^{1/2} \quad (\text{kaava 19})$$

missä $y_i - \hat{y}$ on y:n jäämä ja \hat{y} ovat pisteitä lasketulla regressiosuoralla. Pisteet vastaavat yksittäistä x-arvoa.

Regressiolaskussa on (n-2) vapausastetta. Tämä osoittaa sen, että suoran viivan voi vetää vain kahden pisteen kautta

$s_{y/x}$:n avulla voidaan laskea s_b ja s_a eli standardipoikkeamat kulmakertoimelle ja y-akselin leikkauspisteelle. Yhtälöt ovat:

$$s_b = \frac{s_{y/x}}{\left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{kaava 20})$$

ja

$$s_a = s_{y/x} \left[\frac{\sum_i x_i^2}{n \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \right]^{1/2} \quad (\text{kaava 21})$$

s_a :n ja s_b :n arvoja voidaan käyttää normaalisti kulmakertoimen ja y-akselin leikkauspisteen rajojen ilmaisemiseen. Edellä annettuja kaavoja voi käyttää regressiosuoran kulmakertoimen, y-akselin leikkauspisteen standardipoikkeaman ja luottamusrajojen laskemiseen

ESIMERKKI

Edellä annettuja kaavoja voidaan käyttää regressiosuoran kulmakertoimen ja y-akselin leikkauspisteen standardipoikkeaman ja luottamusrajojen laskemiseen. Alla olevaan taulukkoon on laskettu valmiiksi tarvittavia arvoja

| x_i | x_i^2 | y_i | $\hat{y} = bx+a$ | $ y_i - \hat{y} $ | $(y_i - \hat{y})^2$ |
|-------|---------|-------|------------------|-------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 2.1 | 1.52 | 0.58 | 0.3364 |
| 2 | 4 | 5.0 | 5.38 | 0.38 | 0.1444 |
| 4 | 16 | 9.0 | 9.24 | 0.24 | 0.0576 |
| 6 | 36 | 12.6 | 13.10 | 0.50 | 0.2500 |
| 8 | 64 | 17.3 | 16.96 | 0.34 | 0.1156 |
| 10 | 100 | 21.0 | 20.82 | 0.18 | 0.0324 |
| 12 | 144 | 24.7 | 24.68 | 0.02 | 0.0004 |

$$\sum_i x_i^2 = 364$$

$$\sum_i (y_i - \hat{y})^2 = 0.9368$$

Kun käytetään edellä mainittuja kaavoja saadaan: $s_{y/x} = \sqrt{\frac{0.9368}{5}} = 0.4329$.

$$s_b = \sqrt{\frac{0.4329}{112}} = 0.0409 \text{ ja } b = 1.93 \pm 0.11. \text{ b:n luottamusrajan laskemiseen on}$$

käytetty 95 %:n tasoa. Arvo 2.57 saadaan taulukosta ja t-arvoon on käytetty $(n-2) = 5$ vapausastetta.

Kalibrointisuorista

Instrumentaalisten analyysitekniikoiden kyky käsitellä analyytin konsentraatiota laajalla alueella tarkoittaa sitä, että tulokset ovat laskettuja ja satunnaiset virheet arvioituja, kun yksittäinen mittaus toistetaan useita kertoja. Yleensä proseduuri menee näin. otetaan näytesrja, jonka konsentraatio tunnetaan. Nämä kalibrointistandardit ajetaan samoissa olosuhteissa kuin näytteet. Kun kalibrointisora onajettu, minkä tahansa testinäytteen konsentraatio voidaan määrittää

interpolatiomenetelmällä. Tämä menetelmä on yleinen ja herättää tilastollisia kysymyksiä

- 1) Onko kalibraatio-suora lineaarinen? Jos se on käyrä, minkä muotoinen on käyrä?
- 2) Jokaisella kalibraatio-suoran pisteellä on virheensä, mikä on paras suora (tai käyrä) näiden pisteiden kautta?
- 3) Jos oletetaan, että kalibraatio-suora on lineaarinen, mitkä ovat arvioidut virheet ja virherajat käyrän kulmakertoimelle?
- 4) Kun kalibrointia käytetään testinäytteiden analysointiin, mitkä ovat virheet ja virherajat määritetyille konsentraatioille?
- 5) Mikä on menetelmän havainoraja? Eli mikä on analyysin pienin konsentraatio, joka voidaan havaita luotettavasti?

On olennaista, että kalibrointistandardit kattavat mitattavien näytteiden konsentraatioalueen. Tärkeä poikkeus on standardilisäysmenetelmä, jolloin näytteiden konsentraatiot on määritetty ekstrapolatiomenetelmällä. On myös tärkeää ottaa mukaan nolla-näyte kalibraatio-suoralle. Nolla-näyte ei sisällä analyyttiä, mutta siinä on samat liuottimet ja reagenssit kuin muissakin näytteissä. Nollan antama signaali on harvoin nolla ja sen mittaustuloksessa on virhettä niin kuin muissakin näytteissä. Kalibraatio-kuvaajassa mittaussignaali on y-akselilla ja konsentraatio x-akselilla. Tämä siksi, että monet menetelmät olettavat virheen olevan mittaustuloksessa ja konsentraatio on virheetön.

Havaintorajasta

Eräs instrumentaalisten menetelmien etu perinteisiin menetelmiin verrattuna on se, että niillä pystytään havaitsemaan ja määrittämään paljon pienempiä pitoisuuksia. Tekniikan kehittyminen on johtanut siihen, että alhaisesta havaintorajasta on tullut tärkeä onnistuneen analyysin kriteeri. Sen vuoksi on selvää, että tilastolliset menetelmät havaintorajojen arvioimisessa ovat tärkeitä. Yleisesti ottaen havaintoraja voidaan kuvata konsentraatioksi, joka antaa hieman nollaluoksesta tai taustasta eroavan signaalin (y) ja joka voidaan havaita tietyllä todennäköisyydellä. Viimeaikoina suositeltu määritelmä on: **analyysin konsentraatio, joka antaa yhtäsuuren signaalin kuin nollaliuos, y_B , plus 3 kertaa nollaliuoksen standardipoikkeama, s_B eli $y - y_B = 3s_B$.**

Kun analyytikko tutkii pieniä pitoisuuksia, hänelle tulee eteen 2 ongelmaa. Hän ei halua väittää, että analyytti on liuoksessa, jos se ei ole eikä hän halua ilmoittaa ettei analyyttiä ole, kun se on liuoksessa.

Näiden molempien virheiden mahdollisuus pitää minimoida järkevällä havaintorajan määritelmällä. On osoitettu että arvolla $3.28s_B$ virheen todennäköisyys on 5%, mutta arvolla $3s_B$ virheen todennäköisyys on 7%, jota monesti pidetään sopivana havaintorajan määritelmänä.

Havaintorajan määritelmä on melko mielivaltainen ja analyytikko voi käyttää vaihtoehtoisia määritelmiä tiettyyn tarkoitukseen. Voi esimerkiksi olla tapauksia, jolloin tutkija haluaa välttää mahdollisuuden, että jokin alkuaine ei olisi liuoksessa,

kun se seillä on. On myös olemassa määrittäysraja (LOQ), joka on alin raja tarkassa kvantitatiivisessa määrittämisessä. Arvoa $y_B + 10s_B$ on ehdotettu täksi rajaksi.

Havaintorajaa ei saa sekoittaa **herkkyyteen**. Herkkyys on tarkasti määritelty kulmakertoimena ja voidaan mitata mistä tahansa pisteestä, kuntaas menetelmän havaintoraja on laskettu origoa lähellä olevan pisteen avulla ja se hyödyntää sekä kulmakerrointa ja virhettä.

ESIMERKKI

Lasketaan LOD edellä olevalle fluoreseiinimääritykselle. Kun käytetään kaavoja $y - y_B = 3s_B$, $a = y_B$ ja $s_B = s_{y/x}$, y:n LOD on $1.52 + 3 * 0.4329 = 2.82$. Regression yhtälöä käyttämällä saadaan havaintorajaksi 0.67 pg/ml.

LIITE 3.

LASKUHARJOITUKSET

TEHTÄVÄ 1.

Erään referenssiaineen Sb-pitoisuus analysoitiin sekä ICP-OES:llä että GFAAS:lla. Tulokset saatiin kuuden rinnakkaismäärityksen keskiarvoina. Laske keskiarvotulokset, keskihajonnat, varianssi ja keskiarvojen luotettavuusrajat 95 % todennäköisyystasolla. Mittaustulokset olivat:

ICP-OES 7.744 7.784 7.879 7.863 7.674 7.849 mg/g

GFAAS 7.482 7.401 7.742 7.836 7.577 7.579 mg/g

TEHTÄVÄ 2.

Referenssiaineen 2710 (Montana soil) As-pitoisuus analysoitiin ETAAS:lla. Tulos saatiin kuuden rinnakkaismäärityksen keskiarvona. Laske keskiarvotulos, keskihajonta, ja keskiarvon luotettavuusrajat 95 % todennäköisyystasolla. Mittaustulokset olivat:

0.610 0.619 0.611 0.639 0.604 0.655 mg/g

TEHTÄVÄ 3.

Jätevesinäytteiden Fe-pitoisuus määritettiin sekä UV/VIS spektrofotometrillä että FAAS:lla. Tuloksiksi saatiin:

UV/VIS 19,4 18,6 18,9 19,2 19,4 mg/L

FAAS 17,2 17,8 18,7 17,5 18,5 mg/L

Onko menetelmien välillä eroa 5 % merkitsevyydellä ?

TEHTÄVÄ 4.

Erään referenssiaineen Sb-pitoisuus analysoitiin sekä ICP-OES:llä että GFAAS:lla. Tulokset saatiin kuuden rinnakkaismäärityksen keskiarvoina. Mittaustulokset olivat:

ICP-OES 7.744 7.784 7.879 7.863 7.674 7.849 mg/g

GFAAS 7.482 7.401 7.742 7.836 7.577 7.579 mg/g

Tuottaako toinen menetelmä tarkempia tuloksia (5 %:n merkitsevyytaso)

TEHTÄVÄ 5.

As-pitoisuuksien määrittämistä ETAAS:lla testattiin standardinlisäysmenetelmällä. Referenssiaineesta liuotetusta näytteestä pipetoitiin 10 mL kuuteen 100 mL mittapulloon, joihin tehtiin standardin lisäykset. Todelliset ja mitatut pitoisuudet olivat:

Todellinen 36,5 46,5 56,5 66,5 76,5 86,5 µg/L

Mitattu 35,8 48,1 58,1 66,5 77,0 85,4 µg/L

Onko todellisten ja mitattujen pitoisuuksien välinen ero merkitsevä (P = 0,05)?

TEHTÄVÄ 6.

Vesinäytteestä määritettiin rautaa UV/VIS-spektrometrillä. Tehtiin 5 pisteen kalibrointi. Alla olevassa taulukossa on liuosten pitoisuudet ja absorbanssit

| Pitoisuus (ppm) | Intensiteetti |
|-----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 2 | 0.211 |
| 4 | 0.427 |
| 6 | 0.598 |
| 8 | 0.847 |

Mikä on regressiosuoran yhtälö?

TEHTÄVÄ 7.

Vesinäytteestä määritettiin rautaa UV/VIS-spektrometrillä. Tehtiin 5 pisteen kalibrointi. Alla olevassa taulukossa on liuosten pitoisuudet ja absorbanssit

| Pitoisuus (ppm) | Intensiteetti |
|-----------------|---------------|
| 0 | 0 |
| 2 | 0.211 |
| 4 | 0.427 |
| 6 | 0.598 |
| 8 | 0.847 |

Määritä havainto- ja määrittäysraja.

TEHTÄVÄ 8.

Geologisesta näytteestä määritettiin rautaa ICP-MS:llä. Tehtiin 6 pisteen kalibrointi. Alla olevassa taulukossa on liuosten pitoisuudet ja intensiteetit

| Pitoisuus (ppm) | Intensiteetti |
|-----------------|---------------|
| 0 | 1204 |
| 2 | 31376 |
| 4 | 61188 |
| 6 | 91205 |
| 8 | 121320 |
| 10 | 151268 |

Laske regressiosuoran kulmakerroin, leikkauspiste ja korrelaatiokerroin. Mikä on suoran yhtälö?

TEHTÄVÄ 9.

Geologisesta näytteestä määritettiin rautaa ICP-MS:llä. Tehtiin 6 pisteen kalibrointi. Alla olevassa taulukossa on liuosten pitoisuudet ja intensiteetit

| Pitoisuus (ppm) | Intensiteetti |
|-----------------|---------------|
| 0 | 1204 |
| 2 | 31376 |
| 4 | 61188 |
| 6 | 91205 |
| 8 | 121320 |
| 10 | 151268 |

Määritä havainto- ja määrittäysraja.

LIITE 4.

MALLIMENETELMÄT

As: GFAAS

Reagenssit:

- Reagenssit analytical grade-tasoa ja vetenä erittäin puhdasta (ELGA/MilliQ) vettä
- As standardi varastoliuos 1000 mg/l
- Matriisimodifikaattori: Pd (1% nitraattina) + Mg(NO₃)₂ (1% Mg) tai 0.2% (m/v) NaNO₃ (500 mg reagenssia 250 ml vettä) tai 0.2 % (m/v) W (897 mg Na₂WO₄*2H₂O 50 ml vettä, jonka jälkeen lisätään 25 ml 2% v/v typpihappoa ja laimennetaan merkkiin 100 ml:ksi)
- 65% typpihappo

Menetelmä:

- Kalibrintiliuokset 20-100 µg/l, kuuden pisteen kalibrinti
- Optimoidaan olosuhteet 50 µg/l As-liuoksella
- Vesinäytteet 0.2% m/v typpihapon suhteen
- Matriisimodifikaattoria: : Pd + Mg(NO₃)₂ , 0.2% (m/v) NaNO₃ 3-5 µl ja 0.2 % (m/v) W 5 µl
- Ajetaan näytteet parhaaksi havaitulla ohjelmalla (näytemäärä 20 µl, aallonpituus 193.7 nm)
- (taulukossa esim. Perkin Elmer AAnalyst 800 matriisimodifikaattorina NaNO₃)

| Step | Lämpötila (°C) | Ramp aika (s) | Hold aika (s) | kaasuvirtaus(ml/min) |
|-------------|----------------|---------------|---------------|----------------------|
| Kuivaus | 110 | 1 | 30 | 250 |
| Kuivaus | 130 | 15 | 30 | 250 |
| Pyrolyysi | 1500 | 10 | 20 | 250 |
| Atomisointi | 2000 | 0 | 5 | 0 |
| Puhdistus | 2450 | 1 | 3 | 250 |

As: UV/VIS

Reagenssit:

- Arseni(III) varastoliuos, 1000 mg/l, (liuotetaan 0.1734 g NaAsO₂ 100 ml ioninvaihdettua vettä)
- Toluidiini blue- liuos, 0.01% (0.01 g toluidiini sinistä liuotetaan ioninvaihdettuun veteen ja laimennetaan merkkiin 100 ml:ksi ioninvaihdetulla vedellä) tai
- Safraniini O- liuos, 0.02% (0.02 g safraniini O:ta liuotetaan ioninvaihdettuun veteen ja laimennetaan merkkiin 100 ml:ksi ioninvaihdetulla vedellä)
- Vetykolridihappoa, 1M
- Kalium jodaatti, 2% ja

- Asetaattipuskuri, pH 4.0 (13.6 g natrium asetaatti trihydraattia liuotetaan 80 ml ioninvaihdettua vettä. Liuoksen pH säädetään 4:ksi etikkahapolla ja laimennetaan merkkiin 100 ml:ksi ioninvaihdetulla vedellä)

Standardit:

1.2 - 10.5 tai 0.4 - 11.5 mg/l arseeni(III):a pipetoidaan 10 ml mittapulloon. Kalium jodaattia (2%) lisätään 1 ml ja 1M HCl lisätään 1 ml. Liuoksia sekoitetaan varovasti kunnes jodin keltainen väri havaitaan. Tämän jälkeen lisätään 0.5 ml toluidiini sinistä (0.01%) tai safraniini O:ta (0.02%) ja ravistetaan 2 minuuttia. 2 ml asetaatti puskuria lisätään pH:n säätöön ja ioninvaihdetulla vedellä merkkiin 10 ml:ksi. Absorbanssit mitataan joko 628 nm tai 532 nm nollaa vastaan, jossa on arseenia lukuunottamatta samat reagenssit kuin standardeissa. (Standardien pitoisuus voidaan suunnitella omien näytteen sisältämän arsenin mukaan.)

Näytteet:

Suodatetaan Whatman 41 suodatinpaperilla. Muutama pisara 10% KI lisätään pelkistämään As(V) As(III):ksi. Muutoin näytteet valmistetaan ja määritetään kuten standardit.

As: ICP-OES

- Vesinäytteet 1% m/v typpihapon suhteen
- Tehdään kalibrointiliuos, joka on 1 mg/l As-suhteen
- Ajetaan 2 pisteen kalibrointi ja näytteet sitä vastaan
- Saadun osvittaisen pitoisuuden perusteella tehdään kalibrointiliuokset ja ajetaan 6 pisteen kalibrointia vastaan

Cd: GFAAS

Reagenssit:

- Reagenssit analytical grade-tasoa ja vetenä erittäin puhdasta (ELGA/MilliQ) vettä
- Cd standardi varastoliuos 1000 mg/l
- Matriisimodifikaattori: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (2% liuos) + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (0.4% liuos)(1% Mg) 0.5M typpihapossa
- 65% typpihappo

Menetelmä:

- Kalibrointiliuokset esim. 1-5 $\mu\text{g/l}$, kuuden pisteen kalibrointi
- Optimoidaan olosuhteet 2.5 $\mu\text{g/l}$ Cd-liuoksella
- Vesinäytteet 0.2% m/v typpihapon suhteen
- Matriisimodifikaattoria: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (1:1) 5 μl
- Ajetaan näytteet parhaaksi havaitulla ohjelmalla (näyttemäärä 20 μl , aallonpituus 228.8 nm)

(taulukossa esim. Perkin Elmer AAnalyst 800)

| Step | Lämpötila (°C) | Ramp aika (s) | Hold aika (s) | kaasuvirtaus(ml/min) |
|-------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Kuivaus | 110 | 1 | 30 | 250 |
| Kuivaus | 130 | 15 | 30 | 250 |
| Pyrolyysi | 1000 | 10 | 20 | 250 |
| Atomisointi | 1400 | 0 | 5 | 0 |
| Puhdistus | 2450 | 1 | 3 | 250 |

Cd: EDTA-titraus

Reagenssit:

- ERIO T –NaCl- indikaattoriseos 1:100
- Puskuriliuos pH 10: 0.90 g ammoniumkloridia + 50 ml 2M ammoniakkiliuos

Työn suoritus:

- Laske EDTA:n pitoisuus spektrofotometrisiä tuloksia hyväksi käyttäen siten, että kulutus on noin 15-25 ml
- Tarkista EDTA:n pitoisuus titraamalla ERIO T-indikaattoriseos, johon on lisätty 10 ml puskuriliuosta
- Puskuroitu (30 ml puskuria) näyte titrataan tarkastetulla EDTA:lla ja lasketaan tulos reaktioyhtälöitä hyväksi käyttäen

Cd: ICP-OES

- Vesinäytteet 2% m/v typpihapon suhteen
- Tehdään kalibroitiliuos, joka on 1 mg/l Cd-suhteen
- Ajetaan 2 pisteen kalibrointi ja näytteet sitä vastaan
- Saadun osvittaisen pitoisuuden perusteella tehdään kalibroitiliuokset ja ajetaan 6 pisteen kalibrointiä vastaan

Pb: FAAS

- Tehdään näytteille ja standardeille 1% typpihappotausta
- Kalibroidaan AAS ensin yhdellä standardilla, joka vastaa lineaarisen alueen yläpäättä ja analysoidaan näytteet sitä vastaan
- Saadun puolikvantitatiivisen tuloksen perusteella laaditaan 6 pisteen kalibrointi ja analysoidaan näytteet tarkasti

Pb: Suora EDTA-titraus: UV/Vis-detektio

Reagenssit:

- 0.01 M HClO₄
- 0.2 mg PbCl₂ 100 ml:ssa 0.01 M HClO₄
- 5*10⁻⁴ M EDTA standardi

Instrumentti:

- UV/Vis

Työn suoritus:

- Skannaa 5*10⁻⁴ M EDTA liuos välillä 210-300 nm
- Skannaa lyijy/perkloorihappo liuos välillä 210-300 nm
- Lisää 2 ml EDTA-liuosta 100 ml:aan Pb/ HClO₄-liuokseen
- Skannaa tämä liuos välillä 210-300 nm
- Näiden kolmen mittauksen perusteella valitse käytettävä aallonpituus.
- Aallonpituuden pitäisi olla 235 nm, koska Pb/EDTA:lla on siinä maksimi ja puhtaalla EDTA-liuoksella minimi
- Käyttäen valittua aallonpituutta havainnoi absorbanssin muutos, kun ml EDTA-standardia on titrattu 100 ml:aan Pb/ HClO₄-liuosta. Varmistu, että yli 3 ml on lisätty, jotta päätepiste havaitaan
- Toista titraukset 1-2 kertaa tuloksen varmentamiseksi

Pb: ICP-OES

- Tehdään näytteille ja standardeille 1% typpihappotausta
- Kalibroidaan ICP ensin yhdellä standardilla, jonka pitoisuus on 1 ppm
- Saadun puolikvantitatiivisen tuloksen perusteella laaditaan 6 pisteen kalibrointi ja analysoidaan näytteet tarkasti

LIITE 5.

VIRIKKEET

VIRIKE 1.

Pekka asustelee maaseudulla 30 kilometrin päässä lähimmästä taajamasta. Taajamassa sijaitsee paperitehdas. Pekan tontti on iso, noin 10 ha. Naapuri omistaa paljon metsää. Pekan tontilla on porakaivo, josta ei ole vedetty putkia sisään. Joka aamu postinhakureissun yhteydessä hän käy kiululla nostamassa vettä talouskäyttöön. Veden käytöstä hänellä on pitkä kokemus niin kuin kesäisin heinätoistakin. Hänelle on ilmeentynyt lihasheikkoutta, ruokahaluttomuutta ja pahoinvointia. Yleisesti ottaen hänen ruokahalunsa ovat hyvät ja ravinto kala- ja kasvispohjalla. Pekka meni lääkäriin ongelmiansa takia ja sen käynnin jälkeen hän on tietoinen siitä, että syöpäriski on olemassa. Pekan suvussa ei kuitenkaan ole syöpää. (Arseeni)

VIRIKE 2.

Salla on tupakoimaton alle 30 v nainen ja asustelee maalaistalossa saarella. Kotiin on vedetty vesi tontilla olevasta porakaivosta. Salla työskentelee maatalon emäntänä hoitaen myös sikoja ja lehmiä. Kanoja ei ole. Perheellä on auto ja traktori. Talon isännällä on traktorin käyttöoikeus. Salla elää normaalia ja terveellistä elämää, mutta kuitenkin hänen elimistöön on kerääntynyt myrkyllistä raskasmetallia. Sitä on kertynyt maksaan ja munuaisiin. Pitkällä altistusvälillä vaikutusta voi olla myös luustoon ja keuhkoihin. Salla on onnellisen tietämätön siitä, mitä häneen kertyy. (Kadmium)

VIRIKE 3.

Mikko on reipas Kotkassa asuva 4-vuotias poika. Kesäisin ja viikonloppuisin Mikko on paljon vanhempiansa mukana Jaalan mökillä. Mökki sijaitsee järven rannalla ja usean kilometrin päässä on kunnan kaatopaikka. Ongelmajätteet täytyy viedä Kouvolaan, koska kunnassa ei ole ongelmajätteiden keräyspistettä. Mökissä on sähköt, mutta vesi pitää ottaa kaivosta. Mikolle isä on rakentanut uuden hiekkalaatikon, jossa hän usein leikkii. Viime aikoina Mikko on alkanut olemaan rauhaton, melkein pä ADHD ja henkinen kehitys ei ole kehittynyt, pikemminkin päinvastoin. Vanhemmat ovat huolissaan lapsestaan ja varaavat ajan lääkäristä. (Lyijy)