

## **Tutkimuskohteen valintaan liittyvät eettiset kysymykset**

Helsingin yliopisto  
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta  
Kemian laitos  
Kemian opettajakoulutusyksikkö  
Kandidaatintutkielma  
Tekijä: Simo Tolvanen  
Pvm: 24.1.2011

Ohjaajat: Markku Sundberg  
Maija Aksela

1 Johdanto .....	1
1.1 Etiikka .....	1
1.2 Tieteen ja kemian etiikka .....	3
2. Vastuu ja riskinotto.....	6
2.1 Vastuu .....	6
2.2 Riskianalyysi .....	8
3. Uuden kemikaalin syntetisointiin liittyvät eettiset kysymykset.....	13
3.1 Synteesi päämääränä itsessään .....	15
3.2 Sovellukseen tähtäävä synteesi .....	17
4. Johtopäätökset .....	21
Lähteet .....	23

Kiitokset Jonne Arjorannalle tekstin oikoluvusta ja kommentoinnista.

# 1 Johdanto

## 1.1 Etiikka

Etiikka on filosofian osa-alue, joka tutkii ihmisten arvomaailmaa ja pyrkii määrittämään, kuinka meidän tulisi elää ja käyttäytyä. Etiikassa ei ole kuitenkaan kyse pelkästään yksiselitteisten käyttäytymissääntöjen määrittelemisestä, vaan pikemminkin sen pohtimisesta, millaisia osa-alueita kuuluu hyvään elämään ja miten erilaisia tekoja voidaan oikeuttaa. Etiikka jaetaan usein kahteen alalajiin: normatiiviseen etiikkaan ja metaetiikkaan. Normatiivisen etiikan pyrkiessä määrittämään millaiset teot ovat hyviä tai oikeita, metaetiikka pyrkii määrittelemään mitä tarkoitamme käsitteillä hyvä ja oikea.<sup>1</sup>

Yksi etiikan kysymyksistä on normatiivisen ja metaetiikan suhde. On esitetty, että filosofien tulisi keskittyä nimenomaan metaetiikkaan ja että filosofian tehtävään ei kuulu määrittellä, miten ihmisten tulisi elää. On myös esitetty, että yleismaailmallisten eettisten toimintaohjeiden antaminen on mahdotonta, koska oikea ja hyvä toiminta on täysin subjektiivista. Tällaista universaalien hyvän ja oikean olemassaolon kieltämistä kutsutaan eettiseksi subjektivismiksi tai eettiseksi skeptisismiksi, ja sellaisenaan se on yksi metaeettinen teoria. Eettinen skeptisismi tai subjektivismi ei sinänsä estä normatiivista etiikkaa, sillä filosofi voi yhä pyrkiä esittämään eheän ja sisäisesti loogisen eettisen järjestelmän väittämättä sen olevan yleismaailmallisesti pätevä.<sup>1</sup>

Eettistä skeptisismia voidaan kritisoida toteamalla, että ihmiset joutuvat aina valintoja tehdessään turvautumaan arvoihinsa, joiden pohjalla voidaan ajatella olevan yleisinhimillinen pyrkimys onnellisuuteen. Kaikkien ihmisten pyrkiessä onnellisuuteen syntyy väistämättä sosiaalisia käytössääntöjä, jotka perustuvat arvoihin.<sup>2</sup> Näiden käytössääntöjen perustalla olevia arvojen määrittely ja tutkiminen kuuluu etiikan piiriin.

Erilaisia etiikan teorioita, joista kemian etiikan normit voitaisiin määrittää on lukuisia. Alla esitettävän mallin mukaan voidaan ajatella, että on olemassa joitakin eettisiä

periaatteita, jotka löytyvät kaikista yleismaailmallisista normatiivisen etiikan teorioista.<sup>3</sup> Tällaiset kaikkea moraalista toimintaa koskevat ehdot voidaan ottaa lähtökohdaksi tarkasteltaessa kemian etiikkaa yleisellä tasolla. Alla on esitetty kolme yleistä ehtoa:<sup>3</sup>

1. Ihmiskunnan hyvinvointi on perimmäinen arvo. Ihmiskunta sisältää nykyiset ja tulevat ihmiset.
2. Kaikkien moraalisten normien ja velvoitteiden tulee liittyä perimmäiseen arvoon siten, että ne lisäävät tai ainakin ovat vähentämättä ihmiskunnan hyvinvointia.
3. Kaikkien moraalisten normien ja velvoitteiden tulee koskea samalla tavalla kaikkia ihmisiä sekä toimintaohjeina että perusteina tekojen arviointiin.

Nämä periaatteet voidaan laajentaa yksityiskohtaisemmaksi eettiseksi teoriaksi esimerkiksi määrittelemällä, mitä tarkoitetaan hyvinvoinnilla tai ottamalla ihmiskunnan lisäksi huomioon muiden lajien hyvinvointi.<sup>3</sup> Edellä esitettyjen kohtien hyväksyminen kaikkien normatiivisen etiikan teorioiden pohjaksi ei ole itsestään selvää. Esimerkiksi ihmiskunnan hyvinvointi on käsitteenä hankala, sillä se tuntuu kieltävän jonkin rajatun ihmisryhmän tai itsensä suosimisen, mikäli tästä seuraa ihmiskunnan yleisen hyvinvoinnin laskua.

Yksi tapa laajentaa yllä kuvattuja yleisiä moraaliehtoja on ajatella ihmisen moraalin koostuvan kahdesta keskeisestä osasta: sosiaalisista suhteista ja oikeudesta merkitykselliseen elämään. Sosiaaliset suhteiden perusteella voidaan johtaa kaksi eettistä arvoa: hyödyllisyys (utility) ja oikeudet (rights). Ihmiset tarvitsevat sekä muiden apua että oikeuden tehdä itse omat päätöksensä, mikä tulee huomioida toimissamme. Esimerkiksi vanhempi joutuu usein tekemään eettisiä valintoja suhteessaan lapseensa: toisaalta hän tuntee velvollisuudekseen edistää lapsensa onnellisuutta, toisaalta hän tiedostaa lapsensa oikeuden tehdä omat valintansa, vaikka niistä seuraisikin tälle mielipahaa.<sup>4</sup>

Elämän merkityksellisyys syntyy kyvystä toteuttaa omia tarpeitaan, joita ovat esimerkiksi eheän identiteetin rakentaminen, tarve saada tunnustusta, mielekkään työn tarve ja tarve toimia itsenäisesti. Näiden tarpeiden toteuttaminen on edellytys

onnelliselle elämälle. Sosiaalisista suhteista ja omista tarpeista kohoavat moraaliset arvot voivat olla joissakin tilanteissa ristiriidassa, mutta ne voivat myös tukea toisiaan: sitoutuminen muihin ihmisiin antaa syyn toimia myös heidän tarpeidensa täyttämiseksi. Tarpeisiin ja sosiaalisiin suhteisiin perustuvan mallin keskeinen ajatus on kuitenkin se, että erilaiset suhteemme muiden ihmisten kanssa luovat erilaisia sitoumuksia näiden tarpeiden täyttämiseksi. Meillä ei ole samanlaista moraalista velvoitetta ystäviämme ja koko ihmiskuntaa kohtaan.<sup>4</sup>

Tämän laajennuksen jälkeen voidaan ajatella, että eettisesti toimiva ihminen tasapainottaa valintansa ajattelemalla sekä ihmiskunnan hyvinvointia että omia tarpeitaan. Tällainen toiminta on myös tasapainoista kallistumatta liikaa altruismin tai egoismin suuntaan, jolloin se voidaan ajatella terveeksi lähtökohdaksi eettiseen pohdintaan.

## **1.2 Tieteen ja kemian etiikka**

Tässä työssä käsiteltävät kemian etiikan kysymykset kuuluvat tieteen etiikan piiriin, joka on yksi tieteenfilosofian alalajeista. Tieteenfilosofia on laaja tutkimuskenttä, joka on toisaalta tiiviisti kytköksissä sekä laajempaan filosofiseen tutkimukseen että itse tieteeseen tai tieteen historiaan. Tiede voidaan yksinkertaistaa toiminnaksi, joka pyrkii kuvaamaan ilmiöitä, joissa ilmenee merkittäviä säännönmukaisuuksia ja joka pyrkii selittämään näitä säännönmukaisuuksia. Tällöin voidaan tieteenfilosofian kolmeksi keskeiseksi tehtäväksi ajatella sen määrittely, miten tieteessä ilmiöt muutetaan niitä kuvaaviksi termeiksi, miten tästä kuvauksesta kehitetään laki ja miten kehitetty laki selitetään teoriolla.<sup>5</sup>

Kemian filosofia on tieteenfilosofian uusi osa-alue, jota on alettu tutkia vasta 1980-luvulla, vaikka monet kemiaan liittyvät kysymykset, kuten aineen rakenne ja aineiden muuttuminen toisiksi, ovat olleet osa filosofian kenttää jo pidempään. Kemian filosofian keskeisiä tutkimusalueita ovat ontologia, epistemologia ja kemian suhde fysiikkaan. Ontologisia eli objektien olemassaoloon liittyviä tutkimusaiheita ovat esimerkiksi atomien ja molekyylien sekä näistä käytettyjen mallien suhde todellisuuteen: mitä kemistit todella tutkivat ja mikä on aineen perusrakenne.

Epistemologian eli tietoteorian alaan kuuluva kysymys on kemiallisen tiedon kattavuus, eli voimmeko saavuttaa täydellisen tietämyksen kemiasta.<sup>6</sup> Tähän liittyvää kysymystä kemiallisen tiedon määrän kasvusta käsitellään luvussa 3.

Keskustelu kemian ja fysiikan suhteesta liittyy yleensä siihen, onko kemia itsenäinen tiede vai voidaanko se nähdä fysiikan osana, jolla ei ole omaa erityisluonnetta. Esimerkiksi kemistien voidaan ajatella tutkivan samoja objekteja kuin mitä kvanttimekaniikassa tutkitaan, eikä kemiassa ole siis mitään omia, aidosti erillisiä tutkimuskohteita. Tätä argumenttia on vastustettu mm. esittämällä, ettei molekyyliä voida johtaa suoraan kvanttimekaanisista objekteista.<sup>6</sup>

Muita kemian filosofian tutkimuskohteita ovat esimerkiksi kemian filosofian historia, kemian koulutus ja kemian etiikka.<sup>6</sup> Tieteen etiikassa pääpaino on normatiivisessa etiikassa, joka tieteentekijöiden toimia arvioivana etiikan ja tieteenfilosofian osa-alueena vaatii taustaoletukseen yleisempiä etiikan ja yhteiskuntatieteiden teorioita, joista arviointikriteerit nostetaan.<sup>7</sup> Kemian etiikan piiriin kuuluu mm. ammattietiikka, kemiallisiin aseisiin ja kemian synteeseihin liittyvät eettiset kysymykset sekä nanotieteisiin kuuluvat kysymykset.<sup>6</sup> Tässä työssä painopiste on kemialliseen synteesiin liittyvissä eettisissä kysymyksissä.

Yleisten moraaliperiaatteiden lisäksi monet ammatit asettavat omia vaatimuksiaan niihin liittyvien eettisten kysymysten tarkasteluun. Ammattietiikka asettaa ammattiryhmään kuuluville yhteiset normit, joita näiden tulee noudattaa keskinäisessä kanssakäymisessään ja suhteissaan muuhun yhteiskuntaan. Nämä säännöt ovat usein tiukempia kuin mitä yleiset moraaliteoriat vaatisivat, mutta ne eivät kuitenkaan kumoa yleisiä moraalivaatimuksia. Ammatti ei tässä tarkoita mitä tahansa työtä, vaan sen harjoittajien voidaan katsoa muodostavan yhteisön, joka on solminut kaksi sopimusta: sisäisen ja ulkoisen. Perinteisiä ammattikuntia ovat laki- ja lääketiede, mutta myös tiedettä yleisesti ja kemiaa erityisesti voidaan pitää ammattikuntana, jolla on oma sisäinen toimintamallinsa ja identiteettinsä.<sup>8</sup>

Ammattikunnan sisäiseen sopimukseen kuuluu kaksi osaa: ammattipätevyyden ja siihen vaadittavan koulutuksen määrittely ja sisäiset toimintasäännöt. Tieteessä ei ole virallisesti määriteltyjä vaatimuksia koulutukselle, jonka jälkeen pääsee osaksi

ammattikuntaa toisin kuin esimerkiksi lääkäreillä, mutta epävirallisesti tiedeyhteisö on varsin yksimielinen siitä millainen koulutus tutkijalta vaaditaan.<sup>8</sup> Tieteen sisäisten toimintasääntöjen määrittelyn lähtökohdaksi voidaan ottaa Robert Mertonin neljä periaatetta: universalismi, kommunismi, puolueettomuus ja järjestelmällinen epäily.<sup>9,8</sup> Universalismilla tarkoitetaan tieteen perustumista faktojen arviointiin riippumatta niiden esittäjän henkilökohtaisista ominaisuuksista, esimerkiksi kansallisuudesta. Kommunismin periaatteen mukaan tiedeyhteisön tuottama tieto, kuten esimerkiksi uudet teoriat kuuluvat keksijän sijaan koko tiedeyhteisölle. Puolueettomuudella tarkoitetaan tieteen perustumista faktoihin, joita muu yhteisö arvioi, eikä omiin uskomuksiin. Järjestelmällinen epäily on periaate siitä, että kaikki tulee asettaa tieteellisen tarkastelun alaiseksi, ilman jakoa uskon ja tiedon asioihin.<sup>9</sup> Näiden pohjalta voidaan muotoilla erilaisia eettisiä ohjeita tieteen harjoittamiseen liittyen esimerkiksi koetulosten raportointiin.<sup>8</sup>

Tieteen ulkoinen sopimus on tieteen ja yhteiskunnan välinen. Tieteentekijät saavat erityisoikeuden ja vapauden omaan toimintaansa sekä yhteiskunnallista rahoitusta. Vastineeksi tästä he antavat yhteiskunnalle käyttöön asiantuntijuutensa ja tutkimustuloksensa, jotka tuottavat yhteiskunnalle hyötyä. Myös ulkoiseen sopimukseen liittyy kysymyksiä, jotka vaativat eettistä tarkastelua ja asettavat siksi vaatimuksiaan kemistille. Näihin kysymyksiin kuuluu esimerkiksi tutkimustulosten hyödyntämiseen ja patentointiin liittyvät ongelmat.<sup>8</sup>

Tieteen ja kemian filosofia ottaa pohjaksi hyvin yksinkertaistetun kuvan tieteestä, samoin kuin ammattietiikan pohjalla on yksinkertaistettu näkemys ammatista. Tällaiset yksinkertaistetut mallit ovat kuitenkin välttämättömiä tarkasteltaessa asioita yleisellä tasolla, sillä liian yksityiskohdat vaikeuttaisivat yleistysten tekemistä. Tämä ei poikkea merkittävästi kemian malleista, jotka pyrkivät yksinkertaistamaan tarkasteltavan ilmiön käsiteltäväksi kokonaisuudeksi.



## 2. Vastuu ja riskinotto

Edellisessä luvussa esitetyt etiikan mallit antavat pohjan kemiaan liittyvien eettisten kysymysten käsittelyyn. Tässä luvussa esitetään malli eettisestä vastuusta ja sen kohdistumisesta, väline eettisten ongelmien ratkaisuun riskianalyysin avulla sekä lopuksi neliportainen malli eettisten ongelmien tunnistamiseen ja ratkaisuun.

### 2.1 Vastuu

Jotta riskianalyysistä olisi todellista hyötyä, se vaatii olettamuksen toimijan moraaliseen vastuusta muita ihmisiä kohtaan, sillä pelkkä juridinen vastuu ei velvoita kemistejä pohtimaan työnsä seurauksia ihmiskunnalle.<sup>10</sup> Alla esitetään malli siitä miten moraalinen vastuu voidaan määritellä ja kuinka sitä voidaan soveltaa ihmisiin riippuen siitä, kelle he katsovat olevansa vastuussa.<sup>3</sup>

Lauseessa ”x on vastuussa y:stä z:lle”, termit x, y ja z voidaan määrittää tilannekohtaisesti. X on yleensä yksittäinen henkilö, mutta toisinaan esimerkiksi yritystä voidaan pitää vastuullisena, jolloin vastuu jakautuu sen työntekijöille tilanteen määräämällä tavalla.<sup>3</sup> Kollektiivinen vastuu, esimerkiksi tiedeyhteisön vastuu jäsentensä tutkimuksesta, on laaja kysymys, mutta se jää tämän työn käsittelyn ulkopuolelle.

Y kuvaa seurauksia, jotka aiheutuvat teosta, josta x on vastuussa. Seuraukset voidaan jakaa kahteen luokkaan: toteutuneisiin seurauksiin ja mahdollisiin tuleviin seurauksiin. Näiden tärkeä ero on siinä, että jo toteutuneet seuraukset voidaan selvittää, määrittää ja asettaa juridisen arvioinnin alaisiksi. Mahdollisten tulevien seurausten arviointi perustuu aina epävarmoihin ennusteisiin, ja se on siksi enemmän etiikan kuin juridiikan alaa.<sup>3</sup>

Tekojemme seurausten lisäksi voimme olla vastuussa myös asioiden hyvinvoinnista: vanhemmat ovat vastuussa lapsistaan ja omistajat lemmikeistään. Myös esimerkiksi tiedon ja sosiaalisten rakenteiden voidaan katsoa vaativan huolenpitoa, ja kemistiä

voidaan pitää vastuullisena esim. kemistien yhteisön ja kemiallisen tiedon hyvinvoinnista.<sup>3</sup> Tämä on oleellinen seikka, sillä tieteeseen liittyy paljon toimintaa, jolla ei ole suoria fyysisiä seurauksia.

Z on instituutio, jolle katsomme olevamme vastuussa, ja joka voi olla yksittäinen henkilö, ryhmä, yhteisö, kansa- tai ihmiskunta. Vastuussa oleminen tarkoittaa sitä, että hyväksymme itsekkin velvollisuutemme vastata kyseiselle instituutiolle tekojemme herättämiin kysymyksiin: esimerkiksi sotilas, joka tappaa vihollissotilaita sodassa, voi pitää itseään vastuullisena omalle maalleen, mutta ei vihollisvaltiolle eikä ihmiskunnalle. Toisaalta työntekijä, joka huomaa työnantajansa rikkovan kansallista lainsäädäntöä, saattaa todeta, ettei ole enää vastuussa yritykselle salassapitomääräysten rikkomisesta, vaan hän päättää vastata teoistaan kansalliselle instituutiolle viemällä asian viranomaisten käsiteltäväksi. Toimija on syyllistynyt eettisesti väärään toimintaan vasta, jos hänen perusteluistaan ilmenee hänen toimineen tarkoituksenmukaisesti ja seuraukset tuntien yhteisön arvoja vastaan. Hän on kuitenkin vastuussa teoistaan, vaikka seuraukset olisivat olleet tahattomia ja vahingon aiheuttamia.<sup>3</sup>

Voimme määritellä, missä tilanteissa meidän on moraalisesti oikeutettua vaatia toimijaa vastaamaan tekojensa seurauksista tietyille yhteisölle. Vastuunoton vaatiminen esimerkiksi työpaikan viitekehyksessä on oikeutettua, sillä työntekijä on sitoutunut tähän instituutioon työsopimuksen allekirjoittaessaan. Tällaisten selkeiden instituutioiden, joiden jäseniksi liitytään ja jonka sisäiset säännöt hyväksytään, lisäksi myös esimerkiksi kotimaata ja sen perustuslakia voidaan ajatella oikeutetusti velvoittavan jäseniään vastaamaan toimistaan.<sup>3</sup> Vastuun jakautumista eri tilanteissa ei ole kuitenkaan aina helppoa määritellä. Esimerkiksi kemisti, joka syntetisoi uuden yhdisteen, on vastuussa tämän yhdisteen mahdollisesti aiheuttamasta vahingosta. Kuitenkin yhdisteen valmistaminen laboratoriossa eroaa merkittävästi sen tuottamisesta teollisuudessa, jolloin teollisessa tuotannossa saattaa syntyä esimerkiksi epäpuhtauksia, joita ei laboratorio-oloissa syntynyt.<sup>10</sup> Kemistin vastuu tällaisten epäpuhtauksien aiheuttamasta haitasta on epäselvä, sillä julkaistessaan tuloksensa hän mahdollisti tuotannon, joka ei kuitenkaan tapahdu tavalla, jonka hän julkaisi.

Myös yleistä vastuuta ihmiskuntaa kohtaan on vaikeaa määritellä, sillä ihmiskuntaan ei sitouduta millään tietyllä sopimuksella, joka määrittelisi yhteiset pelisäännöt. On kuitenkin olemassa useita yleisiä moraaliteorioita, jotka sisältävät joukon arvoja, normeja, velvoitteita ja moraalikeskustelun sääntöjä, jotka kyseisen yleisen moraaliteorian kannattajat hyväksyvät kriteereiksi arvioitaessa heidän tekojensa seurauksia ihmiskunnalle. Jokainen näistä teorioista katsoo kaikkien olevan vastuussa ihmiskunnalle ja velvollisia sitoutumaan moraaliteorian kriteereihin. Amoraalisuutta, s.o. piittaamattomuutta moraalिसäännöistä, pidetään moraalisesti tuomittavana. Yleisen moraaliteorian kannattajalla on siis moraalinen oikeutus vaatia toimijaa vastaamaan tekojensa seurauksista ihmiskunnalle, vaikka tämä ei sitoutuisikaan ihmiskuntaan instituutiona.<sup>3</sup>

Tämän näkemyksen ongelma tosin on se, että ihmiset, jotka toimivat yleisistä moraalिसäännöistä piittaamatta, tuskin välittävät toimintansa moraalises ta tuomittavuudesta. Tällaisia ihmisiä ei kuitenkaan todennäköisesti ole kovin paljoa, sillä ihmisillä vaikuttaisi olevan taipumus perustella toimiaan arvoillaan, jolloin he asettavat itsensä osaksi jonkinlaista moraalijärjestelmää ja ajautuvat väkisin keskustelemaan yleisistä periaatteista.

## **2.2 Riskianalyysi**

Tieteellistä koetta suorittavan kemistin toimiin liittyy aina riski siitä, että hänen työllään on kielteisiä seurauksia joko luonnolle tai yhteiskunnan kehitykselle. Tekojen seurauksiin liittyvien riskien arviointiin on kehitetty erilaisia menetelmiä, joista yksinkertaistettu malli esitetään alla:<sup>2</sup>

Olkoon  $P(n)$  teon kielteisen seurauksen todennäköisyys ja  $W(n)$  seurauksen vakavuus. Näiden perusteella voidaan arvioida tekoon liittyvä riski  $R(n)$  seuraavasti:

$$R(n) = P(n) \times W(n)$$

Tämän perusteella saadaan yhtä suuret riskit teoille, joista toiseen liittyy todennäköinen mutta vähäpätöinen kielteinen seuraus ja toiseen epätodennäköinen mutta vakava kielteinen seuraus.<sup>2</sup>

Teon kielteisten seurausten lisäksi tulee arvioida myös sen positiivisia seurauksia  $G(p)$ :

$$G(p) = D(p) \times P(p)$$

missä  $D(p)$  on positiivisten tulosten haluttavuus ja  $P(p)$  näiden todennäköisyys. Kun yhdistetään tekoon liittyvän riskin ja positiivisten seurausten arviointi, voidaan määrittellä teon valinnanarvoisuus  $C(n,p)$ :

$$C(n,p) = G(p) / R(n).$$

Valittaessa kahdesta vaihtoehdosta tulisi siis suosia sitä, jonka positiiviset seuraukset ovat suuremmat tai johon liittyy pienempi riski.<sup>2</sup>

Valinnanarvoisuuden määrittelyssä  $W$  ja  $D$  kuuluvat eettisen tarkastelun piiriin riippuessaan siitä mikä on haluttavaa, eli hyvää, tai kielteistä, eli pahaa. Moraaliteoriat voivat tarjota apua tähän riskianalyysiin niistä johdettavien erilaisten sääntöjen avulla. Esimerkiksi ”Älä tapa” on yleinen eettinen sääntö.<sup>2</sup> Luvussa 1 esitetystä yleisen moraaliteorian mallista voidaan johtaa muita samankaltaisia sääntöjä, joiden katsotaan edistävän ihmiskunnan hyvinvointia. Näiden sääntöjen johtaminen vaatii taustalle eettisiä arvoja, joiden avulla toimija voi tarkastella erilaisiin tekoihin liittyviä  $W$ :n ja  $D$ :n vakavuuksia. Riskianalyysiin liittyy aina henkilön omaa arvotusta, joka perustuu hänen henkilökohtaisiin mieltymyksiinsä tai kokemukseensa.<sup>2</sup> Arvioitaessa erilaisia kilpailevia toimintamalleja, joudutaan tekemään valintoja eri arvojen välillä ja asettamaan niitä tärkeysjärjestykseen. Tässä yhteydessä arvot voivat siis sekä lisätä teon haluttavuutta  $D$  että toimia syinä joidenkin seurausten vakavuudelle  $W$ .<sup>2</sup>

Toimintaa ohjaavat arvot voidaan yleisellä tasolla johtaa luvussa 1 esitetystä moraaliteoriasta. Kuvan täydentämiseksi voidaan ajatella myös samassa yhteydessä esitettyjen inhimillisten tarpeiden, joiden täyttäminen on meille tärkeää, vaikuttavan

siihen, millaisia arvoja painotamme eettisissä ratkaisuisamme. Tarkasteltaessa kemiaan liittyviä riskianalyysijä voimme ottaa avuksi myös joitakin tieteeseen itsessään liittyviä arvoja ja erityiskysymyksiä. Esimerkiksi tilanteessa, jossa kemisti tutkii jotakin ilmiötä pelkästään tieteellisistä syistä, voidaan ajatella seuraavanlainen riskianalyysi:

G = tieteellinen tieto lisääntyy

R = tieteellinen tieto ei lisäännä

Jos kemisti pitää tiedon lisäämistä itsessään arvona, joka kuuluu tieteeseen, vaikuttaisi koe helposti valinnanarvoiselta ja koko riskianalyysi turhalta.

Riskianalyysissä tulee kuitenkin pelkkien seurausten arvottamisen lisäksi huomioida keinot, joilla nämä seuraukset saavutetaan: esimerkiksi uuden kemikaalin biologinen testaaminen ihmisillä vaikuttaa varmasti siihen, miten koejärjestelyn riskianalyysi suoritetaan. Tämän lisäksi jokaisen tieteellisen kokeen voidaan ajatella häiritsevän luonnon tai yhteiskunnan vallitsevaa tilaa. Häiriö voi olla pieni, mutta on aina mahdollista, että siitä kehittyy vakavaa haittaa ja se pitää siksi huomioida riskianalyysissä.<sup>2</sup>

Yllä esitetyistä puhtaaseen tieteelliseen tutkimukseen liittyvistä kielteisistä seurauksista ei kuitenkaan seuraa sitä, ettei riskejä tulisi ottaa, sillä tämä estäisi kaiken muun paitsi ehkä tarkkailevan tieteen harjoittamisen. Kemistin kannalta oleellista on, että hän tiedostaa riskin olemassaolon ja harkitsee, onko se positiivisten seurausten arvoinen.<sup>2</sup> Se, kuinka kemisti tämän riskin arvioi, riippuu paljolti hänen omista arvoistaan: esimerkiksi luonnon hyvinvointi ei suoraan sisälly luvussa 1 esitettyihin moraaliteorian perusteisiin, vaikka sillä on varmasti merkitystä monille. Tähän liittyy kuitenkin selvä ongelma arvosubjektivismista: riskianalyysi muuttuu helposti merkityksettömäksi, jos eri vaihtoehtojen punnitseminen on lopulta kiinni ainoastaan siitä, mikä kemistin mielestä on arvokasta. Tältä subjektivismilta suojaa jonkin verran se, että kemisti joutuu kuitenkin perustelemaan arvovalintansakin ainakin teoriassa siinä viitekehyksessä, jossa hänen toimiaan arvostellaan.

Esimerkkinä riskianalyysistä voidaan ottaa tilanne, jossa kemisti valmistautuu syntetisoimaan kokonaan uuden yhdisteen ensimmäistä kertaa maailmassa. Tällöin mahdollisiin kielteisiin seurauksiin voidaan laskea ainakin mahdollinen synteesin aikana sattuva onnettomuus, joka vahingoittaisi kemistiä ja muita työntekijöitä. Tämän todennäköisyyttä voidaan vähentää esimerkiksi tuottamalla uutta yhdistettä pieni määrä ja kiinnittämällä huomiota turvallisuuteen. Toinen mahdollinen riskilähde on itse syntetisoitu tuote, jolla voi olla monia ihmisille haitallisia ominaisuuksia. Näiden sisältämää riskiä lievittää uuden yhdisteen pieni määrä, minkä lisäksi kemisti voi säilyttää sitä turvallisesti.<sup>10</sup>

Esimerkkitalanteessa kemisti voi miettiä mitä positiivisia seurauksia synteesistä seuraa ja harkita synteesin valinnanarvoisuutta vertaamalla hyviä seurauksia ja riskejä keskenään. Sen tarkoitus on osoittaa, että riskianalyysi on sekä toteuttamiskelpoinen että mielekäs väline myös tieteen puitteissa.

Kun kemisti ottaa vastuun toimistaan ja ymmärtää niihin liittyvät riskit, hän voi tarkastella ja ratkaista työhönsä liittyviä eettisiä ongelmia neliportaisen mallin avulla:<sup>11</sup>

1. Ongelman määrittely
2. Tiedonkeruu
3. Tiedon analysointi
4. Päätöksen teko

Ongelman määrittelemisessä pyritään selvittämään itselle mahdollisimman tarkkaan, mistä ongelmassa on kyse, esimerkiksi vastaamalla kysymyksiin kuka, mitä, missä, milloin ja miksi. Myös ongelman eri eettiset puolet tulisi määritellä: onko kyse ammattietiikkaan liittyvästä ongelmasta, jossa esimerkiksi tieteellisen tutkimuksen normit ovat uhattuina, vai onko kyse yleisiin moraaliehtoihin liittyvästä ongelmasta. Tiedonkeruuvaiheessa etsitään mahdollisimman monta erilaista ratkaisumallia ongelmaan arvioimatta kuitenkaan vielä niiden hyviä ja huonoja puolia. Ratkaisumallien yhteydessä määritellään myös se, keihin ne vaikuttaisivat sekä ongelman eri osapuolten välisten vuorovaikutussuhteiden laatu.<sup>11</sup>

Kolmannessa vaiheessa kehitettyjä ratkaisumalleja tarkastellaan ja selvitetään, miten kukin niistä vaikuttaisi ongelman eri osapuoliin: parantuuko vai huonontuuko näiden asema, mitä eri vuorovaikutussuhteille tapahtuu ja loukataanko jonkin osapuolen perusoikeuksia? Lopuksi kemisti joutuu tekemään päätöksen, joka perustuu edellisten vaiheiden lisäksi hänen eettisiin arvoihinsa. Tämä nelivaiheinen prosessi voi toistua useitakin kertoja ennen kuin ongelmaan löytyy ratkaisu, ja tällöinkin on todennäköistä, että yhden hyvän ratkaisun sijaan löytyy useita ratkaisuja, joissa kussakin on ongelmia, sekä vaihtoehtoja, jotka eivät ole missään nimessä hyväksyttäviä.<sup>11</sup>

Tässä prosessissa auttaa, jos ensimmäiseen ja toiseen vaiheeseen liittyvässä eri osapuolien määrittämisessä kemisti pohtii vastuutaan eri tahoille. Moraalinen toimija on aina vastuussa ihmiskunnalle, joten tämä kokonaisuus tulee ottaa aina huomioon. Lisäksi kemistin vastuu työtovereilleen tai ammattikunnalleen voi vaatia häneltä tiettyjen tahojen huomiointia. Kolmannessa vaiheessa kemisti voi hyödyntää riskianalyysiä pohtiessaan eri vaihtoehtoihin sisältyviä hyviä ja huonoja puolia ja näiden todennäköisyyksiä. Lopuksi arvioitaessa eri vaihtoehtoja eettisin perustein on syytä miettiä sekä vastuukysymyksiä että riskejä: jos kemisti ei katso olevansa vastuussa jollekin tietylle ryhmälle, esimerkiksi kansalleen, hänen ei tarvitse ottaa kansallisia näkökohtia huomioon päätöksessään. Hän siis arvioi niitä ratkaisuvaihtoehtoihin liittyviä riskejä, joiden tuntee olevan eettisesti merkityksellisiä itselleen ja lopuksi ratkaisee näiden vaihtoehtojen väliltä omien moraaliarvojensa perusteella. On kuitenkin jälleen syytä muistaa, että toimijaa voidaan aina vaatia vastuuseen ihmiskunnalle.

### 3. Uuden kemikaalin syntetisointiin liittyvät eettiset kysymykset

Kemisti, joka on vastuussa uuden kemikaalin syntetisointiin liittyvistä riskeistä, perustelee todennäköisesti riskien ottamista niistä seuraavalla hyödyllä. Usein tämän hyödyn voidaan ajatella liittyvän sovellukseen, jonka kehittämistä pidetään synteessin päämääränä.<sup>3</sup> On kuitenkin myös paljon kemiantutkimusta, johon kuuluvien synteessien päämääränä ei ole mikään tietty sovellus.

Tarkastelemalla julkaisuja, joissa esitellään uusia kemikaaleja, voidaan havaita, että viimeisen 200 vuoden aikana uusien kemikaalien määrä on kasvanut eksponentiaalisesti. Tässä kehityksessä on ollut välillä sotien aiheuttamia notkahduksia, mutta kehitys on aina ottanut eksponentiaalisen kasvukäyrän kiinni, aivan kuin mitään notkahduksia ei olisi tapahtunut.<sup>12</sup>

Tällaista kehitystä voidaan selittää ajattelemalla kemiantutkimus prosessiksi, jossa uuden yhdisteen valmistaminen mahdollistaa aina uusien yhdisteiden luomisen. Jokainen syntetisoitu yhdiste tarjoaa mahdollisuuden uusien yhdisteiden luontiin sekä synteessin rutiininomaisella toistolla että luovalla prosessilla, joka avaa jälleen uuden tavan toistaa tämä sykli. Oletetaan esimerkiksi, että A, B, C, D, E ja F ovat yhdisteluokkia ja R1 ja R2 reaktiomekanismeja siten, että  $A + B \xrightarrow{R1} C$  ja  $C + D \xrightarrow{R2} E$ . Nyt luomalla uuden reaktiomekanismin R3, joka tuottaisi reaktion  $D + F \xrightarrow{R3} A$ , loisimme uusia yhdisteitä luokkaan A, joka puolestaan johtaisi uusien yhdisteiden syntyyn myös luokissa C ja E. Tällaista kemiaa voidaan kutsua tuottavaksi kemiaksi.<sup>12</sup>

Uusien kemikaalien määrän eksponentiaalinen kasvun selittämiseen vaaditaan malli tuottavan kemian metodologiasta. Yllä esitettyä prosessia laajentamalla voidaan ajatella, että tehokkain mahdollinen uusien kemikaalien lisääntyminen saavutetaan käyttämällä menetelmää, jossa:<sup>13</sup>



1. Uusien yhdisteiden syntetisointi on osa prosessia, jossa pyritään kehittämään tuottavan kemian työkaluja (reagensseja, katalyyttejä), koejärjestelyjä, tai teoreettisia menetelmiä.
2. Kohdassa 1 kehitetyt työkalut, koejärjestelyt ja teoreettiset menetelmät todella ohjaavat uusien kemiallisten yhdisteiden tuottamista.
3. Työkalujen, koejärjestelyjen ja teoreettisten menetelmien kehittäminen vaatii useiden uusien yhdisteiden tuottamista.

Tutkimalla *Angewandte Chemie* –lehdessä julkaistuja artikkeleita, joissa esiteltiin vähintään yhden uuden yhdisteen tuotto ja tunnistus, pyrittiin selvittämään, mitkä ovat kemistien päämäärät heidän tuottaessaan uusia yhdisteitä.<sup>13</sup> Lehden kirjoittajille annettujen ohjeiden mukaan julkaistavien artikkelien tulee olla yleisesti kiinnostavia, tai niiden tulee vähintään tarjota jotakin tärkeään tutkimusaiheeseen liittyvää.<sup>13,14</sup> Tutkimuksessa tarkasteltiin perusteluja, joita kirjoittajat antoivat tulostensa merkittävyydelle. Näiden tulosten perusteella havaittiin, että yllä kuvattu tuottavan kemian metodologia pätee varsin hyvin tarkasteltaessa tuottavaa orgaanista kemiaa. Epäorgaanisessa tuottavassa kemiassa metodologiaa ei havaittu, sillä uusien epäorgaanisten yhdisteiden tuottamisen sijaan tuottava epäorgaaninen kemia keskittyy orgaanisten reaktioiden katalyyttien tutkimiseen.<sup>13</sup> Uusien epäorgaanisten yhdisteiden tuottaminen edistää siis puolestaan orgaanisen kemian tuottavuutta.

Yllä kuvattua metodologiaa noudattavaa tutkimusta voidaan kutsua kemian osa-alueeksi, jossa uusien yhdisteiden syntetisointi on päämäärä itsessään.<sup>13,3</sup> Toinen tutkimuksessa havaittu merkittävä kemian osa-alue oli sovelluksiin tähtäävät synteesit.<sup>13</sup> Pohdittaessa uusien kemikaalien syntetisointiin liittyviä eettisiä kysymyksiä jaetaan tarkastelu kahteen osaan. Luvussa 3.1 tarkastellaan yllä kuvattua tuottavan kemian metodologiaa noudattavaa tutkimusta, jossa synteesi on päämäärä itsessään ja luvussa 3.2 tarkastellaan, miten sovellukseen tähtäävään synteesiin liittyvät eettiset kysymykset poikkeavat tästä.

### 3.1 Synteesi päämääränä itsessään

Tarkastellaan uuden yhdisteen syntetisointiin liittyvää riskianalyysii: Synteesin valinnanarvoisuus  $C$  riippuu siitä miten paljon sillä voidaan ajatella olevan hyviä seurauksia  $G$  ja huonoja seurauksia  $R$ . Edellisessä luvussa esitettiin jo joitakin riskejä, joita synteesiin liittyy: uuden yhdisteen tuottaminen on aina häiriö vallitsevaan tilaan ja sisältää siten mahdollisuuden kielteisiin seurauksiin. Lisäksi varsinaiseen synteesiin liittyy onnettomuusriski. Kemisti, jolle uusien yhdisteiden kehittäminen on päämäärä sinänsä, voi esittää  $G$ :ksi seuraavia argumentteja:

1. Kemiällisen tiedon määrän lisääntyminen
2. Ammatilliset syyt

Kemiällisen tiedon lisääntymiseen vetoava kemisti uskoo, että syntetisoidessaan uuden yhdisteen, tieto tästä yhdisteestä ja sen valmistusmenetelmistä on itsessään hyvä asia. Uuden kemikaalin syntetisointi eroaa kuitenkin muusta tieteellisestä toiminnasta, sillä luomalla kokonaan uudenlaisen kemikaalin kemisti luo myös paljon epätietoa. Tämä epätiedon syntyminen eroaa tilanteesta, jossa uuden ilmiön havaitseminen luo uusia kysymyksiä, sillä luomalla uuden yhdisteen, kemisti luo samalla uusia todellisia ominaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa maailmaan.<sup>3</sup>

Kemisti saattaa määrittää uudesta kemikaalista muutaman ominaisuuden, joiden avulla se voidaan tunnistaa, minkä lisäksi hän tuottaa tietoa synteesin kulusta ja reaktioista. Tuotetulla yhdisteellä on kuitenkin paljon muitakin ominaisuuksia, jotka tulevat sen mukana todellisuuteen epätietona.<sup>3</sup> Kemistillä on joitakin keinoja arvioida näihin ominaisuuksiin sisältyviä riskejä huonoille seurauksille. Hän voi päätellä uuden yhdisteen ominaisuuksia vertaamalla sitä muihin samankaltaisiin yhdisteisiin.<sup>10</sup> Tällä tavalla kemisti voi todeta, että todennäköisyys  $P(n)$  uuden yhdisteen vakaville kielteisille ominaisuuksille on pieni. Kuitenkin myös pelkkä epätiedon määrän suuruus  $R$  verrattuna uuden tiedon määrään  $G$  riittää tekemään synteesistä riskianalyysin perusteella kannattamattoman, mikäli uusi kemiällinen tieto on ainoa hyvä seuraus synteesistä. Voidaankin ajatella, että kemisti on vastuussa kemiällisen

tiedon hyvinvoinnista.<sup>3</sup> Tämän vastuun hyväksyvän kemistin tulisi pitäytyä tuottamasta uusia yhdisteitä pelkästään niiden määrän kasvattamiseksi.

Toinen tapa perustella synteessin kannattavuutta vetoamalla sen tuotteen käyttötarkoitukseen ovat ammatilliset syyt. Näistä esimerkkinä on väitöskirjan teko, joka joillakin kemian aloilla saattaa vaatia lukuisien uusien yhdisteiden valmistamista.<sup>15</sup> Kemisti voi ajatella, että oppimalla synteesiin liittyvän tietotaidon hyvin, hän tuottaa hyvää jollekin instituutiolle enemmän kuin mitä uuden epätiedon synnystä seuraa haittaa, jolloin synteesi on valinnanarvoinen. Instituutio, jolle kemisti katsoo olevansa velvollinen vastaamaan työstään voi olla esimerkiksi hänen tutkimusryhmänsä, työpaikkansa tai vaikkapa koko kemistien ammattikunta.

Jos ajatellaan, että kemistin tulisi moraalisenä toimijana olla aina valmis myös vastaamaan teoistaan koko ihmiskunnalle, tulee uuden kemikaalin mahdollisia kielteisiä seurauksia tarkastella tiukemmin. Mikäli hänen kehittämänsä kemikaali joskus tulevaisuudessa aiheuttaa vahinkoa ihmiskunnalle, on kemisti siitä vastuussa. Tällöin pelkkä kehittyvä ammattitaito tuntuu riittämättömältä perustelulta otetun riskin oikeuttamiseksi. Tällainen näkökulma ihmiskunnan edun valtavasta vallasta kemistin eettisissä päätöksissä tuntuu kuitenkin liioitellulta. Esimerkiksi kemisti, joka syntetisoi uuden yhdisteen kehittääkseen ammattitaitoaan, voi tuntea tarvetta tehdä mielekästä työtä ja saada julkaisemalla tulokset tunnustusta kemistien yhteisöltä. Samalla hän ehkä ajattelee oman tutkimusryhmänsä parasta, jota hän voi auttaa paremmalla ammattitaidollaan. Ihmisten moraalinen oikeus pyrkiä onnellisuuteen toteuttamalla itseään tuleekin ottaa myös huomioon. Tämäkään ei kuitenkaan poista moraalista velvollisuuttamme ottaa huomioon ihmiskunnan tarpeet ja auttaa muita ihmisiä ja tunnustaa heidän oikeutensa.

Lisäksi kemistillä voidaan ajatella olevan velvollisuus tiedemiehenä kasvattaa yleistä tietoa maailmasta vastineeksi siitä hyvästä, minkä yhteiskunta hänelle tarjoaa. Tällöin synteesi, joka tyydyttää vain kemistin omia ammatillisia tarpeita tuottamatta yleistä hyötyä, olisi eettisesti väärin. Yleisellä hyödyllä ei tässä yhteydessä tarkoiteta sovelluksia, joita synteessissä luodulle kemikaalille olisi tutkimusaihetta valittaessa oltava tiedossa. Tieteen tehtävänä voidaan pitää myös uusien näkökulmien tuottamista todellisuudesta ja yleisen tiedon lisäämistä maailmasta.<sup>15</sup>

Tutkimusta, jonka tarkoituksena on kehittää uusi yhdiste ilman mitään erityistä käyttötarkoitusta teon kannattavuutta perustelemassa, on vaikeaa oikeuttaa eettisesti. Kemistin täytyy vastata kaikista mahdollisista huonoista seurauksista, joita tuotettu yhdiste saattaa tulevaisuudessa aiheuttaa. Jotta vastaus on hyväksyttävä, hänen täytyy kyetä löytämään vahvoja perusteita työn merkittävyydelle esimerkiksi hänen itsensä tai tieteen kannalta.

Synteessin, joka pyrkii johonkin uuteen ja ainutlaatuiseen, voidaan ajatella olevan eettisesti parempi tutkimuskohde kuin synteesi, joka tuottaa uuden yhdisteen kopioimalla jotakin jo tunnettua menetelmää, sillä edellisen voidaan ajatella toteuttavan paremmin tieteen tehtävää.<sup>15</sup> Myös tulokset, joita ei julkaista, tuottavat todennäköisesti vähemmän haittaa kuin julkaistut tulokset.<sup>10</sup> Vaikka on aina riski, että joku varastaa syntetisoidun kemikaalin, jolloin kemisti olisi yhtä lailla vastuussa myöhemmin aiheutuvasta pahasta, vasta julkaisemalla tulokset kemisti todella saattaa uuden tiedon ja epätiedon kaikkien saataville.<sup>3,10</sup> Kemistien tulisikin ehkä pyrkiä erottamaan rutiininomainen, ammatissaan vaadittavaa tietotaitoa kehittävä uusien yhdisteiden syntetisointi aidosta tieteellisestä keksimisestä julkaisemalla vain jälkimmäisen kaltaisia tuloksia.

Tämän lisäksi kemisti voisi ottaa riskianalyysin avuksi vielä varovaisuusperiaatteen, jonka mukaan on parempi välttää mahdollisesti vaarallisia tekoja, jos todisteita niiden vaarattomuudesta ei ole saatavilla. Kemistin tulisi siis olettaa syntetisoimansa tuotteen sisältävän riskejä ja pyrkiä etsimään todisteita sen vaarattomuudesta ennen kuin hän julkaisee tuloksensa ja mahdollistaa yhdisteen leviämisen.<sup>10</sup> Samalla hän uuden yhdisteen ominaisuuksia ja reaktioon liittyviä seikkoja selvittäessään tuottaa lisää kemiallista tietoa yhdisteestä vähentäen sen luomaa epätietoa.

### **3.2 Sovellukseen tähtäävä synteesi**

Sovellukseen tähtäävä synteesi tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että syntetisoidun kemikaalin ajatellaan olevan hyödyllinen jollekin ihmisryhmälle synteisiin ryhtyessä. Ajatellut sovellukset voidaan jakaa kahteen luokkaan: ihmisiä

vahingoittaviin ja ihmisiä auttaviin.<sup>3</sup> Nyt kemistin, joka pohtii synteisiin ryhtymisen kannattavuutta, riskianalyysi muuttuu merkittävästi tilanteesta, jossa tuotteelle ei ollut ajateltu mitään käyttöä, sillä hän voi perustella synteisiin liittyviä riskejä vetoamalla suunniteltuun sovellukseen.

Tilanne, jossa sovellus on tarkoitettu vahingoittamaan ihmisiä, pätee esimerkiksi kemiallisten aseiden tapauksessa. Ne yleiset moraaliteoriat, joiden mukaan ihmisten vahingoittaminen on yksiselitteisesti kiellettyä, tuomitsevat automaattisesti ihmisten vahingoittamiseen tarkoitettuihin sovelluksiin tähtäävät synteetit. Osa teorioista sallii yksilöiden vahingoittamisen silloin, kun se palvelee koko ihmiskunnan etua. Ei ole kuitenkaan selvää, että tämä näkökulma olisi yhtään sallivampi uusien kemikaalien kehittämiseen uusien aseiden tuottamiseksi. Aseiden käyttö ja uusien aseiden luominen ovat kaksi eri asiaa, ja uuden haitallisen kemikaalin kehittäminen synnyttää aina mahdollisuuden käyttää tätä kemikaalia moraalisesti väärin tulevaisuudessa.<sup>3</sup>

Suurin osa sovelluksiin tähtäävistä synteeseistä kuuluu siihen ryhmään, jossa sovelluksen on tarkoitus parantaa ihmiselämän aineellisia olosuhteita ja siten hyödyttää ihmiskuntaa. Tällaiseen sovellukseen tähtäävä kemisti voi todeta, että yhdisteeseen liittyvä epätiedon kasvu ja riski yhdisteen haitallisesta käytöstä jää sen hyödyn varjoon, jonka uusi sovellus tuottaa ihmiskunnalle. Tätä tapaa perustella synteetin hyväksyttävyyttä voidaan kritisoida kahdenlaisilla argumenteilla: hyöty-haitta-argumenteilla ja jakautumisargumenteilla.<sup>3</sup>

Hyöty-haitta-argumentit pätevät tilanteissa, joissa jonkin elämän osa-alueen olosuhteet paranevat toisen osa-alueen olosuhteiden huononemisen kustannuksella. Tällaisessa tilanteessa hyötyjä ja haittoja tulee verrata toisiinsa ja päätellä, paranevatko vai huononevatko elinolosuhteet kokonaisuutena. Tämän arvioiminen on hyvin vaikeaa ihmisten eriävien arvomaailmojen ja tulevien sukupolvien tuntemattomien tarpeiden takia. Hyöty-haitta-argumentti näyttäisikin vaativan huolellisen riskianalyysin tekoa ja riskien ottamista ainoastaan silloin, kun ajateltu hyöty ylittää selvästi mahdollisen haitan.<sup>3</sup>

Jakautumisargumentteja käsiteltäessä ajatellaan, että elämänlaadun paraneminen tai huononeminen liittyy hyvän ja pahan jakautumiseen ihmisten kesken. Nyt eettisesti

hyväksyttävä toiminta riippuu siitä, minkä ajatellaan olevan oikeudenmukaista hyvän ja pahan jakautumista. Oikeudenmukaisuus voidaan määritellä esimerkiksi hyvän ja pahan mahdollisimman tasaiseksi jakautumiseksi. Tällöin moraalilla velvoittaisi meitä tähtäämään tilanteeseen, jossa kukaan ei olisi muita paremmassa tai huonommassa asemassa. Toisen määritelmän mukaan oikeudenmukaisuus vaatii vähäosaisten ja puutteenaisten ihmisten suosimista hyvää jaettaessa. Lisäksi oikeudenmukaisuutta on arvioitaessa myös tilanteessa, jossa hyvä jakautuu tasaisesti, mutta se aiheuttaa jollekin pienelle ihmisjoukolle suurta pahaa.<sup>3</sup>

Tässä luvussa on pyritty esittämään uuden kemikaalin syntetisointiin liittyviä eettisiä huomioita, jotka auttaisivat kemistiä määrittämään ja ratkaisemaan työhönsä liittyviä eettisiä kysymyksiä luvussa 2 esitettyjen välineiden avulla. Annettu kuva on kuitenkin yksinkertaistettu versio todellisista kemian synteeseistä, eikä se välttämättä kykene vastaamaan kaikkiin ongelmiin.

Esimerkkinä historiallisesta synteeseistä voidaan käyttää (2,4,5-triklorofenoksi)etikkahapon (2,4,5-T) synteesiä 1940-luvulla ja sen myöhempää käyttöä mm. Vietnamin sodassa, missä aine oli osa Agent Orange -nimellä tunnettua kasvintorjunta-ainetta.<sup>10</sup> Oletetaan että yhdisteen syntetisoinut kemisti Robert Pokorny olisi ennen synteisiin ryhtymistään pohtinut siihen liittyviä eettisiä kysymyksiä. Ensin hän olisi määritellyt ongelman: Uuden yhdisteen ominaisuudet ovat tuntemattomia, mahdollisesti vaarallisia ja synteessin suorittamiseen sisältyy myös riski onnettomuudesta. Toisaalta synteessin tekeminen on osa hänen työtänsä ja siksi hänen velvollisuutensa. Vaikka julkaisu, jossa 2,4,5-T:n synteesi esitettiin, ei sisältänytkään mitään mainintaa mahdollisesta käyttötarkoituksesta, se kehitettiin osana kasvintorjunta-aineita kehittävää tutkimusta.<sup>16,10</sup>

Määriteltyään ongelman synteesiä suunnitteleva kemisti olisi voinut seuraavaksi kehittää erilaisia toimintamalleja tilanteen ratkaisemiseksi. Mahdollisia vaihtoehtoja olisivat esimerkiksi synteesistä kieltäytyminen, sen tekeminen mahdollisimman varovaisesti ja syntyvän aineen tutkiminen huolellisesti sen ominaisuuksien määrittämiseksi. Seuraavaksi hän olisi voinut arvioida kehittämiään vaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia eri osapuoliin tekemällä riskianalyysyjä ja miettimällä vastuutaan eri tahoille. Kieltäytyminen synteeseistä siihen liittyvien riskien vuoksi olisi ollut

huono ratkaisu, mikäli synteettinen kemia oli se työ, jota hän halusi tehdä. Turvallisuuden maksimointi synteeseissä olisi tuonut turvaa hänelle itselleen ja mahdollisille muille synteeseihin osallistuville henkilöille, mutta se olisi voinut myös maksaa enemmän työnantajalle. Samoin yhdisteen ominaisuuksien tarkka tutkiminen olisi vienyt paljon aikaa sekä kemistiltä itseltään että työnantajalta. Pohdittuaan eri vaihtoehtoihin liittyviä riskejä, kemisti olisi tehnyt päätöksen synteeseihin ryhtymisestä ja sen kulusta eettisten periaatteidensa mukaisesti. Esimerkiksi syntetisoidun yhdisteen suunniteltu käyttö torjunta-aineena hyödyttäisi sekä ihmiskuntaa parempien satojen ja halvemman ruuan kautta että hänen työnantajaansa patenttituloina, mikä saattaisi näkyä myös kemistin oman varallisuuden kasvuna. Kaikki tämä yhdessä voisi oikeuttaa onnettomuusriskin ja epätiedon määrän kasvamisen. Mikäli synteesiä ei kuitenkaan voisi tehdä turvallisesti, itsensä tai muiden altistaminen onnettomuudelle voisi olla kemistin mielestä ei-hyväksyttävä vaihtoehto.

2,4,5-T:n synteesiä voidaan tässä työssä esitettyjen välineiden valossa tarkasteltuna pitää eettisesti perusteltavana. Kuitenkin yhdisteen synteeseistä on seurannut paljon kärsimystä, sillä sen teollisessa tuotannossa on syntynyt myrkyllisiä epäpuhtauksia. Näiden epäpuhtauksien synty on käytettäessä aiheuttanut vahinkoa ympäristölle ja ihmisille mm. Vietnamsissa, missä Yhdysvallat käytti yhdistettä osana Agent Orange -kasvintuhoainetta. Tällaisten sivutuotteista aiheutuvien haittojen huomioiminen riskianalyyseissä on ongelmallista. Ilman ensimmäistä synteesiä kemikaalia ei tuotettaisi teollisessa mittakaavassa, mutta vaikka kemisti olisikin tutkinut syntetisoiman aineensa ominaisuudet ja synteeseissä syntyvät sivutuotteet, hän ei olisi voinut havaita teollisen prosessin synnyttämää myrkyllistä sivutuotetta.<sup>10</sup>

## 4. Johtopäätökset

Kemia sisältää riskejä, joita kemistit ottavat kyetäkseen tekemään työtään. Tässä työssä on pyritty esittämään kuvaus eettisten ongelmien määrittämisestä ja ratkaisemisesta yleisellä tasolla pitäen pääpaino kemiaan liittyvissä kysymyksissä. Lisäksi huomio on kiinnitetty erääseen kemialle ainutlaatuisen toimintaan, kemialliseen synteisiin, johon liittyviä aivan erityisiä kysymyksiä on käsitelty yleisellä tasolla. Painopiste on tarkoituksella ollut nimenomaan yleisissä moraal sääntöissä, jotka säätelevät koko ihmisen elämää. Ammattietiikka on jätetty pienempään rooliin, vaikka siihen liittyikin monia kemistille oleellisia kysymyksiä.

Tämä rajaus johtuu kahdesta seikasta. Ensinnäkin tiedettä on usein pidetty viattomana toimintana, jolloin perustutkimusta harjoittavan kemistin tarvitsee ainoastaan noudattaa tieteellisen työn sisäisiä normeja. Tämän näkemyksen mukaan kemistin ainoa velvollisuus on raportoida työnsä tulokset rehellisesti muun tiedeyhteisön käytettäväksi. Tämä onkin tärkeä vaatimus, sillä tutkijoiden täytyy voida luottaa tieteellisen tiedon pätevyyteen.<sup>8</sup> Kuitenkaan kemisti ei voi moraalisesti hyväksyttävästi kiistää vastuutaan siitä haitasta, jota hänen työstään mahdollisesti seuraa ihmisille, jolloin hänellä tulisi olla valmius myös käsitellä näitä yleisiä kysymyksiä työnsä suhteen.

Toiseksi, ammattietiikka asettaa korkeintaan lisää rajoituksia kemistille, ei kumoa yleisen moraal vaatimuksia. Vaikka tieteen ja kemian normien asettamat vaatimukset kemistille tuleekin ottaa huomioon pohdittaessa synteisiin liittyviä eettisiä kysymyksiä, olisi niiden käsittely ollut tässä työssä vaikeaa kirjoittajan omakohtaisten kokemusten kemistin työstä puuttuessa. Liikkumalla yleisen moraal asettamisessa viitekehyksissä pystyin mielestäni esittämään kattavan kuvan niistä perusteista, joita laajentamalla päästäisiin käsiksi kemian tutkimuksen todellisiin erityiskysymyksiin ja tarkempiin filosofisiin teorioihin niiden ratkaisemiseksi.



Sivuuttamalla ammattietiikan tarkempi käsittely sivuutettiin samalla myös kemian ja tieteen ammatillisen luonteen vaikutukset eettisiin ratkaisuihin lähes kokonaan. Synteesin yhteydessä esitetyt näkemykset tiedon ja epätiedon suhteesta sekä ammatillisen pätevyyden kehittymisen vaatimuksista tarvitsisivat ympärilleen muitakin kemian ja tieteellisen työskentelyn luonteen asettamia vaatimuksia kemistin työlle. Osa näistä vaatimuksista voisi toimia perusteina esimerkiksi tieteellisen uteliaisuuden motivoimalle uuden yhdisteen synteesille, joka luvussa kolme esitetyssä valossa on hyvin vaikeasti oikeutettavissa yleisellä moraalikeskustelun tasolla.

Yksi kysymys, jota tulisi pohtia lisää, on kemistin arvojen vaikutus hänen riskianalyysiinsä ja siten työn oikeuttamiseen sekä erilaisten yhteisöjen arvojen vaikutus siihen moraalikeskusteluun, jota niiden puitteissa käydään. Tässä työssä valittu yleinen taso pyrki tasapainottelemaan toisaalta ihmiskunnan yleisen edun asettamien varsin tiukkojen vaatimusten ja toisaalta ihmisen itsemääräämisoikeuden välillä kallistuen kuitenkin jälkimmäisen kannalle. Tästä seuraa kuitenkin se, että ihmisten arvojen kirjo tekee riskianalyysistä melko hyödyttömän välineen vertailtaessa erilaisia toimintavaihtoehtoja. Eri vaihtoehtojen välillä valitseminen riippuu lähes täysin jokaisen omista mieltymyksistä, mikä johtaa helposti eettisten kysymysten subjektiivisuuteen ja erilaisten instituutioiden mielivaltaan omia eettisiä normeja asetettaessa.

Kysymykseen, miten objektiivisia riskianalyysiin vaikuttavien arvojen tulisi olla ja mitä se merkitsisi yksilön vapaudelle toteuttaa omia tarpeitaan, tässä työssä ei kyetä vastaamaan. Asia vaatisi paljon yksityiskohtaisempia etiikan teorioita ja arvojen määrittelyä, eikä siksi ole mahdollista tämän työn puitteissa.

## Lähteet

- <sup>1</sup> Norman, *The Moral Philosophers*, 2. laitos, Oxford University Press, 1998, s. 1-3
- <sup>2</sup> Del Re, Ethics and Science, *HYLE – Interational Journal for Philosophy of Chemistry*, 2001, 7, 85-102
- <sup>3</sup> Schummer, Ethics of Chemical Synthesis, *HYLE—International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2001, 7, 103-124
- <sup>4</sup> <sup>1</sup>, s. 216-219
- <sup>5</sup> Danto, teoksessa *Encyclopedia of Philosophy*, vol. 7, toim. Borchert, 2. painos, Macmillan, 2006, s. 516
- <sup>6</sup> Schummer, teoksessa *Encyclopedia of Philosophy*, vol. 2, toim. Borchert, 2. painos, Macmillan, 2006, s. 140-142
- <sup>7</sup> Kiiikeri, Ylikoski, *Tiede tutkimuskohteena*, 1. painos, Gaudeamus, Tampere 2004, s. 11-12
- <sup>8</sup> Kovac, teoksessa *Philosophy of Chemistry*, toim. Baird, Scerri ja McIntyre, Springer, 2006, s. 157-169
- <sup>9</sup> Merton, *The Sociology of Science*, The University of Chicago Press, 1973, s. 270-278
- <sup>10</sup> Jacob, Walters, Risk and Responsibility in Chemical Research: The Case of Agent Orange, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2005, 11, 147-166
- <sup>11</sup> Kovac, *The Ethical Chemist*, Pearson Education Inc, 2004, s. 23-26

<sup>12</sup> Schummer, Scientometric Studies on Chemistry I, the Exponential Growth of Chemical Substances, 1800-1995, *Scientometrics*, 1997, 39, 107-123

<sup>13</sup> Schummer, Scientometric Studies on Chemistry II, Aims and Methods of Producing New Chemical Substances, *Scientometrics*, 1997, 39, 125-140

<sup>14</sup> Angewandte Chemie International Edition –lehden ohjeet käsikirjoituksen valmisteluun, [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1521-3773/homepage/2002\\_guideline.html](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1521-3773/homepage/2002_guideline.html) (luettu 9.11.2010)

<sup>15</sup> Laszlo, Handling Proliferation, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2001, 7, 125-140

<sup>16</sup> Pokorny, Some Chlorophenoxyacetic Acids, *Journal of the American Chemical Society*, 1941, 63, 1768