



# **Kemia – Suomi: kemian ja kemiantekniikan rakenteellinen kehittäminen ja profilointi**

**Selvitysmiehen raportti 22.1. 2016**

Risto Nieminen

## Sisällys

1. Taustaa
2. Kemian alan tutkimustoiminnasta
3. Tutkimustoiminnan profiloituminen
4. Tutkimustoiminnan kehittämisen linjaukset
5. Ehdotetut toimenpiteet
  - 5.1. Kemian ja kemiantekniikan rajapinnan häivyttäminen ja yhteistyön vahvistaminen
  - 5.2. Siirtyminen kohti laajoja kandidaattiohjelmia ja hakukohteita
  - 5.3. Yliopiston profiilin mukaiset temaattiset tutkinto-ohjelmat
  - 5.4. Tohtorikoulutuksen vahvistaminen
  - 5.5. Infrastruktuurin kehittämisen kansallinen koordinointi
  - 5.6. Yhteisprofessuurit
  - 5.7. Kansainvälisen rekrytoinnin lisääminen
  - 5.8. Ennakointityö
  - 5.9. Matemaattis-luonnontieteellisten alojen opiskelijaosuuden kasvattaminen lukioissa

## 1. Taustaa

Suomen yliopistojen kemian ja kemiantekniikan laitokset ovat aloittaneet syksyllä 2014 kansalliset neuvottelut kemian alan tutkimus- ja koulutustoiminnan tehostamiseksi. Aloite on tullut Helsingin yliopiston kemian laitokselta. Hankkeessa on mukana myös Kemianteollisuus ry, joka on maamme kemian teollisuuden kattojärjestö. Käydyt keskustelut ja kartoitus liittyvät yliopistojen rehtorien neuvoston UNIFIn käynnistämään laajempaan luonnontieteellisten alojen rakenteellisen kehittämisen hankkeeseen. Kemian alueen profiloitumis- ja yhteistyöaloite on saanut nimen "*Kemia-Suomi*".

Neuvottelujen tavoitteena on laatia Suomen kemian opetukselle ja tutkimukselle kehittämissuunnitelma, minkä puitteissa tarkastellaan ja koordinoidaan eri yksiköiden välistä työnjakoa ja yhteistyötä. Kehittämissuunnitelman perusteella laaditaan toimenpiteiden tiekartta, joka esitellään yliopistojen johdolle, erityisesti rehtorien neuvostolle ja dekaanien yhteistyöelimelle sitoutumisen varmistamiseksi käynnistyvään toimenpideohjelmaan ja sen tavoittelemaan profiloitumiseen.

Kemia-Suomen tavoitteisiin kuuluu myös alan näkyvyyden, kiinnostavuuden ja vaikuttavuuden lisääminen, mahdollisten turhien päällekkäisyyksien poistaminen ja yksiköiden välisen kansallisen yhteistyön lisääminen. Sen lisäksi tavoitteena on tukea tutkimusinfrastruktuurien määrätietoista ja pitkäjänteistä kehittämistä kansallisen yhteistyön kautta. Vain siten voidaan taata korkeatasoisen tutkimustoiminnan edellytykset kemian kansallista ja kansainvälistä merkitystä vastaavalle tasolle.

Kemian alueen yliopistotasoisella toiminnalla on useita tärkeitä tehtäviä opetuksessa ja tutkimuksessa. Ne ulottuvat kemian "ydinalueiden" perustutkimuksesta muiden luonnontieteiden, lääke- ja teknisten tieteiden vahvaan tukemiseen sekä luonnontieteellisten alojen opettajankoulutukseen. Yhtäältä kemian ala luonnollisesti asettaa omat tieteelliset tavoitteensa. Kemia on toisaalta mahdollistava tieteenala, jonka merkitys on voimakkaasti kasvanut mm. erilaisten valmistus-, prosessointi-, karakterisointi- ja mallinnusmenetelmien kehittäjänä sekä analyttisten välineiden tuottajana.

Kemian ytimessä on lisäarvon tuottaminen mille tahansa raaka-aineelle tai materiaalille. Molekyyli-tason ilmiöiden hallinta tarjoaa esimerkiksi biotaloudelle innovaatioiden lähteen. Kemian teollisuuden monet kasvualat Suomessa, kuten uusiutuvat biopolttoaineet, biopohjaiset kemikaalit, vesikemia ja entsyymit ovat tärkeä osa bio- ja kiertotaloutta ja puhdasta teknologiaa. Metallien jalostus, erilaisten yhdisteiden katalyyttinen valmistus sekä ympäristöalan erotus- ja puhdistusprosessit ovat muita esimerkkejä vahvaa kemian osaamista edellyttävistä aloista.

Kemialla on siten vahva liittymäpinta moniin luonnontieteen ja tekniikan aloihin, eikä sen vaikutusalueen tarkka määrittely ole mielekäästä tai edes mahdollista. Kemia ja

fysikaaliset tieteet kohtaavat materiaalien ja molekyylien tutkimuksessa, erityisesti nopeasti vahvistuvassa nanotieteessä ja –teknologiassa. Kemian yhteys biotieteisiin on myös tiivis, samoin lääketieteeseen ja farmasiaan. Bio- ja lääketieteellinen kemia on itse asiassa kasvanut laajaksi omaksi alueekseen, eikä sitä käsitellä tässä selvityksessä.

Kuten modernissa luonnontieteessä ja tekniikassa yleisemminkin, kemian alueen koulutuksessa ja tutkimuksessa tulee välttää turhaa reviirijakoa ja pyrkiä vanhat tieteenalamäärittelyt unohtavaan monialaiseen, ongelmalähtöiseen toimintaan.

Kemian teollisuus on vastaa neljänneksestä maamme vientiteollisuudesta ja sen kasvumahdollisuudet ovat vahvat. Kemian alueen tutkimusosaaminen tulisi saada entistä paremmin valjastetuksi yhteiskunnan muuhun osaamispohjaan, muun muassa metsäteollisuudessa ja teknologiateollisuudessa. Teollisuuden rekrytointitarpeet ovat kasvussa ja korostavat yhä enemmän tutkimusosaamista. On myös huomattava, että kemia on ratkaisevassa asemassa ratkaistaessa monia ihmiskunnan keskeisiä haasteita, kuten energiaan, ilmastonmuutokseen ja raaka-aineiden kestävään käyttöön liittyviä.

Kemian alueella on kannettu huolta riittävän määrän lahjakkaiden ja motivoituneiden opiskelijoiden rekrytoinnista kemian ja kemiantekniikan opintoihin. Tähän liittyy kemian alueen geneerisestä luonteesta johtuva nuorten osittain epäselväksi kokema ammattikuva. Sen vastapainona on syytä korostaa alan koulutuksen mahdollistamia monipuolisia työuria.

Opiskelijarekrytointia tulee tarkastella myös LUMA- näkökulmasta. Vuonna 2014 vain noin 36% ylioppilastutkintoa tavoittelevista nuorista Suomessa osallistui pitkän matematiikan, noin 20 % fysiikan ja noin 20 % kemian kokeeseen. Näistä opiskelijoista ovat kiinnostuneita useat luonnontieteiden, lääketieteiden ja tekniikan ohjelmat yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa. Esimerkiksi Oulun yliopistossa 74% kaikista aloituspaikoista edellyttää LUMA-osaamista. Luku on vielä korkeampi mm. Aalto-yliopistossa ja Tampereen teknillisessä yliopistossa. On selvää, että ilman LUMA-pohjan tuntuvaa vahvistumista on vaikea ylläpitää myös kemian alalla riittävää hakupainetta yliopistoissa. Tämä antaa syytä huoleen myös vientiteollisuuden tulevaisuuden osaamispohjan kannalta.

Kemian alueen opetusta ja tutkimusta on Suomessa yhdeksässä yliopistossa. Toiminnassa näkyvät perinteiset jakolinjat “peruskemiaan” (*chemistry*) ja siihen liittyvään opettajankoulutukseen sekä “kemiantekniikkaan” (*chemical engineering*). Jakolinjat ovat kuitenkin hämärtyneet, kuten perus- ja soveltavan tutkimuksen välillä yleensäkin.

Prosessiteollisuutta perinteisesti tukenut kemiantekniikka on vahvasti edustettuna Aalto-yliopistossa ja Åbo Akademiassa sekä Oulun yliopistossa, Tampereen ja Lappeenrannan teknillisissä yliopistoissa, mutta kaikissa yliopistoissa soveltavan kemian osuus on kasvanut voimakkaasti ja sen vaikutus laajentunut uusille teollisuudenaloille. Ilmeinen johtopäätös on, että kemian ja kemiantekniikan välistä raja tulee entisestäänkin häivyttää sekä opetuksessa että tutkimuksessa.

Selvitysmiehelle annettu tehtävä on laatia ehdotus tiekartaksi kemian alan tutkimus- ja koulutustoiminnan kehittämiseksi, hyödyntämällä jo toteutettuja arviointeja (mm. Suomen Akatemia) sekä aiempaa valmistelutyötä. Tiekartassa tulisi määritellä toimenpiteet seuraavilla osa-alueilla:

- A. Profiloituminen
- B. Infrastruktuurit
- C. Kandidaattivaiheen koulutus
- D. Tohtorihjelmat
- E. Teollisuuden koulutustarpeet ja -näkömät

## 2. Tutkimustoiminnasta

Kemian alan tutkimustoimintaa on tarkasteltu mm. Suomen Akatemian tieteen tilaa ja tasoa käsittelevissä selvityksissä että tieteenalakohtaisissa arvioissa (esim. [www.aka.fi/tieteentila](http://www.aka.fi/tieteentila)).

Karkean arvion kemian tutkimuksen tasosta ja kansainvälisestä asemoitumisesta voi saada bibliometrisellä analyysillä. Yksi näkökulma tähän on esitetty seuraavassa.

Nature Publishing Index ([www.natureindex.com](http://www.natureindex.com)) seuraa tieteellistä, vertaisarvioitua julkaisutoimintaa luonnontieteiden- ja lääketieteen alan kaikkein arvostetuimmissa lehdissä. Tutkimusjulkaisut on jaoteltu neljään alueeseen: **kemia, geo- ja ympäristötieteet, bio- ja lääketieteet** ja **fysikaaliset tieteet**. Indeksi seuraa 68:aa yleisesti parhaimmiksi arvioitua lehteä. Sama tiedelehti voi esiintyä useamman tieteenalan seurannassa. Indeksi on verrattavissa suomalaisen Julkaisufoorumin luokittelun ylimpään tasoon.

Kuva 1 esittää Suomessa toimivien (osoitekentässä suomalainen instituutti) tutkijoiden panoksen aikavälillä 1.9. 2014 – 31.8. 2015. (kaikki mainitut alat). Suomessa toimivia tekijöitä oli mukana yhteensä 642 julkaisussa (Article Count, AC), ja näiden tutkijoiden suhteellisella osuudella painotettu julkaisumäärä oli 216 (Fractional Count, FC). (Weighted Fractional Count, WFC-arvo 186.66 korjaa sellaisten artikkelien painotusta, joilla on poikkeuksellisen monta kirjoittajaa, esim. kokeellisessa hiukkasfysiikassa ja tähtitieteessä).

Maiden välisessä kaikkien alojen vertailussa Suomi sijoittuu maailmassa sijalle **25**. Euroopan maista Suomi on **14**. Muiden pohjoismaiden sijoitukset Euroopan listalla ovat 8. (Ruotsi), 11. (Tanska), 16. (Norja) ja 29. (Islanti).

*Kemian* alalla Suomen FC-luku tarkasteluajanjaksona oli 48, millä Suomi sijoittuu maiden vertailussa sijalle **27**. Euroopan listalla Suomen sijoitus on **16**. (Ruotsi 8., Tanska 9., Norja 19., Islanti 27.)

Muilla tieteenaloilla Suomen sijoitukset tässä otoksessa maailmassa (Euroopassa) ovat: fysikaaliset tieteet **25 (14)**, geo- ja ympäristötieteet **22 (11)** sekä bio- ja lääketieteet 21 (**12**). Kemian luvut siis jäävät jossain määrin näistä jälkeen.

Samansuuntaisia tuloksia saadaan myös muita julkaisutoiminnan laatumittareita käyttäen.

## Finland



Research

Collaboration

1 September 2014 - 31 August 2015

Subject/journal group: All

The table to the right includes counts of all research outputs for Finland published between 1 September 2014 - 31 August 2015 which are tracked by the Nature Index.





Hover over the donut graph to view the WFC (Weighted fractional count) output for each subject. Below, the same research outputs are grouped by subject. Click on the subject to drill-down into a list of articles organized by journal, and then by title.

Note: Articles may be assigned to more than one subject area.

AC	FC	WFC
<b>642</b>	<b>216.27</b>	<b>186.65</b>

Outputs by subject (WFC (Weighted fractional count))



Subject	AC	FC	WFC
 <b>Chemistry</b> (/country-outputs/Finland/Chemistry)	99	48.10	48.10
 <b>Earth &amp; Environmental Sciences</b> (/country-outputs/Finland/Earth%20&%20Environmental%20Sciences)	50	18.58	18.58
 <b>Life Sciences</b> (/country-outputs/Finland/Life%20Sciences)	214	68.95	68.95
 <b>Physical Sciences</b> (/country-outputs/Finland/Physical%20Sciences)	330	102.95	73.33

*Kuva 1. Nature Publishing Indexin laatujulkaisujen Suomen osuudet vuoden pituisella tarkasteluvälillä.*

Kemian alan julkaisutuloksiin eniten vaikuttaneet instituutiot on listattu allaolevaan taulukkoon (Taulukko 1). Aalto, Jyväskylä ja Helsinki ovat kärkiryhmä, Turku, Oulu ja TTY seuraavina.

Institution ▾	AC ▾	FC ▾	WFC ▾
1. Aalto University	27	12.07	12.07
2. University of Jyväskylä	28	11.40	11.40
3. University of Helsinki	23	9.44	9.44
4. University of Turku (UTU)	9	6.40	6.40
5. University of Oulu	6	2.86	2.86
6. Tampere University of Technology (TUT)	6	1.74	1.74
7. Abo Akademi University	1	1	1
8. VTT Technical Research Centre of Finland	3	0.78	0.78
9. University of Tampere (UTA)	5	0.70	0.70
10. University of Eastern Finland (UEF)	3	0.59	0.59

*Taulukko 1. Yliopistojen ja tutkimuslaitosten osuudet kemian alan laatujulkaisuissa tarkasteluvälillä.*

On syytä korostaa, että ylläolevan tarkastelun tarkoitus on antaa karkea yleissilmäys kemian tutkimustoiminnan näkyvyyteen ja verrata sitä muihin aloihin ja kehittyneihin maihin, ei laatia ranking-listaa alan toimijoista. Nature Publishing Index ei myöskään mittaa artikkeleihin osoitettuja viittauksia, vain julkaisumääriä, ja tieteenalojen rajaaminen on tunnetusti moniselitteistä. Huomattakoon, että Nature Publishing Index ei seuraa kemiantekniikan (chemical engineering) alan erikoisjulkaisuja.

### 3. Tutkimustoiminnan profiloituminen

Kemia-Suomi –hankkeessa on kartoitettu Suomen yliopistojen kemian ja kemiantekniikan koulutusta antavissa yksiköissä tehtävän kemian ja kemiantekniikan tutkimuksen sisältöä ja tavoitteita. Kartoitus osoittaa yliopistoissa tehtävän kemian tutkimuksen olevan yleisesti varsin temaattista, mikä mahdollistaa toisenlaisen tarkastelun kuin perinteinen alajako (orgaaninen, epäorgaaninen, analyttinen, fysikaalinen kemia jne.). Näitä kahta luokittelutapaa (ongelmalähtöinen ja menetelmäjähtöinen) voi myös ajatella “matriisiorganisoinnina” kemian alan kansallisen yhteistyön syventämismahdollisuuksia kartoitettaessa ja hyödynnettäessä.

Temaattinen jako voidaan myös nähdä tahtona etsiä vastauksia ja välineitä ihmiskunnan suuriin haasteisiin vastaamiseksi: energia, ruoka, puhdas vesi, terveys ja hyvinvointi, ympäristö, raaka-aineiden riittävyys, kaupungistuminen.

Suomen kemian tutkimusaktiviteetti jakautuu neljään pääteemaan: **ihmisen ja hyvinvoinnin kemia, kestävä kemia, energian tuotantoon ja varastointiin liittyvä kemia, ja materiaalikemia** (Taulukko 2). Näistä kolme ensimmäistä vastaa suoraan ihmiskunnan suuriin haasteisiin, kun taas materiaalikemia on poikkitieteellinen teema, mikä tuottaa ratkaisuja kaikkiin haasteisiin.

	Materiaalikemia	Energiaan liittyvä kemia	Kestävä kemia	Ihmisen ja hyvinvoinnin kemia
HY	Ohutkalvot 25 Funktionaaliset polymeerit ja hybridinanomateriaalit 12 Nanohiukkaset ja –kuidut 8 Kiinteän olomuodon valokemia ja spektroskopia 6 Laskennallinen materiaalikemia 8	Ydinjätteiden käsittely ja loppusijoitus 22	Uusiutuvat luonnonvarat 17 Homogeeniset katalyytit 12 Ympäristöanalytiikka 9 Ilmakehän reaktiokemia 5	Radiolääkeainekemia 6 Lääketieteellinen spektroskopia ja bioanalytiikka 8
Aalto	Ohutkalvot 10 Polttokeuhomateriaalit 8 Funktionaaliset polymeerit 12 Katalyyysi 10 Aineominaisuuksien mallinnus 10 Bio- ja luonnonmateriaalit 50	Energian sähkökemiallinen varastointi ja polttokennot 10 Termosähköiset materiaalit 5 Heterogeeninen katalyyysi 7 Reaktio- ja reaktoritekniiikka 10 Prosessiautomaatio 6	Biomateriaalien synteesi, bio- ja luonnonpolymeerit 30 Synteettinen biologia ja hiilihydraattikemia 15 Platform- ja hienokemikaalit 40 Reaktio- ja reaktoritekniiikka 10 Teollisten prosessien suunnittelu 7	Lääkeaineiden synteettinen kemia 9 Lääketieteelliset biopolymeerit 5
TY	Elektroaktiiviset materiaalit 8 Loisteaainesovellukset 5 Aurinkoenergian keräys, varastointi ja konversio 6		Luonnonyhdisteiden kemia 12	Bio-organinen kemia 18 Radiolääkekemia 5
TTY	Supramolekulaarinen valokemia 10	Aurinkosähkö ja fotokatalyyysi 7	Hiilivapaa energiantuotanto 5	Biologiset ja kemialliset merkkiaineet 5
JY	Nanokemia 20 Funktionaaliset organometallit 7 Supramolekulaarinen kemia 27		Elinympäristön kemia ja analytiikka 10 Biomassan jalostus 7 Makromolekyylit ja luonnonaineet 12	Bioaktiiviset molekyylit ja materiaalit 5
ISY	Funktionaaliset pinnat, fotonikan materiaalit ja komposiitit 20	Ydinjätteen loppusijoitus 5 Bioenergia 5	Ympäristökatalyytit ja biotalous 21	Proteiini- ja rokotetutkimus 6 Biomolekyyliekemia 5
OY	Molekyylimateriaalit 22	Uusiutuva energia 13	Ympäristö- ja prosessianalytiikka 10 Luonnonmateriaalit ja katalyyysi 16	
ÅA	Kemiallinen sensoriteknologia 8 Sähkökemiallinen 9 Biokomposiitit 8 Paperielektroniikka 10 Funktionaaliset nanopartikkelit ja pinnoitteet 20	Biomassan terminen konversio, poltto ja korkealämpötilakemia 26	Prosessianalytiikka 5 Katalyyysi- ja reaktiokinetiikka 17 Platform- ja hienokemikaalit 24 Halogeenittomat palonestoaineet 5 Luonnonaine-, biopolymeeri-, puu- ja paperikemia 35 Ympäristö- ja vesikemia 8	Biomateriaalit lääketieteessä 12 Kemiallinen biologia, hiilihydraattikemia ja solukasvatusalustat 8
LTY	Erotus- ja puhdistustekniikan materiaalit 30		Erotus- ja puhdistustekniikan prosessit 52 Ympäristöanalytiikka 52 Prosessisuunnittelu ja intensifointi 9	

*Taulukko 2. Suomen yliopistojen kemian ja kemiantekniikan koulutusta antavissa yksiköissä tehtävän tutkimuksen keskeisimmät tutkimusalueet arvioituine henkilötyövuosineen.*



Taulukon teemojen välillä on luonnollisesti muutenkin yhteyksiä, joten monissa tapauksissa tutkimusaiheiden luokittelu ei ole yksiselitteistä. Esimerkiksi Helsingin yliopiston kemian laitoksen tutkimuksen painoalueet ovat materiaalikemia ja kestävä kemia, mutta kansallisessa taulukossa osa tutkimusaiheista ryhmittyi uudelleen kahden muun teeman alle.

Kaiken taulukossa kuvatun kemian tutkimuksen perustana ja yhdistävänä tekijänä ovat erilaiset kemiallisen tutkimuksen menetelmät ja niihin liittyvä infrastruktuuri: synteettiset ja prosessointimenetelmät, analytiikka, spektroskopia, laskennallinen mallinnus, materiaalien karakterisointi. Osa infrastruktuureista yhdistää eri kemian tutkimusalueita, kuten kansallisella tiekartalla oleva *Biotalouden tutkimusinfrastruktuuri* (Aalto, VTT), jossa yhdistyy materiaalikemian, kestävä kemian ja energiaan liittyvän kemian tutkimus.

Merkittävä osa taulukossa mainituista tutkimusalueista sisältää niille keskeisten menetelmien kehittämistä. Korkeatasoista menetelmäkehitystä tehdään myös painoalojen tutkimuksen rinnalla, esimerkiksi laskennallisessa ja teoreettisessa kemiassa. Kemian opetuksen tutkimus (Helsingin ja Jyväskylän yliopistot) puolestaan tukee kemian laitosten antamaa toisen asteen koulutuksen kemian opettajien koulutusta ja täydennyskoulutusta.

Tutkimuksen pääteemojen otsikot ovat sovelluslähtöiset, mutta niiden alla tehdään hyvin paljon perustutkimukseksi luokiteltavissa olevaa työtä. Kuvaavaa nykyaikaiselle kemian tutkimukselle on myös, että rajaa perus- ja soveltavan tutkimuksen välillä on vaikea ja usein tarpeetonta tunnistaa. Sovelluksissa kohdattavat ongelmat ja haasteet ovat luonteeltaan sellaisia, että niiden ratkaiseminen edellyttää syvällistä perustutkimusta. Tämä puolestaan johtaa siihen, että perustutkimuksen tuloksille on melko välitön hyödyntämismahdollisuus. On myös selvää, että sovelluksien kehittämisestä nousee uusia perustutkimukselle kiintoisia kysymyksiä.

Tutkimuksen pääteemat toistuvat myös yliopistojen, tiedekuntien ja laitosten painoaloissa ja strategioissa. Tämä saattaa antaa pinnallisen vaikutelman siitä, että eri yliopistoissa tehtävässä tutkimuksessa olisi paljon päällekkäisyyksiä. Taulukon lähempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, että eri yksiköillä on omat varsin spesifiset erikoisalueensa pääteemojen alla. Tämä kartoitus koskee siis nykytilaa. Sen tulee toimia pohjana, kun yliopistojen rakenteellisen kehittämisen yhteydessä edelleen kehitetään yliopistojen välistä yhteistyötä ja työnjakoa.

Kansallinen profiloituminen edellyttää pitkäjänteisiä ja sitouttavia neuvotteluja yhteistyön kehittämisestä, erityisesti poisvalintojen osalta. Suomen Akatemian tekemässä kemian arvioinnissa tuodaan esille kansallista ja kansainvälistä kärkeä edustavat kemian alat, joille tulevaisuuden toimintaa kannattaa rakentaa. Arvioinnissa tuodaan esille myös heikkouksia, joiden poistaminen on myös Kemia-Suomen tavoitteena.

#### 4. Tutkimustoiminnan kehittämisen linjaukset

Kemia-Suomi-hankkeen tähänastisessa työssä on rakennettu vahva kansallinen yksimielisyys siitä, että Suomen kemian tutkimusta ja koulutusta tulee kehittää erityisesti Taulukon 2 kuvaamilla neljällä tärkeimmiksi tunnistetulla alalla, jotka kaikki tuottavat ratkaisuja ihmiskunnan suuriin haasteisiin: materiaalikemia (*materials chemistry*), energiaan liittyvä kemia (*chemistry in energy*), kestävä kemia (*sustainable chemistry*) sekä ihmisen ja hyvinvoinnin kemia (*chemistry of human health*). Näillä pääaloilla tulee toteuttaa tiivis tutkimuksellinen ja koulutuksellinen yhteistyö; tutkimukselliset puutteet täytetään ja päällekkäisyydet karsitaan. Yksikkökokoja tulee kasvattaa sekä paikallista yhteistyötä syventämällä (pääkaupunkiseutu, Turku, Tampere) että poistamalla raja-aitoja lähitieteiden (fysikaaliset tieteet, biotieteet) ja kemian väliltä.

Laaja yksimielisyys vallitsee myös siitä, että koulutuksessa toteutetaan kandidaattivaiheen opintojen uudistaminen vastaamaan laaja-alaisen haun vaatimuksia ja että opiskelijoille annetaan mahdollisuus profiloida opintonsa mielenkiintonsa ja motivaationsa mukaisesti. Uudistuksella varmistutaan siitä, että alkuvaiheen opinnot sisältävät riittävän määrän kemian, fysiikan ja matematiikan opintoja ja suuntautuminen johonkin luonnontieteen alaan tapahtuu HOPS-prosessien kautta. Maassamme useiden kemian laitosten opetus täyttää eurooppalaiset sisältövaatimukset, josta merkinä ovat myönnetty Eurobachelor ja Euromaster –leimat, ja laaja-alaiset kandidaattiopinnot voidaan toteuttaa tätä vaarantamatta. Tavoitteena on myös lisätä eri yliopistojen kemian tohtoriohjelmien yhteistoimintaa.

Tutkimuksen infrastruktuurin osalta kansallisella tasolla erityisesti kalliiden laitteiden hankinnoista ja yhteiskäytöstä sovitaan keskitetysti. Yhteiskäyttö edellyttää kansallista tutkijoiden ja opiskelijoiden liikkuvuuden lisäystä

#### 5. Selvitysmiehen ehdottamat toimenpiteet

##### 5.1 Kemian (chemistry) ja kemiantekniikan (chemical engineering) rajapinnan häivyttäminen ja yhteistyön vahvistaminen

Kemian alan kehittämisessä tulisi pyrkiä kaikin tavoin edistämään (perus)kemian ja kemian tekniikan (soveltavan kemian) välistä tiivistä yhteyttä. Tämä vahvistaisi kemian tekniikan akateemista pohjaa ja lisäisi teollisuuden uudistumis- ja kilpailukykyä sekä yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Kemianteollisuus ja puunjalostusteollisuus lähestyvät vahvasti toisiaan mm. biojalostamokonseptien kautta. Metallinjalostusprosessit hyödyntävät enenevässä määrin fysikaalista kemiaa jne. Toisaalta on selvää, että peruskemian alan huippututkimus ei johda teolliseen toimintaan ennenkuin *chemical engineering* –osuus on ratkaistu.

Kemian ja kemianteekniikan yhteyksiä vahvistetaan yleisesti sekä koulutuksessa että tutkimuksessa.

- **Aalto-yliopiston** ja **Helsingin yliopiston** ehdotetaan yhdistävän vahvasti kemian kandidaatti- ja maisteritason opintoja ja tarjoavan molempien yliopistojen opiskelijoille sekä (perus)kemiaan että kemianteekniikkaan suuntautuvia opintopolkuja.
- Samanlaista yhteistyötä ehdotetaan syvennettäväksi **Turun yliopiston** ja **Åbo Akademin** välillä, erityisesti yhteisten englanninkielisten maisterivaiheen ohjelmien muodossa (kts. alla).
- **Oulun yliopiston** ehdotetaan edelleen vahvistavan teknillisen ja luonnontieteellisen alan yhteistyötä koulutuksessa ohjelmien välisiä raja-aitoja poistamalla ja monipuolisia opintopolkuja tarjoamalla. Tekniikan ja luonnontieteen sijainti samassa yliopistossa antaa hyvän mahdollisuuden omaleimaiseen profiloitumiseen.
- **Itä-Suomen yliopiston** (Joensuun kampus) ja **Lappeenrannan teknillisen yliopiston** yhteistyön syventäminen näyttäisi tarjoavan hyviä profiloitumismahdollisuuksia mm. ympäristöalan erotus- ja puhdistusprosessien kannalta. Toinen mahdollisuus on tarkastella Lappeenrannan teknillisen yliopiston Mikkelissä toimivan ympäristöanalytiikan (vihreän kemian) yksikön mahdollisuuksia sopisi vahvistaa Jyväskylän yliopiston profiloitumista monitieteisenä kemian ja biotieteiden keskuksena.
- **Tampereen yliopiston** ja **Tampereen teknillisen yliopiston** lisääntyvä yhteistyö ja etenkin mahdollinen yhdistyminen korostavat yliopistotason kemian opetuksen merkitystä ja tarvetta Tampereella. Tällä olisi välitön vaikutus erityisesti myös lääketieteen ja tekniikan yhteistyöhön, joka tarvitsee kemiaan perustuvaa vahvaa biotieteiden osaamista. Tampereen teknillisessä yliopistossa toimii pieni mutta tasokas valon ja materiaalien vuorovaikutuksiin keskittyvä kemian tutkimusryhmä. Sen yhteistyön lisääminen fysiikan laitoksen ja Optoelektroniikan tutkimuskeskuksen lisääminen on profiloitumismahdollisuus. Toinen vaihtoehto on siirtää spektroskopiaryhmä **Jyväskylän yliopiston** Nanoscience Centeriin.

## 5.2. Siirtyminen kohti laajoja kandidaattiohjelmiä ja hakukohteita

Luonnontieteellisen alan kehittämissuunnitelmassa (UNIFI 2015) on suositeltu siirtymistä laaja-alaisiin kandidaattiohjelmiin ja hakukohteisiin. Tätä pyrkimystä on syytä tukea voimakkaasti.

- Laaja-alainen kandidaattiohjelma on opiskelijoille houkuttelevampi hakukohta kuin erilliset suppeat hakukohteet. Opetuksessa voidaan antaa perusvalmiudet luonnontieteiden laaja-alaiseen ymmärtämiseen ja mahdollistaa erilaiset opintopolut.

- Kemiolla on myös muille tieteenaloille kohdistuvia palveluopetustehtäviä. Palveluopetuksen tarpeet on asianmukaisesti tunnistettava ja tehtävät insentivoitava.

### 5.3. Yliopiston profiilin mukaiset temaattiset tutkinto-ohjelmat

- Kemian ja kemiantekniikan opiskelijamäärät ja tutkintotavoitteet tulee jatkossa säilyttää *vähintään nykyisellä tasolla*, jotta yhteiskunnan eri tarpeisiin ja elinkeinoelämän uudistumiseen voidaan vastata.
- Opiskelijaliikkuvuus kandidaatti- ja maisterivaiheen opintojen välillä on Suomessa aivan liian vähäistä. Laaja-alaisten kandidaattiohjelmien tarjoamia mahdollisuuksia tulee hyödyntää liikkuvuuden lisäämisessä. Subjektiiivisen opinto-oikeuden rajaamista aluksi vain kandidaattivaiheeseen tulee vakavasti harkita toteutettavaksi yliopistoissa.
- Maisterivaiheen tutkinto-ohjelmat ovat yliopistojen profiloitumisen ja työnjaon väline. Maisteriohjelmista tulee tehdä *englanninkielisiä*, jotta ne voisivat rekrytoida myös lahjakkaita opiskelijoita ulkomailta. Erillisistä kansainvälisistä ohjelmista luovutaan. Stipendijärjestelmät ja opiskelijoiden asunto-olosuhteiden parantaminen tukevat liikkuvuutta ja lisäävät ohjelmien houkuttavuutta, myös suomalaisten opiskelijoiden osalta.
- Aineenopettajankoulutusta on syytä kehittää entistä houkuttelevammaksi luonnontieteelliseksi opintokokonaisuudeksi siihen profiloituvien yliopistojen johdolla siten, että opintopolut laaja-alaisista kandidaattiohjelmista opettajankoulutukseen säilyvät.

### 5.4. Tohtorikoulutus

- Tohtorin tutkinnon suorittavien määrää suhteessa maisterin/diplomi-insinöörin tutkinnon suorittaneisiin tulee nostaa, *lähelle puolta maisteritutkintojen määrästä*. Tohtorikoulutus rakentuu luonnollisesti vahvojen tutkimusryhmien varaan ja on keskeinen tieteen tason nostamisen väline.
- Tohtorikoulutuksessa, kuten tieteen tekemisessä yleensäkin, keskeiset avainsanat ovat *laatu, vaikuttavuus ja uudistuminen*. Laatu tarkoittaa mm. sitä, että väitöskirjoissa tulee määrälliset vaatimukset (julkaisujen määrä jne.) korvata laadullisilla tavoitteilla. Julkaisutoiminnassa on tähdättävä eturivin foorumeihin (kts. Nature Publishing Index), mutta myös muistettava se, että monografia-tyyppinen väitöskirja on monesti paras ja luontevin tapa tulosten julkaisemiseen.
- Tohtorikoulutuksen tavoitteena tulee olla tutkinnon suorittaminen pääsääntöisesti alle 30-vuotiaana. Päätoimiset tohtoriopinnot tukeutuvat vahvoihin tutkimusympäristöihin ja -ryhmiin. Opintoja voidaan tehostaa

tiivimmällä ja monipuolisemmalla ohjauksella, mm. ottamalla käyttöön tohtoriopiskelijoiden väliarviointi (*mid-term review*).

Kemian ja kemiantekniikan alueella on aiemmin toiminut menestyksellisiä kansallisia tutkijakouluja. Tutkijankoulutusudistuksen yhteydessä eri yliopistoissa toimivien tohtoriohjelmien välinen verkostoituminen on voimakkaasti vähentynyt, mikä vaikuttaa haitallisesti hyvien käytäntöjen edistämiseen (yhteiset tutkijankoulutuskurssit, tohtoriopiskelijoiden liikkuvuus, professorien ja muiden opettajien yhteydenpito jne.).

- Selvitysmies ehdottaa, että otetaan käyttöön uusi *rahoitusinstrumentti tutkijankoulutusverkostoille*, eräänlainen suomalainen COST-ohjelma. Kilpailullalla rahoitusmuodolla tuetaan yliopistojen tohtoriohjelmien välistä yhteistyötä, edistetään opiskelijaliikkuvuutta ja tuetaan profiloitumista.
- Tohtorikoulutuksessa tulee myös vahvistaa yhteyksiä teollisuuteen ja muuhun elinkeinoelämään. Selvitysmies ehdottaa instrumentiksi sellaisen neuvottelukunnan (*Industrial Advisory Board*) perustamista, joka säännöllisesti välittäisi tietoa ja kokemusta tohtori- ja maisterivaiheen tutkinto-ohjelmien kehittämiseksi.

Juuri toimintansa aloittanut teollisuuden post-doc-pooli (*Post-Docs in Companies, PoDoCo*) tähtää nuorten tohtorien ja elinkeinoelämän entistä parempaan kohtauttamiseen. Samaa tarkoitusta voidaan myös toteuttaa yhteisten tutkijankoulutushankkeiden (*Industrial Joint Doctorate*) muodossa. Niiden koordinointi olisi em. neuvottelukunnalle luontevaa toimintaa.

## 5.5. Infrastruktuurin kehittämisen kansallinen koordinointi

Kilpailukykyinen ja ajanmukainen infrastruktuuri ja instrumentointi on kemian ja kemian tekniikan tutkimuksen elinehto. Alan tutkimusinfrastruktuurille on ominaista sen hajautuminen laitoksille ja laboratorioihin. Kemian alalle on myös ominaista omaehtoinen laitekehitys ja –rakentaminen hyvinkin spesifisiin tarpeisiin. Kansallisten ja suurten kansainvälisten fasiliteettien merkitys on ollut vähäisempi, joskin kasvamassa mm. nano- ja materiaalitutkimuksen alueella. Esimerkki tästä on Etelä-Ruotsin Lundiin rakenteilla oleva uuden sukupolven synkrotroini- ja spallaatiolähdekokonaisuus (MAX IV ja ESS), jonka tarjoamiin uusiin mahdollisuuksiin Ruotsin metsäteollisuus on vahvasti panostamassa. Suomalaisen tutkimuksen osuus MAX IV - ESS-keskitymässä uhkaa jäädä liian vähäiseksi.

Tutkimuksen infrastruktuuripolitiikkaa on pyritty tehostamaan mm. Suomen Akatemian yhteydessä toimivan infrastruktuurikomitean ja sen laatimien kehittämisen tiekarttojen (FIRI) avulla. Kemian tutkimuksen tarpeiden huomioonottaminen ei tässä prosessissa ole mutkatonta. Alan tutkijoiden piirissä on myös esitetty kritiikkiä koordinaation puuttumisesta Suomen osallistumisessa yhteiseurooppalaisiin ESFRI-infrastruktuurihankkeisiin.

Koordinoinnin ja yhteistyön tarve kemian alan kansallisen infrastruktuurin kehittämisessä on ilmeinen. Hyviä kokemuksia on saatu mm. Turun yliopiston ja Åbo Akademin laitekeskuksessa, joka on vahvistanut alueen infrastruktuuria tuntuvasti.

Infrastruktuurikeskustelussa tulee ottaa huomioon myös tutkimuslaitokset. Aalto-yliopiston ja VTT:n kansallinen Biotalouden infrastruktuuri on hyvä esimerkki. Tutkimuslaitosten ja yliopistojen yhteistyöllä pystytään yhdistämään ilmiötason tutkimus pilot-skaalan tutkimukseen. Yhdistelmä pystyy vastaamaan kemian teollisuuden tarpeisiin paremmin kuin kumpikaan osapuoli yksin.

- Selvitysmies ehdottaa, että kemian alueelle perustetaan yhteistyöelin, jonka tehtävänä on koordinoita yliopistojen kemian alueen infrastruktuurihankkeita. Yhteistyöelin mahdollistaa yhteisen esiintymisen ja aloitteet myös FIRI-prosessissa. Yhteistyöelin tuo yliopistojen strategiset tavoitteet yhteiseen keskusteluun. Sillä tulee olla yliopistojen johdon tuki ja valtuudet kehittämistoimien toteuttamiselle. Kilpailukykyinen infrastruktuuri, mukaanlukien tutkimustilat, edellyttää yliopistojen pitkäjänteistä sitoutumista eikä sitä voida jättää laitosten ja tiedekuntien vastuulle. Myös edellytykset omaehtoiseen laitekehitykseen ja –rakentamiseen on turvattava erityisesti niche-alueiden kilpailukykyä lisäävinä.

Infrastruktuurihankkeiden koordinoinnissa on tärkeätä sopia niiden käytön yhteisistä pelisäännöistä ja vastuista (yhteiskäyttöisyyden (*open access*) ehdot, ylläpitokustannusten jako jne.)

Kemian opetuksen ja tutkimuksen kannalta asianmukaiset laboratoriotilat ovat välttämättömiä. Useassa yliopistossa koetaan tilakustannusten (vuokrien) viime vuosien nousu kohtuuttoman suureksi kulueräksi, joka ajanoloon tuntuvasti haittaa laadukasta työtä ja uudistumista.

- Selvitysmies ehdottaa laboratorioden erityisluonteen ja –vaatimusten parempaa huomioonottamista laitosten tilakustannusten resurssoinnissa. Toisaalta vahvistuva alueellinen yhteistyö (pääkaupunkiseutu, Turku, Tampere, Oulu) antaa mahdollisuuksia laboratoriotilojen käytön tehostamiseen.

## 5.6. Yhteisprofessorit

Tieteenalojen perinteiset rajat ovat nopeasti hälvenemässä ongelmalähtöisen tutkimustyön lisääntyessä. Suuri osa kaikkein mielenkiintoisimmasta tutkimuksesta tapahtuu perinteisten tieteenalojen rajapinnoilla, joilla eri suunnista kehittyneet tutkimusryhmät, erilaiset menetelmät ja lähestymistavat kohtaavat. Yliopistojen sisällä tätä kehitystä voidaan tukea rakenteellisin järjestelyin (laitos- ja tiedekuntajako jne.). Toinen, hallinnollisesti kevyempi mahdollisuus on vastuuttaa professoreja toimimaan laitos- ja tiedekuntarajojen yli. Tällainen *double affiliation*-malli on todettu hyväksi mm. Yhdysvalloissa, Kaksoisaffiliaatiota voidaan erityisen hyvin käyttää kemian laajalti vaikuttavalla alueella. Suomessa ainakin Jyväskylän yliopiston ja Aalto-yliopiston kemian, fysiikan ja biotieteiden laitokset ovat ottaneet askelia tähän suuntaan.

- Selvitysmies ehdottaa, että yliopistot lisäävät kemian tutkimuksen ja opetuksen vaikuttavuutta lisäämällä professorien kaksoisaffiliaatioita käyttämällä.

### 5.7. Kansainvälisen rekrytoinnin lisääminen

Kemia ja kemian tekniikka ovat globaaleja tieteenaloja. Kestävästi kansainvälisesti kilpailukykyiseen toimintaan päästään vain, jos sekä opiskelija- että opettajarekrytoinnissa toimitaan globaalisti. Vaikka ulkomailta tulleiden opiskelijoiden määrä on kasvanut, kemian alan professori- ja muu opettajakunta koostuu vielä pääasiassa Suomessa koulutuksensa saaneista ja täällä toimineista. Laajempi rekrytointipohja vahvistaisi toimintaedellytyksiä, lisäisi kansainvälistä verkostoitumista ja nostaisi tutkimuksen tasoa.

Professorirekrytoinnit ovat tärkein profiloitumisen väline. Niiden tarjoamia mahdollisuuksia profiloitumisen ja työnjaon edistämiseen tulisi käyttää entistä huomattavasti rohkeammin paremman fokusoinnin ja tutkimusryhmien kriittisen koon saavuttamiseksi entistä useammassa yliopistossa. Lähiaikoina tällaisia mahdollisuuksia näyttäisi olevan mm. Helsingin yliopiston ja Jyväskylän yliopiston kesken, *orgaanisen kemian vahvistamiseksi Helsingissä ja fyysisen kemian vahvistamiseksi Jyväskylässä*.

- Selvitysmies ehdottaa, että kemian alan professorien kansainvälistä rekrytointia lisätään tuntuvasti. Yliopistojen omien toimenpiteiden lisäksi rekrytointia tulisi tukea esim. kemian teollisuuden organisaatioiden avulla.

### 5.8. Ennakointityö

Kemian alan kehitys jatkuu nopeana, ja on tärkeitä ennakoita tulevia tutkimuksen ja opetuksen haasteita ja mahdollisuuksia, kansallisen yhteistyön tehostamiseksi. Tätä voidaan parhaiten edistää tieteenalan omin toimenpitein, esimerkiksi muutaman vuoden välein tehtävien ennakointikatsausten (*foresight*) muodossa. Ennakointityö voisi tapahtua tiedeakatemioiden johdolla ja Suomen Akatemian tukemana, ja siihen tulisi osallistaa kemian alan tieteelliset seurakä ja teollisuuden järjestöt.

- Selvitysmies ehdottaa, että kemian ja kemiantekniikan tieteellisen toiminnan ja haasteiden ennakointityötä vahvistetaan.

### 5.9. Matemaattis-luonnontieteellisten alojen opiskelijaosuuden kasvattaminen lukioissa

Matemaattis-luonnontieteellisiä aloja (ml. tietotekniikka) opiskelevien osuus lukioissa on supistunut liian pieneksi, mikä paitsi kaventaa yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen rekrytointipohjaa myös rajoittaa nuorten uramahdollisuuksia ja maailmankuvan muodostumista. Opetus- ja kulttuuriministeriön tekemiä linjauksia

kandidaatti- ja maisteritutkintojen painopisteen siirtämisestä kaudella 2017-2020 on vaikea toteuttaa ilman uusien ylioppilaiden valmiuksissa tapahtuvaa muutosta.

- Selvitysmies ehdottaa, että eri toimenpitein (kansallinen LUMA-toiminta, opinto-ohjaus, yliopistojen *outreach*-toiminta jne.) pyritään määrätietoisesti nostamaan matematiikan, fysiikan ja kemian kirjoittajien osuutta uusista ylioppilaista.