



Hiili hyödyksi (C1-Value)

Akatemiaohjelma 2020 – 2023

Ohjelmamuistio

1. Taustaa

Suomi on sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan ja tavoittelee hiilineutraalia yhteiskuntaa vuoteen 2045 mennessä. Tämä saavutetaan paitsi vähentämällä hiilipäästöjä, myös edistämällä ratkaisuja, joilla hiiliyhdisteiden määrää ilmakehässä saadaan vähennettyä. Hiilen talteenoton ja varastoinnin lisäksi tarvitaan uusia kestävästi kehityksen mukaisia keinoja ja menetelmiä, joiden avulla hiiliyhdisteet saadaan hyötykäyttöön ja muokatuksi kemianteollisuuden lähtöaineiksi ja tuotteiksi.

Ilmakehän hiiliyhdisteitä voidaan sitoa ja varastoida (CCS eli carbon capture and storage) ja hyödyntää (CCU eli carbon capture and utilization) useiden kemiallisten tuotteiden ja materiaalien valmistuksessa. C1-yhdisteet (CO₂, CO, CH₄, CH₃OH) ovat potentiaalisia raaka-ainelähteitä erilaisten materiaalien, kuten muovien, voiteluaineiden, platform- ja hienokemikaalien sekä polttoaineiden, tuotannossa. Samanaikaisesti myös teollisuudessa on merkittävä tarve pienentää kasviuonepäästöjä ja parantaa resurssi- ja prosessitehokkuutta. Globaalissa mittakaavassa ilmaston lämpenemisen hidastaminen kuuluu ihmiskunnan ja tieteen merkittävimpiin haasteisiin kuluvalle vuosikaudalle.

C1-yhdisteiden, etenkin hiilidioksidin, hyödyntäminen lähtöaineena on keskeinen tutkimusaihe kansainvälisesti. Useita uusia, pääosin katalyyttisiä, synteettisiä menetelmiä kehitetään C1-yhdisteiden konvertoimiseksi kemianteollisuuden jatkojalostustuotteiksi ja uusiksi materiaaleiksi.

Molekyyli- ja atomitasoisen ymmärtämisen lisäksi sekä menetelmä- ja prosessikehityksessä on edelleen merkittäviä haasteita, jotka usein liittyvät näiden houkuttelevien lähtöaineiden epäreaktiivisuuteen. Hiilidioksidi ja metaani ovat luontaisesti pysyviä yhdisteitä.

Toinen merkittävä kansainvälinen tutkimuskohde on CCU, jossa ilmasta tai savukaasusta erotettu hiilidioksidi käytetään joko suoraan tai konvertoituna raaka-aineena muun muassa hiilivetyjen tuotantoon. Hiilen talteenoton kannalta suoraa erottelua ilmasta (DAC eli direct air capture) ja siihen kehitettäviä uusia kemiallisia materiaalitekniikoita voidaan tällä hetkellä pitää todellisena tulevaisuuden ratkaisuna globaaliin ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden pienentämiseen.

Hiilijalanjälki pienenee, kun jo tuotannon yhteydessä voidaan ottaa hiilidioksidia talteen ennen sen päästämistä ilmakehään. Hiilikädenjäljen kasvattaminen puolestaan tarkoittaa sitä, että yritysten tuottamalla ilmastomyönteisillä tuotteilla ja ratkaisuilla yrityksen asiakkaat voivat vähentää omia hiilidioksidipäästöjään. Koska ilmastonmuutos on globaali ongelma, ja siihen on herätty viimeistään IPCC:n lokakuussa 2018 julkistaman raportin myötä, ilmastomyönteisillä tuotteilla, palveluilla ja ratkaisuilla on maailmanlaajuinen ja voimakkaasti kasvava kysyntä. Hiili hyödyksi -ohjelmalla lisätään yritysten, ympäröivän yhteiskunnan ja tutkimusyhteisön välistä vuoropuhelua, sekä kasvatetaan Suomeen alan strategista huippuosaamista. Hiili hyödyksi -ohjelman odotetaan hyödyttävän yrityksiä sekä hiilijalanjälkensä pienentämisen lisäksi hiilikädenjälkensä kasvattamisessa. Suomen kemianteollisuus on tammikuussa 2019 julkaissut alan yhteisen tahtotilan ilmauksen nimellä *Hiilineutraali kemia 2045*. Alan yritykset kehittävät ja ottavat käyttöön ratkaisuja, joilla saavutetaan nettohiilineutraalius viimeistään vuonna 2045.

Hiili hyödyksi -akatemiaohjelmalla on yhtymäkohtia Business Finlandin *Bio and Circular Finland* ja *Smart Energy Finland*-ohjelmiin erityisesti ilmastonmuutoksen, hiilineutraalisuuden, energiatehokkuuden ja kiertotalouden alueilla.

2. Tavoitteet

Ohjelma tavoittelee merkittäviä tieteellisiä avauksia, uutta tietopohjaa ja suomalaisen tieteellisen osaamisen vahvistamista. Tämä edellyttää tieteidenvälistä, eri alojen lähestymistapoja integroivaa tutkimusyhteistyötä ja uusia kehityspolkuja avaavaa tutkimusta. Tieteellisen vaikuttavuuden lisäksi



ohjelmalla on mahdollisuus vaikuttaa globaalin ilmastomuutoksen etenemiseen merkittävästi ja auttaa Suomea saavuttamaan ilmastotavoitteensa.

Erityisesti ohjelmassa kannustetaan tutkijakuntaa ennakkoluulottomaan ja poikkitieteelliseen lähestymistapaan sen kaikilla osa-alueilla, yhdistäen esimerkiksi kemiaa, kemianteekniikkaa ja prosessiteekniikkaa materiaalitieteeseen, systeemiseen tutkimukseen, teolliseen ekologiaan, bioteknologiaan, kiertotalouteen ja elinkaariajatteluun. Hankesuunnitelussa kannustetaan jo tutkimuksen lähtövaiheessa hahmottamaan kehitettävien ratkaisujen teknistä ja taloudellista toteutettavuutta.

Hiili hyödyksi -akatemiaohjelma pyrkii kemian ja kemianteekniikan perustutkimuksen vahvistamiseen Suomessa. Samalla ohjelma tukee sekä tohtorikoulutusta että myöhempää tutkijanuraa tällä Suomen vientiteollisuuden kannalta keskeisellä alalla. Yhteistyö tutkimusryhmien ja yritysten välillä edesauttaa tarpeiden tunnistamista, ratkaisujen kehittymistä sekä kilpailukykyyn kasvua, ja ohjelmassa odotetaan myös yritysten suuntaan verkottuneita hankkeita.

Ohjelman keskeisiä tavoitteita ovat uuden tieteellisen tiedon ja osaamisen tuottaminen seuraavilla alueilla

- C1-yhdisteiden katalyyttinen konversio ja synteetikemia, homogeeninen ja heterogeeninen katalyyttikehitys, (stereoselektiivinen) platform-, hienokemikaali ja polymeerisynteesi, sekä näihin liittyvä molekyylihallinnus
- C1-reaktioiden mekanistinen ja kineettinen tutkimus, termodynamiikka ja reaktiosuunnittelu
- C1-yhdisteiden sähkökemialliset ja fotokatalyyttiset reaktiot
- hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta
- hiilidioksidin talteenotto prosessikaasuista tai savukaasuista, kun hanke on erityisen kunnianhimoinen tieteelliseltä laadultaan ja innovatiivisuudeltaan

Ohjelman yhteiskunnallisia ja toiminnallisia tavoitteita ovat myös

- ohjata tutkimusta haasteita ratkaiseviin, keskeisiin tutkimusongelmiin luoden mahdollisuuksia teolliseen hyödyntämiseen
- ohjata tutkimusta YK:n kestävän kehityksen Agenda 2030:n tavoitteiden suuntaan
- muodostaa uusia monitieteisiä tutkimusryhmiä ja tutkimuksen kansallisia ja kansainvälisiä yhteistyöverkostoja
- edistää tutkijakoulutettavien ja tutkijoiden liikkuvuutta
- parantaa tutkimuksen ja teollisuuden kansainvälistä kilpailukykyä yhteistyön kautta
- edistää avointa tiedettä ja tutkimusta

3. Ohjelman sisältö

3.1 C1-yhdisteiden konversio

C1-yhdisteiden konversion keskeisiä teemoja ovat etenkin hiilidioksidin, mutta myös hiilimonoksidin ja metaanin, sekä ohjelman tavoitteisiin soveltuvien osien mahdollisesti myös muiden C1-lähtöaineiden, kuten metanolin, vetysyanidin ja synteetikaasun, reagointi ja muokkaus arvokkaammiksi tuotteiksi. C1-lähtöaineista voidaan katalyysin ja synteettisen kemian keinoin valmistaa mm. uusia platform- ja hienokemikaaleja, monomeereja ja polymeerimateriaaleja. Konversion lopputuotteena saatavat uudet hiilidioksidipohjaiset kemian teollisuuden raaka-aineet ja polymeerit, sekä niihin pohjautuvat materiaalikonseptit, voivat tulevaisuudessa muodostua merkittäviksi hiilinieluiksi.



Hiilidioksidia voidaan muuntaa sähkökemiallisissa reaktioissa muiksi hiilivedyiksi, tai sitä voidaan aktivoida sähkökemiallisesti esimerkiksi karbamaattien ja syklisten karbonaattien tuottamiseksi. Samoin fotokatalyysejä ja fotokatalyyttisiä reaktioita voidaan hyödyntää C1-lähtöaineiden konversiossa.

Vaikka edellä mainittuja alueita onkin viime vuosikymmenten aikana tutkittu runsaasti kansainvälisesti, taustalla olevien C1-yhdisteiden aktivointimekanismien ja molekyyli-tason prosessien ymmärrykseen liittyy useita avoimia kysymyksiä, joiden ratkaisu synteetikemian, katalyytin, molekyyli-mallituksen ja kemiantekniikan perustutkimuksen avulla on edellytyksenä tulevaisuuden merkittävien läpimurtoteknologioiden kehitykselle. Myös polymeerisynteetissä käytännön sovellettavuus edellyttää perustutkimuksellista ymmärrystä molekyyli-tason ilmiöistä sekä polymeerien rakenteiden ja ominaisuuksien välisten korrelaatioiden tuntemusta.

3.2 Hiilidioksidin talteenotto

Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen fossiilisia polttoaineita tai biomassaa polttavien voimalaitosten savukaasuista, missä sen pitoisuus on tyypillisesti 3-15 vol-%. Teollisuuden prosessikaasuissa hiilidioksidipitoisuus saattaa olla korkeampi, mutta sen soveltamispotentiaali on pienempi. Näissä pääasialliset hiilidioksidin talteenottotekniikat ovat polton jälkeinen talteenotto, talteenotto ennen polttoa ja happipoltto. Uudempina erotusmenetelminä on tutkittu myös kiintoainesorbentteihin ja membraaneihin perustuvia tekniikoita.

Arviolta puolet hiilidioksidipäästöistä vapautuu liikkuvista tai pienemmistä lähteistä, joihin edellä kuvattuja talteenottomenetelmiä ei voida soveltaa. Tulevaisuuden merkittävänä tieteellisenä ja teknologisenä haasteena on hiilidioksidin tehokas erottaminen suoraan ilmasta (DAC). Menetelmää vaikeuttaa ilmakehän huomattavasti matalampi CO₂-lähtöpitoisuus, noin 400 ppm. Viime vuosina on onnistuttu kehittämään uusia ja lupaavia kemiallisia sorbenttimateriaaleja hiilidioksidin suoraan erotteluun ilmasta, perustuen esimerkiksi emäksisiin liuoksiin tai erilaisiin hybridimateriaaleihin, kuten metalli-orgaanisiin runkorakenteisiin (MOF). Kemiallisen C1-konversion tavoin, tulevaisuuden läpimurrot edellyttävät lisäpanostuksia myös tämän alan perus- ja soveltavaan tutkimukseen.

Erityisen tervetulleita Hiili hyödyksi -ohjelmaan ovat täysin uudenlaiset ja kustannustehokkaat teknologiset ratkaisut hiilidioksidin talteenottoon, jotka luovat edellytyksiä sen laajamittaisemmalle hyötykäytölle.

4. Ohjelman toteutus

Akatemiaohjelmalla pyritään tieteen uudistumiseen. Ohjelmassa rohkaistaan monitieteisyyteen ja tieteidenvälisyyteen tutkimuksessa. Ohjelman valmisteluun ovat osallistuneet Suomen Akatemian biotieteiden, terveyden ja ympäristön tutkimuksen sekä luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnat.

4.1 Ohjelman rahoitus

Ohjelma on Suomen Akatemian rahoittama ja koordinoima akatemiaohjelma. Akatemian hallitus on varannut ohjelman rahoittamiseen 6 miljoonaa euroa.

4.2 Kansallinen yhteistyö



Ohjelmassa tehdään myös yhteistyötä Business Finlandin *Bio and Circular Finland* ja *Smart Energy Finland*-ohjelmien kanssa. Ohjelman projektien osaamiseen perustuen Business Finlandin ohjelmissa voidaan rahoittaa yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteishankkeita Co-Innovation rahoitusmallin mukaisesti. Säätiöyhteistyötä tehdään mahdollisuuksien mukaan.

4.3 Kansainvälinen yhteistyö

Ohjelma pyrkii valikoiden yhteistyöhön ja mahdollisiin yhteishakuihin sellaisten ulkomaisten tutkimusrahoittajien kanssa, jotka rahoittavat korkeatasoista tieteellistä tutkimusta, ja joiden kanssa tutkimusyhteistyö ohjelman aihealueella on suomalaiselle tutkimukselle hyödyksi. Ohjelma pyrkii tarpeiden ja mahdollisuuksien mukaan yhteistyöhön myös vastaavanlaisten ulkomaisten ohjelmien, hankekokonaisuuksien ja alan johtavien tutkimuslaitosten kanssa.

4.4 Aikataulu

Ohjelmassa rahoitetaan enintään nelivuotisia hankkeita ja konsortiohankkeita. Hankkeiden 2019 haun rahoituskausi alkaa 1.1.2020 ja päättyy viimeistään 31.12.2023. Haun ja hakemusten arvioinnin aikataulu on esitetty tarkemmin ohjelmamuistion luvussa 5 (Hakuohjeet ja hakemusten arviointikriteerit). Ohjelman avajaisseminaari järjestetään alkuvuodesta 2020. Mahdollisten täydentävien hakujen rahoittajista, tutkimusalueista, aikataulusta ja hakuprosesseista tiedotetaan erikseen.

4.5 Ohjelman johtoryhmä ja koordinaatio

Akatemiaohjelmaa ohjaa johtoryhmä, joka koostuu Suomen Akatemian toimikuntien jäsenistä ja asiantuntijajäsenistä. Ohjelma edistää tutkimushankkeiden kehittymistä ohjelmakokonaisuudeksi aktiivisen tiedonvaihdon ja yhteistyön kautta. Ohjelmaa koordinoi ohjelmapäälliköt ja projektisihteeri, joiden tehtävänä on edistää ohjelman tavoitteiden toteutumista yhteistyössä johtoryhmän ja hankkeiden kanssa.

Ohjelmaan valittujen hankkeiden vastuullisten johtajien tulee

- vastata ja raportoida hankkeen tieteellisestä edistymisestä ja rahoituksen käytöstä ohjelmapäällikön ja rahoittajien ohjeiden mukaisesti
- varmistaa oman ja tutkimusryhmän jäsenten osallistuminen ohjelmakoordinaation järjestämiin tapahtumiin, sekä edistää tiedonkulkua ja yhteistyötä ohjelman tutkimusryhmien välillä
- osallistua akatemiaohjelman katsausten, synteisien ja tiedotusmateriaalin tuottamiseen ja jakaa aktiivisesti tietoa ohjelman edistymisestä ja tuloksista julkisilla ja tieteellisillä foorumeilla.

Tutkimushankkeet osallistuvat ohjelman kuluessa tutkimustulosten käyttäjien kanssa järjestettäviin tilaisuuksiin ja muihin toimiin, joilla välitetään tutkimustietoa sidosryhmille.

4.6 Loppuarviointi

Akatemiaohjelman toteutus ja tuloksellisuus arvioidaan ohjelman päättyttyä. Arvioinnin toteutus ja tavoitteet määritellään ohjelman kuluessa, mutta arvioinnissa voidaan huomioida esimerkiksi



- ohjelman tavoitteiden toteutuminen
- ohjelman toteutus
- ohjelman vaikuttavuuden toteutuminen
- kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö.

5. Hakuohjeet ja hakemusten arviointikriteerit

Ohjelman haku on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa toimitettava aiehakemus sisältää lyhyen aiesuunnitelman (ks. ohjeet aiehakemuksen laatimisesta liitteineen Akatemian huhtikuun 2019 hakuilmoituksesta). Aiehaku päättyy 24.4.2019 klo 16.15. Hakuaika on ehdoton. Ohjelman johtoryhmä tekee Akatemian hallituksen asettamalle ohjelmajaostolle esityksen hankkeista, jotka aiehakemusten perusteella parhaiten täyttävät ohjelman tavoitteet. Johtoryhmä voi asettaa etusijalle (muutoin tieteellisesti tasavertaisten hankkeiden kohdalla) hankkeen, jossa on aitoa ja uskottavaa yritys yhteistyötä jonka voidaan nähdä vahvistavan hankkeen yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Varsinaiseen hakuun kutsuttaville ilmoitetaan ohjelmajaoston päätöksestä kesäkuussa 2019.

Hakijat, joilta pyydetään varsinainen hakemus, laativat täydellisen tutkimussuunnitelman ja jättävät sen Akatemian verkkosivointiin viimeistään 4.9.2019 klo 16.15. Hakuaika on ehdoton. Ohjeet varsinaisen hakemuksen laatimisesta liitteineen ovat Akatemian huhtikuun 2019 hakuilmoituksessa. Kustannusarvion realistisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Menolajien mukainen kustannusarvio on perusteltava tutkimussuunnitelmassa.

Hakemusten tieteelliseen arviointiin perustuen ja ohjelman tavoitteet huomioon ottaen johtoryhmä valmistelee ehdotuksen rahoitettavista hankkeista ohjelmajaostolle, joka tekee rahoituspäätökset marraskuussa 2019. Mahdolliset ohjelmaa täydentävät haut toteutuvat erikseen sovittavassa aikataulussa.

Aiehakemusten arvioinnista vastaa ohjelman johtoryhmän jäsenistä ja mahdollisista muista asiantuntijoista koostuva raati. Varsinaiset hakemukset arvioidaan kansainvälisessä asiantuntijapaneelissa.

Hakemusten arvioinnissa noudatetaan akatemiaohjelmien yleisiä arviointikriteerejä (ks. Ohjeet ja lomakkeet Akatemian verkkosivuilla). Akatemian yleisten arviointikriteerien lisäksi hakemusten arvioinnissa painotetaan ohjelmalle asetettuja tavoitteita, kuten ne on kuvattu ohjelmamuistion luvussa 2 (Tavoitteet). Tämä näkökulma huomioidaan arviointilomakkeen kohdassa ”Hankkeen soveltuvuus akatemiaohjelmaan”.

6. Lisätietoa

Tämän ohjelmamuistion saa Suomen Akatemian verkkosivuilta osoitteesta: www.aka.fi/c1value.

ohjelmapäällikkö
Saila Seppo
p. 029 533 5109

ohjelmapäällikkö
Tommi Laitinen
p. 029 533 5057

Sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@aka.fi

Postiosoite:
Suomen Akatemia
PL 131 (Hakaniemenranta 6)
00531 Helsinki

