



Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU



Suomen Akatemian EU:n elpymis- ja palautumistukiväline- rahoituksen (RRF) ohjelman vaikutukset kestävään kasvuun

RRF-rahoitettujen tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden
tulokset ja vaikutukset systeemisen muutoksen edellytyksiin
vuosina 2022-2024

Erika Lilja | Jari Leppänen | Mari Leino





**Euroopan unionin
rahoittama**
NextGenerationEU

Suomen Akatemian EU:n elpymis- ja palautumistukivälinerahoituksen (RRF) ohjelman vaikutukset kestävään kasvuun

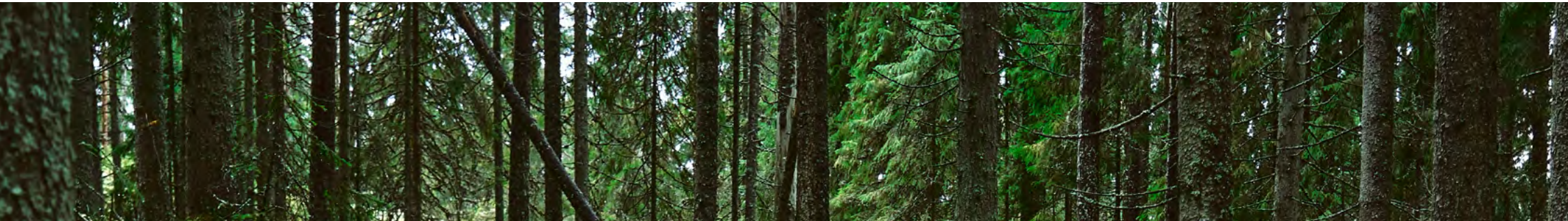
RRF-rahoitettujen tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden tulokset
ja vaikutukset systeemisen muutoksen edellytyksiin vuosina 2022-2024

Erika Lilja
Jari Leppänen
Mari Leino

Taitto: Design+Systeemi 2025
Valokuvat: Getty Images

ISBN: 978-951-715-959-3

Sisällys



Tiivistelmä	5	4. Hankkeiden tavoitteiden toteutuminen ja vaikutukset	23
1. Johdanto	6	4.1 Aineiston kuvaus	24
2. Suomen Akatemian EU:n elpymis- ja palautumisvälinärahoitus	9	4.1.1 Kyselyssä kerätyt taustatiedot	24
2.1 EU:n elpymis- ja palautumisväline ja kansallisen elpymis- ja palautumissuunnitelman toimeenpano Akatemiassa	10	4.2 Hankkeiden toiminta, tulokset ja tavoitteiden toteutuminen	26
2.2 Suomen Akatemian myöntämän RRF-rahoituksen kohdentuminen ja tarkasteluun sisältyvät hankkeet	11	4.2.1 Avainalojen tutkimushankkeiden tavoitteet ja tulokset	26
3. Hankkeiden raportoima toiminta, tulokset ja tuotokset	15	4.2.2 Vihreän ja digitaalisen siirtymän edistäminen avainalojen tutkimushankkeissa	26
3.1 Aineiston kuvaus	16	4.2.3 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden toiminta	27
3.2 Hankkeiden yhteistyökumppanit ja liikkuvuus	16	4.2.4 Tutkimusinfrastruktuurien avoimuuden ja yhteentoimivuuden edistäminen	28
3.2.1 Hankkeiden yhteistyökumppanit	16	4.2.5 Tutkimusinfrastruktuurihankkeille asetettujen ja kansallisen tutkimusinfrastruktuuristrategian mukaisten tavoitteiden toteutuminen	29
3.2.2 Liikkuvuus hankkeissa	19	4.2.6 Yhteenveto	30
3.3 Hankkeiden tuotokset ja tulokset	20	4.3 Sidosryhmäyhteistyö hankkeissa	31
3.3.1 Hankkeiden tuottamat julkaisut	20	4.3.1 Sidosryhmät, yhteistyö ja vuorovaikutus Suomessa	31
3.3.2 Hankkeissa suoritettut tutkimukset	21	4.3.2 Sidosryhmät, yhteistyö ja vuorovaikutus EU:n alueella	33
3.3.3 Hankkeissa syntyneet aineettomat oikeudet	21	4.3.3 Sidosryhmäyhteistyön onnistuminen	35
3.4 Yhteenveto	22	4.3.4 Yhteenveto	36

4.4 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistuminen	37
4.4.1 Yhteistyö osaamiskeskittymien kanssa	37
4.4.2 Tutkimusinfrastruktuurien käyttö hankkeissa.....	37
4.4.3 Yhteistyö muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa	40
4.4.4 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistaminen avainalojen tutkimushankkeissa.....	40
4.4.5 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistaminen tutkimusinfrastruktuurihankkeissa	44
4.4.6 Yhteenveto	45
4.5 Lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset	46
4.5.1 Avainalojen tutkimushankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset.....	46
4.5.2 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset.....	47
4.5.3 Yhteenveto	49
4.6 Kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseen liittyvän toiminnan ja tutkimuksen jatkuminen	50
4.6.1 Avainalojen tutkimushankkeiden tutkimuksen jatkuminen	50
4.6.2 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden toiminnan jatkuminen.....	51
4.6.3 Yhteenveto	52
4.7 Hankkeiden seuranta ja arviointi	52
4.7.1 Hankkeiden seuranta ja arviointi.....	52
4.7.2 Seurannan ja arvioinnin kehittämisen mahdollisuuksia	54
4.7.3 Yhteenveto	55
5. Hankkeiden vaikuttavuuden edistämiseksi toteuttamat toimenpiteet, vaikutusmekanismit ja ennakoitavat pidemmän aikavälin vaikutukset	56
5.1 Aineiston kuvaus.....	57
5.2 Vaikuttavuuden edistämiseksi tehdyt toimenpiteet.....	58
5.3 Vaikutusmekanismit.....	60
5.4 Hankkeiden vaikutukset vihreään ja digitaaliseen siirtymään	62
5.5 Vaikutukset yhteistyöhön, osaamiskeskittymiin ja osaamiseen.....	65
5.6 Pidemmän aikavälin ennakoitavissa olevat vaikutukset	67
5.7 EU-tason vaikutukset.....	70
6. DNSH-periaatteen toteutuminen hankkeissa	72
6.1 Aineiston kuvaus ja DNSH-arviointi	73
6.2 Hankkeiden DNSH-itsearviointit.....	73
6.3 Tukiviranomaisen näkemys DNHS-arvioinnista.....	74
6.4 Yhteenveto.....	75
7. Yhteenveto: Edellytyksiä systeemiselle muutokselle	76
8. Johtopäätökset ja suositukset	79
Liitteet	82



Tiivistelmä

Tämä raportti tarkastelee Suomen Akatemian myöntämän ja hallinnoiman EU:n elpymis- ja palautumistukivälineen (RRF) rahoituksen tuloksia ja vaikutuksia vuosina 2022–2024. Tarkastelu kattaa 19 päättynyttä konsortiohanketta, joiden tavoitteena oli edistää vihreää ja digitaalista siirtymää, tukea kestäväää kasvua sekä vahvistaa tutkimusinfrastruktuureja ja osaamiskeskittymiä. Hankkeille on myönnetty yhteensä noin 30 miljoonaa euroa RRF-rahoitusta. Kaikissa hankkeissa on noudatettu ”Do No Significant Harm” eli DNSH-periaatetta ja ympäristövaikutukset ovat olleet vähäisiä tai kompensoitavia.

Hankkeet ovat saavuttaneet tavoitteensa hyvin ja tuottaneet lähes 800 julkaisua, 58 tutkintoa ja kymmeniä aineettomia oikeuksia. Avainalojen tutkimushankkeiden tulokset liittyvät muun muassa resurssien kestävään käyttöön ja kiertätettävyyteen, ilmastomuutokseen sopeutumiseen ja ympäristön suojeluun, tekoälypohjaisiin ratkaisuihin, mallinnukseen ja simulointiin, digitaalsiin kaksosiin, dataintegraatioon ja päätöksenteon tukemiseen. Tutkimusinfrastruktuurihankkeet paransivat tutkimuksen edellytyksiä, kehittivät tutkimusinfrastruktuurien avoimuutta ja yhteentoimivuutta, tukivat osaamisen kasvua sekä mahdollistivat uudenlaista yhteistyötä.

Hankkeet ovat tehneet laajaa yhteistyötä tutkimusyhteisöjen, yritysten, viranomaisten ja kansalaisten kanssa Suomessa ja EU:ssa. Yhteistyö on tukenut tiedon hyödyntämistä, uusien yhteistyömuotojen syntymistä ja vaikeuttavuutta. Ne ovat verkostoituneet etenkin Akatemian rahoittamien tutkimuksen lippulaivojen ja huippuyksiköiden kanssa ja hyödyntäneet ja tehneet laajasti yhteistyötä kansallisten ja eurooppalaisten tutkimusinfrastruktuurien kanssa.

Lyhyellä aikavälillä hankkeet vaikuttivat erityisesti tutkimuksen edistämiseen, teknologisiin innovaatioihin, päätöksenteon tukeen ja koulutukseen. Pitkällä aikavälillä niiden odotetaan tukevan ilmastotavoitteita, kiertotaloutta, digitaalista siirtymää ja EU:n Green Dealin toimeenpanoa. Hankkeet ovat luoneet edellytyksiä myös systeemille muutokselle. Hankkeiden vaikuttavuus syntyi pääasiassa verkostojen, yhteiskehittämisen ja vuorovaikutuksen kautta – ei yksittäisten hankkeiden suoravaiikutuksista. Ne vahvistivat osaamiskeskittymiä ja loivat uusia rakenteita TKI-yhteistyölle.

Kokonaisuutena Akatemian myöntämä RRF-rahoitus on jo onnistunut vahvistamaan tutkimus- ja innovaatiotoiminnan vaikuttavuutta Suomessa. Hankkeet ovat rakentaneet

19

19 päättynyttä konsortiohanketta

29,8 milj. €

RRF-rahoitusta

~800

julkaisua

58

tutkintoa

pysyviä rakenteita, osaamis pohjaa ja ratkaisuja, joilla on potentiaalia muuttaa yhteiskunnan toimintamalleja ja rakenteita. Hankkeiden toiminta vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi jatkuu aktiivisesti uusien tutkimus- ja kehityshankkeiden, yhteistyöverkostojen ja osaamisen kehittämisen kautta.

Raportin tulosten pohjalta voidaan antaa myös suosituksia, jotka liittyvät tutkimuksen ja yhteiskunnan välisen vuorovaikutuksen ja yhteiskehittämisen vahvistamiseen, pitkäjänteisen TKI-yhteistyön ja osaamiskeskittymien kehittämisen tukemiseen, tutkimusinfrastruktuurien hyödyntämiseen laajemmin eri sektoreilla, vaikuttavuuden suunnitteluun, seurantaan ja arviointiin sekä tutkimustulosten ja tutkimusnäyttöön perustuvien ratkaisujen käyttöönoton edistämiseen sääntelyn ja politiikkatoimien avulla.



1. Johdanto

Tämä raportti tarkastelee Suomen Akatemian myöntämän ja hallinnoiman EU:n elpymis- ja palautumistukivälineen (RRF) rahoituksen vaikutuksia ja tuloksia vuosina 2022–2024. Raportin tavoitteena on kuvata, miten RRF-rahoitus on edistänyt vihreää ja digitaalista siirtymää sekä tukenut kestävästä kasvusta tutkimuksen, tutkimusinfrastruktuurien ja osaamiskeskittymien sekä osaamisen vahvistamisen keinoin.

Raportin aineisto koostuu RRF-rahoitusta saaneiden konsortiohankkeiden RRF-raportilla ilmoittamista tiedoista, vaikuttavuuskertomuksista, DNSH-periaatteen toteutumisen itsearvioinneista sekä hankkeiden konsortiojohtajilta kerätystä kyselyaineistosta. Aineisto kattaa yhteensä 15 vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimuskonsortiota, jotka muodostuvat 50 osahankkeesta, sekä neljä kansallista tutkimusinfrastruktuurikonsortiota, jotka muodostuvat 22 osahankkeesta.

Raportissa tarkastellaan hankkeiden toimintaa, tuloksia ja vaikutuksia useista näkökulmista. Tarkastelu kohdistuu tutkimusyhteistyöhön, liikkuvuuteen, hankkeiden tuotoksiin, tuloksiin ja vaikutuksiin, sidosryhmäyhteistyöhön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistumiseen sekä kestävä kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseen. Lisäksi raportissa arvioidaan hankkeiden itsearviointien ja vaikuttavuuskertomusten perusteella niiden vaikutusmekanismeja ja ennakoituja pitkän aikavälin

vaikutuksia. DNSH-itsearviointien avulla tarkastellaan, miten hankkeet ovat huomioineet ympäristötavoitteet toiminnassaan.

Raportti toimii osana RRF-ohjelman arviointia ja se tarjoaa tietopohjaa tutkimuksen ohjelmaston vaikuttavuuden tarkasteluun sekä tukee ymmärrystä siitä, miten tutkimus- ja kehittämistoiminta voi edistää yhteiskunnan kestävästä uudistumisesta monikriisien aikakaudella. Raportin tulokset yhdistetään syksyllä 2025 toteuttavaan sidosryhmäkyselyn tuloksiin ja vastaavaan keväällä 2026 vuonna 2025 päätyviltä hankkeilta kerättävään aineistoon.

Tutkimuksen vaikuttavuuden arviointi on tärkeää, mutta harvoin yksinkertaista. Vaikuttavuus syntyy usein pitkällä aikavälillä, eikä sen syntymekanismi ole suoraviivainen. Vaikutusten osoittaminen on haastavaa, sillä on vaikeaa tai mahdotonta määrittää, mikä muutos johtui mistäkin tutkimuksesta ja toimenpiteestä¹. Tästä huolimatta vaikuttavuuden seuranta ja arviointi on keskeistä erityisesti nykyisessä monikriisien ajassa. On syytä pysähtyä kysymään, tukeeko toimintamme asetettujen tavoitteiden saavuttamista tai voisimmeko vielä oppia uutta ja tehdä jotain paremmin tai toisin?

Perinteinen lineaarinen malli, jossa tutkimustulos etenee tiedon siirron kautta käyttöönottoon ja synnyttää vaikutuksia, ei useimmiten vastaa todellisuutta. Useat innovaatiotutkijat ovat kritisoineet tätä mallia sen yksinkertaistavuudesta ja epärealistisista

odotuksista. Sen sijaan epälineaarinen malli korostaa vuorovaikutusta, palautesilmukoita ja oppimista eri toimijoiden välillä. Tieto sitoutuu osaamisena yksilöihin ja organisaatioiden käytäntöihin, ja vaikuttavuus syntyy usein hiljaisen tiedon, arjen toiminnan, käyttäjäkokemusten ja yhteisöllisen oppimisen kautta. Vuorovaikutuksen katsotaan mahdollistavan tiedon, teknologian ja osaamisen siirtymisen sekä olevan keskeinen vaikuttavuuden mekanismi.²

Systeeminen lähestymistapa vaikuttavuuden arviointiin korostaa isompien kokonaisuuksien tasolla tapahtuvaa tarkastelua, jossa yksittäisten hankkeiden sijaan arvioidaan kokonaisuuden kykyä tuottaa systeemistä muutosta ja luoda edellytyksiä esimerkiksi tulevaisuuden kestäväälle kasvulle ja hyvinvoinnille. Lähestymistapa tunnistaa, että muutoksella tarkoitetaan esimerkiksi toimintamallien, rakenteiden ja näiden vuorovaikutusten samanaikaista muutosta ja että vaikuttavuus syntyy usein verkostojen, vuorovaikutuksen ja yhteiskehittämisen kautta – ei yksittäisten hankkeiden toiminnan ja tulosten suorasta vaikutuksesta.

Vaikka tässä raportissa on nostettu yksittäisiä hankkeita esiin esimerkinomaisesti, on tarkastelussa pyritty keskittymään hankkeiden yhteisvaikutuksiin, verkostojen ja osaamiskeskittymien syntyyn ja vahvistumiseen sekä TKI-toiminnan edellytysten kehitykseen. Lähestymistapa mahdollistaa RRF-rahoituk-

¹ Ks. esim. Tutkimuksen yhteiskunnallisen vaikuttavuuden arvioinnin haasteet | Vastuullinen tiede

² https://akavaworks.fi/wp-content/uploads/sites/2/2021/06/Perustutkimus-tieteen-ja-innovaatioiden-perustana-Artikkeli-8_2021.pdf

sen vaikuttavuuden arvioinnin systemaattisen muutoksen näkökulmasta.

Vastuullinen arviointi edellyttää paitsi ymmärrystä edellä todetusta, myös arvioitavien kohteiden ja sidosryhmien osallistamista arviointiin.³ Arvioinnista on nimittäin kaikkein eniten hyötyä, kun se on tehty oikein ja kun se on läpinäkyvää ja kehittävää. Tässä raportissa vastuullisen arvioinnin periaatteita on noudatettu myös toimittamalla raporttiluonnos konsortiohankkeiden johtajille ja osahankkeiden johtajille kommentoitavaksi kesäkuussa 2025 ennen sen julkaisemista.

Raportissa tarkastelu rakentuu Suomen kestävän kasvun ohjelmassa sekä Suomen Akatemian EU:n elpymisvälinerahoituksen hakuilmoituksissa asetettujen tavoitteiden edistymisen ja toteutumisen seurantaan. Tarkastelussa yhdistyvät sekä formatiivisen että summatiivisen arvioinnin periaatteet. Formattiivinen tarkastelu keskittyy RRF-ohjelman toteutuksen aikaisiin havaintoihin ja sen tavoitteena on tukea toiminnan kehittämistä ja ohjaamista. Sekä avainalojen päätyneet tutkimushankkeet että kansalliset tutkimusinfrastruktuurihankkeet jatkavat toimintaansa aktiivisesti kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi RRF-rahoituskauden jälkeen.

Summatiivinen tarkastelu pyrkii puolestaan tarjoamaan kokonaiskuvaa siitä, missä määrin kansallisessa RRP-suunnitelmassa ja kestävän kasvun ohjelmassa asetetut tavoitteet on saavutettu ja millaisia vaikutuksia

RRF-ohjelmalla on ollut. Se toimii myös tärkeänä välineenä tulosten ja vaikutusten näkyväksi tekemisessä, viestimisessä ja toiminnan kehittämisen suunnittelussa. Varsinainen summatiivinen tarkastelu on kuitenkin mahdollista toteuttaa vasta keväällä 2026, kun kaikki hankkeet ovat päätyneet. Pidemmän aikavälin vaikutusten arvioinnin näkökulmasta tarkastelu on tällöinkin ennen aikaista.

Raportti on toteutettu Suomen Akatemian RRF-tiimin virkahenkilötyönä. Kokonaisuudesta, raportin aineistojen keruusta ja tarkastelusta on vastannut johtava tiedeasiantuntija Erika Lilja. Analyysiin ja kirjoittamiseen ovat osallistuneet myös suunnittelija Jari Leppänen (etenkin luku 4 ja 6) ja tiedeasiantuntija Mari Leino (etenkin luku 3).

Raportin rakenne on seuraava. Luku 2 kuvaa EU:n elpymis- ja palautumisvälineen ja kansallisen RRP-suunnitelman rakenteen sekä Suomen Akatemian roolin toimeenpanossa ja rahoituksen kohdentumisen. Luvussa 3 tarkastellaan hankkeiden yhteistyökumppaneita, liikkuvuutta, julkaisuja, tutkintoja ja aineettomia oikeuksia. Luku 4 perustuu hankkeiden itsearviointikyselyn vastauksiin ja tarkastelee hankkeiden tavoitteiden toteutumista, sidosryhmäyhteistyötä, osaamisen vahvistumista ja lyhyen aikavälin yhteiskunnallisia vaikutuksia. Luku 5 käsittelee hankkeiden toteuttamia toimenpiteitä vaikuttavuuden edistämiseksi, vaikutusmekanismeja ja ennakoituja vaikutuksia vihreään ja digitaaliseen siirtymään sekä EU-tason vaikutuksia. Luvussa 6 tarkastellaan

Tarkastelussa on pyritty keskittymään hankkeiden yhteisvaikutuksiin, verkostojen ja osaamiskeskittymien syntyyn ja vahvistumiseen sekä TKI-toiminnan edellytysten kehitykseen. Arvioinnista on eniten hyötyä, kun se on läpinäkyvää ja kehittävää.

hankkeiden ympäristövaikutuksia ja niiden toteutusta suhteessa DNSH-periaatteeseen. Lopuksi luku 7 kokoaa keskeiset havainnot hankkeiden tuloksista, vaikutuksista ja vaikuttavuudesta systemaattisen muutoksen edistämisen näkökulmasta. Viimeisessä luvussa 8 esitetään johtopäätökset ja suositukset eri toimijoille. Lukujen lopussa on esitetty yhteenveto luvun päätuloksista.

Raportissa on haluttu nostaa esiin konkreettisia esimerkkejä hankkeista, ja se sisältää useita esimerkkilähtökohtia.

Raportin aineistoon on hyvä suhtautua järkevän kriittisesti. Se perustuu pääosin hankkeiden tuottamaan raportointitietoon, itsearviointeihin ja vaikuttavuuskertomuksiin. Aineisto tuo hyvin esiin hankkeiden näkökulman, mutta raportin tulokset voivat olla positiivisesti vinoutuneita. Tarkastelua on tarkoitus syventää sidosryhmiltä kerättävällä aineistolla ja näkemyksillä syksyllä 2025.

³ 21655-scope-guide-v10.pdf



2. Suomen Akatemian EU:n elpymis- ja palautumisvälinerahoitus

Tässä luvussa tarkastellaan EU:n elpymis- ja palautumisvälinettä (RRF) ja Suomen elpymis- ja palautumissuunnitelmaa (RRP) sekä sen toimeenpanoa Suomen Akatemiassa.

EU:n elpymis- ja palautumisvälineen kautta Suomeen kohdistuva rahoitus on mahdollistanut merkittäviä panostuksia tutkimukseen, osaamiseen ja infrastruktuureihin. Suomen Akatemian kautta rahoitetut hankkeet tukevat vihreää ja digitaalista siirtymää sekä vahvistavat tutkimuksen ja elinkeinoelämän välistä vuorovaikutusta.

Akatemia myönsi vuonna 2021 kahdessa eri rahoitushaussa yhteensä noin 29,8 miljoonaa euroa RRF-rahoitusta, josta 8,3 miljoonaa euroa kohdistui kahdeksaan tutkimusinfrastruktuurihankkeeseen (44 osahanketta) ja 21,5 miljoonaa euroa 17 avainalojen tutkimushankkeeseen (57 osahanketta). Suurin osa osahankkeista on päättynyt vuoden 2024 loppuun mennessä.

Raportissa tarkastellaan vuosina 2023 ja 2024 päättyneitä hankkeita, jotka ovat alkaneet 1.1.2022. Tarkastelu kattaa 19 konsortiohanketta, joiden kaikki osahankkeet ovat päättyneet.

Osio jakautuu kahteen lukuun. Luku 2.1 esittelee RRF-välineen ja kansallisen RRP-suunnitelman sekä Suomen Akatemian roolia suunnitelman toimeenpanossa. Luku 2.2 tarkastelee Suomen Akatemian myöntämän RRF-rahoituksen kohdentumista eri toimenpidekokonaisuuksiin ja hankkeisiin.

29,8 milj. €

RRF-rahoitusta

8,3 milj. €

Tutkimusinfrastruktuurihankkeet
44 osahanketta

21,5 milj. €

Avainalojen tutkimushankkeet
57 osahanketta

2.1 EU:n elpymis- ja palautumisväline ja kansallisen elpymis- ja palautumissuunnitelman toimeenpano Akatemiassa

NextGenerationEU-elpymisväline vauhdittaa ihmisten, talouden ja yhteiskunnan toipumista koronavuodesta. Väline sisältää 724 miljardin euron rahoituksen jäsenmaille. Elpymisväline jakaantuu seitsemään ohjelmaan, joista elpymis- ja palautumistukiväline (RRF) on kooltaan suurin. Se sisältää 672,5 miljardin euron rahoituksen jäsenmaille.⁴

RRF on väliaikainen rahoitusväline, joka tuli voimaan helmikuussa 2021 ja jonka avulla EU:n komissio kerää varoja pääomamarkkinoilta jäsenvaltioiden käyttöön. Rahoitusta voidaan käyttää helmikuusta 2020 vuoden 2026 loppuun saakka tehtyihin investointeihin ja uudistuksiin. RRF-välineen tavoitteena on tukea jäsenmaita koronapandemian jälkeisessä elpymisessä sekä vahvistaa niiden resilienssiä ja valmiuksia vihreään ja digitaaliseen siirtymään. Vähintään 37 % kansallisten suunnitelmien budjetista on kohdistettava vihreään siirtymään ja 20 % digitaaliseen siirtymään.⁵

Jäsenmaiden saama RRF-rahoitus perustuu kansallisiin elpymis- ja palautumissuunnitelmiin (RRP). EU:n neuvosto hyväksyi Suomen elpymis- ja palautumissuunnitelman syksyllä 2021. Suunnitelmaa on päivitetty sittemmin vastaamaan muuttuneita olosuhteita ja painopisteitä.

Suomen suunnitelma sisältää konkreettisia uudistuksia ja investointeja, joilla pyritään muun muassa parantamaan energiatehokkuutta, edistämään uusiutuvan energian käyttöä ja tukemaan osaamisen kehittämistä. Suunnitelma on osa laajempaa Suomen kestävä kasvun ohjelmaa, jonka tavoitteena on ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävä kasvu. Ohjelma tukee myös REPowerEU-suunnitelman toimeenpanoa, jonka tarkoituksena on vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista ja nopeuttaa siirtymää puhtaaseen energiaan.

Suomen Akatemia vastaa osaltaan kansallisen RRP-suunnitelman toimeenpanosta tutkimuksen ja tutkimusinfrastruktuurien osalta.

⁴ https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility_fi

⁵ https://energy.ec.europa.eu/topics/funding-and-financing/recovery-and-resilience-facility-clean-energy_en

Akatemian toimenpiteet sijoittuvat ohjelman pilarin 3 ”Työllisyysasteen ja osaamistason nostaminen kestävä kasvun vauhdittamiseksi” alle. Pilarin tavoitteena on vahvistaa osaamispohjaa, tukea tutkimus- ja kehittämistoimintaa sekä edistää korkeakoulutuksen ja tutkimuksen vaikuttavuutta.⁶

Akatemia toimeenpanee RRP-suunnitelman seuraavia toimenpidekokonaisuuksia osana opetus- ja kulttuuriministeriön hallinnon kokonaisuutta:

- P3C3I2 Vihreää siirtymää tukeva TKI-rahoituksen kokonaisuus – Avainalojen vauhdittaminen ja osaamisen vahvistaminen
- P3C3I5 Innovaatio- ja tutkimusinfrastruktuurien edistäminen – Paikalliset tutkimusinfrastruktuurit
- P3C3I6 Innovaatio- ja tutkimusinfrastruktuurien edistäminen – Kansalliset tutkimusinfrastruktuurit

Suomen Akatemian kautta rahoitettavat toimenpiteet keskittyvät erityisesti tutkimusinfrastruktuurien kehittämiseen, vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseen monitieteisten tutkimushankkeiden keinoin, tutkimuksen vaikuttavuuden ja osaamiskeskittymien vahvistamiseen sekä kansainvälisen yhteistyön tukemiseen.

Akatemia on myöntänyt rahoitusta kansallisesti merkittävälle tutkimusinfrastruktuureille, jotka tukevat vihreää ja digitaalista siirtymää. Näihin kuuluvat esimerkiksi datan hallintaan, ilmastomuutoksen tutkimukseen ja terveysteknologiaan liittyvät infrastruktuurit.

Akatemia on rahoittanut myös monitieteisiä vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeita, jotka yhdistävät osaamista esimerkiksi ilmastotutkimuksen, energiatekniikan, tekoälyn ja yhteiskuntatieteiden aloilta. Hankkeiden tavoitteena on tuottaa ratkaisuja yhteiskunnan kaksoissiirtymään.

Hankkeiden valinnassa on arvioitu muun muassa, miten ne edistävät vihreää siirtymää ja digitaalisuutta, TKI-toiminnan laatua ja vaikuttavuutta sekä näihin liittyvän osaamisen vahvistamista.

Akatemia tekee tiivistä yhteistyötä muiden RRP-suunnitelman toimeenpanosta vastaavien viranomaisten kanssa sekä ohjelmallisuuteen liittyvää yhteistyötä Business Finlandin kanssa, joka vastaa yritys- ja innovaatiotoiminnan tukemisesta kestävä kasvun ohjelmassa.

2.2 Suomen Akatemian myöntämän RRF-rahoituksen kohdentuminen ja tarkasteluun sisältyvät hankkeet

Akatemian kautta on rahoitettu yhteensä noin 90 miljoonalla eurolla vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeita ja tutkimusinfrastruktuurihankkeita, jotka tukevat ekologisesti kestävä kasvua, ilmastotavoitteita ja digitaalisten ratkaisujen kehittämistä. Vuonna 2021 RRF-valtuudesta tehtiin päätöksiä 45 miljoonan euron edestä ja vuosina 2022 ja 2023 yhteensä 45 miljoonan euron edestä.

Rahoitetut 56 konsortiohanketta ovat muodostaneet ohjelma-kokonaisuuden. RRF-ohjelman tavoitteena on vahvistaa tutkimuksen ja elinkeinoelämän välistä vuorovaikutusta ja edistää tutkimustulosten hyödyntämistä yhteiskunnassa. RRF-ohjelmaan valittujen hankkeiden arvioinnissa on korostettu tutkimusorganisaatioiden välistä yhteistyötä ja osaamiskeskittymien vahvistamista, jotta tutkimustulokset saadaan tehokkaammin käyttöön yhteiskunnassa ja elinkeinoelämässä ja rahoituksella edistetään TKI-toimijoiden välistä verkottumista ja osaamisen siirtoa.

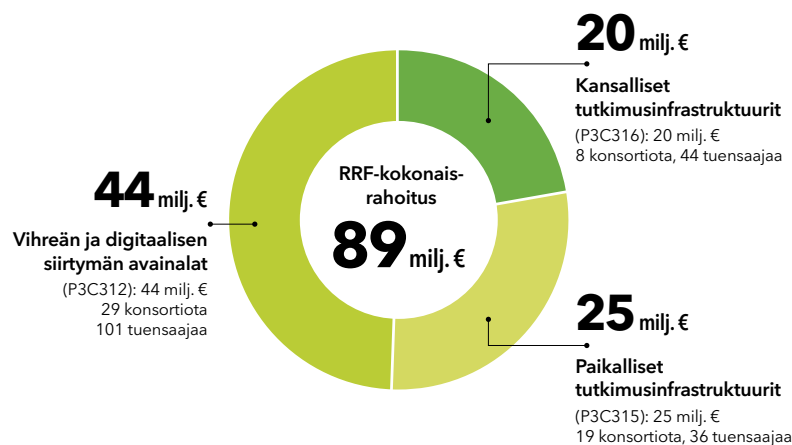
RRF-hankkeiden tulee noudattaa ”Do No Significant Harm” -periaatetta. Periaatteen noudattaminen on todennettu DNSH-arvioinnilla. Arvioinnin tavoitteena on varmistaa, että hankkeet eivät aiheuta merkittävää haittaa ympäristölle ja että ne noudattavat EU:n ja kansallisen lainsäädännön vaatimuksia. DNSH-arviointia on kuvattu tarkemmin luvussa 6.

Akatemian kautta on rahoitettu yhteensä noin 90 miljoonalla eurolla hankkeita, jotka tukevat ekologisesti kestävä kasvua, ilmastotavoitteita ja digitaalisten ratkaisujen kehittämistä.

⁶ Suomen kestävä kasvun ohjelma. Elpymis- ja palautumissuunnitelma

Raportissa tarkastellaan vuonna 2023 ja 2024 päätyneiden konsortiohankkeiden toimintaa, tuloksia ja vaikutuksia. RRF-rahoitusta on myönnetty hankkeiden suorituspaikoille vuoden 2021 vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen haussa⁷ ja 2021 kansallisten tutkimusinfrastruktuurien FIRI-haussa⁸ yhteensä 29 777 896 euroa. Kuviossa 1 on esitetty Suomen Akatemian myöntämän RRF-rahoituksen jakautuminen hakukohteittain ja kuviossa 2 myönnetyn rahoituksen jakautuminen maakunnittain.

Rahoitusta myönnettiin kahdeksalle tutkimusinfrastruktuurihankkeelle, jotka muodostuvat 44 osahankkeesta. Osahankkeista 32 on päättynyt vuoden 2024 loppuun mennessä ja 12 päättyy vuoden 2025 lopussa. RRF-rahoitusta myönnettiin 17 avainalojen tutkimushankkeelle, jotka muodostuvat 57 osahankkeesta. Osahankkeista 54 on



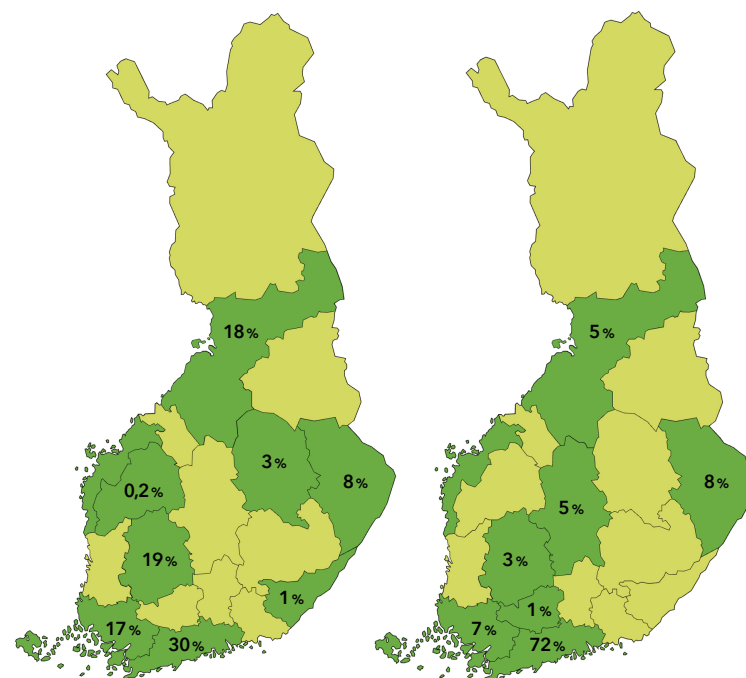
Kuvio 1. Akatemian myöntämän RRF-rahoituksen jakautuminen hakukohteittain.

⁷ Hakuilmoitus: Vihreän ja digitaalisen siirtymän ava - Suomen Akatemia

⁸ Hakuilmoitus: FIRI2021 - Tiekartta ja kansainvälise - Suomen Akatemia

päättynyt vuoden 2024 loppuun mennessä ja kolme päättyy vuoden 2025 lopussa.

Koska hankkeet raportoivat konsortiotasolla, kattaa raportin tarkastelu vain neljä taulukossa 1 esitettyä tutkimusinfrastruktuurihanketta ja 15 taulukossa 2 esitettyä avainalojen tutkimushanketta, joiden kaikki osahankkeet ovat jo päättyneet. Konsortiohankkeista käytetään tässä raportissa taulukossa esitettyjä lyhenteitä.



Kuvio 2. Akatemian myöntämän paikallisten tutkimusinfrastruktuuri-
hankkeiden (vasemmalla) ja avainalojen tutkimushankkeiden
(oikealla) rahoituksen jakautuminen maakunnittain.

Akatemian RRF-ohjelman hankkeet tuovat yhteen yli 80 vihreän ja digitaalisen siirtymän kannalta relevanttia tutkimusalaa. Tarkasteluun sisältyvien avainalojen tutkimushankkeiden hakemuksissa ilmoittamat tutkimusalat on koottu kuviossa 3 sanapilveen.

Liitteessä 1 on listattu tarkasteluun sisältyvien konsortioiden kaikki osahankkeet, niille myönnetty RRF-rahoituksen määrä, vastuulliset johtajat ja toteuttajaorganisaatiot päätösnumeroittain ja liitteessä 2 esitetty vuonna 2021 myönnetyn RRF-rahoituksen jakautuminen organisaatioittain. Toteutuneen RRF-rahoituksen kohdentuminen eri kululajeihin tarkasteluun sisältyvien hankkeiden osalta on esitetty liitteessä 3.

Henkilötyökuukausia avainalojen tutkimushankkeissa kertyi yhteensä 2 295 kuukautta ja tutkimusinfrastruktuurihankkeissa 597 kuukautta. Suurimmat panostukset kohdistuivat jatkokoulutettaviin ja tutkijatohtoreihin. Liitteessä 4 on esitetty hankkeiden raportoimat hankkeissa tehdyt henkilötyökuukaudet.



Kuvio 3. Sanapilvi avainalojen tutkimushankkeiden hakemuksissa ilmoittamissa tutkimusaloista.

Taulukko 1. Tarkasteluun sisältyvät tutkimusinfrastruktuurihankkeet.

Konsortiohankkeen/Tutkimusinfrastruktuurin nimi	Hankkeen kesto	Myönnetty RRF-rahoitus €
FIN-CLARIAH - Developing a Common RI for CLARIAH Finland (FIN-CLARIAH)	1.1.2022 - 31.12.2023	3 229 153
Finnish Marine Research Infrastructure (FINMARI)	1.1.2022 - 30.6.2024	1 665 213
Hydrological Research Infrastructure Platform (HYDRO-RI-Platform)	1.1.2022 - 31.12.2024	2 270 654
EuroHPC/PRACE Finland virtual research infrastructure (RI)	1.1.2022 - 31.12.2023	1 097 125
Myönnetty rahoitus yhteensä		8 262 145 €

Taulukko 2. Tarkasteluun sisältyvät avainalojen tutkimushankkeet.

Konsortiohankkeen nimi	Hankkeen kesto	Myönnetty RRF-rahoitus €
Aalto ENG/SCI (AES)	1.1.2022 – 31.12.2024	887 692
Artificial intelligence, spatial statistics and Earth observation for digital twinning of forest diversity (ARTISDIG)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 557 613
Beyond carbon-neutral drone aerial deliveries with autonomous micro-airports in sustainable metropolitan areas (AeroPolis)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 898 449
Capturing structural and functional diversity of trees and tree communities for supporting sustainable use of forests (@Diversity4Forests)	1.1.2022 – 31.12.2024	904 728
Enzyme-mediated attachment and detachment of multifunctional and biobased coating aided by digital material design (ENZYFUNC)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 356 766
Evaluating integrated spatially explicit carbon-neutrality for boreal landscapes and regions (C-NEUT)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 897 050
Foundations and digital infrastructure for green offshore energy production close to Finnish coasts (GEOMEASURE)	1.1.2022 – 31.12.2024	917 813
Green and digital transition in river basin management (Green-Digi-Basin)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 875 877
Managing Forests for Climate Change Mitigation (ForClimate)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 899 022
Materials Development for Flow Batteries with Help of Explainable AI (FlowXAI)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 132 557
Microscopy and machine learning in molecular characterization of lignocellulosic materials (MIMIC)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 352 985
Modelling engine to design, assess environmental impacts, and operate wind farms for ice-covered waters (WindySea)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 367 802
UH-Aalto Sustainable Autonomous AI in Fight Against Climate Change (UHASSA)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 753 931
Unmanned aerial systems based solutions for real-time management of wildfires (FireMan)	1.1.2022 – 31.12.2024	1 855 676
Urban environment and climate change in the arctic (ADAPTINFA)	1.1.2022 – 31.12.2024	857 790
Myönnetty rahoitus yhteensä		21 515 751 €



3. Hankkeiden raportoima toiminta, tulokset ja tuotokset

Tässä luvussa tarkastellaan avainalojen tutkimushankkeiden ja kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden raportointitietoja, jotka on kerätty Suomen Akatemian verkkoasioinnin raportointilomakkeella hankkeiden päättymisen jälkeen. Alaluvuissa tarkastellaan hankkeiden yhteistyökumppaneita ja liikkuvuutta sekä hankkeiden tuotoksia ja tuloksia. Viimeisessä luvussa on tehty yhteenveto hankkeiden raporttoimasta toiminnasta, tuloksista ja tuotoksista.

3.1 Aineiston kuvaus

Tässä luvussa tehty tarkastelu perustuu hankkeiden raportointiin hankkeiden päättymisen jälkeisen RRF-raportin tietoihin. Tiedot on kerätty Suomen Akatemian verkkoasioinnin raportointilomakkeen kautta. Lomake sisältää vapaatekstikenttiä sekä valintakysymyksiä. Raportointitieto kattaa 15 vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeen ja neljän kansallisen tutkimusinfrastruktuurihankkeen Akatemialle raporttoimat tiedot.

Hankkeet, jotka ovat päättyneet 31.12.2024 mennessä ovat pääsääntöisesti toimittaneet RRF-raportin 31.3.2025 mennessä. 31.12.2023 päättyneiden tutkimusinfrastruktuurihankkeiden raportit on jätetty 31.3.2024 mennessä.

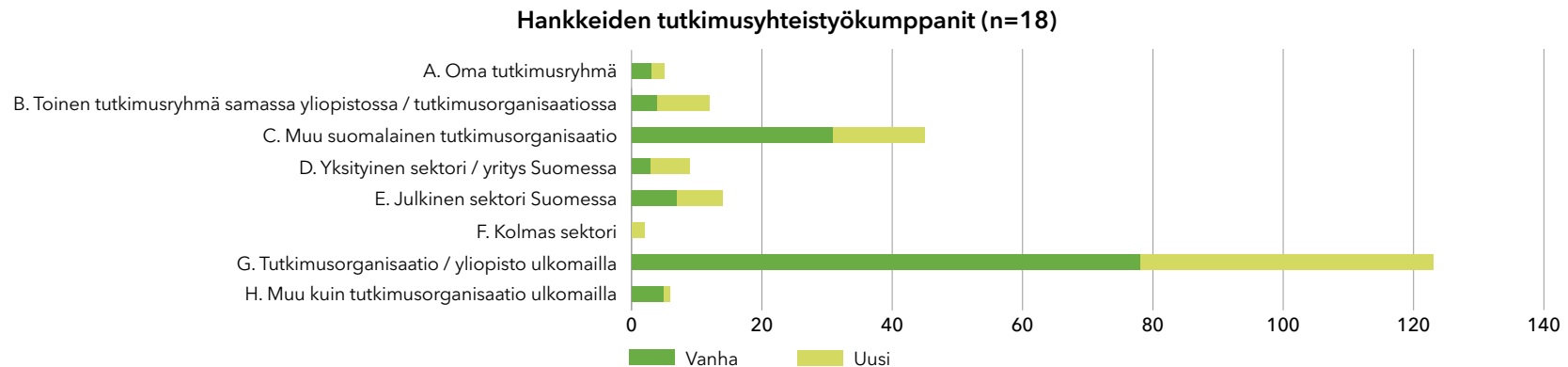
3.2 Hankkeiden yhteistyökumppanit ja liikkuvuus

3.2.1 Hankkeiden yhteistyökumppanit

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimusyhteistyötä. Muiden tahojen kanssa tehtävää sidosryhmä- ja TKI-yhteistyötä tarkastellaan kyselyaineiston pohjalta luvuissa 4.3 ja 4.4.

Hankkeet raportoivat tutkimusyhteistyökumppaneista, jotka tekevät tyypillisesti myös itse aiheeseen liittyvää tutkimusta. Kyseiset kumppanit eivät kuitenkaan saa rahoitusta raportoitavasta Akatemian hankkeesta. Hankkeet valitsevat raporttilomakkeella yhteistyökumppanin tyypin sekä voivat täsmentää yhteistyön luonnetta avovastauksessa. Hankkeet ovat raportoineet yhteensä 216 tutkimusyhteistyökumppania, joista 85 on suomalaisia ja 131 kansainvälisiä.

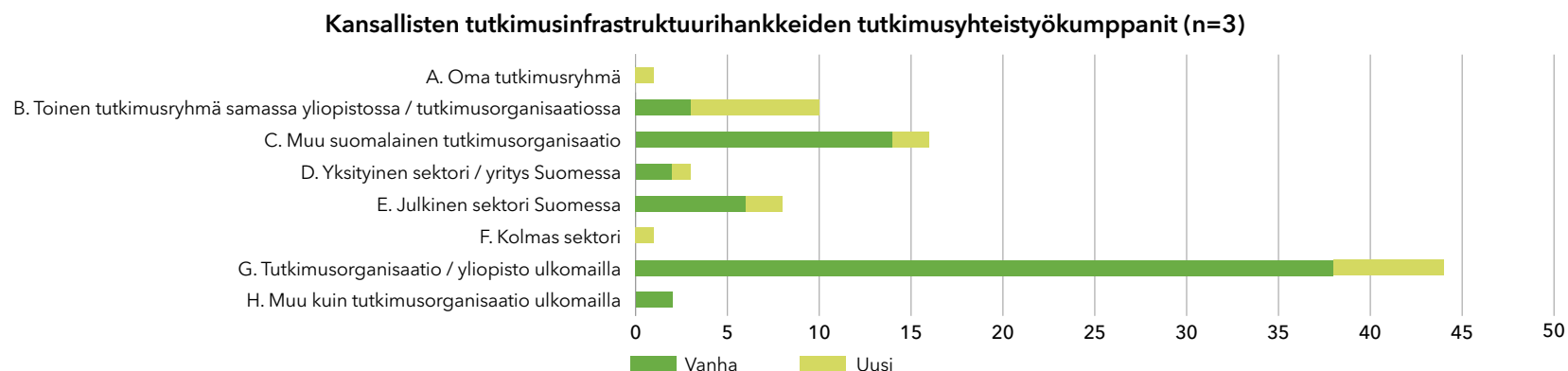
Kuviossa 4 on esitetty kaikkien yhteistyökumppaneita raportonoiden 18 konsortiohankkeen tutkimusyhteistyökumppanit, joista osa on vanhoja ja osa uusia yhteistyökumppaneita. Yksi hankkeista ei raportoinut yhteistyökumppaneita. Suurin osa hankkeiden yhteistyökumppaneista on ollut tutkimusorganisaatiosta tai yliopistosta ulkomailta tai muusta suomalaisesta tutkimusorganisaatiosta. Uusia yhteistyökumppaneita on löydetty etenkin tutkimusorganisaatioista tai yliopistoista ulkomailta.



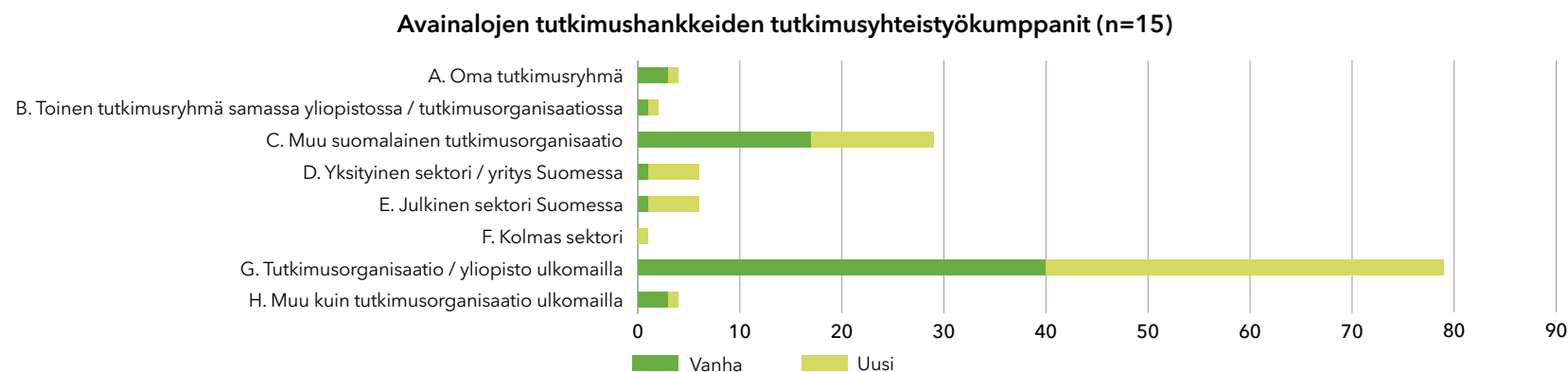
Kuvio 4. Hankkeiden raporttoimien tutkimusyhteistyökumppanien lukumäärä.

Kuviossa 5 on esitetty kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden tutkimusyhteistyökumppanit. Kolme hanketta raportoi yhteensä 85 tutkimusyhteistyökumppania, jotka ovat pääosin tutkimusorganisaatioita ulkomailla, muita tutkimusryhmiä samassa tutkimusorganisaatiossa tai muita suomalaisia tutkimusorganisaatioita. Uusia yhteistyökumppaneita on löydetty eniten saman tutkimusorganisaation toisista tutkimusryhmistä ja tutkimusorganisaatioista tai yliopistoista ulkomailta.

Vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeiden yhteistyökumppanit on esitetty kuviossa 6. Hankkeet raportoivat yhteensä 131 tutkimusyhteistyökumppania. Yhteistyökumppanit olivat pääosin ulkomaisia tutkimusorganisaatioita sekä muita suomalaisia tutkimusorganisaatioita. Uusia yhteistyökumppaneita on löydetty eniten ulkomaisista tutkimusorganisaatioista ja yliopistoista.

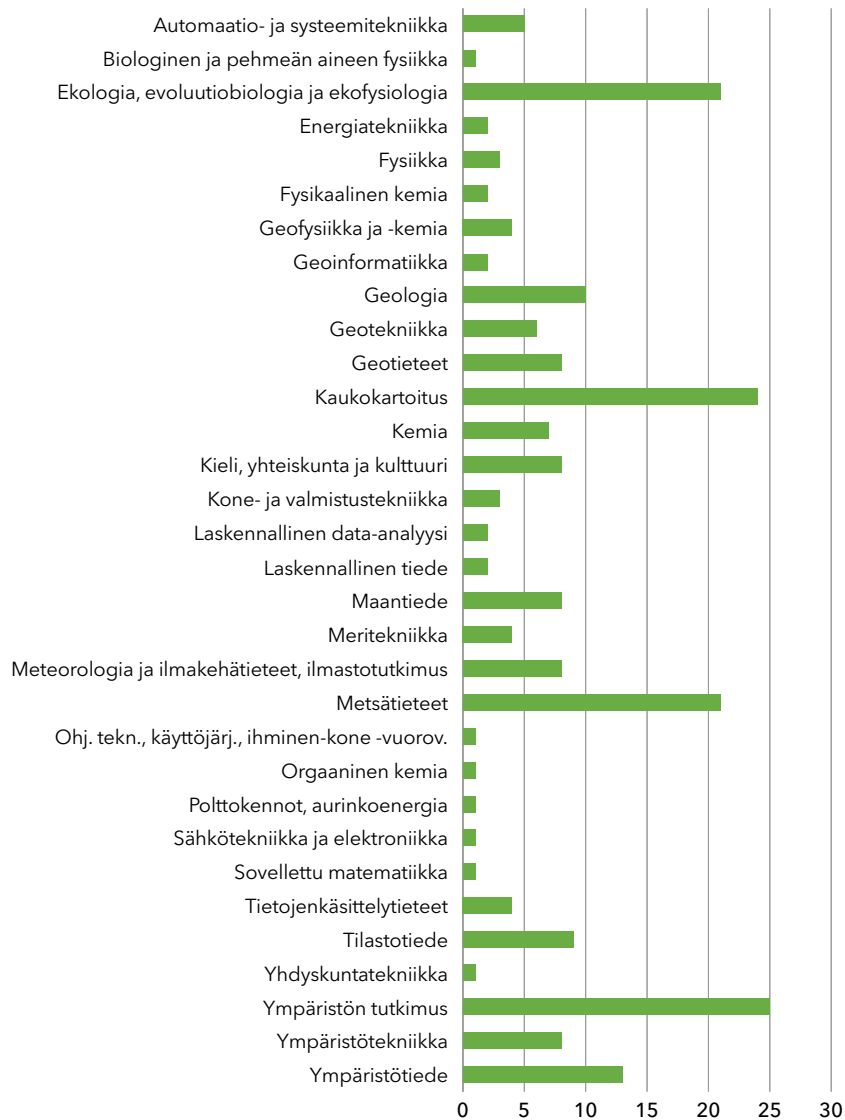


Kuvio 5. Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden raportoimien yhteistyökumppanien lukumäärä.



Kuvio 6. Vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeiden raportoimien yhteistyökumppanien lukumäärä.

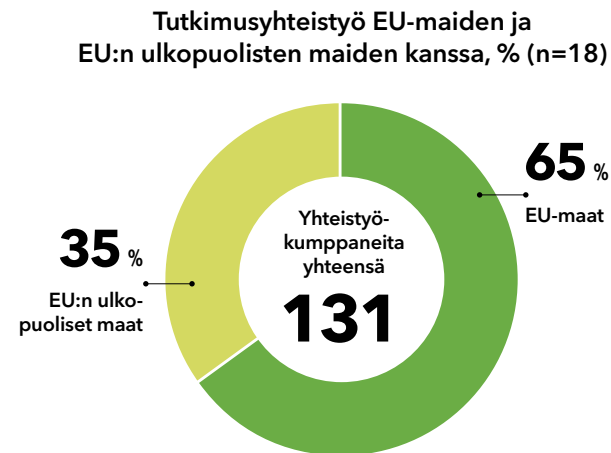
Yhteistyökumppaneiden tutkimusalat, kaikki hankkeet (n=18)



Kuvio 7. Hankkeiden tutkimusyhteistyökumppaneiden tutkimusalat (lukumäärä).

Kuviossa 7 on esitetty kaikkien hankkeiden 216 tutkimusyhteistyökumppanin tutkimusalat. Hankkeet ovat tehneet yhteistyötä laajasti eri tutkimusaloilla. Erityisesti yhteistyötä on tehty ekologian, evoluutiobiologian ja ekofysiologian, kaukokartoituksen, metsätieteiden ja ympäristön tutkimuksen aloilla. Kullekin yhteistyökumppanille valitaan raportissa yksi tutkimusala, vaikka yhteistyö olisikin ollut monitieteistä.

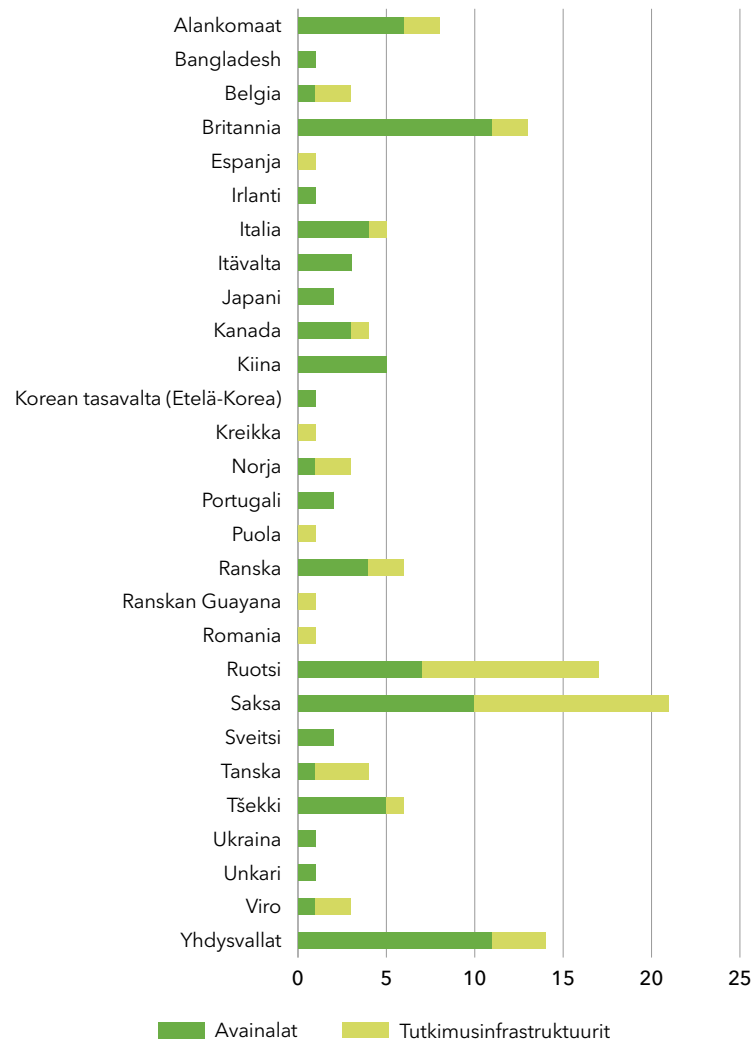
Kuviossa 8 on esitetty hankkeiden tutkimusyhteistyö EU-maiden ja EU:n ulkopuolisten maiden kanssa. Hankkeet ovat raportoineet yhteensä 131 kansainvälistä yhteistyökumppania. Näistä 65 % on EU-maista ja 35 % EU:n ulkopuolisista maista.



Kuvio 8. Tutkimusyhteistyö EU-maiden ja EU:n ulkopuolisten maiden kanssa.

Kuviossa 9 on esitetty kansainvälinen yhteistyö eri maiden kanssa. Yleisimpiä yhteistyökumppaneiden maita ovat Saksa, Ruotsi, Britannia, Alankomaat ja Yhdysvallat.

Kansainvälinen tutkimusyhteistyö eri maiden kanssa (n=18)

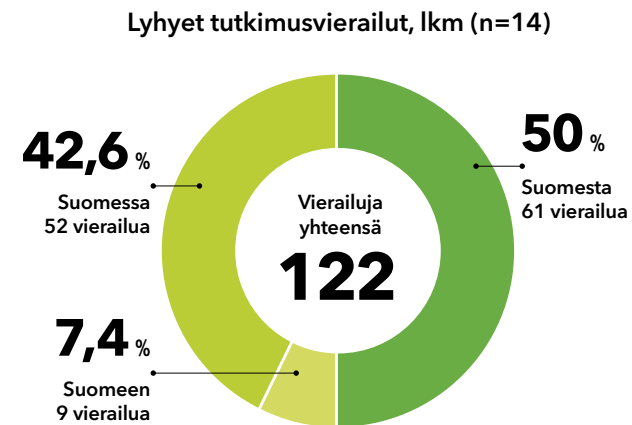


Kuvio 9. Kansainvälinen tutkimusyhteistyö eri maissa työskentelevien yhteistyökumppaneiden kanssa.

3.2.2 Liikkuvuus hankkeissa

Hankkeet toimittavat raporttilomakkeella tiedot toteutuneista tutkimusvierailuista. Lyhyet ja pitkät tutkimusvierailut raportoidaan erikseen. Lyhytaikaisen vierailun yhtäjaksoinen kesto on vähintään viisi työpäivää ja alle yksi kuukausi. Pitkäaikaisen vierailun yhtäjaksoinen kesto on vähintään yksi kuukausi.

Kuviossa 10 on esitetty hankkeiden toteutuneet lyhyet tutkimusvierailut. Lyhyitä tutkimusvierailuja on tehty yhteensä 122 ja pitkiä 25. Lyhyet tutkimusvierailut ovat suuntautuneet pääosin Suomesta ulkomaille. Suomeen saapuvien tutkimusvierailujen määrä on ollut huomattavasti pienempi. Suomen sisällä on tapahtunut sekä lyhyitä että pidempiä tutkimusvierailuja. Suomeen saapuvia pitkiä tutkimusvierailuita oli yhteensä viisi. Yksi näistä oli muita huomattavasti pidempi kestoaltaan (30 kk).



Kuvio 10. Hankkeiden raportoimat lyhyet tutkimusvierailut.

3.3 Hankkeiden tuotokset ja tulokset

3.3.1 Hankkeiden tuottamat julkaisut

Päätyneet tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat raportoineet yhteensä 784 julkaisua. Valtaosa julkaisuista on vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja. Hankkeet ovat julkaisseet myös ammattiyleisölle

Taulukko 3.

Hankkeiden raportoidut julkaisut julkaisutyyppittäin.

A1 Alkuperäisartikkeli tieteellisessä aikakauslehdessä	475
A2 Katsausartikkeli tieteellisessä aikakauslehdessä	16
A3 Kirjan tai muun kokoomateoksen osa	76
A4 Artikkelit konferenssijulkaisussa	159
B1 Kirjoitus tieteellisessä aikakauslehdessä	1
B3 Vertaisarvioimaton artikkeli konferenssijulkaisussa	5
C1 Kustannettu tieteellinen erillisteos	2
C2 Toimitettu teos	15
D1 Artikkelit ammattilehdessä	16
D2 Artikkelit ammatillisessa kokoomateoksessa (ml. toimittajan kirjoittama johdantoartikkeli)	1
D3 Artikkelit ammatillisessa konferenssijulkaisussa	2
D4 Julkaistu kehittämis- tai tutkimusraportti taikka -selvitys	5
D5 Ammatillinen kirja	2
E1 Yleistajuinen artikkeli, sanomalehtiartikkeli	3
F2 Julkinen taiteellinen teoksen osatoteutus	2
G1 Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, kandidaatintyö	5
G2 Pro gradu, diplomityö, ylempi amk-opinnäytetyö	7
G5 Artikkeliväitöskirja	2
I2 Tieto- ja viestintätekniset sovellukset	1

suunnattuja julkaisuja ja opinnäytetöitä. Taulukossa 3 on esitetty hankkeiden raportoidut julkaisut julkaisutyyppittäin ja taulukossa 4 julkaisutyyppittäin ja vuosittain.

Taulukot 3 ja 4 esittävät hankkeiden raportointia julkaisumääriä. Julkaisutietojen oikeellisuuteen ja kattavuuteen vaikuttavat attribuutiohaasteiden lisäksi muun muassa tieteenalaspesifit tavat määritellä julkaisun tekijä, tieteellisten julkaisujen korostuminen tutkimuksen ja tutkijan arvioinneissa sekä esimerkiksi yliopistojen rahoitusmallissa ja muissa tulostittareissa sekä julkaisutiedonkeruussa käytettävissä olevat tietokannat ja tietojärjestelmät ja etenkin muiden kuin tieteellisten julkaisujen osalta tutkijoiden oma raportointiaktiivisuus.

Taulukko 4.

Hankkeiden raportointien julkaisujen määrä julkaisutyyppittäin ja vuosittain.

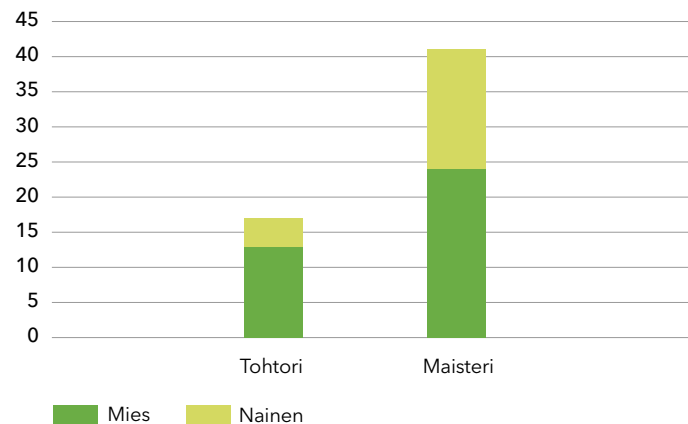
	2022	2023	2024	2025	Yht.
A Vertaisarvioidut tieteelliset artikkelit	222	264	191	49	726
B Vertaisarvioimattomat tieteelliset kirjoitukset	1	3	2	0	6
C Tieteelliset kirjat (monografiat)	9	7	1	0	17
D Ammattiyhteisölle suunnatut julkaisut	16	4	6	0	26
E Suurelle yleisölle suunnatut julkaisut	2	0	1	0	3
F Julkinen taiteellinen ja taideteollinen toiminta	0	2	0	0	2
G Opinnäytteet	1	7	6	0	14
H Patentit ja keksintöilmoitukset	0	0	0	0	0
I Audiovisuaaliset aineistot ja tieto- ja viestintätekniset ohjelmat	0	1	0	0	1
Yhteensä	251	285	203	45	784

3.3.2 Hankkeissa suoritettut tutkimukset

Vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeissa on suoritettu myös tutkintoja. Tutkimusinfrastruktuurihankkeilta ei kerätä tietoa suoritetuista tutkimuksista. 14 avainalojen tutkimushanketta raportoi suorittaneita tutkintoja.

Kuviossa 11 on esitetty avainalojen tutkimushankkeissa suoritettut tohtorin ja maisterin tutkimukset. Hankkeissa on raportoitu yhteensä 58 suoritettua tutkintoa, joista 17 on tohtorin tutkintoja ja 41 maisterin tutkintoa. Tutkinnoista 64 prosenttia oli miesten ja 36 prosenttia naisten suorittamia tutkintoja.

Avainalojen tutkimushankkeissa suoritettut tutkimukset (n=14)



Kuvio 11. Avainalojen tutkimushankkeiden raportoitujen suoritettujen tutkintojen lukumäärä.

3.3.3 Hankkeissa syntyneet aineettomat oikeudet

Sekä avainalojen tutkimushankkeet että tutkimusinfrastruktuurihankkeet raportoivat hankkeissa syntyneistä aineettomista oikeuksista. Kuusi hanketta raportoi aineettomia oikeuksia.

Taulukossa 5 on esitetty hankkeiden tuloksena syntyneet keksintöilmoitukset, mallisuoajat ja vastaavat rekisteröitävät aineettomat oikeudet. Hankkeissa on tehty viisi keksintöilmoitusta ja yksi kirjallinen tuotos. Lisäksi yksi tutkimusinfrastruktuurihanke on raportoinut 46 aineistoihin liittyvää aineetonta oikeutta.

Taulukko 5. Hankkeissa syntyneet aineettomat oikeudet.

Aineeton oikeus	Kpl	Hankkeet
Patentti	0	
Patenttihakemus	0	
Patentti-ilmoitus	0	
Keksintöilmoitus	5	MIMIC (2 kpl), FlowXAI (2 kpl), @Diversity4Forests (1 kpl)
Kirjallinen tai taiteellinen tuotos	1	C-NEUT (hankkeen tuloksiin perustuva tapausesimerkki energiainsinöörien oppikirjaan)
Muu, esim.	46	FIN-CLARIAH (aineistoja)



3.4 Yhteenveto

Hankkeet raportoivat yhteensä 216 tutkimusyhteistyökumppania, joista enemmistö oli kansainvälisiä. Uusia yhteistyökumppaneita löytyi erityisesti ulkomaisista tutkimusorganisaatioista. Yhteistyötä tehtiin laajasti eri tieteenaloilla, ja kansainvälinen yhteistyö painottui EU-maihin, kuten Saksaan, Ruotsiin ja Alankomaihin.

Liikkuvuuden osalta hankkeissa toteutui sekä lyhyitä että pitkiä tutkimusvierailuja, pääosin Suomesta ulkomaille. Pitkiä vierailuja Suomeen tehtiin vain muutamia.

Tuotosten osalta hankkeet raportoivat verkkoasioinnin kautta yhteensä 784 julkaisua, joista suurin osa oli vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita. Lisäksi hankkeissa syntyi opinnäytetöitä, ammatillisia julkaisuja ja digitaalisia sovelluksia sekä yhteensä 53 aineetonta oikeutta.

Kuudessa hankkeessa syntyi myös uusia aineettomia oikeuksia, kuten keksintöilmoituksia ja kirjallisia tuotoksia sekä aineistoihin liittyviä aineettomia oikeuksia.



4. Hankkeiden tavoitteiden toteutuminen ja vaikutukset

Luku 4 käsittelee RRF-rahoitteisten tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden itsearviointia ja sen tuloksia eri näkökulmista. Alaluvussa 4.2 tarkastellaan hankkeiden toimintaa, tuloksia ja tavoitteiden toteutumista erityisesti vihreän ja digitaalisen siirtymän näkökulmasta. Alaluvussa 4.3 analysoidaan hankkeiden sidosryhmäyhteistyötä sekä Suomessa että EU:n alueella. Alaluvussa 4.4 keskitytään TKI-yhteistyöhön, osaamiskeskittymien vahvistumiseen ja tutkimusinfrastruktuurien käyttöön. Alaluvussa 4.5 tarkastellaan hankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnallisia vaikutuksia. Alaluvussa 4.6 kuvataan, miten hankkeiden toiminta jatkuu RRF-rahoituskauden päättymisen jälkeen. Luvun viimeisessä osassa käsitellään hankkeiden vaikutusten seuranta- ja arviointia sekä kehittämismahdollisuuksia.

Kunkin alaluvun lopussa on oma yhteenveto kyseisen osion keskeisistä havainnoista.

Luvun aineistoon on hyvä suhtautua järkevän kriittisesti. Kyselyaineisto nostaa hyvin esiin hankkeiden näkökulman, mutta raportin tulokset voivat olla positiivisesti vinoutuneita. Tarkastelua on tarkoitus syventää sidosryhmiltä kerättävällä aineistolla ja näkemyksillä syksyllä 2025.

4.1 Aineiston kuvaus

Hankkeiden toimintaa, tuloksia ja vaikutuksia koskeva itsearviointi toteutettiin konsortionjohtajille suunnatulla kyselyllä. Kullekin RRF-rahoituksen toimenpiteelle on tehty oma Webropol-kyselylomake (P3C3I2, P3C3I5 ja P3C3I6). Kysely oli pakollinen osa RRF-rahoituksen hankkeiden loppuraportointia.

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden johtajille suunnattu kysely sisälsi 26 kysymystä ja vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeiden johtajille suunnattu kysely 22 kysymystä. Kyselyt sisälsivät kysymyksiä seuraavista teemoista: taustatiedot; hank-

keen toteutus ja tavoitteiden saavuttaminen; sidosryhmät, osaamiskeskittymien vahvistaminen ja TKI-yhteistyö sekä yhteiskunnallinen vaikuttavuus: vihreä ja digitaalinen siirtymä sekä kestävä kasvu.

Konsortionjohtaja oli vastuussa lomakkeen kysymyksiin vastaamisesta ja hänen oli vastattava itse niihin kysymyksiin, joissa arvioitiin toiminnan laatua asteikolla tai valitsemalla annetuista vaihtoehdoista. Puutteellisesti täytetyt lomakkeet palautettiin täydennettäväksi.

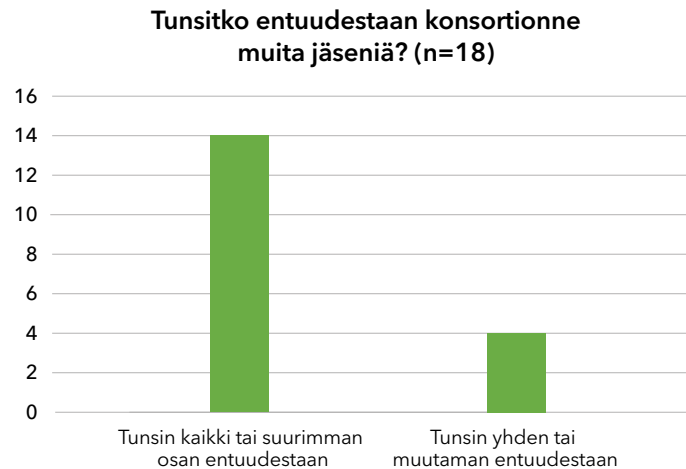
Kaikki vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeiden konsortionjohtajat vastasivat avainalojen toimenpidettä P3C3I2 koskevaan kyselyyn. Neljän kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden konsortionjohtajista kolme vastasi kansallisten tutkimusinfrastruktuurien toimenpidettä P3C3I6 koskevaan kyselyyn.

Koska kysely toteutettiin ja siihen vastattiin englannin kielellä, kyselyn kysymykset, vastausvaihtoehdot ja kyselyjen avovastausten tarkastelut on käännetty suomen kielelle. Avainalojen tutkimushankkeiden konsortionjohtajien vastaukset on esitetty kuvioina. Koska kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden osalta vastausmäärä oli pieni (3), on näiden osalta vastaukset esitetty kuvioin, mikäli se on ollut tarkoituksenmukaista.

Luvuissa 4.4.2 ja 4.6.2 on kyselyaineiston lisäksi hyödynnetty myös hankkeiden Akatemian verkkoasioinnin raportointilomakkeella ilmoittamia tietoja.

4.1.1 Kyselyssä kerätty taustatiedot

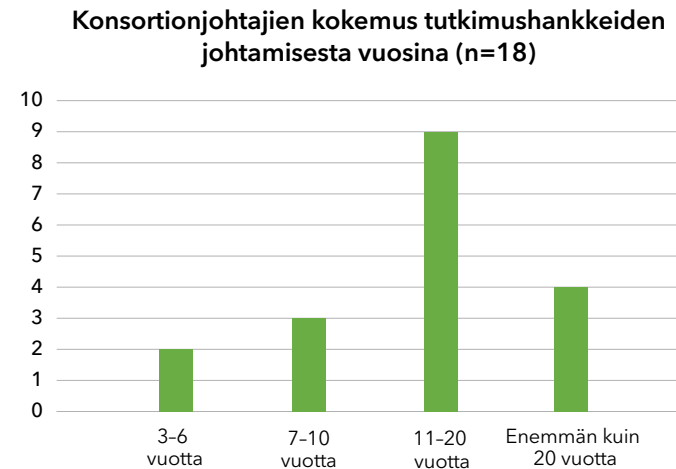
Sekä avainalojen tutkimushankkeiden että kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden konsortionjohtajia pyydettiin kertomaan, olivatko konsortion muut jäsenet heille entuudestaan tuttuja. Kuviossa 12 on esitetty konsortion jäsenten tunteminen entuudestaan. Suurin osa konsortionjohtajista tunsi kaikki tai suurimman osan konsortion jäsenistä entuudestaan. Neljä konsortionjohtajaa tunsi yhden tai muutaman konsortion jäsenen entuudestaan.



Kuvio 12. Konsortion jäsenten tunteminen entuudestaan.

Konsortionjohtajia pyydettiin myös kertomaan kokemuksestaan vuosina tutkimushankkeiden johtajana. Kuviossa 13 on esitetty konsortionjohtajien kokemus tutkimushankkeiden johtamisesta vuosina. Konsortiohankkeiden johtajia voidaan pitää erittäin kokeneina. Yhdeksällä on kokemusta tutkimushankkeen johtamisesta 11–20 vuotta ja neljällä enemmän kuin 20 vuotta.

Konsortionjohtajia pyydettiin myös tarkentamaan, moniko heidän johtamistaan tutkimushankkeista on ollut yhteiskunnallista vaikuttavuutta tavoitelleita hankkeita. Vastausten keskiarvo oli 11,2 hanketta (keskihajonta 13,5 ja mediaani 7,5). Hankkeiden määrä vaihteli yhdestä viiteenkymmeneen. Vaikka suurin osa oli johtanut useampia vastaavia tutkimushankkeita, neljäsosalla oli huomattavasti vähemmän kokemusta vastaavista hankkeista (3 tutkimushanketta) ja neljäsosalla enemmän (yli 14 tutkimushanketta). Luvuissa ei ole huomioitu raportissa tarkasteltavan RRF-hankkeen johtamista.



Kuvio 13. Konsortionjohtajien kokemus tutkimushankkeiden johtamisesta vuosina.

Kyselyyn vastanneet konsortionjohtajat kuvasivat kyselyssä lyhyesti myös taustaansa, merkittävimpiä saavutuksiaan ja kokemustaan tutkimushankkeiden johtamisesta ja erilaisten tutkimuskokonaisuuksien ja -keskusten koordinoinnissa.

Useimmilla konsortionjohtajilla on laaja, useamman vuoden kokemus eri tutkimusrahoittajien rahoittamista tutkimushankkeista, jotka ovat usein olleet monitieteisiä ja joiden tavoitteena on ollut yhteiskunnallinen vaikuttavuus. Konsortionjohtajilla on kokemusta myös EU-rahoitteisten hankkeiden johtamisesta ja konsortion koordinaattorina toimimisesta sekä kansainvälisestä yhteistyöstä. Vastaajien joukossa on myös konsortionjohtajia, joille kokemusta tutkimushankkeiden johtamisesta on alkanut kertyä vasta viime vuosina.

Osa toimii asiantuntijana eri asiantuntijaryhmissä ja tutkimusorganisaatioissa. Lisäksi konsortionjohtajilla on kokemusta myös lainsäädäntötyöstä ja päätöksenteon tukemisesta. Ainakin yhdellä on kokemusta myös yrityksen johtotehtävistä.

4.2 Hankkeiden toiminta, tulokset ja tavoitteiden toteutuminen

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden tuloksia ja tavoitteiden toteutumista erityisesti vihreän ja digitaalisen siirtymän näkökulmasta. Luvussa analysoidaan, miten avainalojen tutkimushankkeet ovat edistäneet kestävästä kasvusta, ilmastonmuutokseen sopeutumista, resurssitehokkuutta ja osaamisen vahvistamista eri sektoreilla. Lisäksi kuvataan tutkimusinfrastruktuurien avoimuuden ja yhteentoimivuuden kehittämiseksi tehtyjä toimia sekä kansallisen tutkimusinfrastruktuuristrategian tavoitteiden toteutumista.

4.2.1 Avainalojen tutkimushankkeiden tavoitteet ja tulokset

Avainalojen tutkimushankkeet kuvasivat kyselyvastauksissa hankkeen tavoitteita ja tuotoksia. Hankkeiden tavoitteet ovat keskittyneet etenkin kestävästä kasvusta vähähiilisiin ratkaisuihin, tekoälyn hyödyntämiseen ja tekoälypohjaisiin innovaatioihin, liiketoiminnan ja teollisuuden sekä tietopohjaisen päätöksenteon kehittämiseen, energiaratkaisuihin ja energiatehokkuuteen, autonomiseen liikenteeseen, tieteelliseen yhteistyöhön ja menetelmäkehitykseen, yhteiskunnalliseen vuorovaikutukseen ja vaikuttavuuteen sekä osaamisen lisäämiseen. Näiden tavoitteiden kautta on pyritty edistämään vihreää ja digitaalista siirtymää, ilmastonmuutokseen sopeutumista ja hiilineutraaliutta sekä vähentämään ympäristövaikutuksia ja tukemaan kestävästä kasvusta ja infrastruktuuria eri sektoreilla.

Tutkimushankkeet ovat konsortionjohtajien mukaan edistäneet vihreää ja digitaalista siirtymää sekä ilmastonmuutokseen sopeutumista kehittäen ja hyödyntäen uusia teknologioita, kuten tekoälyä, digitaalisia kaksosia, miehittämättömiä ilma-aluksia eli drooneja ja edistyksellisiä mittaustekniikoita. Hankkeet ovat käsitelleet erilaisia kestävästä kasvusta haasteita ja etsineet myös ratkaisuja kestävämmän tulevaisuuden rakentamiseen.

Hankkeiden tulokset liittyvät etenkin resurssien kestävästä hyödyntämiseen ja kierrätettävyyteen, ilmastonmuutokseen sopeutu-

misen ja ympäristön suojelun ratkaisuihin, ympäristön seurannan ja analysoinnin ratkaisujen kehittämiseen, laskennallisten ja digitaalisten lähestymistapojen ja menetelmien kehittämiseen ja soveltamiseen, tekoälypohjaisten ratkaisujen kehittämiseen, mallinnusten ja simuloinnin kehittämiseen, tietokantojen kehittämiseen ja tietolähteiden yhdistämiseen sekä yhteistyön ja osaamisen vahvistamiseen.

Liitteessä 6 on esitetty hankkeittain avainalojen tutkimushankkeiden tavoitteita suhteessa raportoituihin tuloksiin. Raportoidut tulokset edistävät vihreän ja digitaalisen siirtymän tavoitteita monin tavoin. Vihreän ja digitaalisen siirtymän edistäminen tapahtuu usein synergiassa, sillä digitaaliset ratkaisut voivat tukea vihreän siirtymän tavoitteita ja päinvastoin.

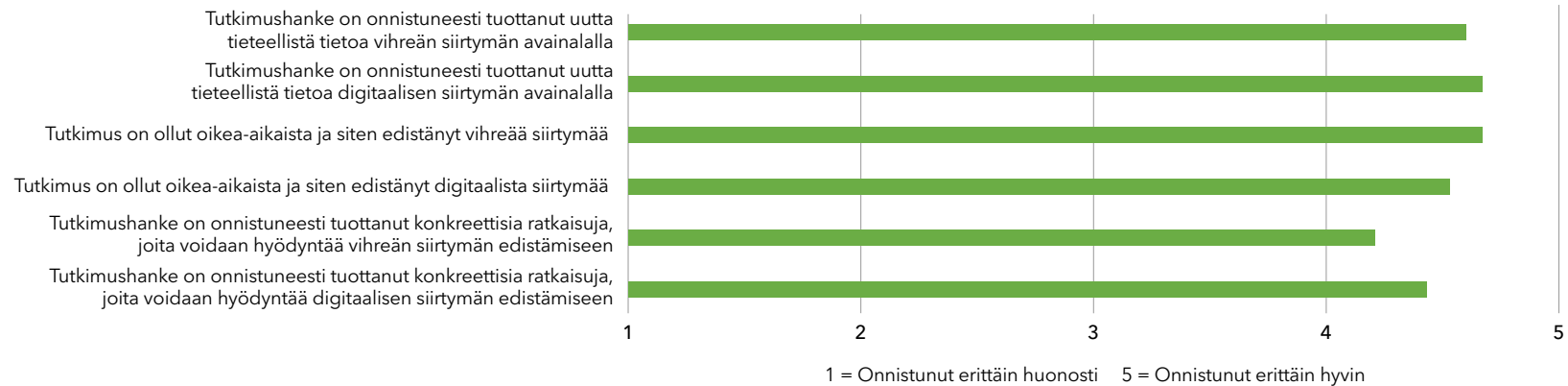
4.2.2 Vihreän ja digitaalisen siirtymän edistäminen avainalojen tutkimushankkeissa

Avainalojen tutkimushankkeita pyydettiin arvioimaan kyselyssä konsortiohankkeen onnistumista vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi RRF-rahoituskauden aikana. Kyselyssä esitettiin kuusi väittämää RRF-rahoituksen keskeisistä tavoitteista, joiden toteutumista hankkeet arvioivat asteikolla 1-5 (1 = onnistunut erittäin huonosti, 5 = onnistunut erittäin hyvin, NS=ei koske hanketta, IDK=en tiedä).

Hankkeet ovat edistäneet vihreään ja digitaalisen siirtymään sekä ilmastonmuutoksen hillintään liittyviä ratkaisuja eri sektoreilla. Hankkeet olivat vastauksissaan pääasiassa samanmielisiä eikä vastauksissa ollut havaittavissa merkittäviä poikkeamia. Kuviossa 14 on esitetty vastausten keskiarvot jokaisen väittämän osalta.

Hankkeet arvioivat tuottaneensa erittäin onnistuneesti uutta tieteellistä tietoa vihreän siirtymän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi. Vastausten keskiarvot näiden väittämien osalta olivat 4,60 ja 4,67. Hankkeista yhdeksän arvioi vihreän siirtymän edistämisen osalta hankkeen onnistuneen tavoitteessa erittäin hyvin ja kuusi arvioi onnistuneensa tavoitteessa jokseenkin hyvin. Digitaalisen siirtymän edistämisen osalta kymmenen hanketta arvioi onnistuneensa tuottamaan uutta tietoa erittäin hyvin ja viisi hanketta jokseenkin hyvin.

Vastausten keskiarvot avainalojen tutkimushankkeiden vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämisen tavoitteiden toteutumisesta (n=15)



Kuvio 14. Vastausten keskiarvot avainalojen tutkimushankkeiden vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämisen tavoitteiden toteutumisesta.

Hankkeet arvioivat tehdyn tutkimuksen olleen oikea-aikaista ja siten edistäneen vihreää ja/tai digitaalista siirtymää pääasiassa erittäin onnistuneesti. Näiden tavoitteiden osalta itsearviointien keskiarvot olivat 4,67 ja 4,53. Vihreän siirtymän edistämisen osalta kymmenen hanketta arvioi onnistuneensa tutkimuksen oikea-aikaisuudessa ja vihreän siirtymän edistämisessä erittäin hyvin. Hankkeista viisi arvioi onnistuneensa tässä tavoitteessa jokseenkin hyvin. Digitaalisen siirtymän edistämisen osalta tavoitteessa arvioi onnistuneensa erittäin hyvin kahdeksan hanketta ja jokseenkin hyvin seitsemän hanketta.

Konkreettisia ratkaisuja vihreän ja/tai digitaalisen siirtymän edistämiseen hankkeet arvioivat onnistuneensa tuottamaan hyvin. Viisi hanketta arvioi onnistuneensa tuottamaan erittäin hyvin vihreää siirtymää edistäviä ratkaisuja, seitsemän hanketta jokseenkin hyvin ja kaksi hanketta ei hyvin eikä huonosti. Seitsemän hanketta arvioi edistäneen digitaalisen siirtymän konkreettisia ratkaisuja erittäin hyvin ja kuusi hanketta jokseenkin hyvin. Hankkeista yksi arvioi, että hanke ei onnistunut hyvin eikä huonosti. Yksi arvioi, että vihreän siirtymän ja digitaalisen siirtymän konkreettisten ratkaisujen tuottaminen ei kuulunut hankkeen

tavoitteisiin. Tätä vastausta ei otettu mukaan vastausten keskiarvon laskemiseen. Vastausten keskiarvo vihreän siirtymän edistämisen osalta oli 4,21 ja digitaalisen siirtymän edistämisen osalta 4,43.

4.2.3 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden toiminta

Myös kyselyyn vastanneet tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat konsortiojohtajien mukaan edistäneet RRF-rahoituskauden aikana tutkimusinfrastruktuurien kehittämistä onnistuneesti. Hankkeet ovat keskittyneet digitaaliseen kiertotalouteen, päästöttömiin energia-ratkaisuihin ja resurssitehokkuuteen, ympäristön ja vesiturvallisuuden parantamiseen, kehittyneisiin mittaus- ja mallinnusteknologioihin sekä osaamisen ja yhteistyön vahvistamiseen. Avoin pääsy infrastruktuureihin, etäyhteistyö ja koulutukselliset mahdollisuudet lisäävät tutkimusinfrastruktuurien vaikuttavuuspotentiaalia.

FIN-CLARIAH-hankkeen painopiste on ollut vihreässä siirtymässä ja digitaalisessa kiertotaloudessa. Tutkimusinfrastruktuuri mahdollistaa digitaalisen datan uudelleenkäytön tutkimuksessa, mikä vähentää fyysisten materiaalien tarvetta ja edistää resurssitehokkuutta.

CSC - Tieteen tietotekniikan keskuksen ylläpitämä kielipankki ja LUMI-supertietokone mahdollistavat suurten aineistojen tehokkaan käsittelyn. LUMI:n hiilijalanjälki on negatiivinen ja sen hukkalämpö kattaa 20 % Kajaanin kaukolämmöstä. FIN-CLARIAH-tutkimusinfrastruktuurin palvelut tukevat jatkuvaa oppimista ja monipaikkaista opiskelua. Isojen SSH-aineistojen hyödyntäminen tukee AI-pohjaista päätöksentekoa parempien palveluiden kehittämiseksi.

FINMARI-hankkeen painopiste on ollut vihreässä siirtymässä ja sinisessä taloudessa. Hankkeen laboratoriot tukevat päästöttömiä energiajärjestelmiä ja ilmasto- ja ympäristöratkaisuja. Rahoituskauden aikana esimerkiksi leväbiomassan kasvatusalustat on päivitetty teollisen yhteistyön tarpeisiin ja hanke on kehittänyt huipputason laitteistoja, kuten fotobioreaktori, LED-valaistuksen päivitykset ja fluorometri-laitteet, jotka tukevat sinisen kasvun kapasiteettia ja avointa pääsyä infrastruktuuriin. Autonomiset mittauslaitteet parantavat havaintojen määrää, laatua ja kustannustehokkuutta, tukien päätöksentekoa ja suojelutoimia.

HYDRO-RI-Platform-hankkeen painopiste on ollut vesiturvallisuudessa ja ympäristön seurannassa. Hanke on kehittänyt autonomisia mittausmenetelmiä, videoteknologioita ja optisia sensoreita vesistöjen tilan seurantaan sekä toteuttanut laajoja batymetrisiä kartoituksia autonomisilla aluksilla ja LiDAR-teknologialla. Rahoituskauden aikana kehitettiin myös parempi järvien hiilimalli TIETO I -tutkimusaluksen datan pohjalta. Tutkimusinfrastruktuuri mahdollistaa reaaliaikaisen jääolosuhteiden seurannan ja parantaa vesiturvallisuutta ja navigointia. Uudet ja päivitettyt mallit parantavat vesistöihin liittyvien tapahtumien ennakkointia ja reagointikykyä.

4.2.4 Tutkimusinfrastruktuurien avoimuuden ja yhteentoimivuuden edistäminen

Kaikki kolme tutkimusinfrastruktuurihanketta ovat edistäneet tutkimusinfrastruktuurien avoimuutta ja yhteentoimivuutta eri tavoin. FIN-CLARIAH-hanke on painottanut eettistä datan avaamista ja kansainvälistä yhteentoimivuutta ja FINMARI-hanke panostanut infrastruktuu-

rin saavutettavuuteen ja datan avoimuuteen erityisesti meriympäristön tutkimuksessa. HYDRO-RI-Platform-hanke on puolestaan yhdistänyt teknistä kehitystä ja organisaatioiden välistä yhteistyötä, mikä tukee sekä infrastruktuurien että datan yhteentoimivuutta.

FIN-CLARIAH-hanke on kehittänyt sopimuskehikon, joka mahdollistaa henkilö- ja tekijänoikeudellisesti rajoitettujen kieliaineistojen (teksti, puhe, video) avaamisen tutkimuskäyttöön. Tutkimusinfrastruktuuri tarjoaa koulutusta avoimen tieteen ja eettisen tutkimusdatan käsittelyn edistämiseksi, mikä tukee kansallista opetussuunnitelmaa. Lisäksi FIN-CLARIAH on kehittänyt Language Bank Rights (LBR) -järjestelmän, joka mahdollistaa rajoitetun datan hallitun käytön tutkimustarkoituksiin. FIN-CLARIAH osallistuu myös eurooppalaiseen European Open Science Cloud (EOSC) -yhteistyöhön, mikä vahvistaa yhteentoimivuutta kansainvälisesti.

FINMARI-hanke soveltaa "open bench" -politiikkaa kenttäasemilla. Tämä tarkoittaa, että infrastruktuuri on avoimesti varattavissa tutkijoille. Hanke on kehittänyt palvelukatalogin ja laitegallerian, joiden avulla infrastruktuuri on helpommin löydettävissä ja saavutettavissa myös kansainvälisesti. Transnationaaliset pääsyojhelmat EU:n tutkimusinfrastruktuurihankkeiden kautta ovat parantaneet saavutettavuusprotokollia ja FINMARI Data Working Group on edistänyt metadatan keruuta ja datavirtojen avoimuutta erityisesti autonomisten mittauslaitteiden ja kokeellisen datan osalta.

HYDRO-RI-Platform toimii avoimen pääsyn ja saavutettavuuden sekä avoimen infrastruktuurin periaatteilla ja hanke on kehittänyt kansallisen hydrologisen tietokannan, joka yhdistää useiden organisaatioiden dataa. HYDRO-RI-Platform toimii alustana organisaatioiden väliselle infrastruktuurien jakamiselle ja yhteistyölle ja Uomari-hanke on esimerkki tutkimuksesta, jossa useat tutkimuslaitokset ja yritykset testaavat uusia teknologioita yhdessä.

4.2.5 Tutkimusinfrastruktuurihankkeille asetettujen ja kansallisen tutkimusinfrastruktuuristrategian mukaisten tavoitteiden toteutuminen

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden kyselyssä mitattiin kuutta eri väittämää, jotka liittyivät RRF-rahoituksen tutkimusinfrastruktuureille keskeisiin tavoitteisiin, asteikolla 1-5 (1=onnistunut erittäin huonosti, 5=onnistunut erittäin hyvin, NS=ei koske hanketta, IDK=en tiedä). Kuviossa 15 on esitetty vastausten keskiarvot jokaisen esitetyn väittämän osalta.

Kyselyyn vastanneet tutkimusinfrastruktuurihankkeet arvioivat saavuttaneensa erittäin hyvin niille asetettuja tavoitteita. Kaikki konsortionjohtajat olivat täysin samaa mieltä väitteestä, jonka mukaan tutkimusinfrastruktuurihanke on parantanut vihreää siirtymää edistävän tutkimuksen ja innovaatioiden edellytyksiä. Kaikki olivat täysin samaa mieltä myös väitteestä, jonka mukaan tutkimusinfrastruktuurihanke on

edesauttanut kansallisesti merkittävien infrastruktuurien uudistumista ja kehittymistä. Konsortionjohtajat olivat vähintään samaa mieltä myös muiden tavoitteiden toteutumisesta koskeneiden väittämien kanssa.

Konsortionjohtajia pyydettiin lisäksi arvioimaan, miten tutkimusinfrastruktuurihanke oli toteuttanut kansallisten tutkimusinfrastruktuurien strategian 2020-2030 tavoitteita⁹. Mitattavat tavoitteet olivat seuraavat:

- Tutkimuksen laadun, uusiutumisen ja kilpailukyvyyn edistäminen
- Tutkimusympäristöjen laaja-alaisen vaikuttavuuden vahvistaminen
- Suomalaisen tutkimus-, koulutus- ja innovaatiojärjestelmän kansainvälisen houkuttelevuuden lisääminen
- Kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön lisääminen
- Tutkimuskyvykkyyksien ja -osaamisen tukeminen

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurien onnistuminen tavoitteiden saavuttamisessa (n=3)



Kuvio 15. Kansallisten tutkimusinfrastruktuurien onnistuminen tavoitteiden saavuttamisessa.

⁹ Kansallisten tutkimusinfrastruktuurien strategia 2020-2030. Suomen Akatemia: www.aka.fi/globalassets/2-suomen-akatemia-toiminta/4-julkaisut/julkaisut/kansallisten-tutkimusinfrastruktuurien-strategia-2020-2030.pdf

Kaikki konsortionjohtajat olivat täysin samaa mieltä (ka. 5) näiden tavoitteiden saavuttamisesta muiden paitsi tutkimuskyvykkyyksien ja -osaamisen tukemista koskeneen väittämän kanssa. Tämän väittämän osalta vastausten keskiarvo oli 4,66.

Kyselyssä hankkeita pyydettiin myös kuvailemaan konkreettisia tapoja, joilla ne ovat edistäneet kansallisen tutkimusinfrastruktuuri-strategian tavoitteiden saavuttamista RRF-rahoituskauden aikana.

FIN-CLARIAH-hanke on edistänyt kansallisen strategian tavoitteiden mukaisesti digitaalista siirtymää, osaamisen vahvistamista, kansainvälistä yhteistyötä ja kestäväää kehitystä usein konkreettisten toimien kautta. Hanke on toteuttanut laajan Lahjoita puhetta -kampanjan ja käynnistänyt LAREINA-projektin, joka kehittää puhekäyttöliittymää LLM-malleille yhteistyössä teollisuuden ja julkisen sektorin kanssa. LAREINA:n myötä Suomi liittyi ALT-EDIC:iin vuonna 2024. Lisäksi hanke on hyödyntänyt avoimen kielipankin resursseja ja käyttänyt tekstiaineistoja suomenkielisten LLM-mallien kehittämisessä.

FINMARI-hanke on edistänyt kansallisen strategian tavoitteiden mukaisesti kestäväää kehitystä, tutkimuksen laatua ja vaikuttavuutta sekä avointa tiedettä useiden konkreettisten toimien kautta. Hanke on kehittänyt merentutkimuksen infrastruktuuria investoimalla mittalaitteisiin ja datanhallintaan sekä turvannut ekosysteemipalveluja kehittämällä automaattisia mittauksia ympäristögradienttien seuraamiseksi ja biodiversiteetin muutosten havainnoimiseksi. Infrastruktuuria on hyödynnetty myös yliopistojen merikoulutuksessa.

HYDRO-RI-Platform-hanke on edistänyt kansallisen strategian tavoitteiden mukaisesti ilmastomuutokseen sopeutumista, tutkimuksen kilpailukykyä ja osaamisen kehittämistä monin konkreettisin toimin. Hanke on uudistanut hydrologisen seurantaverkon ja kehittänyt kansallisen verkon uusilla teknologioilla, jotka mahdollistavat mittaukset, joita on aiemmin ollut mahdotonta toteuttaa. Lisäksi hanke on järjestänyt kansainvälisiä työpajoja ja edistänyt liikkuvan infrastruktuurin käyttöä EU-hankkeissa sekä avointa pääsyä dataan ja infrastruktuuriin. HYDRO-RI-Platform on myös tukenut tohtorikoulutettavien osaamisen kasvattamista ja datan hyödyntämistä opinnoissa.

4.2.6 Yhteenveto

Sekä tutkimus- että tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat onnistuneet edistämään RRF-rahoituksen keskeisiä tavoitteita ja luomaan perustaa pitkäjänteiselle vihreälle ja digitaaliselle siirtymälle Suomessa.

Avainalojen tutkimushankkeet ovat tuottaneet merkittäviä tuloksia vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi hyödyntäen uusia teknologioita, kuten tekoälyä, digitaalisia kaksosia ja edistysmenetelmiä. Hankkeet ovat onnistuneet erityisesti uuden tieteellisen tiedon tuottamisessa ja oikea-aikaisessa tutkimuksessa, ja ne ovat kehittäneet konkreettisia ratkaisuja muun muassa resurssien kestävään käyttöön, ilmastoratkaisuihin ja digitaalisiin innovaatioihin.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat puolestaan vahvistaneet tutkimusympäristöjä ja mahdollistaneet uudenlaista yhteistyötä ja osaamisen kehittämistä. Hankkeet ovat keskittyneet muun muassa digitaaliseen kiertotalouteen, päästöttömiin energiaratkaisuihin, vesiturvallisuuteen ja kieliteknologioihin. Ne ovat edistäneet infrastruktuurien avoimuutta ja yhteentoimivuutta sekä tukenet kansallisen tutkimusinfrastruktuuri-strategian 2020–2030 tavoitteita konkreettisin toimin, kuten uuden teknologian käyttöönotolla, koulutuksella ja kansainvälisellä yhteistyöllä.

4.3 Sidosryhmäyhteistyö hankkeissa

Tässä luvussa tarkastellaan avainalojen tutkimushankkeiden ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden sidosryhmäyhteistyötä Suomessa ja Euroopan unionin alueella. Tavoitteena on kuvata, millaisia sidosryhmiä hankkeet ovat tavoittaneet, millaista yhteistyötä on tehty eri sektoreiden kanssa ja miten hankkeet itse arvioivat yhteistyönsä vaikuttavuutta ja lisäarvoa.

4.3.1 Sidosryhmät, yhteistyö ja vuorovaikutus Suomessa

Hankkeiden sidosryhmiä Suomessa selvitettiin kyselyssä kahdella kysymyksellä. Hankkeita pyydettiin ensin valitsemaan saavuttamansa kotimaiset sidosryhmät listatuista vaihtoehdoista. Tämän jälkeen hankkeita pyydettiin kuvailemaan tavoitettuja sidosryhmiä.

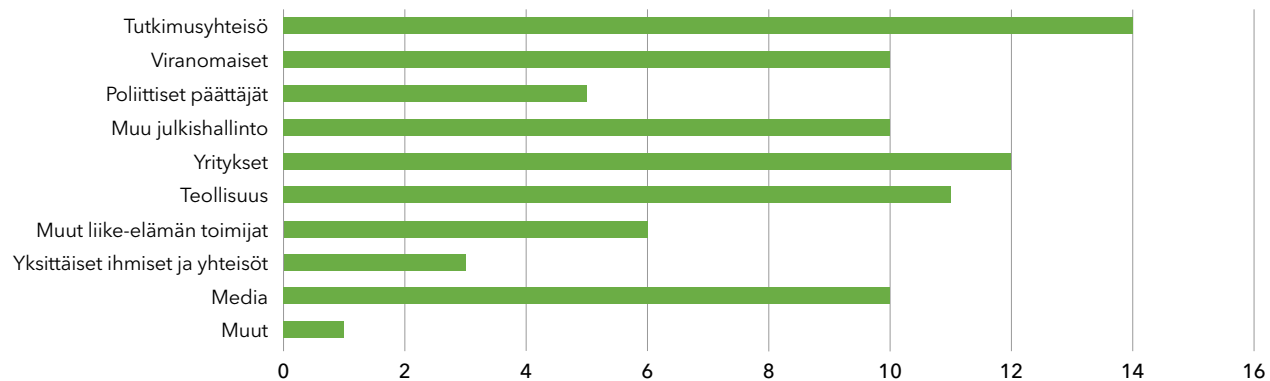
Avainalojen tutkimushankkeet ja kansalliset tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat tehneet laaja-alaista ja monitasoista sidosryhmäyhteistyötä Suomessa ja tavoittaneet lukuisia yrityksiä, viranomaisia, tutkimuslaitoksia, järjestöjä, mediaa ja kansalaisia. Hankkeiden pääasiallisia sidosryhmiä Suomessa ovat olleet tutkimusyhteisö sekä yritykset ja teollisuus. Myös viranomaiset ja julkishallinto ovat olleet keskeisiä sidosryhmiä Suomessa.

Kuviossa 16 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden vastaukset jokaisen sidosryhmän osalta. Kaikki hankkeet arvioivat saavuttaneensa kotimaisia sidosryhmiä. 14 hanketta arvioi saavuttaneensa ulkopuolista tutkimusyhteisöä, 12 hanketta arvioi saavuttaneensa yrityksiä ja 11 hanketta teollisuuden edustajia. Hankkeista kymmenen arvioi saavuttaneensa viranomaisia, muuta julkishallintoa ja mediaa. Kaikkein vähiten hankkeet arvioivat saavuttaneensa muita liike-elämän toimijoita (6 hanketta), poliittisia päättäjiä (5 hanketta) ja yksittäisiä ihmisiä tai yhteisöjä (3 hanketta). Hankkeista yksi vastasi saavuttaneensa muita kuin vastauksissa lueteltuja sidosryhmiä.

Kaikki kansalliset tutkimusinfrastruktuurihankkeet vastasivat tavoittaneensa tutkimusyhteisöjä, viranomaisia, poliittisia päättäjiä, muuta julkishallintoa, yrityksiä, teollisuuden edustajia, yksittäisiä ihmisiä ja



Avainalojen tutkimushankkeiden lkm, Suomessa saavutetut sidosryhmät (n=15)



Kuvio 16. Sidosryhmät Suomessa tavoittaneiden avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä.

yhteisöjä sekä median. Kaksi hanketta vastasi tavoittaneensa myös muita liike-elämän toimijoita.

Avainalojen tutkimushankkeet ja tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat avovastauksissa kuvanneet tavoittaneensa monipuolisesti sidosryhmiä Suomessa ja tehneensä sidosryhmäyhteistyötä laajasti eri sektoreiden kanssa. Tutkimus- ja koulutusyhteistyötä on tehty eri yliopistojen ja valtion tutkimuslaitosten kanssa. Tutkimusyhteistyö on ollut monitieteistä ja kansainvälistä ja kattanut monia eri tutkimusaloja.

Sidosryhmäyhteistyötä on tehty etenkin teollisuuden ja yritysten kanssa ja hankkeissa on pyritty rakentamaan yhteistyötä kaupallisten toimijoiden kanssa. Useissa hankkeissa yritykset ovat osallistuneet teknologian kehittämiseen, testaukseen tai jatkohankkeisiin. Tavoitettuja yrityksiä ovat muun muassa Orion, Huld, Telia, Savox, Viima Aerospace Technologies, ALD Trade, Kelluu, NSION, Arbonaut, Roadscanners Ltd., Suomen Hyötytuuli Oy, Ramboll Finland, WSP, Field, Aari Metsä ja Cence Analytics.

Avainalojen tutkimushankkeet ovat tehneet yhteistyötä julkisen sektorin viranomaisten ja muiden julkisen sektorin toimijoiden kanssa. Tavoitettuja ja mukana olleita tahoja ovat olleet muun muassa ainakin monet eri ministeriöt (kuten maa- ja metsätalousministeriö, sisäministeriö, puolustusministeriö, liikenneministeriö), Pelastusopisto, Metsähallitus, Väylävirasto, Liikenteen turvallisuusvirasto, ELY-keskukset, Helsingin ja Vantaan kaupungit, HSL, HSY, Lentopelastusseura, Metsäkeskus ja Metsähallitus. Yhteistyö on liittynyt muun muassa ilmastotavoitteisiin, metsien hiilinieluihin, vesivarojen hallintaan ja infrastruktuurin turvallisuuteen. Osa hankkeista on tavoittanut myös poliittisia päättäjiä ja osallistunut strategisten tutkimusohjelmien valmisteluun (esim. Water-4All SRIA).

Hankkeet ovat tavoittaneet myös erilaisia järjestöjä ja yhdistyksiä, kuten Suomen metsäyhdistys, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK, Pelastusopisto, Suomen Palopäällystöliitto ja Suomen Geoteknillinen Yhdistys. Osa hankkeista kuvaa tavoittaneensa sidosryhmiä myös verkostojen kautta, kuten Hinku-verkosto, joka kokoaa yhteen

kuntia, yrityksiä, kansalaisia ja asiantuntijoita kehittämään ja toteuttamaan ratkaisuja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

Osa hankkeista kuvaa tavoittaneensa myös mediaa. Mediaosallistuminen on ollut laajaa ja hankkeet mainitsevat esimerkkeinä muun muassa seuraavat tahot: MTV, Yle, Tekniikan Maaailma, Turun Sanomat ja Helsingin Sanomat. Kansalaisia ja kansalaisjärjestöjä on tavoitettu muun muassa verkkokurssien, seminaarien ja julkisten tapahtumien kautta.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeilla on avainalojen tutkimushankkeiden tavoin ollut sidosryhmäyhteistyötä eri julkisen sektorin viranomaisien kanssa. Hankkeissa on ollut mukana muun muassa Metsähallitus, Rajavartiolaitos, Liikenne- ja viestintävirasto, Merivoimat, Museovirasto, Ruokavirasto ja STUK. Mukana on ollut myös alueellisen tason viranomaisia kuten ELY-keskuksia ja maakuntahallintoa. Yksi hankkeista kuvaa tehneensä sidosryhmäyhteistyötä viiden ministeriön, viiden rahoittajan, kymmenen kaupungin, seitsemän ELY-keskuksen ja yli 100 vesialan yrityksen kanssa. Yhteistyötä on tehty myös yksityisen sektorin ja järjestöjen kanssa. Hankkeissa on ollut mukana ja ne ovat tavoittaneet muun muassa seuraavia toimijoita: Voimalohi, Raisioagro, Pidä Saaristo Siistinä ry., Demos ja CEMIS Oulu.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeista FIN-CLARIAH on tuonut kieliteknologian ja korpusaineistot osaksi opetusta kouluissa ja yliopistoissa ja helpottanut kansalaisten pääsyä historiallisiin sanomalehtiin ja saamelaisyhteisöille pääsyn omiin tutkimusaineistoihinsa. Hanke on tehnyt myös yritysyritysyritystä ja tukenut kieliteknologian käyttöönottoa yrityksissä kuten Lingsoft, Kielikone ja Scripta sekä toiminut mentorina ja neuvonantajana noin 50 kieliteknologiasta kiinnostuneelle yritykselle.

4.3.2 Sidosryhmät, yhteistyö ja vuorovaikutus EU:n alueella

Hankkeiden sidosryhmiä Euroopan unionin alueella selvitettiin kyselyssä kahdella kysymyksellä. Toisessa kysymyksessä pyydettiin kuvailemaan EU:n alueella saavutettuja sidosryhmiä. EU:n alueella sidosryhmäyhteistyötä on ollut korostuneesti muun tutkimusyhteisön kanssa ja seuraavaksi eniten yritysten ja teollisuuden kanssa.

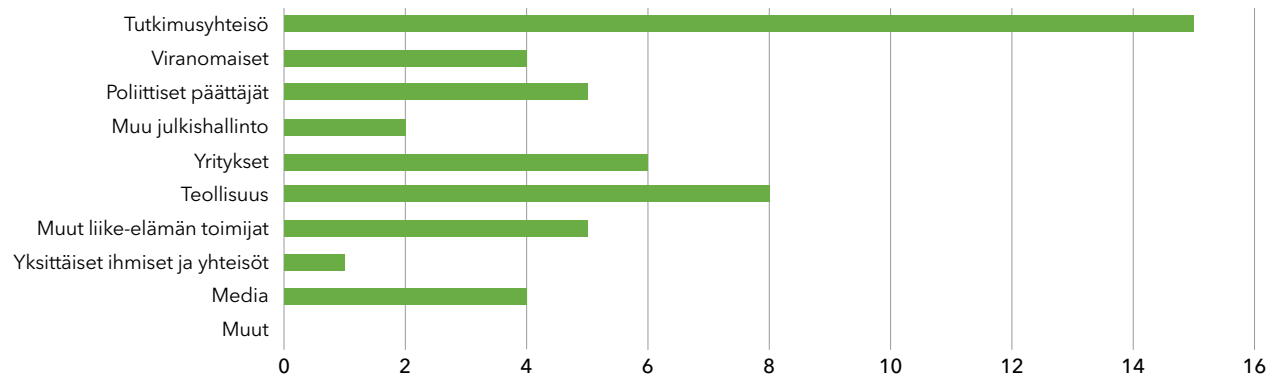
Kuviossa 17 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden saavuttamat sidosryhmät EU:n alueella. Kaikki avainalojen tutkimushankkeet arvioivat saavuttaneensa oman tutkimushankkeen ulkopuolista tutkimusyhteisöä EU:n alueella. Muita sidosryhmiä hankkeet ovat tavoittaneet EU:n alueella vähemmän kuin Suomessa. Teollisuuden edustajia arvioi saavuttaneensa kahdeksan hanketta. Yrityksiä arvioi saavuttaneensa kuusi hanketta. Poliittisia päättäjiä ja liike-elämän toimijoita arvioi saavuttaneensa viisi hanketta. Viranomaisia ja mediaa arvioi saavuttaneensa neljä hanketta. Muuta julkista hallintoa arvioi saavuttaneensa kaksi hanketta ja yksittäisiä ihmisiä tai yhteisöjä EU:ssa arvioi saavuttaneensa yksi hanke.

Kaikki tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat tavoittaneet tutkimusyhteisöt ja viranomaiset. Kaksi hankkeista on tavoittanut myös poliittiset päättäjät, muun julkishallinnon edustajia sekä yritykset ja median. Yksi hanke on tavoittanut teollisuuden, muut liike-elämän toimijat sekä yksittäiset ihmiset ja yhteisöt.

Avainalojen tutkimushankkeet ovat avovastauksissa kuvanneet tehneensä yhteistyötä lukuisten yliopistojen kanssa ja yhteistyötä on tehty myös tutkijaliikkuvuuden muodossa, kun tutkijat ovat vierailleet useissa eri maissa. Hankkeiden tuloksia on esitelty laajasti kansainvälisissä konferensseissa ja tuloksia on julkaistu myös tieteellisissä lehdissä ja verkkojulkaisuissa. Myös kansainväliset mediat, kuten ChemistryViews ja ATL.nu, ovat haastatelleet tutkijoita ja nostaneet esiin hankkeiden tuloksia. Tuloksia on esitelty myös kansalaisille ja kansalaisjärjestöille tapahtumissa ja avoimilla verkkokursseilla. EU-tason vaikuttavuutta on pyritty edistämään osallistumalla Horizon Europe -rahoitushakuihin ja esimerkiksi Water4All-kumppanuusverkostoon. Hankkeet ovat myös olleet vuorovaikutuksessa EU-tason päättäjien kanssa ja tehneet vierailuja esimerkiksi Euroopan parlamenttiin.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeista FIN-CLARIAH on kuvannut osallistuneensa eurooppalaisiin kieliteknologian hankkeisiin kuten European Language Equality -projektiin ja ALT-EDIC-aloitteeseen, jossa on tehty yhteistyötä muun muassa Ranskan kulttuuriministeriön ja Euroopan komission kanssa. Tiivis yhteistyö CLARIN ERICin ja DARIAH

Avainalojen tutkimushankkeiden lkm, EU:n alueella saavutetut sidosryhmät (n=15)



Kuvio 17. Sidosryhmät EU:n alueella saavuttaneiden avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä.

ERICin kanssa tukee kieli- ja humanististen tieteiden tutkimusinfrastruktuureja.

Vastaavasti FINMARI-hanke on toiminut kansallisena solmukohdaksi kansainvälisille merentutkimusverkostoille kuten GOOS, EOOS ja EuroGOOS ja osallistunut kansainvälisiin hankkeisiin kuten IODP ja ECORD, sekä EU:n H2020-projekteihin (esim. JERICO, AQUACOSM, EUOFLEETS+). Hankkeella on ollut aktiivinen rooli myös SUBMARINER-verkostossa, joka edistää meriluonnonvarojen kestävä hyödyntämistä. EU-tason sidosryhmäyhteistyöllä on pyritty tukemaan EU-tason politiikkavalmisteluja ja asiantuntijatyötä. FINMARI-hanke on esimerkiksi osallistunut EU:n, ICESin ja HELCOMin asiantuntijaryhmiin, jotka tukevat mm. EU:n meristrategiadirektiivin ja luontodirektiivin toimeenpanoa.

Vesialan kehittämisessä ja HYDRO-RI-Platform-hankkeen toiminnassa on korostunut strateginen vaikuttaminen ja alueellinen yhteistyö. Water4All-kumppanuuden kautta on kartoitettu yli 150 EU:n vesitutkimusinfrastruktuuria ja osallistuttu EU:n Water Oriented Living Lab Atlas 2024 -julkaisuun ja strategiatyöhön sekä tuettu MEP-vesiryhmän perustamista EU:ssa. Water4All-kumppanuus tukee EU:n vesitutkimusinfrastruktuurien kartoitusta, tiedonjakoa ja EU:n vesialan SRIA:n valmistelua.

Sekä avainalojen tutkimushankkeet että tutkimusinfrastruktuuri-hankkeet ovat kuvanneet myös yritysten kanssa tehtyä sidosryhmäyhteistyötä. Avainalojen tutkimushankkeet mainitsevat tehneensä yhteistyötä esimerkiksi Stora Enson, UPM Kymmenen, SCA:n, Ponsse Oyj:n, John Deeren ja KPMG:n kanssa. Tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat kuvanneet kumppanuuksia, joita hankkeilla on kansainvälisten yritysten kanssa, kuten SILO AI ja Tietoevry sekä Submarine Store.

4.3.3 Sidosryhmäyhteistyön onnistuminen

Kyselyllä selvitettiin myös hankkeiden sidosryhmäyhteistyön onnistumista. Sekä avainalojen tutkimushankkeet että kansalliset tutkimus-

infrastruktuurihankkeet ovat kokeneet sidosryhmäyhteistyön selvästi onnistuneeksi ja kokeneet sen tuoneen lisäarvoa.

Avainalojen sidosryhmäyhteistyön onnistumista arvioitiin viidellä väittämällä, joita hankkeet arvioivat asteikolla 1–5 (1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä, NS=ei koske hanketta, IDK=en tiedä). Vastausvaihtoehtoina oli myös annettu ”ei koske hanketta”, sekä ”en tiedä”. Näitä vastausvaihtoehtoja ei ole otettu huomioon kysymysten vastauskeskiarvoja laskettaessa.

Kuviossa 18 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden vastausten keskiarvot väittämistä. Suurin osa hankkeista arvioi, että sidosryhmäyhteistyö oli onnistunutta uuden tiedon tuottamisen näkökulmasta (ka. 4,14). Hankkeista viisi oli täysin samaa mieltä väittämän kanssa ja kuusi jokseenkin samaa mieltä. Hankkeista kolme ei ollut väittämän kanssa samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke oli vastannut, että uuden tiedon tuottaminen ei koskenut hankkeen sidosryhmäyhteistyötä.

Hankkeista yhdeksän koki, että he ovat jossain määrin tiivistäneet tutkimustuloksia tukeakseen sen hyödyntämistä sidosryhmien keskuudessa (ka. 3,92). Jokseenkin samaa mieltä väittämän kanssa oli kuusi hanketta ja täysin samaa mieltä kolme hanketta. Hankkeista neljä ei

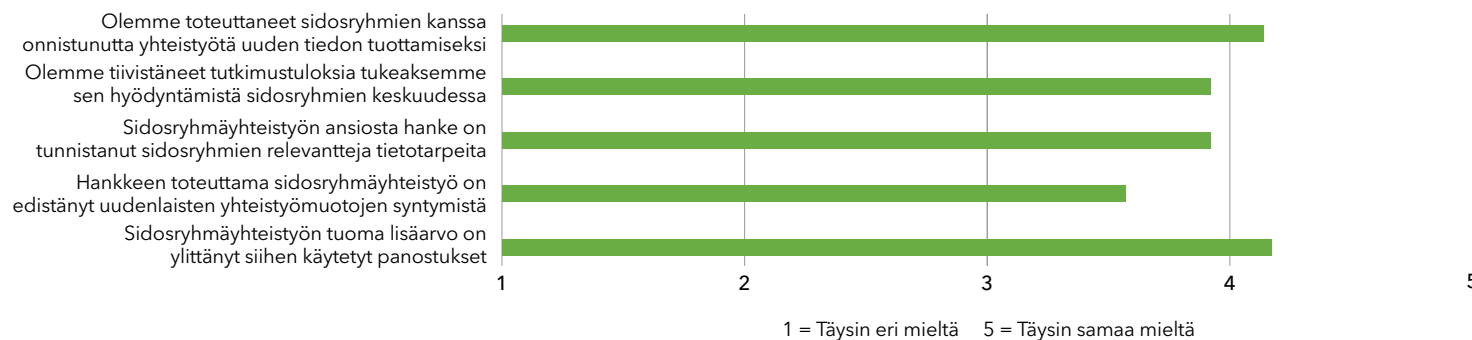
ollut väittämän kanssa samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke vastasi, ettei väittämä koskenut kyseisen hankkeen sidosryhmäyhteistyötä. Yksi hanke vastasi ”en tiedä” väittämän osalta.

Keskimäärin hankkeet arvioivat tunnistaneensa sidosryhmien relevantteja tietotarpeita jossain määrin (ka. 3,92). Hankkeista neljä oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja viisi jokseenkin samaa mieltä. Hankkeista yksi oli väittämästä jokseenkin eri mieltä. Kolme hanketta ei ollut väittämästä samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke vastasi, että sidosryhmien tarpeiden tunnistaminen ei soveltunut hankkeen toimintaan ja yksi hanke ei osannut arvioida tämän toteutumista.

Keskimäärin hankkeet arvioivat sidosryhmäyhteistyön edistäneen uusia yhteistyömuotoja jossain määrin (ka 3,57). Hankkeista seitsemän oli jokseenkin samaa mieltä väittämän kanssa. Täysin samaa mieltä oli yksi hanke. Viisi hanketta ei ollut väitteen kanssa samaa eikä eri mieltä, kun taas yksi hanke ei osannut arvioida väitteen toteutumista. Yksi hanke arvioi, että kyseinen tavoite ei koskettanut hankkeen sidosryhmäyhteistyötä.

Valtaosa hankkeista arvioi sidosryhmäyhteistyön tuoneen lisäarvoa (ka. 4,17). Neljä hanketta oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä,

Avainalojen tutkimushankkeiden vastausten keskiarvot sidosryhmäyhteistyön onnistumisesta (n=15)



Kuvio 18. Avainalojen tutkimushankkeiden vastausten keskiarvot sidosryhmäyhteistyön onnistumisesta.

kuusi jokseenkin samaa mieltä ja kaksi ei samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke vastasi, että kyseinen väittämä ei koske hanketta. Hankkeista kaksi ei osannut arvioida, ylittikö sidosryhmäyhteistyön tuoma lisäarvo siihen käytetyt panostukset.

Myös tutkimusinfrastruktuurihankkeilta kysyttiin sidosryhmäyhteistyön onnistumista. Vastanneet kolme infrastruktuuria olivat pääasiassa yksimielisiä sidosryhmäyhteistyön onnistumisen suhteen. Vastausten keskiarvot ovat seuraavat:

- Olemme toteuttaneet sidosryhmien kanssa onnistunutta yhteistyötä uuden tiedon tuottamiseksi (4,33)
- Olemme tiivistäneet tutkimustuloksia tukeaksemme sen hyödyntämistä sidosryhmien keskuudessa (4,00)
- Sidosryhmäyhteistyön ansiosta hanke on tunnistanut sidosryhmien relevantteja tietotarpeita (4,67)
- Hankkeen toteuttama sidosryhmäyhteistyö on edistänyt uudenlaisten yhteistyömuotojen syntymistä (4,00)
- Sidosryhmäyhteistyön tuoma lisäarvo on ylittänyt siihen käytetyt panostukset (4,00)

4.3.4 Yhteenveto

Hankkeet ovat tehneet laaja-alaista ja monitasoista yhteistyötä Suomessa erityisesti tutkimusyhteisöjen, yritysten ja teollisuuden kanssa. Myös viranomaiset, julkishallinto, media ja kansalaiset ovat olleet merkittäviä sidosryhmiä. Yhteistyö on ollut monitieteistä ja kansainvälistä, ja se on ulottunut muun muassa teknologian kehittämiseen, ilmastotavoitteisiin ja infrastruktuurin turvallisuuteen.

EU:n alueella sidosryhmäyhteistyö on painottunut tutkimusyhteisöihin, mutta myös yrityksiä, teollisuutta ja viranomaisia on tavoitettu. Hankkeet ovat osallistuneet kansainvälisiin verkostoihin ja rahoitusohjelmiin ja tavoittaneet myös EU-tason päättäjiä.

Sidosryhmäyhteistyön onnistuminen on arvioitu pääosin erittäin myönteisesti. Hankkeet kokevat yhteistyön tuottaneen uutta tietoa, tukeneen tutkimustulosten hyödyntämistä ja hankkeiden tunnistaneen sidosryhmien tietotarpeita. Yhteistyö on myös edistänyt uusien yhteistyömuotojen syntymistä ja tuonut lisäarvoa hankkeille.

4.4 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistuminen

Tässä osiossa on tarkasteltu hankkeiden tekemää yhteistyötä eri osaamiskeskittymien, tutkimusinfrastruktuurien ja muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa. Lisäksi on tarkasteltu hankkeiden vaikutusta osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistumiseen.

4.4.1 Yhteistyö osaamiskeskittymien kanssa

Kyselyllä selvitettiin sekä avainalojen tutkimushankkeiden että kansallisten tutkimusinfrastruktuurien yhteistyötä osaamiskeskittymien kanssa monivalintakysymyksellä. Vaihtoehtojen avovastauksissa oli mahdollista tarkentaa, minkä osaamiskeskittymän kanssa yhteistyötä tehtiin. Suurin osa hankkeista on tehnyt yhteistyötä etenkin Suomen Akatemian rahoittamien lippulaivojen ja huippuyksiköiden kanssa.



Kuvio 19. Osaamiskeskittymien kanssa yhteistyötä tehneiden avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä.

Kuviossa 19 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden tekemä yhteistyö eri osaamiskeskittymien kanssa. Hankkeista useimmat tekivät yhteistyötä suomalaisten lippulaivojen tai huippuyksiköiden kanssa. Hankkeista viisi vastasi tehneensä yhteistyötä myös muiden suomalaisten osaamiskeskittymien kanssa. Eurooppalaisten osaamiskeskittymien kanssa yhteistyötä vastasi tehneensä neljä hanketta. Muiden osaamiskeskittymien kanssa yhteistyötä teki kaksi hanketta ja kaksi hanketta ei tehnyt yhteistyötä osaamiskeskittymien kanssa.

Useampi hanke oli tehnyt yhteistyötä saman osaamiskeskittymän kanssa. Seuraavat lippulaivojen ja huippuyksiköiden osaamiskeskittymät mainittiin useamman kuin yhden kerran:

- Finnish Center for Artificial Intelligence FCAI (5 hanketta)
- UNITE (5 hanketta)
- Atmosphere and Climate Competence Center ACCC (3 hanketta)
- FinnCERES (2 hanketta)
- Digital Waters DIWA (2 hanketta)

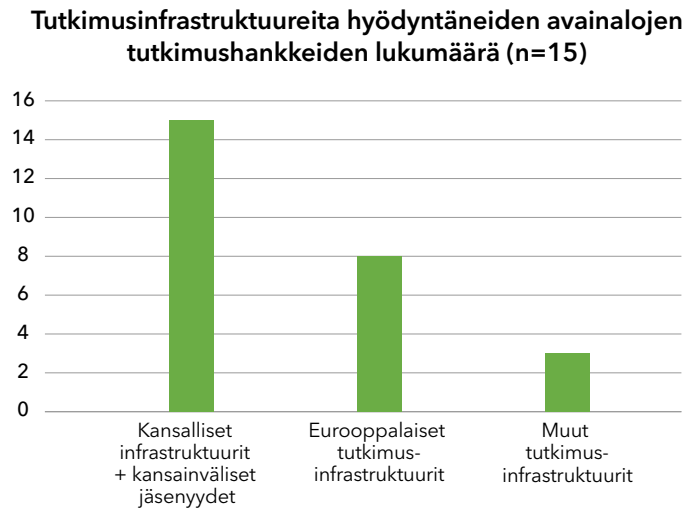
Tutkimusinfrastruktuurihankkeista kaikki ovat tehneet yhteistyötä lippulaivojen tai huippuyksiköiden kanssa. Kaksi hanketta on tehnyt yhteistyötä myös suomalaisten osaamiskeskittymien kanssa ja yksi hanke eurooppalaisten osaamiskeskittymien kanssa sekä yksi hanke muiden osaamiskeskittymien kanssa.

4.4.2 Tutkimusinfrastruktuurien käyttö hankkeissa

Kyselyllä selvitettiin tutkimusinfrastruktuurien käyttöä ja niiden kanssa tehtyä yhteistyötä sekä avainalojen tutkimushankkeissa että tutkimusinfrastruktuurihankkeissa. Vaihtoehtojen avovastauksissa oli mahdollista tarkentaa mikä tutkimusinfrastruktuuri oli kyseessä.

Kuviossa 20 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden osalta tutkimusinfrastruktuurien käyttöä ja yhteistyötä. Kaikki hankkeet olivat käyttäneet joitain kysymyksessä kysytyistä tutkimusinfrastruktuureista.

Vastanneista hankkeista kaikki (n=15) kertoivat käyttäneensä suomalaisia tutkimusinfrastruktuureita tai niiden kansainvälisiä jäsenyyksiä. Hankkeista kahdeksan kertoi käyttäneensä eurooppalaisia tutkimusinfrastruktuureita ja kolme hanketta kertoi käyttäneensä muita tutkimusinfrastruktuureja.



Kuvio 20. Tutkimusinfrastruktuureita hyödyntäneiden avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä.

Avainalojen tutkimushankkeiden avovastauksissa enemmän kuin yhden maininnan saivat seuraavat kansalliset ja eurooppalaiset tutkimusinfrastruktuurit:

- Tieteen tietotekniikan keskus CSC (9 hanketta)
- INAR RI (4 hanketta)
- ScanForest (2 hanketta)
- FINMARI Finnish Marine Research Infrastructure (2 hanketta)
- Integrated Carbon Observation System ICOS (3 hanketta)
- European Long-Term Ecosystem Research eLTER (2 hanketta)

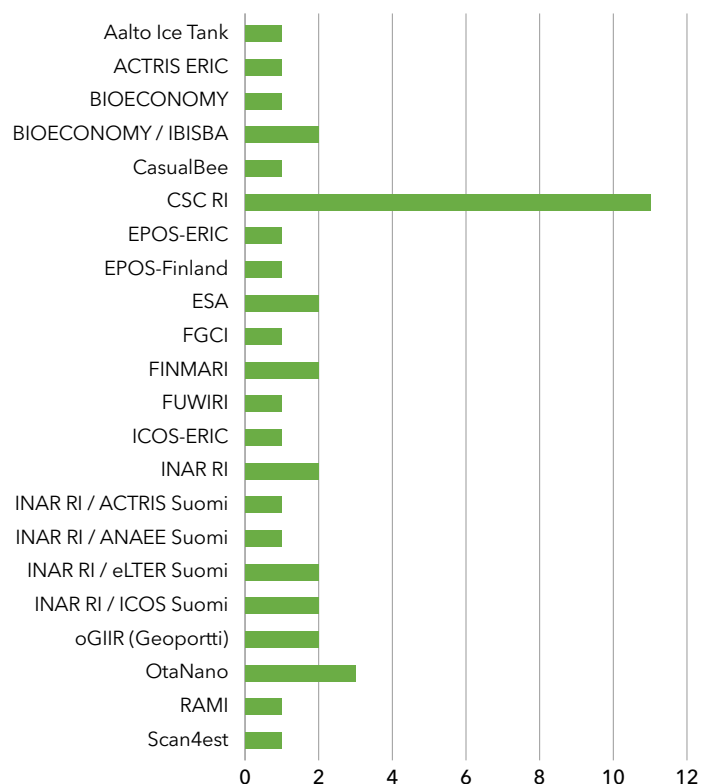
Myös kaikki vastanneet tutkimusinfrastruktuurihankkeet olivat tehneet yhteistyötä seuraavien infrastruktuurien kanssa:

- Kansalliset infrastruktuurit + kansainväliset jäsenyydet: 3 hanketta
- Eurooppalaiset tutkimusinfrastruktuurit: 3 hanketta
- Muut tutkimusinfrastruktuurit: 3 hanketta

Vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeet ovat myös raportoineet Akatemian verkkoasioinnin raportointilomakkeella hyödyntämänsä tutkimusinfrastruktuurit, jotka ovat kansallisella tutkimusinfrastruktuurien tiekartalla ja European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) -tiekartalla. Lisäksi hankkeet ovat voineet raportoida myös muita hyödyntämiään tutkimusinfrastruktuureja. Kuviossa 21 on esitetty hankkeiden hyödyntämät kansallisen tiekartan ja ESFRI-tiekartan tutkimusinfrastruktuurit.

Seitsemän hanketta raportoi myös muita tutkimusinfrastruktuureja, joita hankkeet ovat hyödyntäneet. Ne on listattu taulukossa 6. Nämä ovat tyypillisesti suorituspaikkojen tutkimusinfrastruktuureja ja aineistoja.

Hankkeiden hyödyntämät kansallisen tiekartan ja ESFRI-tiekartan tutkimusinfrastruktuurit (n=15)



Kuvio 21. Kansallisten ja ESFRI-tiekartan tutkimusinfrastruktuureja hyödyntäneiden hankkeiden lukumäärä.

Taulukko 6.

Hankkeiden hyödyntämät muut tutkimusinfrastruktuurit ja aineistot.

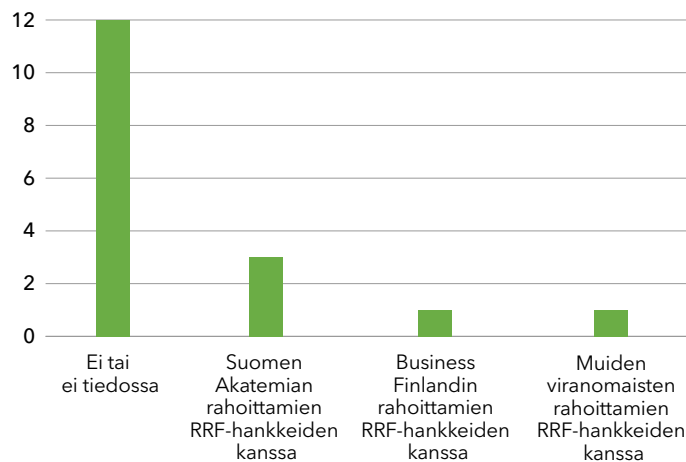
Tutkimus- infrastruktuurit	- Hydrological Research Infrastructure Platform - Cryosphere Research Infrastructure, CRYO-RI - VTT's Mobility and Transport Technology Platform infrastructure - Special Equipment Register for Drones - HAKKU Service of the Geological Survey of Finland: digital data, reports, maps - FMI measurement station network (stations not in ICOS) - University of Helsinki tree ecophysiology and aerosol laboratories - EuroHPC JU - LUMI supercomputer - Aalto Scientific Computing - Aalto Materials Digitalization Platform AMAD - Aalto University laboratory facilities, including geotechnical laboratory
Aineistot	- Finnish Environmental Institute hydrological monitoring - Finnish Meteorological Institute: Yearly statistics - Finnish Meteorological Institute open data, meteorological data - Finnish Meteorological Institute hydrological monitoring snow statistics - Era5-land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). - Soilgrids 2.0 - Topographic vector database 1:100k. National Land Survey of Finland. - National Forest Inventory data by Luke - Data from Long-term experiments in Luke's research forests

4.4.3 Yhteistyö muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa

Kyselyllä selvitettiin myös avainalojen tutkimushankkeiden ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden yhteistyötä muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa. Hankkeilta kysyttiin yhteistyöstä muiden Suomen Akatemian rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa sekä muiden viranomaisten rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa Suomessa sekä Euroopassa.

Kuviossa 22 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden tekemä yhteistyö muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa. Hankkeista suurin osa ei tehnyt yhteistyötä RRF-hankkeiden kanssa tai hankkeet eivät olleet tietoisia yhteistyöhankkeen RRF-rahoituksesta. Suurin osa hankkeista, jotka tekivät yhteistyötä RRF-hankkeiden kanssa, tekivät yhteistyötä muiden Suomen Akatemian rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa.

Yhteistyötä muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa tehneiden hankkeiden lukumäärä (n=15)



Kuvio 22. Yhteistyötä muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa tehneiden hankkeiden lukumäärä.

den kanssa. Hankkeista yksi vastasi tehneensä yhteistyötä Business Finlandin rahoittaman RRF-hankkeen kanssa ja yksi muiden viranomaisten rahoittaman RRF-hankkeen kanssa. Yksikään hanke ei vastannut tehneensä yhteistyötä muussa EU-jäsenmaassa rahoitetuin hankkeen kanssa.

Kaksi tutkimusinfrastruktuurihanketta vastasi tehneensä yhteistyötä Suomen Akatemian rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa ja yksi tehneensä yhteistyötä muiden viranomaisten rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa. Yksi hankkeista vastasi, että se ei ollut tehnyt yhteistyötä tai että se ei ollut tietoinen yhteistyöhankkeen RRF-rahoituksesta.

4.4.4 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistaminen avainalojen tutkimushankkeissa

Kyselyllä selvitettiin avainalojen tutkimushankkeiden vaikutuksia TKI-yhteistyöhön ja osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistamiseen.

Kuviossa 23 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden vastausten keskiarvot hankkeiden tuloksia ja vaikutuksia koskeneisiin väittämiin, joita hankkeet arvioivat asteikolla 1-5 (1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä, NS=eivät koske hanketta, IDK=en tiedä). Hankkeet ovat arvioineet onnistuneensa kaikkein parhaiten tuottamaan uutta tutkimustietoa ja lisäämään osaamista strategisilla teollisuudenaloilla Suomessa (ka. 4,60). Kymmenen hanketta oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja neljä hanketta jokseenkin samaa mieltä. Yksi hankkeista ei ollut samaa eikä eri mieltä.

Hankkeet arvioivat onnistuneensa täydentämään myös olemassa olevia eurooppalaisia tutkimusyhteistyöaloitteita (ka. 4,62). Vastanneista hankkeista kahdeksan oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja viisi jokseenkin samaa mieltä. Yksi hankkeista ei osannut arvioida tämän tavoitteen toteutumista ja yksi hanke vastasi, ettei kyseinen tavoite koskenut hanketta. Hankkeet arvioivat onnistuneensa edistämään olemassa olevia ja orastavia eurooppalaisia yhteistyömuotoja (ka. 4,29). Hankkeista seitsemän oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja neljä jokseenkin samaa mieltä. Kolme hanketta ei ollut samaa eikä eri mieltä. Yksi hankkeista vastasi, että tavoite ei koskenut hanketta.

Hankkeet arvioivat lisänneensä yritysten resilienssiä strategisilla toimialoilla (ka. 3,75). Hankkeista kolme oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja kolme jokseenkin samaa mieltä. Kuusi hanketta ei ollut samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke ei osannut arvioida tavoitteen toteutumista ja kaksi arvioi, että tavoite ei koskenut hanketta.

Hankkeiden arvioissa koskien eurooppalaisten yritysten kilpailukyvyyn lisäämistä on havaittavissa hieman enemmän vaihtelua ja kolme hanketta ei osannut arvioida tavoitteen toteutumista. Hankkeiden vastausten keskiarvo oli 3,70. Yksi hankkeista oli väittämän kanssa täysin samaa mieltä ja kuusi jokseenkin samaa mieltä. Kaksi hanketta ei ollut samaa eikä eri mieltä ja yksi hanke oli jokseenkin eri mieltä. Hankkeista kaksi arvioi, että kyseinen tavoite ei soveltunut hankkeen toimintaan.

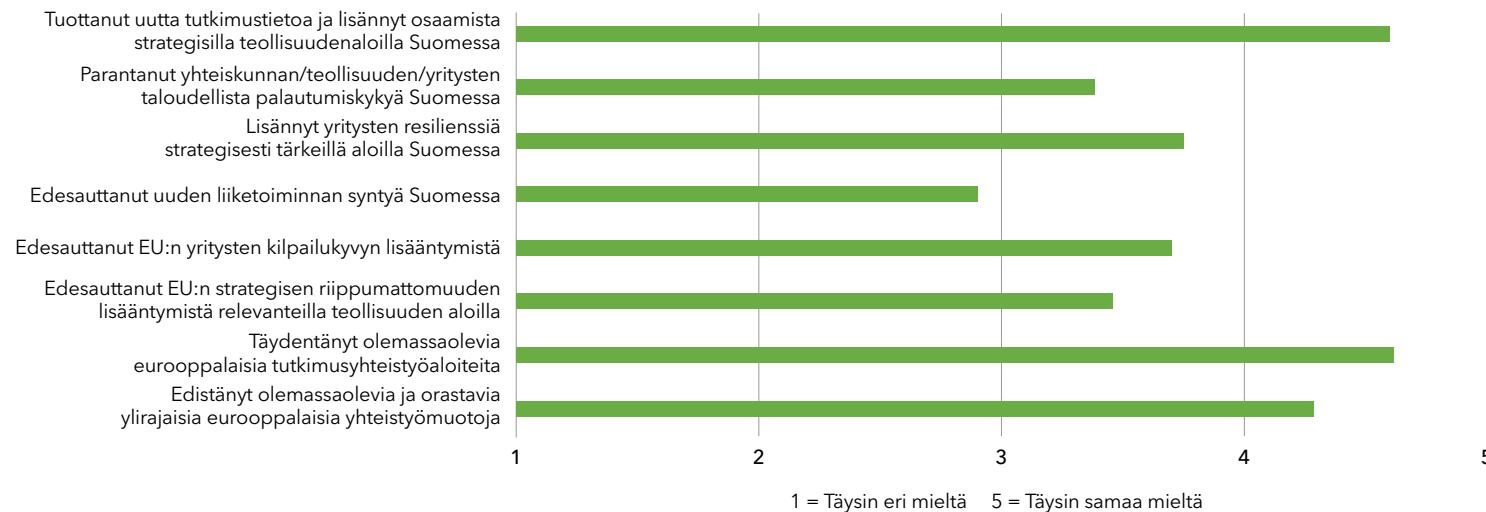
Hankkeiden arvioissa koskien EU:n strategisen riippumattomuuden lisääntymistä relevanteilla teollisuudenaloilla on havaittavissa samankaltaista vaihtelua (ka. 3,45). Hankkeista seitsemän oli väittämän

kanssa jokseenkin samaa mieltä. Kaksi hankkeista ei ollut samaa eikä eri mieltä ja kaksi hanketta oli jokseenkin eri mieltä. Hankkeista kaksi ei osannut arvioida tavoitteen toteutumista ja kaksi hanketta vastasi, että tavoite ei koskenut hanketta.

Yhteiskunnan, teollisuuden ja yritysten palautumiskyvyn parantamista koskevan väittämän osalta noin puolet hankkeista (8 hanketta) ei ollut samaa eikä eri mieltä ja yksi hankkeista oli jokseenkin eri mieltä. Hankkeista kaksi oli täysin samaa mieltä ja kaksi jokseenkin samaa mieltä. Vastausten keskiarvo oli 3,38. Yksi hanke ei osannut arvioida tavoitteen toteutumista ja yksi hanke arvioi, ettei tavoite koskettanut kyseistä hanketta.

Uuden liiketoiminnan syntyminen edistämistä koskeneen väittämän kohdalla hankkeiden vastaukset vaihtelivat kaikkein eniten (ka. 2,90). Hankkeista kaksi vastasi olevansa väittämän kanssa täysin eri mieltä ja kuusi hanketta ei ollut samaa eikä eri mieltä. Yksi hanke oli väittämästä täysin samaa mieltä ja yksi jokseenkin samaa mieltä. Neljä hanketta ei

Vastausten keskiarvot, avainalojen tutkimushankkeiden tulokset suhteessa osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistamiseen (n=15)



Kuvio 23. Vastausten keskiarvot, avainalojen tutkimushankkeiden tulokset suhteessa osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistamiseen.

osannut arvioida tavoitteen toteutumista. Hankkeista yksi arvioi, ettei tavoite koskettanut kyseistä hanketta.

Avainalojen tutkimushankkeita pyydettiin lisäksi kuvailemaan konkreettisia tapoja, joilla ne ovat vahvistaneet osaamiskeskittymiä ja edistäneet TKI-yhteistyötä. Keskeisiä tapoja ovat olleet

- uusien osaamiskeskittymien synty ja laajentuminen,
- lippulaivojen ja kansallisten infrastruktuurien hyödyntäminen,
- monitieteinen yhteistyö ja osaamisen yhdistäminen,
- kansainvälinen yhteistyö ja verkostoituminen,
- teollisuusyhteistyö ja kaupallistaminen ja
- koulutus ja osaamisen kehittäminen.

Esimerkiksi FlowXAI-hanke on muodostanut uuden osaamiskeskittymän virtausparistoteknologian ympärille, joka ei kuulunut aiemmin tunnistettuihin osaamiskeskittymiin. Kehitys on johtanut muun muassa huippuyksikköhakemukseen ja uusiin EU-hankkeisiin. MIMIC-hanke synnytti puolestaan uudenlaisen monitieteisen osaamiskeskittymän yhdistämällä molekyyli-tason kuvantamista, koneoppimista ja kvantti-simulointia.

FireMan-hanke on hyvä esimerkki hankkeesta, joka integroitui useisiin lippulaivoihin (UNITE, 6G, FCAI, FAME, DIWA). Tämä on mahdollistanut tutkimustulosten levittämisen ja uusien yhteistyömuotojen syntymisen. C-NEUT-hanke käytti puolestaan INAR RI -infrastruktuu-

rin dataa ja kehitti mallinnuskehyksiä ACCC-lippulaivayhteistyössä. Diversity4Forests- ja Green-Digi-Basin-hankkeet toimivat UNITE- ja DIWA-lippulaivojen sisällä ja vahvistivat niiden osaamiskeskittymiä. Green-Digi-Basin-hanke on ollut mukana perustamassa kansallista vesiklusteriverkostoa ja Freshwater Competence Centren (FWCC) -osaamiskeskittymää, joka toimii DIWA-lippulaivahankkeen perustana.

Useat hankkeet kuvasivat yhdistäneensä eri tieteidenalojen asiantuntijoita, mikä on lisännyt hankkeiden kykyä ja valmiutta ratkaista monimutkaisia ongelmia ja luoda uusia yhteistyöverkostoja. Hankkeet kuten Green-Digi-Basin ja WindySea laajensivat yhteistyötä myös kansainvälisiin verkostoihin (esim. RESIST, Water4All, DestinE). Tämä on vahvistanut osaamiskeskittymien kansainvälistä ulottuvuutta.

Useat hankkeet kuvaavat edistäneensä teknologian siirtoa ja kaupallistamista. Esimerkiksi FireMan-hanke kuvaa tehneensä aktiivista yhteistyötä teollisuuden kanssa kahden Business Finlandin rahoittaman hankkeen kautta. Yhteistyö tukee osaamisen siirtymistä käytäntöön.

Useissa hankkeissa opiskelijat ja nuoret tutkijat ovat osallistuneet hankkeiden toimintaan aktiivisesti. Tämän katsotaan vahvistavan tulevaisuuden osaamiskeskittymiä. Hankkeet ovat panostaneet myös tohtori-koulutukseen ja postdoc-rekrytointeihin. Tämä on hankkeiden mukaan laajentanut osaajapohjaa ja varmistanut osaamisen jatkuvuuden.

Esimerkkilaatikossa 1 on nostettu esimerkkeinä esiin kolme hanketta ja miten ne ovat kuvanneet vahvistaneensa osaamiskeskittymiä ja TKI-yhteistyötä.

Esimerkkilaatikko 1. Osaamiskeskittymien ja TKI-yhteistyön vahvistaminen kolmessa hankkeessa.**FireMan-hankkeen rooli osaamiskeskittymien ja TKI-yhteistyön vahvistajana RRF-rahoituskaudella**

RRF-rahoituskauden aikana FireMan-hankkeella on ollut keskeinen rooli osaamiskeskittymien vahvistamisessa ja TKI-yhteistyön edistämisessä. Tämä on tarkoittanut aktiivista osallistumista johtaviin tutkimuksen lippulaivoihin, innovaatioverkostoihin ja teollisuuden sidosryhmiin.

UNITE-lippulaivan puitteissa FireManin tutkimustuloksia on esitelty sekä sisäisissä että sidosryhmätapahtumissa. Tämä on edistänyt poikkitieteellistä tiedonvaihtoa. Vuorovaikutustoiminnan kautta FireManin kehitystyö autonomisessa metsäpalojen hallinnassa ja autonomisissa teknologioissa on integroitu osaksi keskusteluja digitaalisesta metsätaloudesta ja ympäristön seurannasta. Yhteistyön konkreettisena tuloksena on syntynyt Suomen Akatemian rahoittama Proof of Concept -hanke DRONE4TREE, joka vahvistaa edelleen FireManin ja UNITE:n välistä yhteistyötä.

6G-lippulaivan kanssa FireMan on edistänyt tutkimusta ei-maapohjaisista verkoista (NTN) erityisesti UAV-sovelluksiin keskittyen. Hanke on syventänyt ymmärrystä UAV-viestintävaatimuksista ja tunnistanut lupaavimmat teknologiat saumattoman yhteyden mahdollistamiseksi hätätilanteissa. FireMan on osallistunut aktiivisesti myös Suomen tekoälykeskuksen eli FCAI-lippulaivan toimintaan levittäen keskeistä tietoa tekoälypohjaisesta drone-autonomiasta esitelmien ja blogikirjoitusten keinoin. FAME-lippulaivan kanssa tehty yhteistyö on johtanut lippulaivaan liittyvään väitöskirjaprojektiin sen

tohtorikoulutuspilotissa. Tämä varmistaa osaltaan osaamisen jatkuvuutta ja vahvistaa tutkimusyhteistyötä autonomisten järjestelmien alalla.

FireMan on osallistunut myös Digital Waters (DIWA) -lippulaivaan, joka käynnistyi vuonna 2024. FireManin vastuullinen johtaja toimii DIWA:ssa työpaketin vetäjänä ja sen kehittämiä autonomisia reaaliaikaisia drooniteknologioita hyödynnetään DIWA:n digitaalisissa kaksosjärjestelmissä. FireManin panos jatkuu kahden käynnissä olevan väitöskirjatyon kautta DIWA:n tohtoripilotissa.

Lisäksi FireMan on tehnyt yhteistyötä useiden Suomen Akatemian RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa, kuten Aeropolis, MULTIRISK, RoboMesh ja MRAT-SafeDrone (CWC).

FUAVE-verkosto on ollut keskeinen FireManin tutkimustulosten levittämisessä laajalle yleisölle ja osaltaan varmistaa, että hankkeen tulokset tavoitavat UAV-tutkimuksen, politiikan ja sovellusten kannalta keskeiset sidosryhmät.

Akateemisen tutkimusyhteistyön lisäksi FireMan on ollut aktiivisesti mukana teollisuusyhteistyössä kahdessa RRF:ään liittyvässä Business Finland -hankkeessa. Drolo 2-hanketta koordinoi VTT ja se keskittyy autonomisen droonilogistiikan kehittämiseen. Myös 6G-SatMTC-hanketta koordinoi VTT yhteistyössä CWC:n kanssa. Hanke tutkii satelliittipohjaisia 6G-viestintäratkaisuja.

Näiden aloitteiden kautta FireMan on vahvistanut Suomen TKI-ekosysteemiä, edistänyt autonomiaa drooniteknologioita ja luonut pitkäaikaisia kump-

panuuksia, jotka tukevat jatkuvaa innovointia tekoälyn, yhteyksien ja kriisinhallinnan aloilla.

MIMIC-hanke vahvisti osaamiskeskittymää ja tutkimusyhteistyötä monitieteisesti

MIMIC-hanke on vahvistanut osaamiskeskittymiä ja edistänyt tutkimusyhteistyötä useilla konkreettisilla tavoilla. MIMIC on edistänyt monitieteistä yhteistyötä, laajentanut tutkimuskapasiteettia ja tukenut strategisia painopisteitä vahvistaen näin sekä osaamiskeskittymiä että globaalia tutkimuskenttää.

Hanke yhdisti molekyyli-tasoon skannaavan koetinmikroskopian (SPM), koneoppimisen (ML) ja kvanttisimulaatioiden osaamista ja loi monitieteisen kehityksen monimutkaisten haasteiden ratkaisemiseksi. Lähestymistapa vahvisti yhteistyötä nanoteknologian, laskennallisen kemian ja tekoälyn asiantuntijoiden välillä ja edisti yhteisen tietopohjan rakentamista.

Uudenlaisen työnkulun kehittäminen, joka yhdistää ML-energianäytteistyksen, ML-potentiaalit ja kvanttisimulaatiot, vaatii tiivistä yhteistyötä laskennallisten tutkijoiden ja kokeellisten tutkijoiden välillä. Tämä synergia loi yhteistyöhön perustuvan osaamiskeskittymän, jossa menetelmiä kehitettiin, testattiin ja hiottiin vuorovaikutteisesti.

Hanke edisti myös tutkimuslaitoskumppaneiden teknologista osaamista tuomalla käyttöön huipputasoon SPM-tekniikoita ja ML-analytiikkaa. Yliopistotutkijat saivat puolestaan käytännön sovelluksia ja palautetta menetelmiensä kehittämiseksi.

»

Hankkeessa mukana olleet nuoret tutkijat, postdocit ja jatko-opiskelijat saivat monitieteistä koulutusta. Tämä kasvatti osaajien määrää molekyylikuvantamisen, koneoppimisen ja kestävien materiaalien tieteen aloilla. Hankkeen järjestämien työpajojen ja seminaarien avulla hanke levitti tietoa osallistuvien organisaatioiden kesken ja vahvisti osaamiskeskittymiä.

Hankkeen tuloksia on jaettu yhteisjulkaisujen, konferenssien ja yhteistyötutkimusten kautta. Tulosten levittäminen on vahvistanut kansainvälisiä tutkimusverkostoja kestävien materiaalien, nanoteknologian ja tekoälyn aloilla.

Hanke tukee vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämistä ja on linjassa globaalien prioriteettien, kuten kestävä kehityksen ja digitaalisen innovaation, kanssa. Hanke on vahvistanut asemaansa osaamiskeskittymissä, kuten esimerkiksi FinnCE-RES-lippulaivassa. MIMIC on asemoitunut keskei-

seksi hankkeeksi näissä verkostoissa ratkomalla materiaalien karakterisointiin liittyviä haasteita molekyylitasolla.

Green-Digi-Basin-hanke edistää vesitutkimuksen osaamiskeskittymiä ja kansainvälistä TKI-yhteistyötä

Green-Digi-Basin-hanke on vahvistanut osaamiskeskittymiä ja tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa useilla tavoilla.

Hanke on hyödyntänyt monitieteisiä menetelmiä yhdistämällä uusia teknologioita ja älykkäitä ratkaisuja vesivarojen hallinnan haasteiden ratkaisemiseksi. Luomalla jokialueiden digitaalisia kaksosia hanke on vienyt eteenpäin seuraavan sukupolven mallinnustutkimusta virtavesiympäristöissä.

Hanke on tehnyt yhteistyötä laajan sidosryhmäjoukon kanssa, mikä on mahdollistanut resurssien ja asiantuntemuksen jakamisen eri sektoreiden

välillä. Yhteistyö kansainvälisten tutkijoiden kanssa, esimerkiksi RESIST- ja Water4All-hankkeissa, on laajentanut suomalaisen vesitutkimuksen vaikutavuutta ja edistänyt parhaiden käytäntöjen omaksumista maailmanlaajuisesti.

Lisäksi hanketiimi jatkaa työtään DIWA-lippulaivassa ja DIWA-tohtoripilotissa, jotka ovat äskettäin saaneet rahoitusta uuden sukupolven vesitutkijoiden kouluttamiseen. Tiimi jatkaa myös hankkeessa aloitettujen digitaalisten työkalujen kehittämistä. DIWA-lippulaivaan on palkattu noin 60 uutta tohtorikoulutettavaa ja noin 20 uutta postdoc-tutkijaa sekä useita kokeneita tutkijoita. Tiimi on laajentunut kolmeen yliopistoon ja kolmeen tutkimuslaitokseen, jotka tekevät yhteistyötä DIWA:ssa. Tämä mahdollistaa laajan kansainvälisen verkoston hyödyntämisen, jota nämä organisaatiot ja noin 150 tutkijaa tuovat mukanaan, sekä yhteistyön yrityssektorin ja esimerkiksi Finnish Water Forumin kaltaisten organisaatioiden kanssa.

4.4.5 TKI-yhteistyön, osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistaminen tutkimusinfrastruktuurihankkeissa

Kyselyllä selvitettiin myös kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden vaikutuksia TKI-yhteistyöhön ja osaamiskeskittymien ja osaamisen vahvistamiseen.

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden vaikutusta kysyttiin kahdeksan väittämän avulla asteikolla 1–5 (1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä). Kaikki hankkeet ovat arvionsa mukaan kehittäneet tutkimusedellytyksiä ja lisänneet osaamista strategisilla teollisuudenaaloilla Suomessa (ka. 5,00) ja täydentäneet olemassa olevia euroop-

palaisia tutkimusyhteistyöaloitteita (ka. 5,00). Hankkeet ovat myös edistäneet olemassa olevia ja orastavia rajat ylittäviä eurooppalaisia yhteistyömuotoja (ka. 4,66) sekä edesauttaneet uuden liiketoiminnan syntyä Suomessa (ka. 4,00).

Muiden väittämien osalta hankkeiden arviot olivat keskimäärin neutraaleja. Väittämien keskiarvot olivat seuraavat:

- Parantanut yhteiskunnan/teollisuuden/yritysten taloudellista palautumiskykyä Suomessa: 3,66
- Lisännyt yritysten resilienssiä strategisesti tärkeillä aloilla Suomessa: 3,33

- Edesauttanut EU:n yritysten kilpailukyvyyn lisääntymistä: 3,33
- Edesauttanut EU:n strategisen riippumattomuuden lisääntymistä relevanteilla teollisuuden aloilla: 3,00

Tutkimusinfrastruktuurihankkeita pyydettiin lisäksi kuvailemaan konkreettisia tapoja, joilla ne ovat vahvistaneet osaamiskeskittymiä ja edistäneet TKI-yhteistyötä. FIN-CLARIAH-hanke, FINMARI-hanke ja HYDRO-RI-Platform-hanke ovat kaikki kuvanneet erilaisia konkreettisia tapoja.

FIN-CLARIAH-hanke keskittyi kieliteknologian ja kielitutkimuksen infrastruktuurin kehittämiseen viidessä moduulissa. TKI-yhteistyö on ollut keskeistä erityisesti tutkimusmenetelmien ja teknologioiden kehittämisessä. Moduulit tukevat eri kieliteknologian ja datatieteen osa-alueita, mikä vahvistaa osaamista näillä aloilla. Metadatan harmonisointi ja avoimen datan palvelut edistävät yhteentoimivuutta, saatavuutta ja avointa tiedon ja datan jakamista eri toimijoiden välillä.

FINMARI-hanke on kehittänyt ja tarjonnut muiden toimijoiden käyttöön tutkimuksen infrastruktuuria (esim. alukset, kenttäasemat, laboratoriot) ja palveluita (esim. datapalvelut, asiantuntijapalvelut,

kalibrointipalvelut) laajalle käyttäjäkunnalle (mm. tutkijat, viranomaiset, yritykset, kansalaiset). Infrastruktuuria on käytetty yhteistutkimukseen, menetelmien harmonisointiin ja opetukseen ja hankkeen bioteknologian kokeelliset tilat ovat tukeneet kiertotaloutta ja vihreää energiaa. Palveluiden monipuolisuus ja laaja käyttäjäkunta ovat vahvistaneet merentutkimuksen osaamiskeskittymää. Hanke on lisäksi osallistunut EU-tutkimushankkeisiin, joissa on ollut mukana 160 partneria ja joissa on syntynyt laaja eurooppalainen yhteistyöverkosto.

HYDRO-RI-Platform -hanke on testannut uusia vesitutkimuksen sensoreita ja tuottanut uutta dataa ilmastomuutoksen ja hydrologian vaikutusten ymmärtämiseksi sekä vahvistanut boreaaliin ja subarktisiin vesistöihin liittyvää ympäristöosaamista. Hanke on tehnyt yhteistyötä muun muassa CRYO-RI-hankkeen (RRF) ja Green-Digi-Basin -hankkeen (RRF) sekä VISIO-projektin kanssa. Tutkimusinfrastruktuuri liittyi EU:n Water-Oriented Living Lab -verkostoon ja se valittiin EU:n WOLLs Atlakseen. Hanke on lisäksi perustanut kansallisen vesiklusteriverkoston ja Freshwater Competence Centren (FWCC) -osaamiskeskittymän. FWCC toimi DIWA-lippulaivahankkeen perustana ja se on järjestänyt säännöllisesti seminaareja eri sidosryhmien kanssa.

4.4.6 Yhteenveto

Sekä avainalojen tutkimushankkeet että tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat arvioineet vahvistaneensa TKI-yhteistyötä ja osaamiskeskittymiä monipuolisesti. Suurin osa hankkeista on tehnyt yhteistyötä erityisesti Suomen Akatemian rahoittamien lippulaivojen ja huippuyksiköiden kanssa. Yhteistyö on painottunut FCAl:n ja UNITE:n osaamiskeskittymiin, jotka mainittiin viiden hankkeen vastauksissa. Myös ACCC, FinnCERES ja DIWA esiintyivät useissa vastauksissa. Tutkimusinfrastruktuurihankkeista kaikki olivat tehneet yhteistyötä lippulaivojen tai huippuyksiköiden kanssa.

Tutkimusinfrastruktuurien käyttö oli laajaa ja kaikki avainalojen tutkimushankkeet käyttivät suomalaisia tutkimusinfrastruktuureita tai niiden kansainvälisiä jäsenyyksiä. Avainalojen hankkeet mainitsivat hyödyntäneensä eniten seuraavia infrastruktuureja: CSC, INAR RI, ICOS ja eLTER. Myös tutkimusinfrastruktuurihankkeet hyödynsivät infrastruktuureja monipuolisesti ja osallistuivat eurooppalaisiin verkostoihin.

»

Yhteistyö muiden RRF-rahoitettujen hankkeiden kanssa oli rajallista. Suurin osa hankkeista ei ollut tehnyt yhteistyötä tai ei tiennyt yhteistyöhankkeen rahoituslähdeä. Yhteistyötä tehtiin eniten muiden Suomen Akatemian rahoittamien RRF-hankkeiden kanssa.

Avainalojen tutkimushankkeet kokivat onnistuneensa erityisesti uuden tutkimustiedon tuottamisessa ja osaamisen lisäämisessä strategisilla teollisuudenaloilla Suomessa sekä eurooppalaisten tutkimusyhteistyöaloitteiden täydentämisessä. Sen sijaan vaikutukset uuden liiketoiminnan syntyymiseen ja yhteiskunnan palautumiskykyyn arvioitiin vähäisemmiksi.

Hankkeet kuvasivat konkreettisia tapoja osaamiskeskittymien vahvistamiseen, kuten uusien keskittymien muodostaminen ja jo olemassa olevien vahvistaminen, lippulaivojen ja infrastruktuurien hyödyntäminen, monitieteinen yhteistyö, kansainvälinen verkostoituminen, teollisuusyhteistyö ja koulutus.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeet arvioivat vaikuttaneensa erityisesti tutkimusedellytysten kehittämiseen ja osaamisen lisäämiseen Suomessa sekä eurooppalaisten yhteistyöaloitteiden täydentämiseen.

4.5 Lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset

Tässä luvussa tarkastellaan avainalojen tutkimushankkeiden ja kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnallisia vaikutuksia, joita selvitettiin kyselyllä.

4.5.1 Avainalojen tutkimushankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset

Kyselyllä selvitettiin avainalojen tutkimushankkeiden lyhyen aikavälin vaikutuksia tutkimukseen ja yhteiskuntaan. Avainalojen tutkimushankkeiden konsortiojohtajia pyydettiin arvioimaan hankkeen lyhyen aikavälin yhteiskunnallisia vaikutuksia eri osa-alueisiin. Hankkeet ovat kunkin osa-alueen kohdalla arvioineet, onko hankkeen vaikutus ollut suuri vai pieni. Jos hanke arvioi vaikutuksen suureksi, pyydettiin hanketta kuvaamaan konkreettisia esimerkkejä vaikutuksista. Kaikki hankkeet vastasivat kysymykseen (n=15). Koska kuhunkin osa-alueeseen pystyi vastaamaan hankkeella olleen sekä pieni että suuri vaikutus, osa-alueen vastausten määrä vaihtelee.

Kuviossa 24 on esitetty avainalojen tutkimushankkeiden arvio hankkeen lyhyen aikavälin vaikutuksista eri osa-alueisiin. Hankkeet ovat arvioineet niillä olleen eniten vaikutusta lyhyellä aikavälillä etenkin tutkimuksen edistämiseen ja teknologisten innovaatioiden tuottamiseen. Kaikki hankkeet arvioivat hankkeella olleen vaikutusta näihin osa-alueisiin. Tutkimuksen edistämisen osalta 14 hanketta arvioi vaikuttavuuden olleen suuri ja vain yksi hanke arvioi vaikutuksen olleen pieni. Teknologisten innovaatioiden tuottamisen osalta 12 hanketta arvioi vaikutuksen olleen suuri ja kolme hanketta arvioi vaikutuksen olleen pieni.

Hankkeilla on ollut seuraavaksi eniten vaikutusta päätöksenteon tukeen, julkisen tietoisuuden lisäämiseen sekä koulutukseen ja jatkuvaan oppimiseen. Päätöksenteon tuen osalta yhdeksän hanketta arvioi vaikutuksen olleen suuri ja viisi arvioi vaikutuksen olleen pieni. Yksi hankkeista arvioi, että sillä ei ole ollut vaikutusta päätöksenteon tukeen. Seitsemän hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen julkisen tietoisuuden lisäämiseen olleen suuri ja kahdeksan arvioi vaikutuksen olleen pieni. Yhdeksän hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen koulutukseen ja jatkuvaan oppimiseen ollaan suuri ja viisi hanketta arvioi vaikutuk-

sen olleen pieni. Yksi hankkeista arvioi, että sillä ei ole ollut vaikutusta koulutukseen ja jatkuvaan oppimiseen.

12 hanketta arvioi hankkeella olleen jonkinlaista vaikutusta sekä yhteisön osallistamiseen että teollisuuden muutokseen. Näistä viisi hanketta arvioi vaikutuksen olleen suuri yhteisön osallistamiseen ja seitsemän vaikutuksen olleen pieni. Seitsemän hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen teollisuuden muutokseen olleen suuri ja viisi arvioi vaikutuksen olleen pieni. Kolme hanketta arvioi, että hankkeella ei ole ollut vaikutusta lyhyellä aikavälillä yhteisön osallistamiseen ja teollisuuden muutokseen.

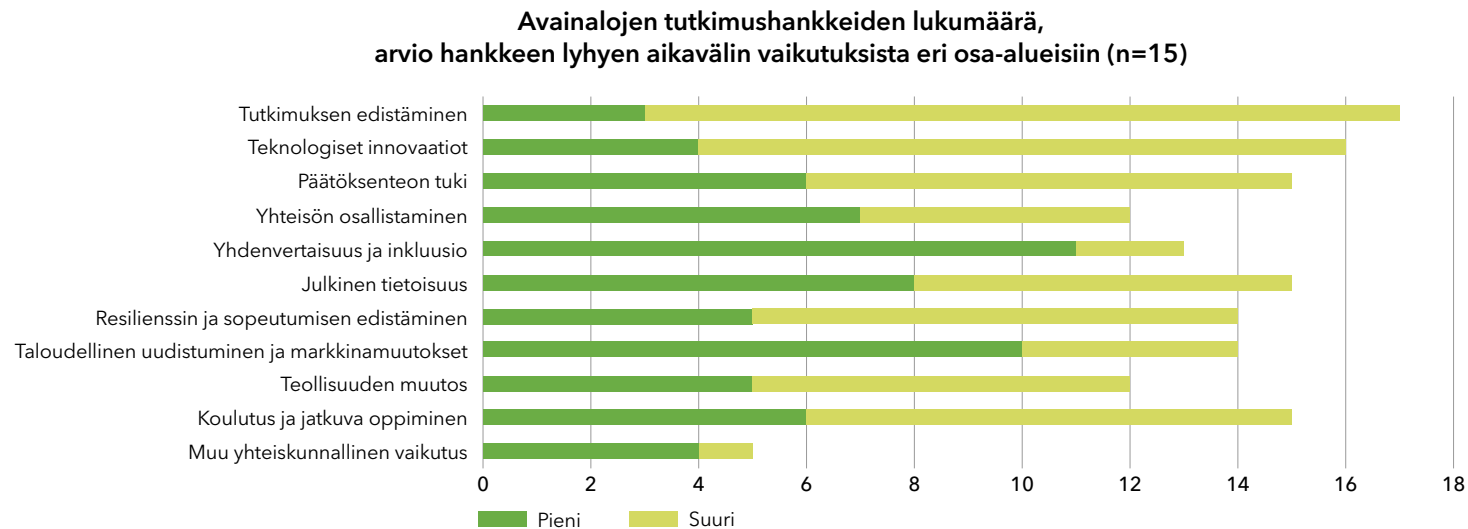
Yhdeksän hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen resilienssin ja sopeutumisen edistämiseen olleen suuri ja neljä hanketta arvioi vaikutuksen olleen pieni. Kaksi hanketta arvioi, että hankkeella ei ole ollut vaikutusta osa-alueeseen. Neljä hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen taloudelliseen uudistumiseen ja markkinamuutoksiin olleen suuri ja yhdeksän hanketta arvioi vaikutuksen olleen pieni. Kaksi hanketta

arvioi, että hankkeella ei ole ollut vaikutusta taloudelliseen uudistumiseen ja markkinamuutoksiin.

Kaksi hanketta arvioi hankkeen vaikutuksen yhdenvertaisuuden ja inklusion osalta olleen suuri ja 11 hanketta arvioi vaikutuksen olleen pieni. Kaksi hanketta arvioi, että hankkeella ei ole ollut vaikutusta kyseiseen osa-alueeseen. Viisi hanketta arvioi hankkeella olleen muuta yhteiskunnallista vaikutusta. Näistä neljä hanketta arvioi vaikutuksen olleen pieni ja yksi arvioi vaikutuksen olleen suuri.

4.5.2 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lyhyen aikavälin yhteiskunnalliset vaikutukset

Kyselyllä selvitettiin kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lyhyen aikavälin vaikutuksia tutkimukseen ja yhteiskunnan eri osa-alueisiin. Kuviossa 25 on esitetty hankkeiden lyhyen aikavälin vaikutuksia. Hankkeet ovat kunkin osa-alueen kohdalla arvioineet, onko hankkeen



Kuvio 24. Avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä, arvio hankkeen lyhyen aikavälin vaikutuksista eri osa-alueisiin.

vaikutus ollut suuri vai pieni. Jos hanke arvioi vaikutuksen suureksi, pyydettiin hanketta kuvaamaan konkreettisia esimerkkejä vaikutuksista.

Hankkeiden toiminnalla on ollut vaikutusta lyhyellä aikavälillä kaikkiin kysyttyihin osa-alueisiin. Kaikki hankkeet ovat arvioineet toiminnalla olleen ainakin jotakin vaikutusta tutkimuksen edistämiseen, yhteisön osallistamiseen, yhdenvertaisuuteen ja inklusioon, taloudelliseen uudistumiseen ja markkinamuutoksiin sekä koulutuksen ja jatkuvaan oppimiseen.

Ainakin yksi kaikista kolmesta hankkeesta arvioi toiminnallaan olleen suuri vaikutus tutkimuksen edistämiseen, teknologisiin innovaatioihin, päätöksenteon tukeen, yhteisön osallistamiseen, yhdenvertaisuuteen ja inklusioon, julkisen tietoisuuden lisäämiseen, taloudelliseen uudistumiseen ja markkinamuutoksiin sekä koulutukseen ja jatkuvaan oppimiseen.

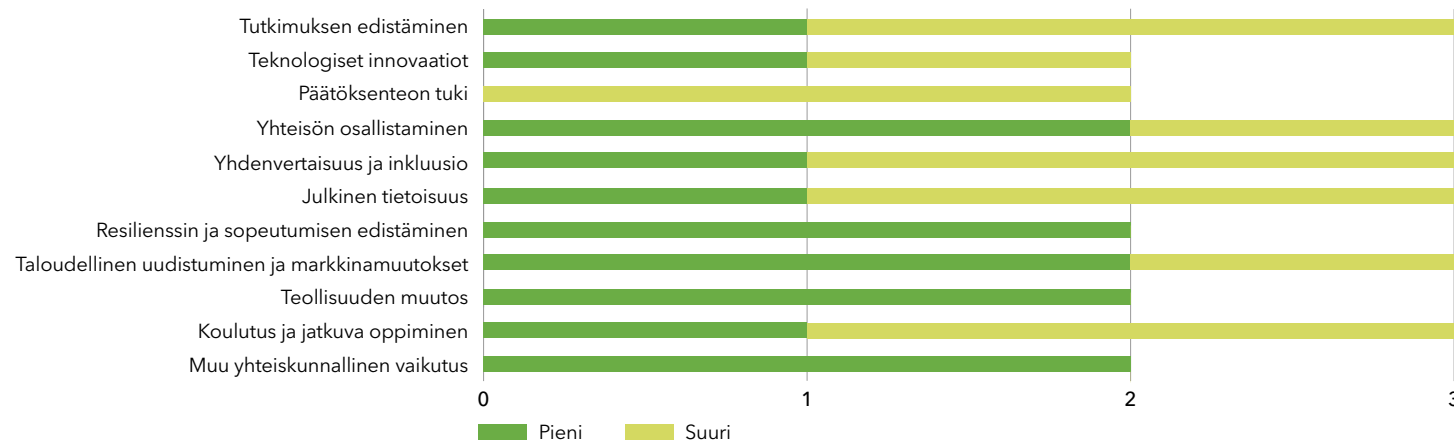
Kaksi hankkeista arvioi hankkeen toiminnalla olleen pieni vaikutus myös resilienssin ja sopeutumisen edistämiseen ja teollisuuden muu-

tokseen. Lisäksi kaksi hankkeista arvioi hankkeen toiminnalla olleen myös muuta yhteiskunnallista vaikutusta.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeita pyydettiin myös kuvailemaan konkreettisia tapoja, joilla hanke on edistänyt kansallisen elpymis- ja palautumissuunnitelman ja Suomen kestävän kasvun ohjelman tavoitteiden toteutumista. Kaikissa tutkimusinfrastruktuurihankkeissa kerrytetyt kokemukset ja vahvistetut sekä uudet kumppanuudet luovat pohjaa uusille vihreän ja digitaalisen siirtymän hankkeille ja muille yhteistyöaloitteille. Tämä vahvistaa samalla kansallisen suunnitelman ja kestävän kasvun ohjelman pitkäaikaista vaikuttavuutta.

FIN-CLARIAH-hanke tukee erityisesti digitaalisen siirtymän ja osaa- mistason noston tavoitteita. Se tarjoaa suuria kieliaineistoja tekoälyn ja koneoppimisen innovaatioiden kehittämiseen, mikä parantaa suomalaisten tutkimusryhmien ja ohjelmistoalan kansainvälistä kilpailukykyä. Yhteistyö Teknologiateollisuus ry:n ja FCAI:n kanssa on tuonut tutkimuksen lähelle teollisuutta ja kaupallista soveltamista. Hanke on

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lukumäärä, arvio hankkeen lyhyen aikavälin vaikutuksista eri osa-alueisiin (n=3)



Kuvio 25. Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden lukumäärä, arvio hankkeen lyhyen aikavälin vaikutuksista eri osa-alueisiin.

kuvannut kehittäneensä kieliresursseja kaupallisen tekoälytutkimuksen tueksi, tehneensä yhteistyötä yritysten kanssa uusien kieliteknologisten sovellusten kehittämiseksi, edistäneenä avoimen termipankin (esim. HTB) hyödyntämistä kaupallisissa oppimisympäristöissä ja käännös-palveluissa sekä käyttäneensä resursseja saavutettavuusdirektiivin toteuttamiseen (esim. automaattinen puhe- ja videokomentointi). Hanke on edistänyt myös osaamisen vahvistamista kouluttamalla uusia kieliteknologian ja data-analytiikan asiantuntijoita, joita tarvitaan erityisesti teollisuuden automatisointitarpeisiin.

FINMARI-hanke on tukenut erityisesti vihreän siirtymän, kiertotalouden ja ympäristöystävällisen teknologian kehittämisen tavoitteita ja tähän liittyvän TKI-toiminnan vahvistamista. Hankkeessa on kehitetty menetelmiä, joilla kalankasvatuksen jätevesiä hyödynnetään mikrolevien kasvatuksessa. Mikrolevistä tuotetaan kalarehua. Tämä tukee ravinteiden kierrätystä ja vähentää ympäristökuormitusta. Hankkeessa on kehitetty myös kustannustehokas sienipohjainen käsittelyratkaisu, joka muuntaa elintarviketeollisuuden jäteveden ravinteet biomassaksi. Samalla ravinteet poistuvat jätevedestä, mikä vähentää ympäristö-

vaikutuksia. Hankkeen toiminnassa on hyödynnetty yhteistyöverkostoja (mm. EU SAFE -hanke). Tämä on osaltaan vahvistanut kansainvälistä ja kansallista tutkimusyhteistyötä vihreän siirtymän alueella. Hankkeen kehittämät ratkaisut ovat suoraan sovellettavissa teollisuuteen, mikä tukee kestävän liiketoiminnan syntyä.

HYDRO-RI-Platform-hanke tukee vihreän siirtymän ja ilmasto-kestävyyden tavoitteita. Se on mahdollistanut laajamittaisen ja liikku-
van vedenlaadun seurannan, mikä tukee ympäristön tilan arviointia ja ilmastomuutoksen vaikutusten mallintamista. Hankkeessa on kehitetty mobiileja ja kiinteitä mittausjärjestelmiä (esim. droonit, vedenalaiset laitteet, kamerat), tehty yhteistyötä yritysten ja yliopistojen kanssa ravinteiden kierrätykseen ja jäteveden käsittelyyn liittyvissä ratkaisuissa ja mahdollistettu reaaliaikainen hydrologinen seuranta ja mallinnus. Yhteistyö tutkimuslaitosten ja yritysten välillä on johtanut korkeatasoi-
siin julkaisuihin ja teknologian yhteiskehittämiseen. Hanke on tukenut tutkimuslähtöisten ympäristöratkaisujen kaupallistamista ja mahdollis-
tanut tarkemmat skenaariot ilmastomuutoksen vaikutuksista erityisesti pohjoisilla alueilla.

4.5.3 Yhteenveto

Avainalojen tutkimushankkeet raportoivat merkittäviä vaikutuksia erityisesti tutkimuksen edistämiseen ja teknologisten innovaatioiden tuottamiseen. Myös päätöksenteon tuki, julkisen tietoisuuden lisääminen sekä koulutus ja jatkuva oppiminen nousivat esiin keskeisinä vaikutusalueina. Vaikutuksia arvioitiin lisäksi olleen yhteisön osallistamiseen, teollisuuden muutokseen, resilienssin ja sopeutumisen edistämiseen sekä taloudelliseen uudistumiseen. Yhdenvertaisuuden ja inklusion osalta vaikutukset olivat vähäi-
sempiä.

Tutkimusinfrastruktuurihankkeet arvioivat toiminnallaan olleen vaikutusta kaikkiin kysyttyihin osa-alueisiin. Erityisesti korostuivat vaikutukset tutkimuksen edistämiseen, teknologisiin innovaatioihin, päätöksenteon tukeen, yhteisön osallistamiseen, yhdenvertai-
suuteen ja inklusioon sekä koulutukseen. Lisäksi hankkeet kuvasivat lukuisia konkreettisia tapoja, joilla ne ovat tukeneet kansal-
lisen elpymis- ja palautumissuunnitelman ja Suomen kestävän kasvun ohjelman tavoitteita, kuten digitaalista ja vihreää siirtymää, osaamisen vahvistamista sekä tutkimuslähtöisten ratkaisujen kaupallistamista.

4.6 Kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseen liittyvän toiminnan ja tutkimuksen jatkuminen

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimushankkeiden ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden jatkumista hankkeiden RRF-rahoituskauden päättymisen jälkeen.

4.6.1 Avainalojen tutkimushankkeiden tutkimuksen jatkuminen

Vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen hankkeet ovat raportoineet verkkoasioinnin raportointilomakkeella tutkimuksen jatkumisesta hankkeen päättymisen jälkeen. Kaikki avainalojen tutkimushankkeet ovat raportoineet hankkeiden tutkimuksen jatkuvan. Useimmiten tutkimus jatkuu samassa tutkimusryhmässä.

Kyselyllä selvitettiin myös tarkemmin avainalojen tutkimushankkeiden tutkimuksen ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden toiminnan jatkumista vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi.

Kuviossa 26 on esitetty vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämisen jatkuminen avainalojen tutkimushankkeiden tutkimuksen osalta.

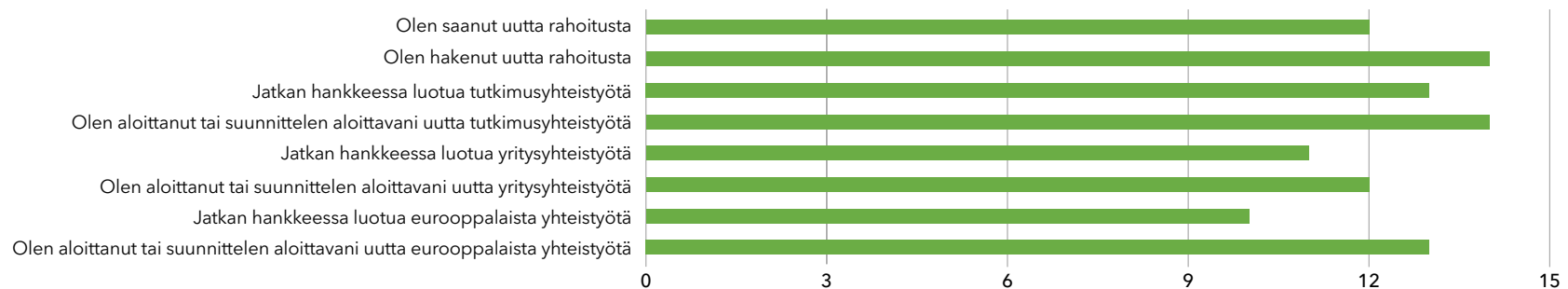
Kaikki avainalojen tutkimushankkeet (n=15) vastasivat jatkavansa toimintaa kestävän kasvun, vihreän siirtymän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi ainakin jollakin tavalla.

Lukuun ottamatta yhtä hanketta kaikki hankkeet vastasivat hake-neensa uutta rahoitusta sekä aloittaneensa tai suunnittelevat aloittavansa uutta tutkimusyhteistyötä. 13 hanketta vastasi jatkavansa RRF-hankkeessa luotua tutkimusyhteistyötä ja 13 ilmoitti aloittaneensa tai suunnittelevat aloittavansa uutta eurooppalaista yhteistyötä. Hankkeista 12 vastasi saaneensa jo uutta rahoitusta toiminnan jatkamiseen ja 12 hanketta kertoi aloittaneensa tai suunnittelevat aloittavansa uutta yritysyhteistyötä. 11 hanketta vastasi jatkavansa hankkeessa luotua yritysyhteistyötä ja kymmenen hanketta kertoi jatkavansa hankkeessa luotua eurooppalaista yhteistyötä.

Kyselyssä pyydettiin myös kuvaamaan toiminnan jatkumista tarkemmin. Kaikki avainalojen hankkeet kuvasivat tulevia suunnitelmiaan.

Kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistäminen jatkuu ja laajenee monitieteisissä kansallisissa ja EU-hankkeissa ja monet hankkeet suunnittelevat jatkossakin tukevansa vihreän teknologian kehittämistä ja ilmastomuutoksen hillintään liittyviä tavoitteita. Useat

Avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä, vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämisen jatkuminen (n=15)



Kuvio 26. Avainalojen tutkimushankkeiden lukumäärä, vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämisen jatkuminen.

tutkimusryhmät esimerkiksi jatkavat työtään EU-hankkeissa (esim. Horizon Europe, EDF, RRF) ja suunnittelevat uusia tutkimushankkeita. Jatkohankkeissa keskitytään muun muassa tuulivoiman ja jääolosuh- teiden vuorovaikutukseen Itämerellä. Myös metsien ja ilmakehän vai- kutusta toisiinsa tutkitaan uusilla kustannustehokkailla menetelmillä ja hybridien aurinkopolttokennojen kehitystä jatketaan. Tekoölyyn sekä drooniteknologiaan liittyviä rahoitushakemuksia on vireillä.

Useat hankkeet jatkavat myös digitaalisten kaksosten hyödyn- tämistä ympäristön mallintamiseen ja päätöksenteon tukemiseen ja tekoölyä sovelletaan laajasti esimerkiksi vihreän teknologian edistä- misessä, materiaalien katalyyttisten ominaisuuksien ennustamisessa ja SPM-ohjauksen kehittämiseen yhteistyössä instrumenttivalmistajien kanssa.

Kuvauksissa korostuu myös tiivis yhteistyö teollisuuden ja kansain- välisten tutkimusorganisaatioiden ja verkostojen kanssa. Yhteistyötä tullaan jatkossa tekemään ainakin Ruotsin, Alankomaiden ja Italian tutkimusorganisaatioiden kanssa.

4.6.2 Tutkimusinfrastruktuurihankkeiden toiminnan jatkuminen

Kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden kyselyvastausten perus- teella myös kaikkien näiden hankkeiden toiminta kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi jatkuu tulevaisuudessa.

FIN-CLARIAH-hankkeen toiminta jatkuu ainakin kahden uuden hankkeen kautta. LAREINA-hanke on parhaillaan käynnissä ja siihen liittyvä uusi Business Finlandin veturihanke on suunnitteilla. OpenEu- roLLM-hanke puolestaan tähtää laajojen kielimallien kehittämiseen EU:n virallisille kielille ja tärkeimmille kumppaneille. Tavoitteena on luoda uudelleenkäytettäviä malleja teollisuuden käyttöön.

FINMARI-hankkeen toiminta jatkuu ja tutkimusinfrastruktuuri edis- tää jatkossakin verkostoitumista yksityisen sektorin kanssa teknolo- gisten innovaatioiden vauhdittamiseksi ja vahvistaakseen Suomen kilpailukykyä. Tätä havainnollistaa kansainvälinen SUBMARINER-ver- kosto, jonka tavoitteena on kehittää Itämeren merellisten luonnon- varojen kestävää käyttöä. Toisena esimerkkinä hanke mainitsee

Luonnonvarakeskuksen kanssa tehtävän yhteistyön yritysten kanssa merivesikiertovesiviljelyn ja merialtaiden vesiviljelytutkimuksessa. Mikroleväbioteknologian tutkimus sisältää teollisuuden kanssa teh- täviä sopimustutkimushankkeita, jotka jatkuvat myös tulevaisuudessa.

FINMARI jatkaa myös JERICO-RI:n kansainvälisten ICOS-kumppa- neiden kanssa tehtävää yhteistyötä, jossa tuetaan merellisen biodiver- siteetin ja hiilidioksidijärjestelmien seurantaan tarkoitettujen sensorien kehittämistä. Tavoitteena on myös edistää FINMARI-kumppaneiden kestävään merialueiden tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaan liittyvän osaamisen hyödyntämistä.

HYDRO-RI-Platform-hankkeen tulevat toimet kestävän kasvun sekä vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi liittyvät erityisesti hankkeessa kehitetyn infrastruktuurin hyödyntämiseen. Tavoitteena on luoda jokivesistöjen digitaalisia kaksosia Etelä-Suomesta Pohjois-Suo- meen ulottuville valuma-alueille. Digitalisaatiota ja automaattista datankäsittelyä kehitetään edelleen Freshwater Competence Centre -osaamiskeskuksen ja DIWA-lippulaivahankkeen kautta. Tämän pro- sessin myötä sensorijärjestelmien jatkuva päivitys sekä tiedonsiirron ja analytiikan kehittäminen mahdollistavat digitaalisen ja vihreän siir- tymän etenemisen kansallisella tasolla eri valuma-alueilla.

Freshwater Competence Centre on jo käynnistänyt laajan jou- kon uusia tutkimus- ja kehitystehtäviä. Keskuksen tuottamaa uutta valuma-alue- ja jokidataa hyödynnetään useissa tutkimus- ja kehitys- malleissa, tutkimusaloitteissa sekä olemassa olevissa operatiivisissa valuma-aluehallintajärjestelmissä. Näiden tavoitteena on parantaa nykyi- siä hydrologisia palveluita ja luoda uusia yhdessä sidosryhmien kanssa. Hankkeen tulevaisuuden päätavoitteena on saada infrastruktuurille tiekarttastatus ja päästä osaksi tai yhteistyökumppaniksi eurooppa- laisia makean veden ja rannikkoalueiden infrastruktuureja. HYDRO-RI jatkaa myös yhteiskunnallisten tarpeiden kartoitusta ja vuoropuhelua sidosryhmien kanssa, jotta digitaalisista kaksosista ja infrastruktuureista saatavat hyödyt voidaan kohdentaa mahdollisimman tehokkaasti pai- kallisille ja kansallisille toimijoille.

4.6.3 Yhteenveto

Sekä avainalojen tutkimushankkeet että kansalliset tutkimusinfrastruktuurihankkeet jatkavat toimintaansa aktiivisesti kestävän kasvun ja vihreän ja digitaalisen siirtymän edistämiseksi.

Kaikki avainalojen tutkimushankkeet ilmoittivat jatkavansa tutkimusta, usein samoissa tutkimusryhmissä. Suurin osa hankkeista on hakenut uutta rahoitusta ja käynnistänyt tai suunnittelee uutta tutkimus-, yritys- ja eurooppalaista yhteistyötä. Yhteistyö teollisuuden ja kansainvälisten tutkimusorganisaatioiden kanssa on tulevaisuudessakin keskeisessä roolissa.

Myös kaikki tutkimusinfrastruktuurihankkeet jatkavat toimintaansa. Infrastruktuureja hyödynnetään muun muassa kielimallien kehittämisessä, merellisten luonnonvarojen kestävässä käytössä ja jokivesistöjen digitaalisten kaksosten rakentamisessa. Hankkeet tukevat tutkimuksen jatkuvuutta, verkostoitumista ja yhteiskunnallista vaikuttavuutta sekä kansallisella että eurooppalaisella tasolla.

4.7 Hankkeiden seuranta ja arviointi

Kyselyssä pyydettiin kuvailemaan mahdollisia tai hankkeen käyttämiä indikaattoreita ja viitekehyksiä arvioitaessa hankkeen vaikutuksia TKI-ekosysteemeihin sekä työllisyyteen ja liiketoiminnan kehittämiseen.

Tässä luvussa on ensin kuvattu tutkimusinfrastruktuurihankkeiden vastauksia ja sen jälkeen avainalojen tutkimushankkeiden vastauksia. Viimeisessä osiossa on keskitytty pohtimaan mahdollisuuksia seurannan ja arvioinnin kehittämiseksi.

4.7.1 Hankkeiden seuranta ja arviointi

Kansallisista tutkimusinfrastruktuurihankkeista kaksi vastasi kysymykseen ja kumpikin kuvasi käytössä olevia seurannan indikaattoreita.

Tutkimusinfrastruktuureista toinen nosti keskeisinä indikaattoreina esiin ympäristön ja ekosysteemin tilaan liittyvät indikaattorit. Niiden avulla seurataan ekosysteemien toimintaa ja tunnistetaan merkittäviä

ihmisen toiminnan aiheuttamia vaikutuksia sekä ohjataan toiminnan kehittämistä eri sektoreiden välillä.

Toinen nosti esiin konkreettisia indikaattoreina käyttäjätalastot, verkostot, sosiaalisen median seuraajat sekä tutkimusinfrastruktuurin pohjalta syntyneiden uusien projektien määrän sekä yhteistyön. Nämä projektit ja yhteistyö korostavat tutkimusinfrastruktuurin roolia innovaation, tutkimuskapasiteetin ja liiketoiminnan kehittämisessä erityisesti teknologioiden osalta ja niiden kautta voidaan osoittaa infrastruktuurin aikaansaamia panoksia vihreän ja digitaalisen siirtymän sekä kestävän kasvun osalta.

Avainalojen tutkimushankkeista 14 vastasi kysymykseen. Yksi hankkeista kuvasi käytössä olevan kattavan suorituskykymittariston (Key Performance Indicator, KPI), jossa on kategorisoitu eri indikaattorit tiedon tuottamiseen, teknologian siirtoon, työvoiman kehittämiseen ja taloudellisiin vaikutuksiin sekä esitetty kunkin indikaattorin mittausmenetelmä.

Hankkeet mainitsivat muun muassa seuraavia indikaattoreita, jotka liittyvät tieteellisen tiedon tuottamiseen sekä tiedontuotannon prosessien ja laadun arviointiin:

- tieteellisen tiedon tuottaminen: vertaisarvioitujen julkaisujen, viittausten ja konferenssiesitysten lukumäärä
- yhteistyö- ja verkostot: monitieteisten ja kansainvälisten tutkimuskumppanuuksien lukumäärä, erilaisten sidosryhmätilaisuuksien luku- ja osallistujamäärät ja palaute
- teknologian kehitys: patenttien, avoimien tietoaisteistojen ja ohjelmistotyökalujen lukumäärä
- tutkimusinfrastruktuurin kehitys: uusien testialustojen, mittausmenetelmien ja tietokantojen lukumäärä
- uusien tutkimushankkeiden määrä ja niiden kansallinen/kansainvälinen ulottuvuus sekä menestyminen

Työllisyyteen ja osaamiseen liittyvinä indikaattoreina hankkeet nostivat esiin seuraavia määrällisesti seurattavia osa-alueita:

- syntyneet työpaikat: suoraan tai epäsuorasti syntyneet työpaikat liittyen TKI-toimintaan
- koulutusvaikutukset: valmistuneiden maisteri- ja tohtorintutkinnon suorittaneiden lukumäärä, järjestettyjen kurssien ja työpajojen lukumäärä, osallistujamäärät ja palaute
- liikkuvuus eri sektoreiden välillä: tutkijoiden siirtyminen yrityksiin ja teollisuuteen, harjoittelut ja osaamisenvaihto-ohjelmat

Liiketoiminnan kehittämisen osalta vastauksissa painotettiin seuraavia uusia liiketoiminta-aloitteita kuvaavia ja hankkeissa tuotettujen ratkaisujen sekä osaamisen hyödyntämistä painottavia indikaattoreita:

- startupit ja spin-offit: tutkimuksesta syntyneiden uusien yritysten määrä
- teollisuus- ja yritysyritys: uudet yhteistyöhankkeet ja lisensointisopimukset
- rahoitus ja investoinnit: houkutellun pääomasijoituksen määrä, tutkimusrahoitus ja yksityiset investoinnit, yritysten halukkuus rahoittaa jatkotutkimusta
- teknologiansiirto: suomalaisten ja EU-yritysten määrä, jotka käyttävät hankkeiden tuloksia/ratkaisuja/osaamista, TKI-hankkeiden määrä, joissa hyödynnetään hankkeiden tuloksia/ratkaisuja/osaamista

Politiikkavaikutusten osalta hankkeet nostivat esiin muun muassa seuraavia osa-alueita, joita voitaisiin seurata:

- politiikkamuutokset, jotka perustuvat tutkimustuloksiin
- politiikkamuutokset, jotka tukevat hankkeen tavoitteiden mukaista kehittämistä
- sääntelyyn liittyvät politiikkamuutokset, jotka mahdollistavat hankkeissa tutkitun tai kehitetyn menetelmän/ratkaisun hyödyntämisen TKI-toiminnassa
- tutkijaosaamisen hyödyntäminen yhteiskunnallisessa päätöksenteossa, kuten osallistuminen asiantuntijapaneelisiin ja yhteiskunnalliseen päätöksentekoon liittyviin keskusteluihin
- teknologiansiirto yhteiskunnallisen päätöksenteon prosesseihin

Hankkeiden vastauksissa mainitut viitekehykset voivat tarjota hyviä lähtökohtia systemaattiselle arvioinnille (ks. esimerkikilaatikko 2).

Esimerkkilaatikko 2. Vaikutusten seurannan ja arvioinnin viitekehyksiä.**1. OECD:n innovaatiomittarit**

OECD:n kehittämät mittarit tarjoavat kansainvälisesti vertailukelpoisen tavan arvioida tutkimus- ja kehitystoiminnan suorituskykyä, innovaatiotoimintaa ja teknologian leviämistä. Ne kattavat mm. T&K-menot, henkilöstöresurssit, patentit ja yhteistyöverkostot.

2. Triple Helix -malli

Malli tarkastelee yliopistojen, teollisuuden ja julkisen sektorin välistä vuorovaikutusta innovaatiotoiminnan moottorina. Se auttaa arvioimaan, kuinka hyvin eri toimijat tekevät yhteistyötä ja kuinka tämä yhteistyö tukee uuden tiedon ja ratkaisujen syntyä.

3. Technology Readiness Levels (TRL)

TRL-asteikko kuvaa teknologian kehitysvaihetta ideasta kaupalliseen sovellukseen. Se on erityisen hyödyllinen arvioitaessa valmiutta siirtyä käytäntöön ja markkinoille. Asteikko vaihtelee tasolta 1 (perustutkimus) tasolle 9 (täysin kaupallistettu teknologia).

4. HEInnovate-kehys

Euroopan komission ja OECD:n kehittämä itsearviointityökalu korkeakouluille. Se tukee yrittäjyyden ja innovaatiokyvyyden kehittämistä ja arviointia eri ulottuvuuksia kautta, kuten johtajuus, organisatorinen kapasiteetti, opetus ja oppiminen, digitaalinen muutos sekä ulkoiset verkostot ja vaikuttavuusalueet.

5. KPI-mittaristo (Key Performance Indicators)

KPI:t ovat keskeisiä suorituskykymittareita, joilla seurataan organisaation tai hankkeen edistymistä suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Ne voivat olla määrällisiä (esim. julkaisut, uudet työpaikat) tai laadullisia (esim. sidosryhmäpalaute, politiikka-vaikutukset).

4.7.2 Seurannan ja arvioinnin kehittämisen mahdollisuuksia

Hankkeiden näkemysten perusteella niiden vaikutusten seurantaan voitaisiin muodostaa monipuolinen indikaattoripooli, joka sisältää erilaisia määrällisiä ja laadullisia indikaattoreita ja joka kattaa erilaisia osa-alueita tutkimuksesta ja koulutuksesta yhteiskunnalliseen päätöksentekoon sekä osaamisen, teollisuuden ja liiketoiminnan kehittämiseen. Vain yksi vastanneista hankkeista seuraa toimintaansa kattavan seurannan ja arvioinnin suunnitelman mukaisesti.

Vaikutusten ja vaikuttavuuden seurannan haasteet ovat yleisesti jo hyvin tunnettuja ja ne nousevat esiin myös itsearviointikyselyn vasta-

uksissa. Hankkeiden vastauksissa esiintyy haasteina vaikutusten viive, todentamisen haastavuus ja tietojen saatavuus sekä laadullisten vaikutusten mittaamisen vaikeus (esimerkiksi hiljaisen tiedon syntyä tai politiikkavaikutuksia on vaikea mitata ilman erillistä seurantatutkimusta) ja yhtenäisten käytäntöjen puute (esimerkiksi indikaattorien ja viitekehysten käyttö vaihtelee hankkeittain, mikä vaikeuttaa vertailtavuutta ja kokonaiskuvan muodostamista).

Pidemmän aikavälin vaikutusten ja vaikuttavuuden seurannassa tulisi tarkastella vaikuttavuutta kokonaisuutena, jossa hankkeita ei tarkastella yksittäisinä ja irrallisina, vaan osana laajempaa tavoitteellista

järjestelmää ja kokonaisuutta, jossa hankkeet ja niiden puitteissa tehtävä sektoreiden välinen yhteistyö täydentävät ja vahvistavat toisiaan.

Pidemmän aikavälin seuranta vaatii myös jatkuvaa tiedonkeruuta, jossa voidaan hyödyntää esimerkiksi vuosittaisia kyselyitä, automaattista data-analytiikkaa ja sidosryhmäpalautetta. Toimijoiden välinen yhteistyö on kuitenkin onnistuneen tiedonkeruun näkökulmasta keskeinen tekijä. Yhteistyötä tarvitaan tutkimuksen, teollisuuden ja yritysten välille myös yhteisen toiminnan seurannan ja arvioinnin kehittämisen osalta. Sidosryhmäyhteistyötä tarvitaan toisin sanoen myös vaikutusten ja vaikuttavuuden arvioinnissa.

Arvioinnissa tarvitaan tietoa sidosryhmien toiminnassa tapahtuneista muutoksista. Tämä tarkoittaisi parhaimmillaan eri sektoreiden toimijoiden osallistamista arviointiin jo sen suunnitteluvaiheessa. Pitkäaikaiset yhteistyöverkostot voivat tarjota erinomaisia mahdollisuuksia

yhteiselle pitkäaikaiseurannalle ja arvioinnille ja tätä kautta mahdollisuuksille yhteistyön kehittämiseksi.

Pitkäaikaisen seurannan ja arvioinnin yhteistyön keinoin voidaan samalla todentaa konkreettisia ja innostavia tapausesimerkkejä, joita voidaan päivittää paitsi käynnissä olevien hankkeiden elinkaaren aikana myös niiden hankkeiden elinkaaren aikana, jotka syntyvät edellisistä.

Tällä tavalla toimittaessa voidaan luoda myös pitkäaikaiselle yhteistyölle ja verkostoille vaikuttavuusprofiileja, joissa kuvataan, millaisia vaikutuksia yhteistyöllä saadaan aikaan. Vaikuttavuusprofiilit olisivat hyödyllisiä muun muassa etenkin kansainvälistä rahoitusta haettaessa, rahoittajille ja sidosryhmille raportoitaessa, strategisessa toiminnan suunnittelussa ja resurssien kohdentamisessa, uusia kumppaneita houkuteltaessa ja vaikuttavuuden osoittamisessa ja viestinnässä.

4.7.3 Yhteenveto

Sekä avainalojen tutkimushankkeet että tutkimusinfrastruktuurihankkeet kuvasivat monipuolisesti mahdollisia indikaattoreita ja viitekehyksiä. Kolme vastanneista hankkeista kuvasi käytössä olevia seurannan indikaattoreita.

Hankkeiden esiin nostamissa indikaattoreissa painottuu tieteellisen tiedon tuotannon ja yhteistyön määrällinen seuranta ja arviointi. Myös liiketoiminta- ja politiikkavaikutusten seurantaan esitettiin mahdollisia indikaattoreita ja viitekehyksiä. Näiden osalta seuranta ja arviointi on yleisesti tutkimuksen arvioinnissa vasta kehittyvässä vaiheessa.

Hankkeiden näkemykset osoittavat, että vaikutusten seurantaan voitaisiin kehittää monipuolinen indikaattoripooli, joka kattaisi tutkimuksen, koulutuksen, päätöksenteon sekä osaamisen ja liiketoiminnan kehittämisen osa-alueet. Vaikutusten seurannan haasteina korostuvat vaikutusten viive, mittaamisen vaikeus, tiedon saatavuus ja yhtenäisten käytäntöjen puute.

Pitkäaikaisessa seurannassa korostuu tarve tarkastella hankkeita osana laajempaa kokonaisuutta ja hyödyntää jatkuvaa tiedonkeruuta. Onnistunut seuranta edellyttää tiivistä yhteistyötä eri toimijoiden välillä sekä sidosryhmien osallistamista arviointiin jo suunnitteluvaiheessa.

Pitkäaikaiset verkostot mahdollistavat yhteisen vaikuttavuuden seurannan ja konkreettisten esimerkkien esiin tuomisen. Näin voidaan rakentaa vaikuttavuusprofiileja, jotka tukevat strategista suunnittelua, resurssien kohdentamista ja viestintää esimerkiksi rahoittajille ja kansainvälisille kumppaneille.



5. Hankkeiden vaikuttavuuden edistämiseksi toteuttamat toimenpiteet, vaikutusmekanismit ja ennakoidut pidemmän aikavälin vaikutukset

Tässä luvussa tarkastellaan avainalojen tutkimushankkeiden ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden vaikuttavuuden edistämiseksi toteutettuja toimenpiteitä, vaikutusmekanismeja sekä ennakoituja pitkän aikavälin vaikutuksia. Aineistona on hyödynnetty hankkeiden kirjoittamia vaikuttavuuskertomuksia.

Aluksi esitellään hankkeiden toteuttamia konkreettisia toimenpiteitä, joilla on pyritty edistämään kestävä kasvua erityisesti teknologian, digitalisaation, ilmastomuutoksen hillinnän ja sopeutumisen, kiertotalouden sekä biodiversiteetin näkökulmista. Toimenpiteet kattavat muun muassa tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntämisen, infrastruktuurin kehittämisen, digitaalisten kaksosten ja mallinnusympäristöjen rakentamisen sekä sidosryhmäyhteistyön ja tiedon siirron.

Toisessa osassa syvennytään vaikutusmekanismeihin eli prosesseihin, joiden kautta tutkimuksen tuotokset – kuten menetelmät, teknologiat ja osaaminen – johtavat konkreettisiin yhteiskunnallisiin, ympäristöllisiin ja taloudellisiin vaikutuksiin. Esimerkkien avulla havainnollistetaan, miten tutkimustulokset otetaan käyttöön ja miten ne vaikuttavat esimerkiksi päätöksentekoon, elinkeinoelämään ja kansalaisten arkeen.

Luvun kolmannessa osassa tarkastellaan hankkeiden ennakoituja pitkän aikavälin vaikutuksia. Näitä ovat muun muassa vihreän ja digitaalisen siirtymän tukeminen, ilmastotavoitteiden ja kiertotalouden edistäminen, osaamisen ja infrastruktuurin vahvistaminen sekä uusien innovaatioiden ja markkinoiden synty. Useat hankkeet tukevat myös EU:n Green Dealia ja YK:n kestävä kehityksen tavoitteita. Luvussa tuodaan esiin, miten tutkimus voi synnyttää systeemisiä muutoksia yhteiskunnassa ja luoda perustaa laajavaikutteiselle ja pitkäjänteiselle vaikuttavuudelle.

5.1 Aineiston kuvaus

Osana RRF-raportointia kaikki konsortiohankkeet (n=19) toimittivat vähintään yhden vaikuttavuuskertomuksen. Hankkeita pyydettiin vaikuttavuuskertomuksessa käsittelemään kestävä kasvun edistämistä.

Kertomuksen tuli liittyä vähintään yhteen seuraavista kolmesta kestävä kasvun ulottuvuudesta:

1. Julkisen talouden kestävyys
2. Kestävä yhteiskunta
3. Kestävä hyvinvointi

Vain muutamassa vaikuttavuuskertomuksessa on selkeästi ilmaistu, mihin kestävä kasvun ulottuvuuteen kertomus liittyy. Kaikki kertomukset olivat kuitenkin liitettävissä vähintään yhteen kestävä kasvun ulottuvuuteen.

Suurin osa vaikuttavuuskertomuksista käsitteli kestävä kasvun edistämistä kestävä yhteiskunnan ulottuvuuden näkökulmasta. Tähän luettiin ympäristön kestävyttä käsitelleet vaikuttavuuskertomukset. Kolmen hankkeen vaikuttavuuskertomus käsitteli julkisen talouden kestävyttä ja kahden hankkeen kestävä hyvinvointia.

Lisäksi vaikuttavuuskertomuksessa tuli arvioida hankkeen vaikuttavuustavoitteiden saavuttamista, tunnistaa vaikutusmekanismeja sekä ennakoida vaikuttavuutta tulevaisuudessa tutkittuun tietoon perustuen.

Vaikututtavuuskertomuksesta annettiin erillinen ohje vuonna 2023 päättyneille hankkeille syksyllä 2023. Ohjetta päivitettiin vuonna 2024 päättyneiden hankkeiden osalta syksyllä 2024. Ohjeen mukaan vaikuttavuuskertomuksen rakenne on vapaamuotoinen, mutta sen sisällössä tuli nostaa esiin seuraavat asiat: 1) vaikuttavuustavoitteet, 2) toimenpiteet, 3) onnistumiset ja haasteet, 4) vaikutusmekanismit, 5) keskipitkän ja pitkän aikavälin vaikuttavuus ja systeemisyys, 6) EU-tason vaikutukset ja 7) seuranta ja arviointi. Koska vaikuttavuuskertomusten rakenne oli vapaamuotoinen, on niiden rakenteissa eroa. Kertomukset ovat myös sisällöllisesti vaihtelevia.

Kaikki 19 konsortiohanketta toimittivat ainakin yhden vaikuttavuuskertomuksen. Kaksi hanketta toimitti useampia kertomuksia. Kaikki 23 vaikuttavuuskertomusta on sisällytetty raportin tarkasteluun. Näistä 6 on kansallisten tutkimusinfrastruktuurihankkeiden ja 17 vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeiden kertomusta.

Osa tutkijoista on aiempien hankkeiden kautta kokeneempia vaikuttavuuskertomustan kirjoittajia. Kertomusten laatimista pyrittiin tukemaan koulutuksella: vaikuttavuuskertomuksen kirjoittamisesta järjestettiin kaksiosainen koulutus syksyllä 2024. Koulutuksen ensimmäisessä osassa käsiteltiin vaikuttavuuden viestimistä kertomuksen avulla ja koulutuksessa oli noin 60 osallistujaa. Toisessa osassa työstettiin vaikuttavuuskertomusten luonnoksia ja koulutuksessa oli noin 30 osallistujaa. Kouluttajina toimivat ulkopuoliset tutkijat ja asiantuntijat Tampereen yliopistosta.

Vaikuttavuuden hahmottamisessa ja sen sanoittamisessa kertomuksen muotoon on eroja hankkeiden välillä. Joissakin kertomuksissa keskityttiin kuvailemaan hankkeessa tehtyä tutkimusta ja vaikuttavuutta käsiteltiin pohtien sitä, kuka tutkimuksen tuloksia voisi hyödyntää ja miten, mutta ei esitetty hankkeen tekemiä toimenpiteitä hyödyntämisen edistämiseksi. Joissakin kertomuksissa kuvattiin laajasti hankkeen sidosryhmäverkostoja ja miten tutkimustiedosta on viestitty eri sidosryhmille. Aineiston moninainen laatu vaikuttaa tehtyyn tarkasteluun. Tarkastelussa on tästä syystä keskitytty ensisijaisesti kuvaamaan esimerkkien kautta tarkasteltuja osa-alueita.

5.2 Vaikuttavuuden edistämiseksi tehdyt toimenpiteet

Vaikutuskeinoja voidaan tarkastella tutkijoiden tai hankkeiden valintojen ja tehtyjen toimenpiteiden avulla. Toimenpiteissä on kyse konkreettisista toimista, joilla pyritään saavuttamaan tavoiteltu vaikutus. Vaikuttavuuskertomuksiin pyydettiin sisällyttämään toimenpiteitä, joita hankkeessa on tehty valitun kestävän kasvun ulottuvuuden edistämiseksi.

Suurin osa hankkeista kuvasi vaikuttavuuskertomuksissaan teknologiseen ja digitaaliseen kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä. Toimenpiteillä on tavoiteltu tutkimuksen, päätöksenteon, ympäristöhallinnan ja yhteiskunnallisten palveluiden tukemista teknologian ja digitalisaation keinoin ja ne ovat keskittyneet teknologian, digitaalisten ratkaisujen ja mallinnusympäristöjen kehittämiseen. Kehitystyön avulla on tavoiteltu tutkimuksen, automaation ja tietopohjaisen päätöksenteon

edistämistä sekä infrastruktuurin kehittämistä. Teknologiseen ja digitaalisen kehittämiseen liittyvät toimenpiteet voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

- Tekoälyn ja koneoppimisen hyödyntäminen. Tavoitteena mm. edistää älykkäitä järjestelmiä, datan analysointia ja tukea päätöksentekoa.
- Infrastruktuurin kehittäminen. Tavoitteena mm. edistää fyysisten ja digitaalisten tutkimusympäristöjen rakentamista ja parantamista.
- Digitaaliset kaksoiset ja mallinnusympäristöt. Tavoitteena mm. edistää virtuaalisia simulaatioita ja ympäristöjä, jotka jäljittelevät todellisuutta.
- Mallien ja simulaatioiden kehittäminen. Tavoitteena mm. edistää matemaattisia ja laskennallisia malleja, skenaarioita ja ennusteita.
- Autonomiset järjestelmät ja dronit. Tavoitteena mm. edistää ja hyödyntää robotiikkaa, automaatiota ja itsenäisesti toimivia järjestelmiä.

Kahdeksan hanketta kuvasi ilmastonmuutokseen hillintään ja sopeutumiseen liittyviä toimenpiteitä. Neljä hanketta kuvasi materiaalitutkimukseen ja kiertotalouteen liittyviä toimenpiteitä ja viisi hanketta biodiversiteetin ja ekosysteemien suojeluun liittyviä toimenpiteitä. Yksi hankkeista kuvasi lisäksi kieliteknologiaan ja kulttuuriperintöön liittyviä toimenpiteitä. Kahden tutkimusinfrastruktuurihankkeen toimenpiteissä nousivat esiin myös visualisointi, käyttöliittymät ja saavutettavuus.

Hankkeet ovat tunnistaneet hyvin ne sidosryhmät, jotka voivat hyötyä hankkeen tuloksista ja tuotoksista. Vaikuttavuuskertomuksissa varsinaisia tiedon ja tuotosten käyttöönottoon ja teknologiansiirtoon liittyviä toimenpiteitä on kuvattu vaihtelevasti. Tieteellinen julkaiseminen ja avoin tiedon jakaminen ovat perinteisesti olleet keskeisiä keinoja tutkimuksen tieteellisen vaikuttavuuden edistämiseksi. Hankkeissa on tehty myös laajaa sidosryhmäyhteistyötä ja mukaan on sitoutettu myös tiedonhyödyntäjiä. Useimmissa hankkeissa on tehty elinkeinoelämään

liittyvää yhteistyötä teollisuuden ja yritysten kanssa, jotka kuvataan usein tiedonhyödyntäjinä.

Sidosryhmäyhteistyöhön liittyvät toimenpiteet ovat pitäneet sisälleen koulutusten ja oppimateriaalien kehittämistä, verkostoitumista, tilaisuuksien järjestämistä ja viestintää sekä yhteistyötä yritysten ja vuorovaikutusta julkishallinnon viranomaisten kanssa. Osa on tavoit-

tellut ensisijaisesti tieteellisiä vaikutuksia tutkimusyhteistyön kautta. Osa on itse osallistunut kehittämishankkeeseen (esim. kansalaistieteen kehittämishanke). Joissakin hankkeissa myös seurataan toimenpiteiden vaikutuksia tunnuslukujen avulla.

Esimerkkilaatikossa 3 on kuvattu hankkeiden tuotoksia, joita voidaan hyödyntää yhteiskunnan eri sektoreilla.

Esimerkkilaatikko 3. Hankkeiden vaikuttavuuskertomuksissa kuvaamia tuotoksia, joita voidaan hyödyntää yhteiskunnan eri sektoreilla.

Hyödynnettäviä menetelmiä ja työkaluja

- Maasto- ja metsäpalojen hallintaa ja reagointia tukeva järjestelmä (FireMan)
- Menetelmä liikenteen hiilidioksidipäästöjen arviointiin (AlforLessAuto)
- Simulaattori, jolla metsänhallinnan ja ilmastomuutoksen vaikutuksia voi ennakoida (ei vielä avoimesti saatavissa). (ForClimate)
- Menetelmä, jolla voidaan havainnoida ja ennakoida pohjoisia olosuhteita ja teiden kuntoa, ja jonka avulla voidaan helpottaa teiden kunnossapitoa ja saadaan kustannussäästöjä. (ADAPTINFA)
- Merenpohjan tutkimustyö ja menetelmien kehitys, jonka avulla merenpohjaan tehtäviä rakenteita (esim. merituulivoima ja merikaapelit) voidaan suunnitella paremmin (GEOMEASURE)

Hyödynnettävää tutkimustietoa

- Kaikille avoin verkkokurssi metsistä ja ilmastomuutoksesta (ForClimate)
- Jääolosuhteiden ja pohjoisen Itämeren olosuhteiden parempi tuntemus, joka hyödyttää esimerkiksi merituulivoiman suunnittelua ja rakentamista (WindySea)
- Uutta ymmärrystä metsäteollisuuden jätteenä syntyvän tuohen hyödyntämiseen tekstiili- ja pakkausmateriaaleissa pinnoitteena (ENZYFUNC)

Hyödynnettäviä tutkimusinfrastruktuureja

- Laitteistoja ja laboratorioita, joiden avulla voidaan havainnoida mereen liittyviä ilmiöitä. Yhteiskäyttömahdollisuuksia tutkijoille ja yrityksille. (FINMARI)
- Mittalaitteita, aineistoja ja digitaalisia kaksosia, joilla voidaan havainnoida vesiä ja valuma-alueita Suomessa (Green-Digi-Basin ja HYDRO-RI-Platform)
- Supertietokoneen ja suurteholaskennan palveluita tutkijoille (PRACE/EuroHPC)
- Kielentutkimuksen infrastruktuuri, johon on lisätty puhutun suomen kielen arkipuheen tunnistaminen, mahdollisuuksia rakenteettoman tekstin käsittelyyn ja mahdollisuuksia metatietoihin perustuvaa tutkimuksen tukemiseen. (FIN-CLARIAH)

5.3 Vaikutusmekanismit

Vaikutusmekanismi tarkoittaa prosessia, jonka kautta tutkimus ja sen tulokset saavat aikaan muutoksia esimerkiksi yhteiskunnassa, ympäristössä tai taloudessa. Vaikutusmekanismien avulla voidaan kuvata, miten tutkimuksen tuotokset (kuten uusi tieto, kehitetty menetelmä, teknologia, työkalu tai muu ratkaisu ja osaaminen) johtavat konkreettisiin vaikutuksiin. Vaikutusmekanismeissa on kyse siitä, mitä tapahtuu tai tulisi tapahtua, jotta tavoiteltu vaikutus toteutuu.

Edellä on tarkasteltu hankkeiden vaikuttavuuskertomuksissa kuvattuja toimenpiteitä, jotka ovat tutkijoiden ja hankkeiden tekemiä ja heidän tietoisia valintojaan. Vaikutusmekanismeissa on kyse myös muiden tekemistä valinnoista ja toimenpiteistä. Vaikutusmekanismeja kuvataan monivaiheisina ja niitä voidaan luokitella eri tavoin.

Kertomuksissa on tyypillisesti kuvattu tutkimukseen ja tutkimusnäyttöön perustuvien menetelmien ja aineistojen hyödyntämiseen

liittyviä vaikutusmekanismeja. Tutkimuksen tuotosten hyödyntämistä kuvattiin tapahtuvan tyypillisesti yhteiskunnallisessa päätöksenteossa ja elinkeinoelämän osalta teollisuudessa ja yrityksessä. Osaamisen kehittämiseen liittyvinä mekanismeina mainittiin uuden tutkijasukupolven kasvattaminen ja koulutus, joka on kaikille avointa, sekä eri sektoreiden tutkimuksen hyödyntäjien ja kumppaneiden kanssa tehtävä yhteistyö ja teknologiansiirto. Jälkimmäisten osaaminen lisääntyy, kun ne toimivat yhteistyössä tutkimushankkeiden kanssa ja kun tutkimuksessa kehitettyjä menetelmiä ja työkaluja otetaan käyttöön sidosryhmien toiminnassa.

Seuraavaksi on kuvattu hankkeiden vaikutusmekanismeja esimerkkien avulla. Kaikki esimerkit ovat yksinkertaistettuja eivätkä ne anna tarkkaa kuvaa vaikutusten syntyminen vuorovaikutteisuudesta ja epälineaarisuudesta. Esimerkkien avulla on pyritty havainnollistamaan, miten tutkimuksen tuotokset synnyttävät muutoksia ja vaikuttavat yhteiskuntaan, ympäristöön, talouteen tai muihin sektoreihin.



Laajamittainen käyttöönotto ja pidemmän aikavälin vaikutukset ja vaikuttavuus vaativat usein käyttöönottoon ja myös sääntelyyn liittyviä toimia hankkeen päättymisen jälkeen. Toimia tarvitaan siis tutkimus-yhteisön sijaan esimerkiksi lainsäätäjältä ja julkisen hallinnon sekä elinkeinoelämän toimijoilta.

Vaikutusten taustalla oleva toimintaperiaate pohjautuu kaikissa esimerkeissä hankkeessa tuotettuun tutkimusnäyttöön. Tutkimusnäyttö perustuu hankkeissa tehtyihin mittauksiin, mallinnuksiin, kokeisiin, pilotteihin ja demonstraatioihin, joita on tehty myös käytännön olo-suhteissa.

Esimerkkilaatikko 4. FireMan-hankkeen tutkimuksen tulosten ja ratkaisujen vaikutusten eteneminen vaiheittain.

FireMan-hankkeen tutkimus johti konkreettisiin vaikutuksiin erilaisten vaiheiden kautta. Laajamittainen käyttöönotto ja pidemmän aikavälin vaikutukset ja vaikuttavuus vaativat käyttöönottoon ja sääntelyyn liittyviä toimia hankkeen päättymisen jälkeen.

1. Tutkimustoiminta ja tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli kehittää autonomisia droonijärjestelmiä metsäpalojen hallintaan. Hankkeessa tutkittiin tekoälypohjaista ympäristön mallinnusta ja kehitettiin tekoälyllä ohjattuja miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä (UAS), jotka mahdollistavat skaalautuvan ja kustannustehokkaan ympäristön tilannekuvan muodostamisen reaaliajassa.

2. Tutkimuksen tulokset ja uudet ratkaisut

Tutkimuksen tuloksena kehitetty tekoälypohjainen UAS-järjestelmä tarjoaa jatkuvaa seurantaan kriisialueella, mikä parantaa tilannetietoisuutta pelastustoimien aikana. Reaaliaikainen data mahdollistaa metsäpalojen nopean havaitsemisen ja varhaisen puuttumisen, mikä voi estää palojen leviämistä laajalle.

3. Tiedon siirto ja teknologian testaaminen käytännössä

Tutkimuksen tulokset julkaistiin, niitä esiteltiin viranomaisille ja teknologiaa testattiin pelastuslaitosten kanssa.

4. Testattu ja havaittu vaikutus

Parantunut tilannekuva ja nopeampi reagointi metsäpaloihin. AI-mallit ja autonomiset järjestelmät mahdollistavat resurssien optimaalisen käytön ja sammutustoimien suunnittelun, mikä vähentää kustannuksia ja parantaa tehokkuutta.

5. Käyttöönottoon liittyvä vaikuttavuuspotentialiaali

Kehitetty ratkaisu mahdollistaa tietoon perustuvan päätöksenteon, kun reaaliaikainen ilmakehäkuva yhdistetään paikkatietoaineistoihin ja ennustemalleihin. Tämä tukee tarkempaa ja tehokkaampaa päätöksentekoa.

6. Vaikuttavuuspotentialin realisoituminen vaatii toimia päättäjiltä ja teollisuuskumppaneilta

Teknologian laajamittainen käyttöönotto edellyttää sääntelyn yhteensovittamista ja teollisia kumppanuuksia, jotka tukevat skaalautuvuutta ja pitkäaikaista vaikuttavuutta.

7. Vaikutukset ja vaikuttavuus pidemmällä aikavälillä

Pitkällä aikavälillä kehitetyt teknologiat voivat muuttaa katastrofien hallinnan toimintatapaa mahdollistamalla skaalautuvan, tekoälypohjaisen ja ennakoivan reagoinnin luonnonkatastrofeihin.

5.4 Hankkeiden vaikutukset vihreään ja digitaaliseen siirtymään

Vaikuttavuuskertomuksissa hankkeet ovat kuvanneet, miten ne ovat lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä edistäneet kestävästä kasvusta tuotannossa uutta tutkimustietoa, menetelmiä, työkaluja ja aineistoja ja miten näitä on viety aktiivisesti eri toimijoiden tietoon ja käyttöön. Hankkeiden vaikuttavuuskertomuksissa on niiden kestävästä kasvun ulottuvuuden mukaisesti kuvattu tyypillisimmin tieteellisiä ja ympäristöllisiä vaikutuksia. Joissakin hankkeiden kertomuksissa on kuvattu myös taloudellisia vaikutuksia ja hyvinvointiin liittyviä vaikutuksia.

Erityisesti tekoölyn ja digitalisaatioon keskittyneet hankkeet ovat lisänneet tutkimuksen tehokkuutta ja tiedon saavutettavuutta ja kehittäneet ratkaisuja, jotka tukevat varautumista, seurantaa ja tietopohjaista päätöksentekoa julkisessa hallinnossa ja elinkeinoelämässä. Hankkeiden tuotokset tukevat vihreää ja digitaalista siirtymää sekä ennakoit-

tia ja yhteiskunnan resilienssiä eri sektoreilla aina vesienhallinnasta metsätalouteen, materiaalikehityksestä liikenteeseen ja katastrofien hallintaan. Hankkeiden vaikutukset kohdistuvat ensisijaisesti seuraaville osa-alueille:

- Tekoöly ja digitalisaatio
- Vesi ja ilmastomuutokseen sopeutuminen
- Metsätalous ja luonnon monimuotoisuus
- Materiaalit ja kiertotalous
- Energia ja varastointi
- Liikenne ja päästövähennykset
- Katastrofien hallinta ja turvallisuus
- Arktiset olosuhteet

Esimerkkilaatikossa 5 on kuvattu tarkemmin eri hankkeiden vaikutuksia näillä eri osa-alueilla.

Esimerkkilaatikko 5. Hankkeiden vaikutukset eri osa-alueilla.

Tekoöly ja digitalisaatio

Useat hankkeet ovat kehittäneet tekoöly- ja digitalisaatiopohjaisia ratkaisuja. Esimerkiksi Alcon-hankkeessa kehitettiin tekoölyohjattuja katalyyttejä hiilidioksidin hyödyntämiseen metanolin tuotannossa. Tavoitteena on edistää vihreää siirtymää ja kiertotaloutta.

EuroHPC/PRACE Finland -hankkeessa laajennettiin superlaskennan käyttöä ja saavutettavuutta kehittämällä käyttäjäystävällisiä käyttöliittymiä ja tekoölyinfrastruktuuria. Tekoölyn ja superlaskennan saavutettavuuden paraneminen voi laajentaa käyttöönottoa ja madaltaa kynnystä

hyödyntää superlaskentaa eri tieteenoaloilla. Tämä tukee uusien tutkimusmenetelmien käyttöönottoa ja mahdollistaa laajamittaisen datan analysoinnin esimerkiksi lääketieteessä, ilmastotutkimuksessa ja materiaalitutkimuksessa.

FIN-CLARIAH-hanke puolestaan mahdollisti kieliteknologian ja suurten aineistojen hyödyntämisen yhteiskunta- ja humanististen tieteiden tutkimuksessa. Kieliteknologian ja suurten aineistojen hyödyntäminen tutkimuksessa tukee yhteiskunta- ja humanististen tieteiden digitalisaatiota ja avaa uusia mahdollisuuksia esimerkiksi kielimallien kehittämiseen, kulttuuriperinnön tutkimukseen ja politiikkatoimien arviointiin.

Vesi ja ilmastomuutokseen sopeutuminen

Useat hankkeet ovat kehittäneet muun muassa digitaalisia kaksosia, mobiililaboratorioita ja tekoölypohjaisia ennustemalleja, jotka tukevat esimerkiksi vesistöjen tilan seurantaa, tulvariskien hallintaa ja infrastruktuurin resilienssiä. Näiden ratkaisujen avulla voidaan tuottaa skenaarioita päätöksenteon tueksi, parantaa varautumista ääri-ilmiöihin ja edistää vihreää siirtymää.

HYDRO-RI Platform -hankkeessa rakennettiin kansallinen vesitutkimusinfrastruktuuri, joka mahdollistaa paremman vedenlaadun seurannan ja tukee merianalytiikkaa sekä skenaarioiden mallintamista

»

päätöksenteon tueksi. Green Digi Basin-hankkeessa kehitettiin digitaalisia kaksosia pohjoisista valuma-alueista ja työkaluja jokien jääpeitteen arviointiin ja skenaarioiden tuottamiseen ilmastomuutoksen vaikutusten ennakkointiin. HYDRO-RI Platformin ja Green-Digi-Basinin kehittämät digitaaliset kaksoiset ja vedenlaadun jatkuva seuranta mahdollistavat entistä tarkemmat ja ajantasaiset skenaariot vesistöjen tilasta ja ilmastoriskien vaikutuksista. Tämä tukee tietopohjaista päätöksentekoa esimerkiksi tulvariskien hallinnassa ja vesivarojen käytössä.

Dreen-Digi-Basin-hankkeen Soil-Scouts-yhteistyössä kehitettiin uusia langattomia antureita, joilla voidaan seurata maaperän kosteutta, lämpötilaa ja liikettä jokirantojen eroosion hallinnassa. Soil-Scoutsin kehittämät langattomat anturit tukevat riskienhallintaa erityisesti kylmissä olosuhteissa ja mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan maaperän muutoksista, mikä parantaa kykyä reagoida eroosioon ja muihin ympäristöriskeihin erityisesti kylmissä ja syrjäisissä olosuhteissa.

ADAPTINFA-hankkeessa tutkittiin pakkasjärjestyksiä ja kehitettiin tekoälypohjainen ennustemalli, joka yhdistää sää- ja maaperädataa ennakoivan kunnossapidon tueksi. Tavoitteena on parantaa infrastruktuurin kestävyyttä ja vähentää korjauskustannuksia arktisilla alueilla. ADAPTINFA-hankkeen tekoälypohjainen ennustemalli mahdollistaa pakkasjärjestyksen ja routavaurioiden ennakkoinnin, mikä tukee ennakoivaa kunnossapitoa ja vähentää infrastruktuurin korjauskustannuksia.

Metsätalous ja luonnon monimuotoisuus

Useat hankkeet ovat kehittäneet työkaluja metsien hiilinielujen arviointiin, biodiversiteetin seurantaan ja metsänhoidon ilmastovaikutusten mallintamiseen. Ratkaisujen avulla voidaan edistää tiedolla johtamista, tietopohjaista yhteiskunnallista päätöksentekoa kansallisella ja alueellisella tasolla sekä arvioida politiikkatoimien vaikuttavuutta, kuten metsien käytön ja suojelun tasapainottamista ja ilmasto- ja biodiversiteettitavoitteiden yhteensovittamista.

ForClimate-hankkeessa kehitettiin uusi metsänkasvun simulointityökalu MottiC+, joka yhdistää perinteisen kasvumallinnuksen (Motti) ja prosessipohjaisen ilmastomallin (PREBAS). Tämä mahdollistaa ilmastomuutoksen ja metsänhoidon yhteisvaikutusten arvioinnin skenaariopohjaisesti. Työkalu on yhteensopiva kansallisten metsäinventointien kanssa ja tukee ilmastoviisasta metsänhoidon suunnittelua ja metsänomistajien päätöksentekoa sekä kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista.

C-NEUT-Hanke tuotti yksityiskohtaisia paikkatietopohjaisia arvioita kasvihuonekaasupäästöistä ja -nieluista eri maakunnissa. Se kehitti menetelmiä, joilla voidaan arvioida metsien ja muiden maankäyttömuotojen vaikutuksia hiilineutraalustavoitteisiin. Tulokset tukevat alueellista ilmastopolitiikkaa ja metsänhoidon suunnittelua sekä tarjoavat työkaluja biodiversiteetin ja hiilinielujen yhteisvaikutusten arviointiin.

ARTISDIG-hankkeessa kehitettiin menetelmiä metsien rakenteellisen monimuotoisuuden ja yksittäisten puiden tunnistamiseen hyperspektrikuvan-

tamisen ja koneoppimisen avulla. Tulokset tukevat metsien digitaalisten kaksosten kehittämistä ja mahdollistavat tarkemman biodiversiteetin seurannan sekä puukohtaisen tiedon hyödyntämisen metsänhoidossa ja puun jäljitettävyydessä.

Diversity4Forests-hankkeessa kehitettiin laserkeilaukseen perustuvia menetelmiä yksittäisten puiden tunnistamiseen ja puukohtaisten ominaisuuksien mittaamiseen. Esimerkiksi puiden oksakohtien perusteella tapahtuva tunnistus mahdollistaa puun jäljitettävyyden metsästä tehtaalle. Lisäksi kehitettiin menetelmiä metsän rakenteellisen monimuotoisuuden arviointiin, mikä tukee kestävää metsänhoitoa ja biodiversiteetin suojelua.

Materiaalit ja kiertotalous

Useampi hanke on edistänyt biohajoavien materiaalien kehitystä yhdistämällä koneoppimista, entsyymiteknologiaa ja sivuvirtojen hyödyntämistä. Näiden hankkeiden tulokset tukevat kiertotaloutta, vähentävät riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista ja tarjoavat turvallisia vaihtoehtoja PFAS-yhdisteille. Samalla ne avaavat uusia liiketoimintamahdollisuuksia metsä- ja kemianteollisuudelle sekä vahvistavat Suomen asemaa bio- ja materiaaliteknologian edelläkävijänä.

MIMIC-hankkeessa kehitettiin atomitasen mikroskopian ja koneoppimisen yhdistävä menetelmä lignoselluloosapohjaisten materiaalien rakenteen tarkkaan karakterisointiin. Tämä mahdollistaa biohajoavien materiaalien suunnittelun molekyyllitasolla ja edistää fossiilipohjaisten materiaalien korvaamista uusiutuvilla vaihtoehdoilla.

ENZYFUNC-hankkeessa kehitettiin entsyymipohjaisia pinnoitteita, jotka hyödyntävät esimerkiksi ligniiniä ja koivunkuoren sivuvirtoja. Tuloksena syntyi vettä ja likaa hylkiviä, hengittäviä ja kierrätettäviä pinnoitteita tekstiileihin ja kuitupohjaisiin pakkauksiin. Lisäksi kehitettiin digitaalisia mallinustyökaluja, joilla voidaan ennustaa pinnoitteiden ominaisuuksia ja nopeuttaa materiaalien suunnittelua.

Energia ja varastointi

FlowXAI-hankkeessa kehitettiin tekoälyyn perustuvia menetelmiä virtausakkujen materiaalien seulontaan ja synteysiin. Hankkeessa yhdistettiin kvanttikemiallinen laskenta, koneoppiminen ja automatisoitu synteysi, mikä mahdollisti tuhansien molekyylien esiseulonnan ennen laboratoriotestausta. Hanke kehitti myös uuden korkean suorituskyvyn AZON-materiaaliperheen, joka täyttää virtausakkujen suorituskykyvaatimukset ja josta on tehty keksintöilmoitus. Lisäksi rakennettiin automatisoitu synteisialusta ja kehitettiin menetelmiä materiaalien sähkökemiallisen suorituskyvyn arviointiin.

Hankkeen tuotokset nopeuttavat uusien energian varastointiratkaisujen kehittämistä ja tukevat uusiutuvan energian laajamittaista käyttöönottoa erityisesti sähköverkon tasapainottamisessa.

Liikenne ja päästövähennykset

AlforLessAuto-hankkeessa (UHASSA-konsortio) kehitettiin tekoälypohjaisia optimointimalleja, jotka tukevat kaupunkiliikenteen päästöjen vähentämistä. Hankkeessa luotiin monitasoisia mallinutusmenetelmiä, jotka arvioivat CO₂-päästöjä eri liikenneskenaarioissa ja yhdistävät yksittäisten ajoneuvojen, kaupunkitason liikennejärjestelyjen ja sähköajoneuvojen latausinfrastruktuurin optimointia. Kehitetyt menetelmät mahdollistavat esimerkiksi 3 % CO₂ päästövähennyksen ruuhka-aikana 100 % autonomisten ajoneuvojen käyttöasteella ilman erillistä liikenteen optimointia.

Lisäksi hankkeessa tuotettiin helppokäyttöinen taulukko, jonka avulla voidaan arvioida liikenteen päästöjä eri kaupungeissa Local Climate Zone -viitekehyksen avulla. Tekoälymallit tukevat älyliikenteen kehitystä ja voivat pitkällä aikavälillä edistää EU:n ilmastotavoitteita, kuten 55 % päästövähennystä vuoteen 2030 mennessä.

Katastrofien hallinta ja turvallisuus

FireMan-hanke kehitti autonomisia droonijärjestelmiä ja tekoälymalleja metsäpalojen hallintaan. Hankkeessa luotiin digitaalinen kaksonen metsäpalotilanteista yhdistämällä reaaliaikainen droonihavaintodata, paikkatietoaineistot ja ennustemallit, mikä mahdollistaa nopeamman ja tarkemman päätöksenteon sammutustilanteissa.

Kehitetyt UAS-järjestelmät (Unmanned Aerial Systems) pystyvät toimimaan GNSS-signaalitoimissa ympäristöissä ja koordinoimaan toimintaansa autonomisesti, mikä parantaa operatiivista tehokkuutta ja turvallisuutta erityisesti vaikeapää-

sisillä alueilla. Pitkällä aikavälillä teknologiat voivat muuttaa katastrofien hallinnan toimintatapaa mahdollistamalla skaalautuvan, tekoälypohjaisen ja ennakoivan reagoinnin luonnonkatastrofeihin.

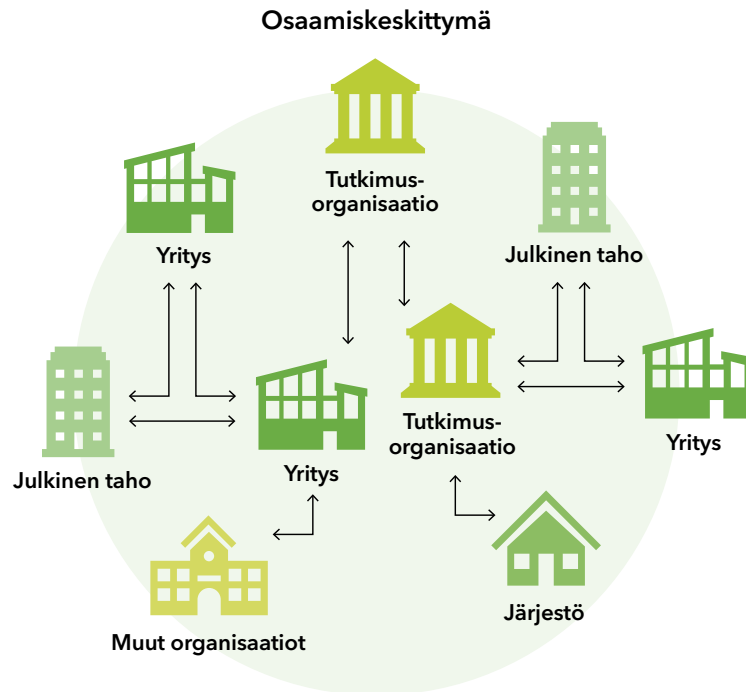
Arktiset olosuhteet

Useat hankkeet ovat kehittäneet ratkaisuja, jotka tukevat kestävästä kehitystä ja resilienssiä arktisilla ja pohjoisilla alueilla. Hankkeet osoittavat, miten tutkimus ja teknologia voivat yhdessä vastata arktisten alueiden erityishaasteisiin ja tukea vihreää siirtymää sekä ilmastomuutokseen sopeutumista.

WindySea-hankkeessa kehitettiin mallinnusmenetelmiä ja pienoismallikokeita jään vaikutusten arvioimiseksi merituulivoimaloihin. Tulokset tukevat suunnittelustandardien kehittämistä ja merituulistrategian toteuttamista erityisesti Itämeren alueella. Green-Digi-Basin- ja HYDRO-RI-Platform-hankkeissa kerättiin tietoa pohjoisista suoalueista, ja Green-Digi-Basinissa kehitettiin lisäksi työkalu jokien jääpeitteen arviointiin. ARTISDIG-hankkeessa luotiin digitaalinen kaksonen pohjoisista metsistä, mikä mahdollistaa ilmastovaikutusten ja biodiversiteetin mallintamisen arktisissa ekosysteemeissä. ADAPTINFA-hanke tutki pakkasjärjestyksien vaikutuksia teihin ja kehitti uusia työkaluja teiden kunnossapitoon pohjoisilla alueilla, parantaen infrastruktuurin kestävyttä ääriolosuhteissa.

5.5 Vaikutukset yhteistyöhön, osaamiskeskittymiin ja osaamiseen

EU:n elpymis- ja palautumistukivälinärahoitus kohdennettiin tutkimukseen, joka edistää hiilineutraalisuuteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen liittyviä ratkaisuja sekä niihin liittyviä digitaalisia teknologioita. Tavoitteena on ollut aihepiiriin olemassa olevien osaamiskeskittymien (esimerkiksi tutkimuksen lippulaivojen) vahvistuminen ja osaamisen kasvattaminen myös niiden ulkopuolella. Osaamiskeskittymässä yhdistyvät vahva tutkimusosaaminen ja tutkimuksesta kumpuava vaikuttavuus sekä yhteistyö tutkimustulosten hyödyntäjien ja muiden toimijoiden kanssa (ks. Kuvio 27).



Kuvio 27. Osaamiskeskittymä¹⁰.

¹⁰ Osaamiskeskittymät – Suomen Akatemia

Hankkeet ovat jo niiden keston aikana vahvistaneet eri TKI-toimijoiden välistä yhteistyötä. Ne ovat rakentuneet monitieteisille ja monitoimijaisille konsortioille, joissa on osapuolina etenkin yliopistoja, tutkimuslaitoksia, yrityksiä ja viranomaisia. Joissakin hankkeissa on tehty myös yhteiskehittämistä. Yhteistyö vahvistaa osaamis pohjaa ja osaamisen siirtoa ja tukee uusien vihreää ja digitaalista siirtymää sekä kestävän kasvua edistävien innovaatioiden syntymistä.

Hankkeissa on tehty erityisesti yritys- ja teollisuusyhteistyötä, mikä edistää osaamisen siirtoa käytäntöön. Esimerkiksi ENZYFUNC-hankkeessa kehitettiin entsyymipohjaisia pinnoitteita ja arvioitiin niiden turvallisuutta ja toimivuutta. Tulokset tukevat uusien biopohjaisten materiaalien kehittämistä ja tarjoavat osaamista, jota voidaan hyödyntää muun muassa tekstiili- ja pakkausteollisuudessa. Green-Digi-Basin-hankkeen Soil-Scouts-yhteistyössä kehitettiin uusia langattomia antureita, joita testattiin tutkimuskäytössä ja joiden avulla yritys sai arvokasta palautetta tuotteidensa kehittämiseen. Esimerkkilaaatikossa 6 on kuvattu tätä yhteistyötä, joka loi pohjan uusille kaupallisille sovelluksille ja osaamisen siirrolle tutkimuksesta liiketoimintaan.

Hankkeiden toiminnassa on myös syvennetty ja laajennettu pysyviä verkostoja ja rakenteita, jotka vahvistavat yhteistyötä pitkällä aikavälillä hankkeiden päättymisen jälkeen. Esimerkiksi HYDRO-RI Platform ja Green-Digi-Basin -hankkeet johtivat Freshwater Competence Centre (FWCC) -osaamiskeskittymän perustamiseen. Tämä keskittymä yhdistää tutkijat, viranomaiset ja yritykset ja tarjoaa koulutusta ja tutkimusinfrastruktuurin vesitutkimuksen ja -hallinnan tueksi. FWCC:n kautta on käynnistetty Digital Waters -lippulaiva, johon kuuluu 60 uutta tohtori-koulutettavaa ja useita uusia postdoc-tutkijoita, mikä vahvistaa osaamista pitkällä aikavälillä.

Hankkeet ovat kehittäneet laajasti uusia teknologioita, menetelmiä ja digitaalisia ratkaisuja sekä datapalveluja. Näiden voidaan katsoa vahvistavan osaamiskeskittymiä ja tutkimus- ja innovaatioekosysteemejä Suomessa ja laajemmin Euroopassa. Hankkeista esimerkiksi FINMARI kehitti merentutkimusinfrastruktuuria ja EuroHPC/PRACE Finland laajensi LUMI-superlaskentaympäristön käyttöä ja kehitti käyttöliittymiä, jotka madaltavat kynnystä hyödyntää laskentatehoa eri tieteenaloilla.

Hankkeet ovat vahvistaneet myös kansainvälistä verkostoitumista ja osaamisen vientiä kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Esimerkiksi C-NEUT-hankkeen tuloksia on esitelty kansainvälisissä konferensseissa ja EU:n eLTER RI -verkostossa. Hankkeen tuottamat menetelmät ja aineistot ovat käytössä useissa kansainvälisissä tutkimushankkeissa, kuten FESTIVAL ja BioClima. FIN-CLARIAH-hanke on vahvistanut kieliteknologian osaamista Suomessa ja vienyt sitä kansainvälisiin verkostoihin, kuten CLARIN ja DARIAH. Hankkeen tuloksia hyödynnetään myös yrityksissä ja opetuksessa.

Hankkeet ovat edistäneet merkittävästi osaamisen kehittämistä eri tasoilla aina yksittäisistä tutkijoista ja opiskelijoista kansallisiin osaamiskeskittymiin ja kansainvälisiin verkostoihin. Osaamisen kehittämisen vaikutukset näkyvät myös uusien tutkijoiden koulutuksessa ja urapolkujen tukemisessa. Esimerkiksi ADAPTINFA-hanke, jossa kehitettiin tekoälypohjaisia työkaluja arktisen infrastruktuurin kunnossapitoon,

tarjosi tutkimuspaikkoja ja koulutusmahdollisuuksia nuorille tutkijoille yhteistyössä muun muassa Duke Universityn kanssa. FlowXAI-hankkeessa kehitettiin tekoälypohjaisia menetelmiä materiaalien seulontaan ja hankkeessa syntynyt osaaminen johti muun muassa uuteen väitöskirjatutkimukseen yhteistyössä Orionin kanssa, jossa yhdistetään robotiikka ja fysikaalinen orgaaninen kemia.

Hankkeet ovat lisäksi tuottaneet uutta koulutusmateriaalia ja avoimia oppimisympäristöjä. Esimerkiksi ForClimate-hankkeessa toteutettiin verkkokurssi ”Forests and Climate Change”, joka on avoin kaikille aiheesta kiinnostuneille. Tämä tukee osaamisen laajaa levittämistä metsien ilmastovaikutuksista. C-NEUT-hankkeen tuloksia on puolestaan hyödynnetty ympäristötekniikan oppikirjassa ja opetuksessa, ja niitä käytetään myös kansallisessa REPower-CEST-hankkeessa ilmasto- ja energiasiirtymän suunnittelussa.

Esimerkkilaatikko 6. Yritysyhteistyö Green-Digi-Basin-hankkeessa.

Digitaalisen ja vihreän siirtymän edistäminen: Golfkentiltä ja pelloilta jokirannoille – liiketoimintayhteistyö johti innovaatioon

Green-Digi-Basin-hankkeessa Aalto-yliopisto ja SoilScout-yritys aloittivat yhteistyön, jossa alun perin golfkentille ja maatalouteen kehitettyjä langattomia maaperäantureita testattiin ja sovellettiin jokirantojen eroosion seurantaan. Uusissa anturiversioissa mitattiin ensimmäistä kertaa samanaikaisesti maaperän kosteutta, lämpötilaa, suolaisuutta ja liikettä.

Anturit asennettiin kolmelle erilaiselle alueelle, Vantaanjoelle, Oulankajoelle ja Pulmakijoelle, ja niiden toimintaa arvioitiin eri ilmasto- ja maasto-olosuhteissa. Tuloksia verrattiin muun muassa UAV-kuvaukseen, aikaviivekuviin ja geofonimitauksiin.

Yhteistyö edisti eroosion seurannan digitalisaatiota ja vihreää siirtymää. Anturit lähettävät dataa pilvipalveluun 20 minuutin välein jopa 10 vuoden ajan ilman fyysisiä huoltokäyntejä. Tämä vähentää seurantakustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Anturien ajallinen tarkkuus (0,0004 % tarkastelujaksosta) ylittää perinteiset menetelmät moninkertaisesti.

Uusi mittausmenetelmä mahdollistaa entistä tarkemman ymmärryksen eroosioprosesseista erityisesti kylmissä ilmastoissa. Anturit paljastavat vuodenaikojen ja ilmastomuutoksen vaikutuksia jokirantojen dynamiikkaan. Tulokset tukevat yhteisöjen riskienhallintaa ja vesiekosysteemien suojelua.

Tavoitteena on, että vuoteen 2030 mennessä vastaavia järjestelmiä on käytössä laajasti boreaalisella vyöhykkeellä. Näin voidaan tukea kriittisen infrastruktuurin ja luontoympäristöjen sopeutumista eroosioriskeihin.

5.6 Pidemmän aikavälin ennakoitavissa olevat vaikutukset

Hankkeita pyydettiin kuvaamaan vaikuttavuuskertomuksissa myös ennakoituja pidemmän aikavälin vaikutuksia ja miten ne voivat edistää kestävästä kasvusta. Hankkeiden pitkän aikavälin vaikuttavuus rakentuu tutkimukselle ja tutkimusinfrastruktuureille keskeisille mekanismeille. Keskiössä ovat tieteellisesti validoidut digitaaliset työkalut ja mallinnusratkaisut, uusien teknologioiden ja materiaalien kehittäminen vihreän ja digitaalisen siirtymän tueksi, osaamisen ja infrastruktuurin vahvistaminen kansallisesti ja kansainvälisesti sekä laaja yhteistyö yritysten, teollisuuden, viranomaisen ja tutkimuslaitosten välillä.

Koska useat hankkeet ovat luoneet perustaa uusille innovaatioille ja kaupallisille sovelluksille, vahvistaneet politiikkatukea ja edistäneet koulutusta sekä osaamisen siirtoa voidaan hankkeilla ennakoita olevan vaikutuksia myös pidemmällä aikavälillä. Kertomuksissa arvioidaan, että hankkeiden tulosten ja niissä kehitettyjen ratkaisujen ja menetelmien laajamittaisella hyödyntämisellä voidaan saavuttaa pidemmällä aikavälillä paitsi ympäristö- ja ilmastohyötyjä myös taloudellista ja tieteellistä hyötyä. Esimerkkilaukauksessa 7 on kuvattu MIMIC-hankkeen pitkän aikavälin ennakoituja vaikutuksia kaikkiin näihin osa-alueisiin.

Hankkeiden tuotosten laajamittaisella käyttöönotolla voi olla myös yhteisvaikutuksia ja ne voivat vahvistaa systeemisten muutosten edellytyksiä, jotka näkyvät esimerkiksi uusien toimintamallien laajamittaisena käyttöönottona, lainsäädännön tai politiikan muutoksina ja osaamisen ja koulutuksen uudistumisena ja uusien markkinoiden syntyä. Systeeminen muutos ei ole yksittäisen hankkeen vaikutuksen tai ohjelman tulos, vaan laajempi yhteisvaikutusten pohjalta syntyvä muutos toimintatavoissa, rakenteissa ja ajattelussa, joka ulottuu usein useille sektoreille ja muuttaa niiden välistä vuorovaikutusta.

Esimerkiksi useat hankkeet, kuten ForClimate, C-NEUT, ARTISDIG, FlowXAI ja ENZYFUNC, ovat kehittäneet teknologioita ja menetelmiä, jotka tukevat ilmastoneutraaliustavoitteita ja luonnonvarojen kestävästä käytöstä. Näiden hankkeiden tuotosten avulla voidaan muuttaa muun muassa metsänhoidon, maankäytön ja energian varastoinnin sekä jätevirtojen hyödyntämisen käytäntöjä laajasti, tukea EU:n Green Dealia, LULUCF-asetusta sekä kansallista ilmastolakia ja mahdollistaa tietoon pohjaavaa päätöksentekoa ja alueellista ilmastotyötä. Systeeminen vaikutus syntyy, kun tutkimustieto ja mallinnustyökalut (esim. MottiC+, PREBAS, JSBACH) otetaan käyttöön politiikkavalmistelussa, metsänomistajien päätöksenteossa ja alueellisessa suunnittelussa.

HYDRO-RI Platform, Green-Digi-Basin ja näiden pohjalta syntynyt Digital Waters (DIWA) -lippulaiva ovat puolestaan rakentaneet kansallisen ja kansainvälisen tutkimusinfrastruktuurin, joka mahdollistaa reaaliaikaisen vedenlaadun seurannan, digitaaliset kaksoset vesistöalueille, skenaariotyökalut päätöksenteon tueksi ja koulutuksen ja osaamisen vahvistamisen (esim. 60 uutta tohtorikoulutettavaa). Pidemmällä aikavälillä tutkimusinfrastruktuurin toiminnan vaikutus voi näkyä osana laajempaa vedenhallinnan muutosta, jossa siirrytään usean eri toimijan ja sektorin aikaansaamasta yhteisvaikutuksesta reaktiivisesta hallinnasta ennakoivaan, dataohjattuun ja poikkisektoriin päätöksentekoon.

Hankkeet ovat kehittäneet myös tekoälypohjaisia ratkaisuja infrastruktuurien ja ympäristön hallintaan, kuten tulipalojen hallintaan (FireMan), energiavarastointiin (FlowXAI), liikenteen optimointiin (AlforLessAuto, UHASSA-konsortio) ja teiden kunnossapitoon (ADAPTINFA). Kun tekoäly ja digitaaliset ratkaisut integroidaan Suomessa osaksi kriittisten infrastruktuurien hallintaa, voidaan toimintamalleja muuttaa samanaikaisesti näillä eri osa-alueilla, säästää kustannuksia ja parantaa suomalaisen yhteiskunnan toimintakykyä.

Monet hankkeista tukevat pitkällä aikavälillä myös YK:n kestävän kehityksen seuraavien tavoitteiden saavuttamista:

- SDG 6 Puhdas vesi ja sanitaatio. Tavoitteena on taata veden saanti ja kestävä käyttö sekä sanitaatio kaikille.
- SDG 11 Kestävät kaupungit ja yhteisöt. Tavoitteena on tehdä kaupungeista ja asuinyhteisöistä osallistavia, turvallisia, kestäviä ja ilmastoa kestäviä.
- SDG 13 Ilmastotekoja. Tavoitteena on ryhtyä kiireellisiin toimiin ilmastomuutoksen ja sen vaikutusten torjumiseksi.
- SDG 14 Vedenalainen elämä. Tavoitteena on säilyttää meret ja merten tarjoamat luonnonvarat sekä käyttää niitä kestäväällä tavalla.

- SDG 15 Maanpäällinen elämä. Tavoitteena on suojella, ennallistaa ja edistää maaekosysteemien kestävää käyttöä, torjua aavikoitumista, pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen.
- SDG 17 Kumppanuus tavoitteiden saavuttamiseksi. Tavoitteena on vahvistaa toimeenpanon keinoja ja elvyttää globaalia kumppanuutta kestävä kehityksen hyväksi.

Taulukossa 7 on kuvattu esimerkkejä ennakoitujen vaikutusten perusteluista.

Esimerkkilaatikko 7. MIMIC-hankkeen pidemmän aikavälin ennakoituiden vaikutukset.

MIMIC-hankkeen tutkimus johti teknologiseen läpimurtoon erilaisten vaiheiden kautta. Laajamittainen käyttöönotto ja pidemmän aikavälin vaikutukset ja vaikuttavuus vaativat käyttöönottoon ja sääntelyyn liittyviä toimia hankkeen päättymisen jälkeen.

MIMIC-hankkeessa tehtiin poikkitieteellistä yhteistyötä ja yhdistettiin fysiikan, kemian, bioteknologian ja laskennallisten tieteiden osaaminen. Useiden alojen yhteistyö vauhditti innovaatiota.

Hankkeessa yhdistettiin atomivoimamikroskopia (AFM) ja koneoppiminen (ML), mikä mahdollisti biomateriaalien rakenteen tarkastelun molekyyli-

tasolla. Läpimurron avulla aiemmin mahdottomina pidetyt analyysit tulivat mahdollisiksi.

Hanke tuotti yksityiskohtaista tietoa lignoselluloosapohjaisten materiaalien molekyyllirakenteista ja niiden järjestäytymisestä. Tuotettu tieto auttaa kehittämään biopohjaisten materiaalien rakennetta ja uusia sovelluksia, kuten biohydrogeelejä ja pinnoitteita.

Hankkeen toiminnan tuloksena voidaan nopeuttaa biohajoavien materiaalien kehitystä ja vähentää riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista sekä parantaa biomassan fraktiointiprosesseja, mikä tehostaa tuotantoa ja vähentää jätettä.

Hankkeen tulokset vaikuttavat todennäköisesti kehitykseen, jossa molekyyllitason karakterisointi vakiintuu osaksi biomateriaalitutkimusta. Tämä edistää kestävien materiaalien suunnittelua ja niihin liittyvää teknologista ja kaupallista innovaatiota. Samalla EU:n asema bio- ja kiertotalouden tutkimuksen edelläkävijänä vahvistuu.

Pitkällä aikavälillä hankkeen toiminta todennäköisesti edistää globaalien kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamista erityisesti kiertotalouden ja ilmastomuutoksen hillinnän osalta.

Taulukko 7. Esimerkkejä ennakoitujen pitkän aikavälin vaikutuksista ja niiden perusteluista.

Hankkeen nimi	Ennakoitu pitkän aikavälin vaikutus	Ennakoidun vaikutuksen perustelu
FireMan	UAS-teknologian käyttöönotto katastrofien hallinnassa muuttaa toimintatapoja ja parantaa ennakointia	Reaaliaikainen tilannekuva ja AI-mallit parantavat päätöksentekoa ja resurssien kohdentamista
ForClimate	Metsien ilmastovaikutusten parempi hallinta muuttaa toimintatapoja ja toimijoiden välistä vuorovaikutusta	MottiC+ -malli yhdistää metsänkasvun ja ilmastomallit ja mahdollistaa skenaariopohjaisen suunnittelun
Green-Digi-Basin	Digitaalisten kaksosten käyttö vesienhallinnassa muuttaa toimintatapoja ja toimijoiden välistä vuorovaikutusta	Reaaliaikainen seuranta ja mallinnus tukevat päätöksentekoa ja kansalaisten osallistumista
ADAPTINFA	Ennakoiva kunnossapito säästää jopa 60 % ylläpitokustannuksista	Mallinnus ja tekoälypohjainen ennustaminen perustuvat mittausdataan ja fysikaalisiin malleihin
ARTISDIG	Metsien rakenteen ja monimuotoisuuden mallintaminen tukee ilmastopoliitikkaa	Hyperspektrikuvantaminen ja koneoppiminen mahdollistavat yksityiskohtaisen seurannan



5.7 EU-tason vaikutukset

Hankkeet arvioivat, että niiden tulokset ja tuotokset ovat pääsääntöisesti sovellettavissa kansainvälisesti ja muissa EU-maissa. Tässä luvussa on esitelty keskeisiä EU-tason vaikutuksia esimerkkien avulla. Nämä esimerkkihankkeiden vaikutukset liittyvät seuraaviin EU-tason osa-alueisiin:

- EU:n ilmastotavoitteet ja Green Deal
- EU:n tutkimusinfrastruktuurien ja osaamisen vahvistaminen
- EU:n digitaalinen siirtymä ja tekoälystrategia
- EU:n sisämarkkinoiden ja teollisuuden uudistaminen
- EU:n turvallisuus ja kriisinkestävyys

Useat hankkeet, kuten ForClimate, C-NEUT, ARTISDIG, FlowXAI ja FireMan, tukevat suoraan EU:n ilmastopolitiikkaa ja Green Dealia. ForClimate-hankkeen MottiC+-malli voi kasvattaa Suomen hiilinielua jopa 48 Mt CO₂ vuodessa vuoteen 2050 mennessä, mikä tukee EU:n LULUCF-asetusta ja ilmastoneutraaliustavoitteita. C-NEUT-hanke tuotti alueellisia hiilineutraaliusskenaarioita, joita voidaan hyödyntää EU:n alueellisessa ilmastopolitiikassa ja Nature Restoration Law -lainsäädännön toimeenpanossa.

ARTISDIG ja FlowXAI kehittivät tekoälypohjaisia ratkaisuja metsien ja energian hallintaan, jotka tukevat EU:n digitaalista siirtymää ja kestävästä kasvusta. Nämä hankkeet tarjoavat skaalautuvia ratkaisuja, joita voidaan hyödyntää EU:n jäsenvaltioissa yhteisten ilmasto- ja biodiversiteettitavoitteiden saavuttamiseksi.

Hankkeet kuten HYDRO-RI Platform ja Green-Digi-Basin ovat kehittäneet tutkimusinfrastruktuureja, jotka on jo liitetty EU-tason aloitteisiin. HYDRO-RI Platform on saanut Water4All Partnership -statuksen ja Water-Oriented Living Lab (WOLL) -statuksen, jotka ovat osa Horizon Europe -kumppanuuksia. Hankkeiden pohjalta syntynyt Digital Waters

-lippulaiva kouluttaa 60 uutta tohtorikoulutettavaa ja toimii osana EU:n tutkimusinfrastruktuuriekosysteemiä.

C-NEUT-hankkeen tuloksia hyödynnetään eLTER RI -verkostossa, joka on EU:n ekosysteemitutkimuksen infrastruktuuri. Infrastruktuuri mahdollistaa EU-maiden välisen tutkimusyhteistyön, osaamisen siirron ja yhteisten datastandardien kehittämisen.

FIN-CLARIAH, FlowXAI ja AlforLessAuto (UHASSA-konsortio) tukevat EU:n digitaalista siirtymää ja tekoälystrategiaa. FIN-CLARIAH kehittää kieliteknologian infrastruktuuria, joka tukee suurten kielimallien kehittämistä ja kielidatan saatavuutta EU:n kielillä. FlowXAI kehittää tekoälypohjaisia menetelmiä uusien energiamateriaalien löytämiseksi, mikä tukee EU:n energiasiirtymää ja tekoälystrategiaa. AlforLessAuto (UHASSA-konsortio) tukee EU:n liikennestrategiaa ja 100 ilmastoneutraalin kaupungin missiota kehittämällä vähäpäästöistä autonomista liikennettä. Nämä hankkeet vahvistavat EU:n digitaalista suvereniteettia ja tukevat tekoälyn vastuullista käyttöönottoa eri sektoreilla.

ENZYFUNC-hanke on kehittänyt entsyymipohjaisia pinnoitteita, jotka voivat korvata PFAS-yhdisteitä tekstiileissä ja pakkauksissa. Tämä tukee EU:n kemikaalistrategiaa ja kiertotalouden toimintasuunnitelmaa. Hankkeessa hyödynnetään metsäteollisuuden sivuvirtoja, mikä tukee EU:n bio- ja metsätalouden strategioita. Tulokset voivat johtaa uusiin EU-tason standardeihin ja sääntelyyn, jotka ohjaavat PFAS-vaipaiden materiaalien käyttöönottoa.

FireMan-hanke on kehittänyt autonomisia drooniparvia ja digitaalisia kaksosia metsäpalojen hallintaan. Tämä tukee EU:n siviilivalmiusmekanismia (UCPM) ja ilmatoriskien hallintaa. Teknologiat voivat skaalautua EU:n laajuisesti erityisesti Etelä-Euroopan metsäpaloherkillä alueilla. Hanke voi vaikuttaa EU:n yhteisiin pelastus- ja kriisinhallintakäytäntöihin sekä teknologisten ratkaisujen standardointiin.

Esimerkkilaatikossa 8 on esitetty viiden hankkeen vaikuttavuuspolku EU-tason vaikutuksiin.

Esimerkkilaatikko 8. Viiden hankkeen yksinkertaistettu ja lineaarisesti esitetty vaikuttavuuspolku EU-tason vaikutuksiin.

Miten hankkeen toimenpiteet johtavat EU-tason tai EU-maiden välisiin vaikutuksiin?

ForClimate – Ilmastoviisas metsänhoito

Monitieteinen tutkimushanke ja sidosryhmävuorovaikutus

- Kehitettiin MottiC+ -malli, joka yhdistää metsänkasvumallit ja ilmastoskenaariot.
- Malli mahdollistaa metsänhoidon ilmastovaikutusten arvioinnin eri skenaarioissa.
- Malli on yhteensopiva kansallisten metsien inventointitietojen kanssa. Sen käyttöönotto johtaa metsien ilmastovaikutusten parempaan hallintaan.
- EU-vaikutus: Malli tukee EU:n LULUCF-asetuksen toimeenpanoa ja on skaalattavissa muihin boreaalisiin metsiin EU:ssa.

HYDRO-RI Platform – Vesitutkimusinfrastruktuuri ja EU-kumppanuudet

Monitieteinen tutkimusinfrastruktuurihanke ja sidosryhmävuorovaikutus

- Kehitettiin HYDRO-RI-Platform -tutkimusinfrastruktuuri ja mobiilimittauslaboratorio (TIETO I).
- Verkostoitumisen myötä saavutettiin Water4All Partnership -status ja Water-Oriented Living Lab (WOLL) -status
- Osallistuminen Horizon Europe -kumppanuuksiin ja DIWA-lippulaivaan.
- EU-vaikutus: HYDRO-RI-Platform mahdollistaa vesiekosysteemien tilan seurannan ja yhteismitallisen tiedon tuottamisen EU:n vesipolitiikan tueksi luotujen pitkäaikaisten rakenteiden kautta.

FireMan – Tekoälyllä ohjatut dronit metsäpalojen hallintaan

Monitieteinen tutkimushanke ja sidosryhmävuorovaikutus

- Teknologian kehittäminen: Kehitettiin autonomisia droniparvia ja digitaalinen kaksonen metsäpaloille.
- Tuotettu työkalu mahdollistaa reaaliaikaisen tilannekuvan ja palon leviämisen ennustemallit.
- Testausvaiheessa tehtiin demonstraatioita ja yhteistyötä pelastusviranomaisten kanssa.
- UAS-tekniikan käyttöönotto katastrofien hallinnassa parantaa päätöksentekoa ja resurssien kohdentamista. Pitkällä aikavälillä kehitetyt teknologiat voivat muuttaa katastrofien hallinnan toimintatapaa mahdollistamalla skaalautuvan, tekoälypohjaisen ja ennakoivan reagoinnin luonnonkatastrofeihin.
- EU-vaikutus: EU-laajuisesti skaalattavissa oleva teknologia tukee EU:n Green Dealia, siviilivalmiusmekanismia ja teknologista johtajuutta kriisinhallinnassa.

C-NEUT – Alueellinen hiilineutraalius ja tilannekuva

Monitieteinen tutkimusinfrastruktuurihanke ja sidosryhmävuorovaikutus

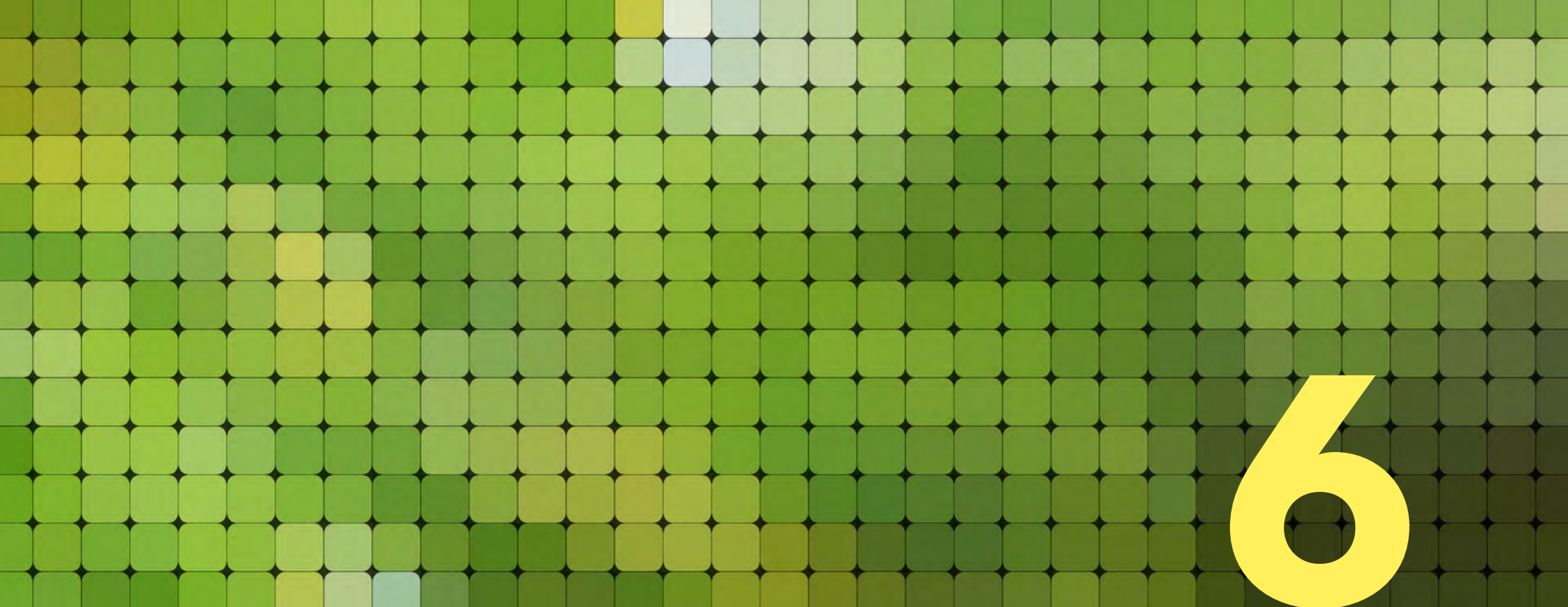
- Tuotettiin korkean resoluution päästö- ja nielukartoja kaikille Suomen ELY-alueille.
- Skenaarioiden avulla mallinnettiin metsänhoidon ja ilmastopolitiikan vaikutuksia hiilitaseeseen.
- Yhdistettiin biodiversiteetti- ja ilmasto-vaikutukset samaan arviointikehikkoon.

- Uuden menetelmän käyttöönotto mahdollistaa metsien ja muiden maankäyttömuotojen vaikutusten arvioinnin hiilineutraaliustavoitteisiin ja tukee alueellista ilmastopolitiikkaa ja metsänhoidon suunnittelua sekä tarjoaa työkaluja biodiversiteetin ja hiilinielujen yhteisvaikutusten arviointiin.
- EU-vaikutus: EU-laajuisesti skaalattavissa oleva menetelmä tukee EU:n LULUCF-lainsäädäntöä ja Nature Restoration Law -toimeenpanoa.

ENZYFUNC – PFAS-vapaat pinnoitteet metsäteollisuuden sivuvirroista

Monitieteinen tutkimusinfrastruktuurihanke ja sidosryhmävuorovaikutus

- Uusien raaka-aineiden, ligniinin ja koivun kuoren, hyödyntäminen nanopartikkeleiksi.
- Kehitettiin vettä hylkiviä ja antibakteerisia pinnoitteita tekstiileihin ja pakkauksiin.
- Arvioitiin nanopartikkeleiden toksisuus ja ekotoksisuus EU:n REACH-asetuksen mukaisesti.
- Biohajoavia tekstiilejä ja pakkauksia voidaan hyödyntää laajasti tekstiili- ja pakkausteollisuudessa ja tulokset sekä osaaminen tukevat myös uusien biopohjaisten materiaalien kehittämistä.
- EU-vaikutus: Tukee EU:n kemikaalistrategiaa ja PFAS-kieltoja tarjoamalla biohajoavan vaihtoehdon EU:n laajuisesti.



6

6. DNSH-periaatteen toteutuminen hankkeissa

Tässä luvussa tarkastellaan Do No Significant Harm (DNSH) -periaatteen toteutumista RRF-hankkeissa. DNSH-arvioinnin tavoitteena on varmistaa, että hankkeet eivät aiheuta merkittävää haittaa ympäristölle ja että ne noudattavat EU:n ja kansallisen lainsäädännön vaatimuksia.

Tarkastelussa hyödynnetään hankkeiden itsearviointiaineistoa, jotka hankkeet ovat toimittaneet sekä hankkeen alussa että päättyessä. Itsearvioinnissa hanke on arvioinut toimintaansa suhteessa kuuteen ympäristötavoitteeseen.

6.1 Aineiston kuvaus ja DNSH-arviointi

Hankkeet toimittivat RRF-raportoinnin yhteydessä Do No Significant Harm (DNSH) -itsearvioinnin, jossa hanke arvioi periaatteen noudattamisen toteutumista hankkeen päättymisen jälkeen. Arvioinnilla varmistetaan, että hanke on toteutunut ”ei merkittävää haittaa” -periaatteesta annettujen teknisten ohjeiden (2021/C58/01)¹¹ mukaisesti ja että Suomen Akatemian myöntämällä rahoituksella on tuettu hankkeita, jotka ovat kaikilta osin Euroopan Parlamentin ja Neuvoston Elpymis- ja palautumistukivälineen perustamisesta annetun asetuksen (EU) 2021/241 viidennen artiklan toisen kohdan¹² mukaisia. Samalla varmistetaan, että hankkeen toteutuksessa on noudatettu Euroopan unionin ja kansallista ympäristölainsäädäntöä.

DNSH-itsearvioinnilla on tarkoitus varmistaa, että hanke ei ole sisältänyt seuraavia toimia (ns. poissulkulista): i) fossiilisiin polttoaineisiin liittyvät toiminnot, mukaan lukien tuotantoketjun loppupään käyttö; ii) EU:n päästökauppajärjestelmän mukaiset toimet, joilla saavutetaan ennustetut kasvihuonekaasupäästöt, jotka eivät alita asiaankuuluvia vertailuarvoja; iii) jätteen kaatopaikkoja, polttolaitoksia ja mekaanisia biologisia käsittelylaitoksia koskevat toimet; ja iv) toiminnot, joissa jätteen pitkän aikavälin loppukäsittely voi aiheuttaa haittaa ympäristölle.

Arvioinnissa hankkeen tuli kuvata sen toteutumista suhteessa seuraaviin TKI-toimiin: i) TKI-toimet, jotka johtavat teknologianeutraaliin lopputulokseen niiden soveltamisen tasolla; ii) TKI-toimet, joilla tuetaan sellaisia vaihtoehtoja, joiden ympäristövaikutukset ovat vähäisiä; tai iii) TKI-toimet, joissa keskitytään ensisijaisesti kehittämään vaihtoehtoja, joilla on mahdollisimman vähäiset ympäristövaikutukset kyseisellä alalla, jonka toiminnoille ei ole teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoista vähävaikutuksista vaihtoehtoa.

Hankkeen tuli tarkastella myös hankkeenaikaista toimintaansa ja hankintojaan kuuden eri ympäristötavoitteen osalta: 1) ilmastomuutoksen hillintä, 2) ilmastomuutokseen sopeutuminen, 3) vesivarojen ja merten kestävä käyttö ja suojelu, 4) siirtyminen kiertotalouteen, sisältäen jätteen synnyn ehkäisy ja kierrätys, 5) ympäristön pilaantumisen ehkäisy ja vähentäminen, 6) biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojelu.

Hankkeiden päättymisen jälkeinen DNSH-loppuarviointi toteutettiin erillisellä strukturoidulla lomakkeella. Hankkeet arvioivat lomakkeella, oliko hankkeella merkittävää haittaa kuuden ympäristötavoitteen osalta (”kyllä”/”ei”) ja esittivät perustelut vastaukselle.

Menettely vastaa DNSH-menettelyn yleispiirteistä arviointia¹³. Puutteellisten vastausten osalta konsortiojohtajilta pyydettiin täydennyksiä joko arviointiin kokonaisuudessaan tai sen yksittäisiin perusteluihin.

6.2 Hankkeiden DNSH-itsearviointit

Yksikään hanke ei arvioinut hankkeen toiminnalla olevan merkittävää haittaa ympäristötavoitteille. Vaikka hankkeen toiminnalla olisi ollut merkittävää haittaa, joka ei sisälly edellä mainitulle ”poissulkulistalle”, hanke voisi silti olla DNSH-periaatteen mukainen. Tällöin hankkeelle täytyisi yleispiirteisen arvioinnin jatkoksi toteuttaa tarkennettu arviointi, jossa arvioidaan tunnistetun haittavaikutuksen merkittävyys, kesto ja

¹¹ Euroopan Unionin virallinen lehti: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=oj:JOC_2021_058_R_0001

¹² Euroopan Unionin virallinen lehti: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/241>

¹³ Ei merkittävää haittaa -periaate Suomen elpymis- ja palautumissuunnitelman hankkeissa. Ympäristöhallinnon verkkopalvelu: www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ei-merkittavaa-haittaa-periaate

laajuus sekä mahdollisuus lieventää haittavaikutusta siten, ettei kyseisen vaikutus ole merkittävä.

Kaikkien tässä raportissa käsiteltyjen avainalojen hankkeiden ja kansallisten tutkimusinfrastruktuurien osalta riitti yleispiirteinen arviointi. Hankkeille joko ei ollut vaikutusta listattuihin ympäristötavoitteisiin, vaikutus oli merkityksetön tai hanke edisti merkittävästi listattua ympäristötavoitetta.

Koska hankkeiden tavoitteena on ollut edistää vihreää ja digitaalista siirtymää, moni hanke edisti DNSH-arvioinnissa tarkasteltuja ympäristötavoitteita positiivisesti. Esimerkiksi FINMARI-tutkimusinfrastruktuurin tavoitteena oli lisätä ymmärrystä ilmastomuutoksen ekosysteemivaiikutuksista Itämereen ja siten edistää ilmastomuutoksen hillintää ja siihen sopeutumista. Diversity4Forests-hankkeessa kehitettiin kaukokartoitusmenetelmiä metsien monimuotoisuuden kartoittamiseksi ja seuraamiseksi ja ENZYFUNC-hankkeen päätavoitteena oli kehittää kestäviä tekstiilipinnoitteita ja edistää niiden kierrätettävyyttä.

Hankkeiden toteuttamissa itsearvioinneissa keskityttiin tunnistamaan hankkeenaikaisen toiminnan mahdollisia ympäristövaikutuksia. Hankkeenaikaiset vaikutukset liittyivät tutkimuslaitteistojen sekä laskennallisten sovellusten vaatimaan energiankäyttöön. Nämä vaikutukset tunnistettiin sellaisiksi, jotka voitiin minimoida muun muassa laitteistojen kierrätyksellä, karsimalla hankintoja sekä priorisoimalla laskentatehoa.

Epäsuorien vaikutusten ja tulosten soveltamisen osalta tunnistetut mahdolliset riskit liittyivät energian ja resurssien kulutukseen sekä jätteiden lisääntymiseen ja biodiversiteetti-vaikutuksiin. Nämä tunnistetut ympäristövaikutukset olivat joko vähäisiä tai kompensoitavissa hankkeen kokonaisvaikutuksella, jossa otettiin huomioon, että hanke edisti kyseisen ympäristötavoitteen saavuttamista.

Esimerkiksi ENZYFUNC-hankkeessa tunnistettiin, että kehitetyssä pinnoitteessa käytetyt nanopartikkelit voivat suurina pitoisuuksina aiheuttaa vesistöissä levien kasvua, mutta näillä partikkeleilla voidaan samalla myös korvata yhdisteitä, jotka ovat vielä haitallisempia

vesistöille, jolloin hankkeen kokonaisvaikutus on positiivinen eikä sen toiminnalla ole merkittävää haittaa ympäristötavoitteille. Toisena esimerkkinä voidaan nostaa GEOMEASURE-hankkeessa kehitetty menetelmä merenpohjan mallintamiseen, jota voidaan soveltaa merituulivoiman rakentamisessa. Hankkeen arvioinnissa tunnistettiin, että lisääntyvällä merituulivoimalla voi olla vaikutuksia meriekosysteemeihin, minkä vuoksi rakennushankkeissa tulee toteuttaa kattavat ympäristövaikutusten arvioinnit.

6.3 Tukiviranomaisen näkemys DNHS-arvioinnista

Hankkeiden itsearvioinneissaan esittämiä perusteluita pidettiin pääasiassa uskottavina. Kaikissa hankkeissa oli kiinnekohta vihreän siirtymän edistämiseen ja ”ei merkittävää haittaa”-periaatteen vastaista toimintaa oli suljettu pois jo tukiviranomaisen tekemällä DNSH-arvioinnilla jo hankkeiden rahoituksen myöntövaiheessa. Koska kyseessä on kuitenkin itsearviointi, jää vaikutusten tosiasiallinen varmennettavuus heikoksi. Tätä voidaan kuitenkin pitää DNSH-arvioinnin yleisenä haasteena eikä siten yksinomaisesti tarkasteltujen RRF-hankkeiden DNSH-itsearviointien piirtenä.

Kokonaisuutena voidaan todeta RRF-ohjelmassa rahoitetun vihreää ja digitaalista siirtymää sekä kestävästä kasvusta edistävää toimintaa, jolla ei ole tunnistettu olevan merkittävää ympäristöhaittaa minkään kauden ympäristötavoitteen osalta. DNSH-itsearviointi hankkeen alussa ja lopussa voidaan nähdä kustannustehokkaana tapana poissulkea ympäristölle haitallista toimintaa ja varmistaa ympäristötavoitteiden huomioiminen julkisesti rahoitettavassa toiminnassa.

Menettelyn haasteet liittyvät arviointien varmennettavuuteen, arviointien vaatimaan tietotaitoon, selkeiden mittarien puutteeseen sekä arvioinnissa tunnistettujen vaikutusten seurantaan. Haastetta aiheuttaa myös menetelmän verrattainen tuoreus ja siten arviointiin saatavilla olevan ohjeistuksen ja tietotaidon rajallisuus. Tämä näkyy muun muassa siinä, että hankkeiden toimittamia arviointeja jouduttiin

täydentämään, jotta ne täyttivät arvioinnista annetut muotovaatimukset. Kehittämällä osaamista ja ohjeistusta sekä yhdenmukaistamalla arviointiprosessia voidaan lisätä DNSH-arviointimenettelyn selkeyttä ja vähentää sen hallinnollista kuormittavuutta.

Ulkopuolisen osaamisen ja ulkopuolisen arvioitsijan hyödyntäminen voi olla perusteltua, mikäli DNSH-arviointi tulee toteuttaa yksityiskohtaisesti ja todennettavasti. Hankkeen alussa ja lopussa toteutettava yleispiirteinen itsearviointi on kustannustehokas menettely hankkeiden ympäristölle haitallisen toiminnan poissulkemiseksi. Yksityiskohtaisemmassa arvioinnissa tarvitaan kokemusta kunkin ympäristövaikutuksen

asiantuntija-arvioinnista. Tätä osaamista ei välttämättä ole kaikissa hankkeissa ja hankkeiden rahoitushakemukset arvioivilla asiantuntijoilla ja arviointipaneeleilla.

Malleja ulkopuoliseen arviointimenettelyyn voitaisiin hakea esimerkiksi ympäristö- ja ekosysteemitilinpidoon käytännöistä¹⁴ tai sitomalla mukaan DNSH-arviointiin tuotteiden, palveluiden ja laajempien kokonaisuuksien osalta tehtävä elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA)¹⁵. Odotettavasti DNSH-arvioinnin osalta käytännöt kehittyvät, kun kokemusta ja osaamista kertyy lisää niin hankkeiden toteuttajien kuin rahoittajien osalta.

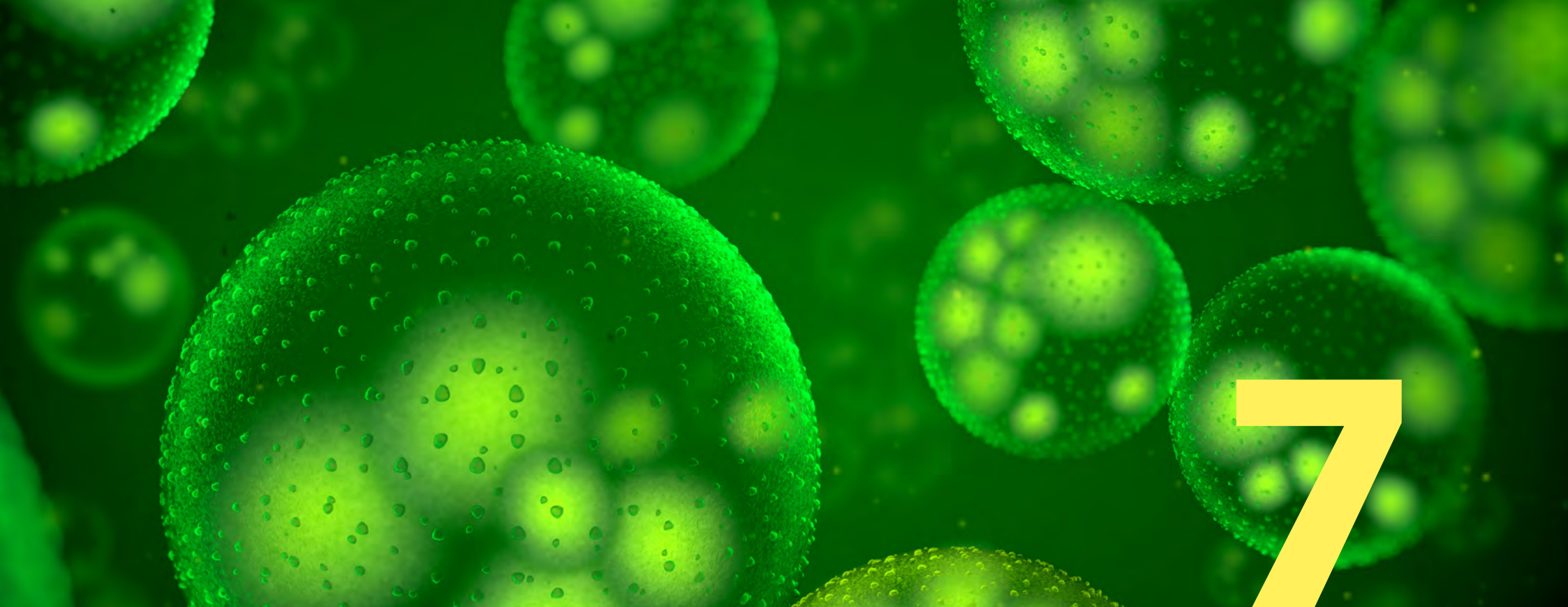
6.4 Yhteenveto

Kaikki hankkeet ovat toimineet DNSH-periaatteen mukaisesti. Useat hankkeet edistivät aktiivisesti ympäristötavoitteita eikä yksikään hanke raportoinut merkittävää haittaa ympäristötavoitteille. Arvioinneissa tunnistettiin joitakin hankkeenaikaisia ja epäsuoria ympäristövaikutuksia, kuten energiankulutus ja jätteiden synty, mutta nämä arvioitiin vähäisiksi tai kompensoitaviksi.

Tukiviranomainen pitää hankkeiden DNSH-itsearvioinnissa esittämiä perusteluita pääosin uskottavina, mutta tunnistaa itsearviointien rajoitteita varmennettavuuden ja käytännön arvioinnin osalta. DNSH-arviointimenettely on kuitenkin kustannustehokas tapa poissulkea haitallista toimintaa, mikäli arviointi tulee tehdä yksityiskohtaisemmin ja todentaa. Sen kehittämisessä voitaisiin hyödyntää ulkopuolista asiantuntemusta ja elinkaariarviointeja. Arviointikokemusten ja osaamisen kehittyminen parantaa DNSH-arviointien käytäntöjä tulevaisuudessa.

¹⁴ Ekosysteemitilinpidoon avulla kohti kestävästä yhteiskunnasta. Suomen ympäristökeskus: www.syke.fi/fi/palvelut/mallinnus-ja-laskenta/ekosysteemitilinpito

¹⁵ Elinkaariarviointi tukee kestävyysmurrosta. Suomen ympäristökeskus: www.syke.fi/fi/palvelut/mallinnus-ja-laskenta/elinkaariarviointi



7. Yhteenveto: Edellytyksiä systeemiselle muutokselle

Tässä raportissa on tarkasteltu Suomen Akatemian myöntämän EU:n elpymis- ja palautumistukivälineen rahoituksen tuloksia ja vaikutuksia vuosina 2023–2024 päättyneiden tutkimus- ja tutkimusinfrastruktuurihankkeiden osalta.

Tarkastelu on kattanut 19 päättyneen konsortiohankkeen toiminnan, tulokset ja vaikutukset. Hankkeiden tavoitteena on ollut vihreän ja digitaalisen siirtymän edistäminen, kestävä kasvun tukeminen sekä tutkimusinfrastruktuurien ja osaamiskeskittymien vahvistaminen. Hankkeille on myönnetty RRF-rahoitusta yhteensä noin 30 miljoonaa euroa vuonna 2021. Rahoitus kohdistui vihreän ja digitaalisen siirtymän avainalojen tutkimushankkeisiin sekä kansallisiin tutkimusinfrastruktuurihankkeisiin, jotka valittiin korkean tieteellisen tason, vaikuttavuuden, osaamisen ja yhteistyön perusteella.

Hankkeet raportoivat yhteensä 784 julkaisua, 58 tutkintoa ja 53 aineetonta oikeutta. Yhteistyötä tehtiin 216 tutkimuskumppanin kanssa, joista 60 % oli kansainvälisiä. Liikkuvuus oli aktiivista, erityisesti Suomesta ulkomaille. Vaikka tuotoksia on raportoitu runsaasti, niiden laadullinen vaikuttavuus jää osin raportissa kuvailematta. Julkaisujen osalta voidaan toteuttaa viittausanalyysi keväällä 2026.

Hankkeet arvioivat onnistuneensa hyvin tavoitteissaan. Avainalojen hankkeet edistivät vihreää ja digitaalista siirtymää muun muassa tekoälyn, energiaratkaisujen ja ilmastomuutoksen tutkimuksen keinoin. Tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat kehittäneet tutkimusedellytyksiä ja osaamista sekä edistäneet onnistuneesti myös tutkimusinfrastruktuurin avoimuutta ja yhteentoimivuutta.

Hankkeet ovat arvionsa mukaan onnistuneet erityisesti uuden tieteellisen tiedon tuottamisessa vihreän ja digitaalisen siirtymän tueksi. Myös konkreettisia ratkaisuja, kuten tekoälyratkaisuja, digitaalisia kaksosia ja mallinnusympäristöjä, kehitettiin runsaasti, mutta niiden hyödyntämisestä käytännössä on vähemmän näyttöä.

Hankkeet ovat rakentuneet monitieteisille ja monitoimijaisille konsortioille, joissa on mukana yliopistoja, tutkimuslaitoksia, yrityksiä ja viranomaisia. Hankkeiden sidosryhmäyhteistyö oli laajaa Suomessa ja EU:ssa. Yhteistyötä tehtiin erityisesti tutkimusyhteisöjen ja yritysten

kanssa. Sidosryhmäyhteistyön koettiin tuoneen lisäarvoa ja tukeneen uusien yhteistyömuotojen syntyä.

Hankkeet vahvistivat jo olemassa olevia osaamiskeskittymiä ja loivat myös joitakin uusia keskittymiä. Tutkimusinfrastruktuurien käyttö oli laajaa ja verkostoituminen aktiivista. Yhteistyö muiden RRF-hankkeiden kanssa oli vähäistä.

Kaikki hankkeet jatkavat toimintaansa useimmiten uusien rahoitusten ja yhteistyöverkostojen kautta. Jatkuvuus näkyy erityisesti osaamiskeskittymien vahvistumisessa, osaamisen kehittämisessä ja infrastruktuurien hyödyntämisessä.

Hankkeet kuvasivat ansiokkaasti toimintaansa ja ennakoituja vaikutuksia vaikuttavuuskertomuksissa, mutta vaihtelevalla tarkkuudella. Joidenkin hankkeiden kertomuksissa vaikutusketjut on kuitenkin havainnollistettu hyvin (esim. FireMan, MIMIC, Green-Digi-Basin, HYDRO-RI-Platform). Hankkeiden vaikutusmekanismit liittyivät tutkimustiedon hyödyntämiseen päätöksenteossa, elinkeinoelämässä ja koulutuksessa. Vaikutusmekanismien ja vaikuttavuuspolkujen kuvaus jäi kuitenkin monin paikoin yleisluontoiseksi.

Lyhyen aikavälin vaikutuksia havaittiin erityisesti tutkimuksen edistämässä, teknologisissa innovaatioissa ja päätöksenteon tukemisessa. Yhdenvertaisuus ja inklusio jäivät vähäisemmälle huomiolle. Hankkeet ovat kehittäneet ratkaisuja, jotka tukevat muun muassa ilmastotavoitteita, kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta. Pitkän aikavälin vaikutukset tukevat EU:n Green Dealia, ilmastotavoitteita ja lukuisia YK:n kestävän kehityksen tavoitteita.

Hankkeiden pidemmän aikavälin ennakoitavissa olevan vaikuttavuuden osalta korostuu kuitenkin pitkäjänteinen muutos kestävä kasvun ja vihreän siirtymän saralla. Digitaalisen siirtymän ja teknologisen murroksen edistäminen ovat esillä etenkin tekoälyn ja digitalisaatioon keskittyneiden hankkeiden tuloksissa, niiden kehittämisessä ratkaisuissa ja vaikutuksissa. Nämä hankkeet ovat lisänneet myös tutkimuksen tehokkuutta ja tiedon saavutettavuutta.

Kaikki hankkeet ovat noudattaneet toiminnassaan DNSH-periaatetta. Havaitut ympäristövaikutukset olivat vähäisiä tai kompensoita-

vissa. Arviointi perustui kuitenkin itsearviointiin. Ulkopuolinen validointi voisi lisätä DNSH-arviointimenettelyn luotettavuutta. Itsearviointien perusteella hankkeiden toiminta on kuitenkin ollut linjassa EU:n ja kansallisten ympäristötavoitteiden kanssa.

Raportissa tehdyn tarkastelun perusteella voidaan todeta, että päättäneet RRF-hankkeet ovat vahvistaneet systeemisen muutoksen edellytyksiä erityisesti osaamispohjan, osaamiskeskittymien, infrastruktuurien ja pysyväisluonteisten verkostojen kautta. Hankkeet ovat luoneet ja vahvistaneet pysyviä TKI-toiminnan rakenteita, jotka tukevat pitkäaikaista vaikuttavuutta yhteiskunnan eri osa-alueilla mukaan lukien tieteessä, sekä laajentaneet TKI-toiminnan yhteistyötä.

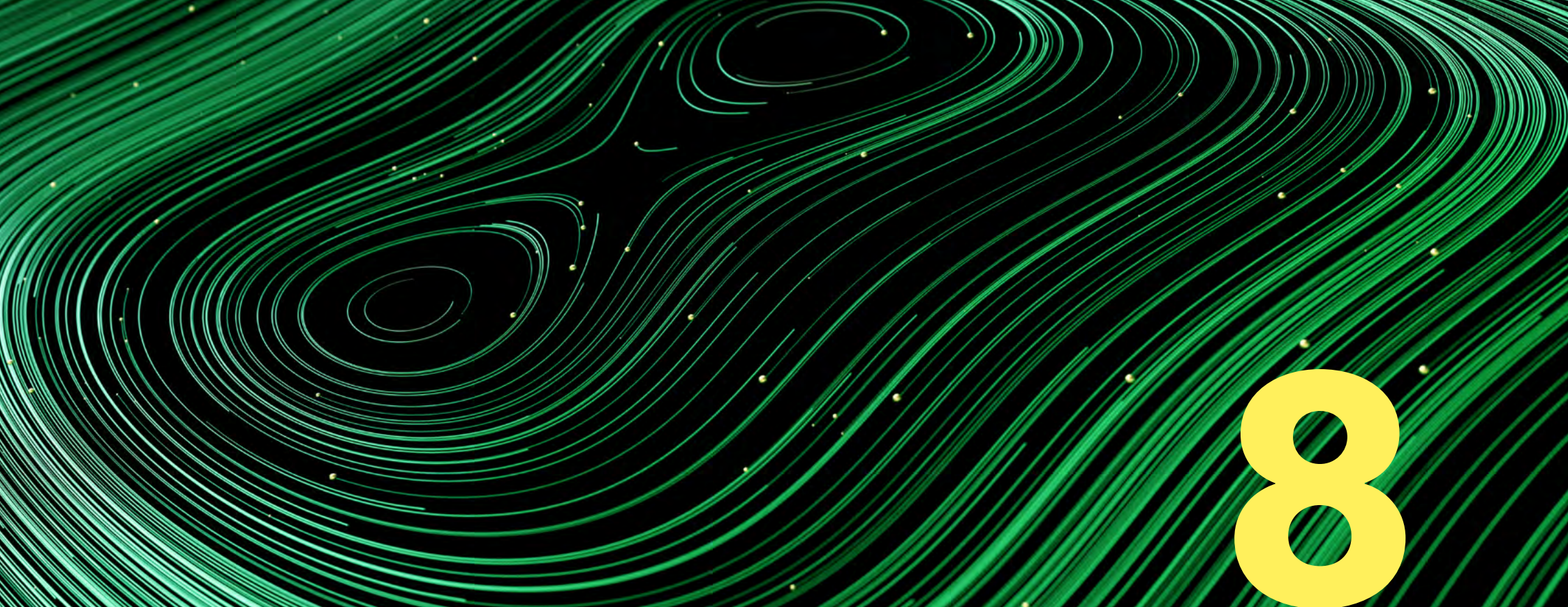
Osaamiskeskittymien vahvistuminen on näkynyt uusina verkostoina, koulutuksena ja teknologian sekä osaamisen siirtona. Hankkeet ovat tehneet laajaa yhteistyötä tutkimusyhteisöjen, yritysten, viranomaisten ja kansalaisten kanssa Suomessa ja EU:ssa. Sidosryhmäyhteistyö on tuottanut uutta tietoa, tukenut tutkimustulosten hyödyntämistä ja edis-

tänyt uusien yhteistyömuotojen syntymistä. Tämä tukee vaikuttavuuden syntyä ja muutosten aikaansaamista, sillä vaikuttavuus ei ole lineaarinen siirtymä tutkimuksesta käytäntöön, vaan syntyy vuorovaikutuksessa, oppimisessa ja yhteiskehittämisessä.

Hankkeet ovat myös kouluttaneet uusia tutkijoita ja kehittäneet avoimia oppimisympäristöjä. Tämä tukee osaamisen jatkuvuutta ja mahdollistaa systeemisen muutoksen osaamispohjan kasvun kautta.

Vaikka hankkeet ovat edistäneet yhteiskehittämistä eri TKI-toimijoiden välillä ja vuorovaikutusta, jotka ovat systeemisen muutoksen keskeisiä mekanismeja, eivät muutokseen kohdistuvat vaikutukset ole vielä ehtineet lyhyellä aikavälillä realisoitua laajamittaisesti. Systeemisen muutoksen edistäminen edellyttää tulosten laajamittaista käyttöönottoa, muutoksia sääntelyyn ja laajempaa yhteiskunnallista omaksumista.

Yhteisvaikutusten arviointia onkin tässä vaiheessa vielä mahdollista tehdä. Myös ohjelmataason vaikuttavuuden arvioinnin aika on vasta pidemmällä tulevaisuudessa.



8

8. Johtopäätökset ja suositukset

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että sekä tutkimus- että tutkimusinfrastruktuurihankkeet ovat onnistuneet edistämään RRF-rahoituksen keskeisiä tavoitteita ja luomaan perustaa pitkäjänteiselle vihreälle ja digitaaliselle siirtymälle Suomessa. Kokonaisuuksena jo päättyneillä RRF-ohjelman hankkeilla on ollut vaikutusta verkostojen ja pysyvien rakenteiden syntyyn, yhteiskehittämisen, vuorovaikutuksen ja osaamisen sekä tutkimuksen edellytysten vahvistumiseen. Hankkeiden todennäköiset vaikutukset pidemmällä aikavälillä tukevat näin systeemistä muutosta yhteiskunnassa.

Hankkeiden lyhyen aikavälin vaikutukset eivät ole syntyneet yksittäisten hankkeiden suoravaikutuksista, vaan yhteistyön, verkostojen, vuorovaikutuksen ja eri TKI-toimijoiden kanssa toteutuneen yhteistyön ja yhteiskehittämisen kautta. Hankkeet ovat myös synnyttäneet pysyviä rakenteita, vahvistaneet osaamispohjaa ja luoneet ratkaisuja, joilla on potentiaalia muuttaa toimintamalleja ja rakenteita laajemmin yhteiskunnassa. Tätä systeeminen lähestymistapa vaikuttavuuteen myös edellyttää.

Keskeisimpänä kehityskohteenä hahmottuu vihreän ja digitaalisen siirtymän sekä kestäväen kasvun edistämiseen tähtäävän jatkumon vaikuttavuuden tukeminen ja seuranta.

Vaikutusten seuranta ja arviointi kaipaa systemaattisempaa otetta ja konkreettisten ratkaisujen käyttöönoton seuranta vahvistamista. Tarvitaan lisää näyttöä siitä, miten tulokset siirtyvät käytäntöön. Myös yhteistyön tarkastelu jäi tässä raportissa pitkälti määrälliseksi. Laadullinen analyysi yhteistyön syvyydestä ja pitkäaikaisuudesta olisi hyödyllinen. Vaikutusten ja vaikuttavuuden osoittaminen voisi hyötyä vaikutusmekanismien konkretisoinnista, tulosten käyttöönoton seurannasta ja yhteisvaikutusten arvioinnista. Tämä vaatii seurannan ja arvioinnin kehittämistä yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa.

Myös RRF-hankkeiden välinen synergia jäi selkeästi vähäiseksi koko RRF-välineen tasolla. Koordinoidumpi välineen tason ohjaus olisi voinut vahvistaa välineen ja kansallisen tason yhteisvaikutuksia. Syitä tähän löytyy RRF-rahoituksen nopeatempoisesta toimeenpanosta, jota ei kansallisella tasolla voitu välttää.

Raportin aineistoon on hyvä suhtautua järkevän kriittisesti. Se perustuu pääosin hankkeiden tuottamaan raportointitietoon, itsearviointeihin ja vaikuttavuuskertomuksiin. Aineisto tuo hyvin esiin hankkeiden näkökulman, mutta raportin tulokset voivat olla positiivisesti vinoutuneita. Tarkastelua on tarkoitus syventää sidosryhmiltä kerättävällä aineistolla ja näkemyksillä syksyllä 2025. Myös ulkopuolinen arviointi voi tuoda lisäarvoa, joskin sitäkin tehdään aina saatavissa olevan aineiston rajoissa. Vaikuttavuuden todentamisen ja attribuution haasteet eivät ole ylitettävissä ulkopuolisessa arvioinnissa.

Raportti tarjoaa sen rajoitteista huolimatta arvokasta tietoa rahoittajalle ja hankkeille sekä TKI-toimijoille. RRF-hankkeet ovat onnistuneet luomaan edellytyksiä systeemille muutokselle, mutta raportin pohjalta tehtävät johtopäätökset vaikuttavuudesta ja systeemisestä muutoksesta ovat kuitenkin ennenaikaisia.

Raportin tulosten pohjalta voidaan esittää seuraavat suositukset tutkimustoimijoille, TKI-toiminnan rahoittajille ja tutkimuksen eri sidosryhmille tutkimus- ja kehittämistoiminnan vaikuttavuuden ja jatkuvuuden kehittämiseksi:

Tutkimustoimija

- Panosta vaikuttavuuden suunnitteluun ja dokumentointiin. Vaikuttavuus ei synny sattumalta, vaan se vaatii suunnitelmallisia toimenpiteitä. Tutkimushankkeiden tulisi jo alkuvaiheessa tunnistaa potentiaaliset vaikutusmekanismit ja sidosryhmät sekä suunnitella, miten tutkimustulokset viedään käytäntöön.
- Kehitä yhteistyötä sidosryhmien kanssa. Sidosryhmien osallistaminen jo tutkimuksen suunnitteluvaiheessa parantaa tiedon hyödyntämistä ja lisää tutkimuksen yhteiskunnallisen vaikuttavuuden potentiaalia.
- Hyödynnä tutkimusinfrastruktuureja ja osaamiskeskittymiä. Kansalliset ja eurooppalaiset tutkimusinfrastruktuurit tarjoavat alustan yhteistyölle, tiedon jakamiselle ja osaamisen kehittämiseksi. Niiden käyttöä tulisi vahvistaa ja laajentaa.

TKI-toiminnan rahoittaja

- Kannusta pitkäjänteiseen TKI-yhteistyöhön. Rahoitusvälineiden tulisi tukea pitkäaikaisia verkostoja ja yhteistyörakenteita, jotka mahdollistavat systeemisen muutoksen edellytysten luomisen ja vahvistamisen.
- Suosi vaikuttavuuden vahvistamisessa ja arvioinnissa systeemistä lähestymistapaa. Tue tutkimuksen vaikuttavuuteen liittyvää osaamista ja sen seurannan ja arvioinnin kehittämistä yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa luomalla vaikuttavuuden arvioinnin viitekehyksiä, jotka huomioivat sekä määrälliset että laadulliset vaikutukset.
- Kannusta TKI-toimijoita kehittämään yhteistyötä vaikuttavuuden saralla ja tuomaan esiin vaikuttavuusprofiileja sekä seuraamaan ja kuvaamaan yhteisvaikutusten syntymistä. Tue yhteisten aineistojen keräämistä ja hyödyntämistä sekä arviointiyhteistyötä.

Teollisuuden ja yritysten edustajat sekä viranomaiset

- Osallistu aktiivisesti pitkäjänteiseen tutkimusyhteistyöhön. Yritykset ja viranomaiset voivat osallistua tutkimushankkeisiin jo suunnitteluvaiheessa ja tarjota näkemyksiä käytännön tarpeista ja sovelluskohteista. Pyri samalla ymmärtämään tutkimustoiminnan, liiketoiminnan ja yhteiskunnallisen päätöksenteon erilaisia aikajänteitä.
- Kehitä organisaatiosi osaamista ja kykyä vastaanottaa uutta tieteellistä tietoa, uutta osaamista ja teknologiaa.
- Hyödynnä tutkimustuloksia ja -infrastruktuureja sekä tutkimusnäyttöön pohjaavia ratkaisuja. Tutkimushankkeissa syntyy menetelmiä, työkaluja ja dataa, joita voidaan hyödyntää päätöksenteossa, tuotekehityksessä ja palveluiden parantamisessa.
- Tee yhteistyötä vaikuttavuuden seurannassa ja arvioinnissa. Se mahdollistaa TKI-toiminnan kehittämisen oikeaan suuntaan yhteistyössä.

Päätäjä

- Mahdollista tutkimusnäyttöön perustuvien ratkaisujen käyttöönotto. Useat tutkimustulokset vaativat sääntelymuutoksia tai politiikkatoimia, jotta ne voidaan ottaa käyttöön laajamittaisesti. Päätäjien ja päätösten rooli on keskeinen vaikuttavuuden realisoitumisessa.



Liitteet

Liite 1.

Tarkasteluun sisältyvät hankkeet sisältäen tiedon konsortioiden kaikista osahankkeista, niille myönnetystä RRF-rahoituksen määrästä, vastuullisista johtajista ja toteuttajaorganisaatioista

Tutkimusinfrastruktuurihankkeet

Konsortiohankkeen/ Tutkimusinfrastruktuurin nimi	Päätös- numero	Hakijaorganisaatio	Vastuuhenkilö	Myönnetty rahoitus €
FIN-CLARIAH - Developing a Common RI for CLARIAH Finland (FIN-CLARIAH)	345610	Helsingin yliopisto	Lindén, Krister	1 301 771
	345613	Helsingin yliopisto	Lagus, Krista	241 755
	345614	Helsingin yliopisto	Lilja, Johanna	130 470
	345617	CSC - Tieteen tietotekniikan keskus Oy	Lehtovuori, Pekka	538 347
	345618	Tampereen yliopisto	Kumpulainen, Sanna Wilhelmiina	180 581
	345619	Jyväskylän yliopisto	Koskimaa, Raine	208 356
	345630	Turun yliopisto	Laippala, Veronika	237 659
	345640	Itä-Suomen yliopisto	Laitinen, Mikko	196 983
	346323	Aalto-yliopisto	Hyvönen, Eero	193 231
Finnish Marine Research Infrastructure (FINMARI)	345494	Suomen ympäristökeskus	Lehtiniemi, Maiju	574 055
	345495	Helsingin yliopisto	Norkko, Joanna	241 462
	345496	Ilmatieteen laitos	Tuomi, Laura	177 074
	345497	Geologian tutkimuskeskus	Kotilainen, Aarno	271 199
	345498	Turun yliopisto	Hänninen, Jari	136 064
	345499	Åbo Akademi	Snickars, Martin	117 696
	345500	Luonnonvarakeskus	Leskelä, Ari	147 663
	346161	Turun yliopisto	Alho, Petteri	577 729
Hydrological Research Infrastructure Platform (HYDRO-RI-Platform)	346162	Maanmittauslaitos Paikkatietokeskus	Kaartinen, Harri	582 296
	346163	Oulun yliopisto	Marttila, Hannu	352 773
	346165	Suomen ympäristökeskus	Heiskanen, Anna-Stiina	387 621
	346167	Aalto-yliopisto	Lotsari, Eliisa	370 235
	345560	CSC - Tieteen tietotekniikan keskus Oy	Ignatius, Janne	1 097 125

Avainalojen tutkimushankkeet

Konsortiohankkeen nimi	Päätös-numero	Hakija	Organisaatio	Myönnetty rahoitus €
Aalto ENG/SCI (AES)	348179	Santasalo-Aarnio, Annukka	AALTO	482 330
	348180	Rinke, Patrick	AALTO	405 362
Artificial intelligence, spatial statistics and Earth observation for digital twinning of forest diversity (ARTISDIG)	348035	Möttus, Matti	VTT OY	569 075
	348152	Rautiainen, Miina	AALTO	180 418
	348153	Laaksonen, Jorma	AALTO	333 102
	348154	Myllymäki, Mari	LUKE	475 018
Beyond carbon-neutral drone aerial deliveries with autonomous micro-airports in sustainable metropolitan areas (AeroPolis)	348479	Röning, Juha	OY	506 901
	348480	Westerlund, Tomi	TY	470 350
	348481	Edelman, Harry	TAU	474 706
	348754	Oksanen, Jani	AALTO	446 492
Capturing structural and functional diversity of trees and tree communities for supporting sustainable use of forests (@Diversity4Forests)	348643	Vastaranta, Mikko	UEF	461 324
	348644	Hyypä, Juha	FGI	443 404
Enzyme-mediated attachment and detachment of multifunctional and biobased coating aided by digital material design (ENZYFUNC)	348870	Österberg, Monika	AALTO	399 954
	348872	Koivula, Anu	VTT OY	562 430
	349052	Saranpää, Pekka	LUKE	394 382
Evaluating integrated spatially explicit carbon-neutrality for boreal landscapes and regions (C-NEUT)	347848	Forsius, Martin	SYKE	503 199
	347860	Aurela, Mika	FMI	464 778
	347862	Kumpula, Timo	UEF	465 472
	347863	Mäkelä, Annikki	HY	463 601
Foundations and digital infrastructure for green offshore energy production close to Finnish coasts: from marine investigations to the numerical estimation of undrained shear strength of the seabed deposit layers under cycling loading (GEOMEASURE)	347602	Solowski, Wojciech	AALTO	544 413
	347603	Virtasalo, Joonas	GTK	373 400
Green and digital transition in river basin management (Green-Digi-Basin)	347701	Alho, Petteri	TY	375 482
	347702	Kaartinen, Harri	FGI	375 193
	347703	Lotsari, Eliisa	AALTO	374 582
	347704	Marttila, Hannu	OY	375 513
	348022	Ronkanen, Anna-Kaisa	SYKE	375 107

Avainalojen tutkimushankkeet

Konsortiohankkeen nimi	Päätös-numero	Hakija	Organisaatio	Myönnetty rahoitus €
Managing Forests for Climate Change Mitigation (ForClimate)	347780	Kulmala, Markku	HY	569 694
	347782	Lintunen, Anna	HY	474 756
	347793	Hynynen, Jari	LUKE	512 736
	347794	Lohila, Annalea	FMI	341 836
Materials Development for Flow Batteries with Help of Explainable AI (FlowXAI)	348326	Peljo, Pekka	TY	404 382
	348327	Laasonen, Kari	AALTO	391 535
	348328	Pihko, Petri	JY	336 640
Microscopy and machine learning in molecular characterization of lignocellulosic materials (MIMIC)	347319	Foster, Adam	AALTO	383 738
	347611	Liljeroth, Peter	AALTO	406 756
	347612	Lehto, Joni	VTT OY	562 491
Modelling engine to design, assess environmental impacts, and operate wind farms for ice-covered waters (WindySea)	348586	Polojärvi, Arttu	AALTO	498 093
	348587	Haapala, Jari	FMI	475 128
	348588	Heinonen, Jaakko	VTT OY	394 581
UH-Aalto Sustainable Autonomous AI in Fight Against Climate Change (konsortio UHASSA, projekti AlforLEssAuto)	347197	Ruotsalainen, Laura	HY	468 963
	347198	Järvi, Leena	HY	420 352
	347199	Kyrki, Ville	AALTO	427 936
	347200	Roncoli, Claudio	AALTO	436 680
Unmanned aerial systems based solutions for real-time management of wildfires (FireMan)	346710	Honkavaara, Eija	FGI	457 017
	348008	Hänninen, Tuomo	OY	565 710
	348009	Pölönen, Ilkka	JY	321 026
	348010	Saffre, Fabrice	VTT OY	511 923
Urban environment and climate change in the arctic: data-driven intelligence approach to multihazard mitigation (ADAPTINFA)	348802	Kozlovskaya, Elena	OY	323 619
	348810	Okkonen, Jarkko	GTK	262 749
	348811	Suutala, Jaakko	OY	271 422

Liite 2.
Hankkeille myönnetyn
RRF-rahoituksen jakautuminen
organisaatioittain

	Myönnetty RRF-rahoitus €
Tutkimusinfrastruktuurihankkeet	
CSC - Tieteen tietotekniikan keskus Oy	1 097 125
Helsingin yliopisto	3 229 153
Turun yliopisto	2 270 654
Suomen ympäristökeskus	1 665 213
Yhteensä	8 262 145 €
Avainalojen tutkimushankkeet	
Aalto-yliopisto	5 883 058
Helsingin yliopisto	3 652 953
Itä-Suomen yliopisto	904 728
Maanmittauslaitos Paikkatietokeskus	1 855 676
Oulun yliopisto	2 756 239
Suomen ympäristökeskus	1 897 050
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy	1 557 613
Turun yliopisto	3 008 434
Yhteensä	21 515 751 €

Liite 3.
RRF-rahoituksen kohdentuminen eri
kululajeihin vuonna 2023 ja 2024
päätyneiden hankkeiden osalta

	Rahoituksen kohdentuminen €
Tutkimusinfrastruktuuri- hankkeiden kululajit	
Aineet, tarvikkeet	314 466
ALV	130 777
Henkilösivukustannukset	982 936
Laitteet yms.	2 459 728
Matkakustannukset	143 705
Muut kustannukset	42 985
Palkat	2 034 626
Palvelujen ostot	198 203
Projektista saadut tulot	415
Yleiskustannukset	1 849 447
Yhteensä	8 157 288 €
Avainalojen kululajit	
Aineet, tarvikkeet	181 960
ALV	30 558
Henkilösivukustannukset	3 595 000
Laitteet yms.	140 984
Matkakustannukset	512 006
Muut kustannukset	508 245
Palkat	7 438 116
Palvelujen ostot	343 441
Yleiskustannukset	8 598 263
Yhteensä	21 348 574 €

Liite 4.
Hankkeiden raportoimat
hankkeissa tehdyt
henkilötyökuukaudet

	Henkilö- työkuukaudet
Avainalojen tutkimushankkeet	
Avustava henkilöstö	444,76
Jatkokoulutettava	832,20
Professori	73,81
Tutkija	410,87
Tutkijatohtori	533,60
Yhteensä	2295,23
Tutkimusinfrastruktuurihankkeet	
Avustava henkilöstö	358,66
Jatkokoulutettava	107,53
Professori	26,12
Tutkija	43,45
Tutkijatohtori	60,76
Yhteensä	596,52

Liite 5.

Avainalojen tutkimushankkeiden RRF-raportilla raportoidut päätulokset

Hanke / konsortio	Tulokset
Green-Digi-Basin	■ Architecture of the digital twin of a river basin. ■ New soil moisture-motion-temperature-salinity sensor network has been built to Pulmanki, Oulanka and Vantaa sites for understanding the river channel evolution due to freeze-thaw cycles. ■ Novel hydrological, sediment transport, river dynamics, and water quality monitoring network for enabling present and future simulations of environmental change impacts
C-NEUT	■ Publication of special issue (Carbon sequestration and biodiversity impacts in forested ecosystems) in the journal Ambio in 2023, documenting key project results. ■ Derivation of freely available detailed spatial datasets on greenhouse gas emissions for different landuse classes and scenarios for forest carbon fluxes and storages, for 18 administrative regions in Finland. ■ Arrangement of special session 'Managing for diversity: A call for a better understanding of linkages between forest structure, biodiversity and carbon cycle' at the international IBFRA conference 'Climate Resilient and Sustainable Forest Management
MIMIC	■ Integration of Machine Learning in Material Analysis ■ Advanced Imaging Techniques ■ Isolation and fractionation of hemicelluloses and LCCs ■ Characterization of LCC fractions from biomasses ■ Hybrid hydrogels from hemicellulose and bark extracts ■ New enzymes for processing hemicellulose and LCCs
FireMan	■ Stakeholder demonstration event. The project successfully demonstrated all key development outcomes at a stakeholder event held at the Emergency Services Academy of Finland's test area in Kuopio on September 17–18, 2024. A total of 55 participants from industry, practice, and media attended the full-day event, which featured outdoor technical demonstrations, presentations, and posters. ■ A Digital Twin Concept was developed to serve as the decision support system for the wildfire management. ■ An implementation of a pre-commercial UAS Traffic Management (UTM) system, Astra UTM, as part of the FireMan project.
ADAPTINFA	■ Progress in understanding processes related to effect of unusual winter weather conditions (rapid freezing) on physical properties in the uppermost soils. We have compiled a digital model of uppermost soil conditions for Finland using HydroBlocks software, which can be used to simulate soil temperature and soil ice content (and many other variables as well) at any given time at spatial scale of 90 m. ■ Progress in developing AI and machine learning tools, models, and applications for prediction and forecasting climate change adaptation studies. ■ Experimental study of the fracturing processes in the uppermost soils and on the roads surfaces due to unusual winter weather conditions (rapid freezing).

Hanke / konsortio	Tulokset
ForClimate	■ New information on forest GHG dynamics and how forest management affects them. We gained new results on forests growing on mineral and organic soils. ■ Other climate impacts of boreal forests (albedo, aerosols). We have gained new scientific knowledge on the comprehensive climate impacts of forests, including the albedo and aerosol effect. ■ Development of modelling tools to tackle the forest-climate impacts under different management scenarios: modelling tool (Motti C+), in which two different models (Motti and PREBAS) are used interactively to provide best available prediction on the effects of forest management and climate change
ARTISDIG	■ Tools to quantify forest structural diversity in a realistic and meaningful way. ■ The subtle relationship between forest structural diversity and its spectral reflectance can be used to improve the mapping of forest diversity for large-scale applications. ■ Machine learning can be used to efficiently emulate the physical forest productivity models used in Forest Digital Twin, thus making large-scale predictions on forest development more accessible to decision-makers and the general public.
WindySea	■ One key result was the development and application of advanced numerical sea ice modeling techniques aligned with the project's goals. We were able to demonstrate state-of-the-art high-resolution large-scale sea ice modeling capabilities, which set a new standard in the field. ■ A key highlight was model-scale testing of ice loading on wind turbines (Petry et al., 2025), which provided new insights into offshore turbine design for icy conditions. ■ Analysis of full-scale sea ice condition data from the Baltic Sea from the aspect of implementation of offshore wind turbines and farms.
UHASSA	■ Bochenina, K., Agriesti, S., Roncoli, C., Ruotsalainen, L. From urban data to city-scale models: A review of traffic simulation case studies // IET Intelligent Transport Systems. Accepted ■ Bochenina, K., Pyykölä, S., Al-Jaghbeer, O., Fung, P.L., Jarvi, L- Ruotsalainen, L. Deep reinforcement learning for emission reduction at scale: a case study for Helsinki city area // To be submitted to Transportation Research Part D: Transport and Environment. ■ We generated an easy-to-use lookup table for traffic related CO₂ emissions enables an efficient upscaling of traffic CO₂ emissions across European cities.
AeroPolis	■ Drones as a Service (DaaS) Digital Platform requirements specification and edge computing ■ The most tangible highlight of the energy conversion research has been the demonstration of the hybrid solar-cell fuel-cell functionality by a semiconductor pn-diode, laying the foundation for the future research of the related chemovoltaic effect. ■ UTurku's main research results emphasise advancements in AI-based localization, mapping, and tracking technologies using multi-modal LiDAR, inertial sensors, and vision-based systems, particularly in challenging environments such as GNSS-denied areas and indoor settings.

Hanke / konsortio	Tulokset
AES	■ The machine-learning assisted catalyst discovery framework is under review, and was published as a pre print with the working title "Machine-learning Accelerated Descriptor Design for Catalyst Discovery: A CO₂ to Methanol Conversion Case Study" ■ The manuscript associated with the experimental dataset will be submitted to Scientific Data in 2Q2025 with the title "AI-ready experimental dataset to the thermochemical hydrogenation of CO₂ to methanol" ■ A manuscript of the experimental studies on novel catalysts developed in the project is under preparation and will be submitted in 2Q2025.
GEOMEASURE	■ Generalized Interpolation Material Point Method Replication of Fall Cone Tests ■ Generalized Interpolation Material Point Method Replication of Laboratory Scale Free Fall Cone Tests ■ How to use oedometric tests to estimate the undrained shear strength of sensitive marine clay? ■ Optimization of Berm construction to reduce Settlement of Submarine Power Cables in Soft Clay Seabeds ■ Cyclic behaviour of soft clays from Gulf of Bothnia ■ Assessment of near-surface undrained shear strength of soft seabeds with free fall cone penetrometer testing in the northern Baltic Sea ■ In situ free-fall cone penetrometer (FF-CPT) and laboratory fall cone characterisation of soft marine sediments in the Gulf of Finland, Baltic Sea ■ Replication of fall cone test in marine clay with a Generalized Interpolation Material Point Method simulation ■ Numerical Simulation of a Laboratory-Scale Free Fall Cone Penetrometer Test in Marine Clay with the Material Point Method ■ Geological, geophysical and mechanical identification of marine deposits from the Gulf of Finland ■ Combined Geophysical, Geological and Geotechnical Study of Offshore Soft Sediments at a Planned Wind farm Area ■ Numerical simulation of in-situ free fall cone penetrometer tests using the material point method ■ Impact of a spacing reduction in a fall cone test ■ Free fall cone penetrometer testing of near-surface undrained shear strength at the Tahkoluoto wind energy production site, northern Baltic Sea ■ Measurement of three-dimensional shrinkage deformations and volumes of stabilised soft clay during drying with Structure from Motion photogrammetry
@Diversity4Forests	■ Branch fingerprint of Trees (Yrttimaa et al. 2025): We have developed a unique method for tree identification. In this method, we recognize individual branch points on the stem. ■ Cimdins et al. explored the use of laser scanning technologies to assess forest structural complexity and its development over time. ■ We studied the use of high-density ALS point clouds for accurate and direct stem curve and volume measurements at the individual tree level.

Hanke / konsortio	Tulokset
ENZYFUNC	■ One significant outcome was the demonstration of successful enzymatic attachment of biobased, multifunctional coatings for both textiles and as barrier materials for fibre-based packaging, thus answering the main objective. ■ We demonstrated, using standard testing methods according to EU Reach and CLP regulations, that the developed nanoparticles from suberin (SNPs), softwood kraft lignin (LNPs), and tall oil fatty acid ester of softwood kraft lignin (TOFA-LNPs) were not cytotoxic, irritant, or corrosive to skin enabling their use in textile coating. ■ Digital tools were developed at VTT for predicting material properties and thus accelerate the design and development of new biobased coatings.
FlowXAI	■ Discovery of AZON3, a new family of redox flow battery negolytes. This discovery is highly relevant to the goals of the entire project as it enabled us to bring organic redox flow battery materials to a new level of volumetric efficiency while maintaining good stability. ■ The information in this research challenges the conventional understanding of borane-catalyzed carbene transfer reactions and provides valuable insights into the factors governing pathway selection and catalyst performance. The presented findings have implications for the rational design of efficient catalysts for borane-catalyzed carbene transfer reactions. ■ Method of high throughput combinatorial synthesis of metal complexes and their high throughput electrochemical characterization.

Liite 6.

Avainalojen tutkimushankkeiden tavoitteet ja tulokset kyselyvastausten perusteella

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348870 Enzyme-mediated attachment and detachment of multifunctional and biobased coating aided by digital material design (ENZYFUNC)	■ Kehittää kestäviä pinnoitusstrategioita, erityisesti keskittyen pinnoitteen erottamiseen ja kierrätettävyyteen ■ Tuottaa edistyneitä teknologisia ratkaisuja, erityisesti korvaamalla haitalliset kemikaalit biopohjaisilla, hajoavilla ja myrkyttömällä vaihtoehdoilla tekstiilien ominaisuuksien parantamisessa ja pakkausmuoveissa. ■ Vähentää ilmastovaikutuksia käyttämällä ympäristöä vähemmän kuormittavia prosesseja sekä lisätä kierrätystä ja kaskadikäsittelyä. ■ Käyttää sivuvirtoja arvokkaiden materiaalien tuottamiseen, hilliten ilmastomuutosta sitomalla hiiltä pitkäikäisiin ja kierrätettäviin materiaaleihin. ■ Luoda uusia liiketoiminta-mahdollisuuksia metsäteollisuudelle.	Biopohjaisten sivuvirtojen hyödyntäminen: Hanke hyödynsi alihyödynnettyjä biopohjaisia sivuvirtoja kehittäessään hydrofobisia pinnoitemateriaaleja korvaamaan nykyisin käytössä olevia vaarallisia aineita. Nämä virrat ovat saatavilla maailmanlaajuisesti, mikä edistää paikallista resurssien riittävyyttä ympäri maailmaa. Entsyymien käyttö katalyytteinä: Hanke hyödynsi entsyymejä biosynteettisinä ja biohajoavina katalyytteinä ristosiloitus- ja synteesi-reaktioissa, mikä mahdollistaa lievemmat reaktio-olosuhteet ja voi myös vähentää vaikeasti käsiteltävän jätteen muodostumista. Nano- ja mikropartikkeleiden kehittäminen: Hanke kehitti yksinkertaisia menetelmiä nano- ja mikropartikkeleiden tuottamiseksi kuoriuutteista, ja niitä käytettiin pinnoitteiden valmistamiseen tekstiileille ja pakkauksille. Kehitystyö mahdollistaa fossiilisten ja ympäristölle haitallisten pinnoitteiden korvaamisen sekä lisää biopohjaisten ratkaisujen käyttömahdollisuuksia. Elinkaaren ja turvallisuuden arviointi: Hanke osoitti elinkaaren ja turvallisuuden arvioinnin avulla, mitkä prosessien osat on optimoitava kestävyuden lisäämiseksi, ja että nanopartikkelit ovat yleisesti turvallisia käyttää, mutta ne voivat olla haitallisia vesieliöille. Uusiutuvien resurssien käyttö ja kierrätettävyys: Hanke hyödynsi resurssina uusiutuvia sivuvirtoja, ja hyvä toiminnallisuus saavutettiin erittäin ohuilla pinnoitteilla, mikä edistää materiaalitehokkuutta, vähentää haitallisia kemikaaleja ja kierrättää materiaaleja sekä ympäristöystävällisiä tuotantomenetelmiä. Biodiversiteetin edistäminen: Hankkeen tulokset voivat pidemmällä aikavälillä edistää biodiversiteettiä vähentämällä neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja ympäristön haitallista kemikaalikuormitusta. Laskennallisten lähestymistapojen kehittäminen: Hanke kehitti kaksi laskennallista lähestymistapaa hydrofobisten pinnoitteiden suunnittelun virtuaaliseen testaukseen. Näillä voi olla merkittävä vaikutus tulevaisuuden materiaalien suunnittelussa. Asiantuntemuksen ja osaamisen vahvistaminen: Hankkeessa tehty tutkimus on nostanut asiantuntemuksen tasoa kyseisellä alalla. Monitieteinen hanke, jossa on tehty tiivistä yhteistyötä eri tieteenalojen asiantuntijoiden kanssa, on edistänyt tutkijoiden kykyä kommunikoida, tehdä yhteistyötä ja hyödyntää eri tieteenalojen vahvuuksia yhteisten ongelmien ratkaisemisessa. Tämä koskee myös projektissa työskennelleitä opiskelijoita.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
346710 Unmanned aerial systems based solutions for real-time management of wildfires (FireMan)	■ Edistää tutkimusta ja innovaatioita. Helpottaa teknologian siirtoa. Edistää yhteistyötä vihreän ja digitaalisen siirtymän tukemiseksi. ■ Korvata tai täydentää perinteisiä polttoainetehokkaita lentokoneita ja helikoptereita sähköisillä, autonomisilla droneilla, mikä vähentää merkittävästi valvonta- ja reagointitoimien päästöjä. ■ Parantaa tehokkuutta optimoidulla dronelaumalla ja yhteyksillä, mahdollistaen laajan valvonnan minimaalisella energiankulutuksella. ■ Tukea vihreää ja digitaalista siirtymää, parantaa ilmastonkestävyyttä ja nopeuttaa kestävien autonomisten teknologioiden käyttöönottoa ympäristön seurantaan ja katastrofien hallintaan kehittämällä tekoälypohjaisia, vähäpäästöisiä ja datalähtöisiä ratkaisuja.	Vähäpäästöisten tekoäly- ja droneteknologioiden kehittäminen: Hankkeessa kehitetyt teknologiat parantavat metsäpalojen ehkäisyä ja hallintaa, tukevat ilmastonmuutokseen sopeutumista ja sen hillitsemistä sekä mahdollistavat varhaisen havaitsemisen ja nopean reagoinnin ja estävät pienten palojen laajenemisen suuriksi ja korkeapäästöisiksi paloiksi. Autonomiset droneoperaatiot ja tekoälyohjattu analytiikka mahdollistavat reaaliaikaisen, datalähtöisen päätöksenteon metsäpalojen torjunnassa, parantavat tehokkuutta ja tarkkuutta hätätilanteissa sekä mahdollistavat tehokkaan tiedonkeruun dynaamisissa metsäpalotilanteissa. Kehittynyt tekoäly ja kaukokartoitus mahdollistavat reaaliaikaisen palojen havaitsemisen ja keräävät kriittistä tietoa, kuten palon leviäminen, intensiteetti ja ympäristövaikutukset. Ennustavan palon leviämismallin kehittäminen: Hankkeessa kehitetty malli tarjoaa näkemyksiä palontorjuntastrategioihin, auttaa viranomaisia kohdistamaan toimenpiteet korkean riskin alueille ja optimoimaan resurssien käyttöä, ja integroi GIS- ja ympäristötietoja, mikä auttaa viranomaisia ennakoimaan ja lieventämään palon etenemistä tehokkaammin. Dronepohjainen tilannetietoisuus parantaa ensivastaaajien päätöksentekoa tarjoamalla tarkkaa ja ajantasaista tietoa reaaliajassa. UAS-liikenteen hallinta (UTM) ja kestävät yhteysratkaisut varmistavat saumattoman autonomisten dronejen koordinoinnin haastavissakin olosuhteissa. Tekoälyohjattu kaukokartoitus ja reaaliaikainen ympäristön seuranta: Hankkeessa kehitetyt ratkaisut tukevat kestävä metsänhoitoa, maankäyttöä ja tarkkuusmaataloutta, auttavat optimoimaan metsän harvennusta, havaitsemaan kuivuusstressiä ja parantamaan biomassan seurantaa sekä edistävät terveempiä ja kestävämpiä ekosysteemejä. Ratkaisut soveltuvat myös tulvien, öljyvuojojen ja myrskyvahinkojen seurantaan ja lieventämiseen. Digitaalisten menetelmien sovellettavuus: Hankkeessa kehitettyjä digitaalisia menetelmiä voidaan laajentaa muihin ympäristön seurantakohteisiin, kuten ilmanlaadun arviointiin, ekosysteemien terveyden seurantaan ja infrastruktuurin tarkastukseen. Kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön vahvistaminen: Työskentely UNITE- ja 6G-lippulaivojen, FUAVE RDI -verkoston, kansainvälisen tiedeyhteisön ja keskeisten suomalaisten metsäpalojen hallinnan sidosryhmien kanssa helpottaa huipputeknologian ja tekoälyn siirtoa käytännön sovelluksiin sekä edistää hankkeen yhteiskunnallisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348802 Urban environment and climate change in the arctic: data-driven intelligence approach to multihazard mitigation (ADAPTINFA)	■ Edistää ilmastonmuutokseen sopeutumista, vähentää kasvi-huonekaasujen päästöjä ilmakehään, ja näihin liittyvien digitaalisten teknologioiden kehittämistä, jotka lieventävät äärimmäisten ja epätavallisten sääolosuhteiden vaikutuksia kaupunki- ja maaseutuympäristöissä sekä niihin liittyvissä infrastruktuureissa. ■ Suojella kaupunkiympäristöjä, niihin liittyviä infrastruktuureja ja teollisuuslaitoksia vähentämällä luonnonkatastrofien riskiä, jotka johtuvat ilmastonmuutoksen aiheuttamista äärimmäisistä ja epätavallisista sääolosuhteista näillä alueilla. ■ Varmistaa teiden kestävä toiminta arktisilla ja subarktisilla (boreaalisilla) alueilla estämällä vakavat vauriot päällysteissä ja teissä, jotka voivat aiheuttaa palvelujen toimimattomuutta kaupunki- ja maaseutualueilla. ■ Edistää digitaalista siirtymää ja tekoälypohjaisia ratkaisuja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa jakamalla tieteellistä tietoa, tekemällä yhteistyötutkimuksia teollisuuskumppaneiden kanssa ja lisäämällä osaamista monitieteisistä aiheista.	Ilmastonmuutoksen vaikutuksia simuloivien menetelmien kehittäminen: Hanke on kehittänyt menetelmiä, joiden avulla voidaan ymmärtää jäätymis- ja sulamissyklejä sekä jäälinsien kasvua maaperässä ja teissä. Menetelmiä voidaan käyttää simuloimaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja tunnistaa, miten tietyt tekijät (parametrit) vaikuttavat teiden ja maaperän kuntoon pohjoisilla alueilla. Menetelmän avulla voidaan ylläpitää teiden kuntoa ja sopeutua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin. Ohjelmiston kehittäminen pakkasjyrähdysten havaitsemiseksi: Hanke kehitti Python-kirjastoihin perustuvan ohjelmiston pakkasjyrähdysten havaitsemiseksi ja paikantamiseksi. Hydrologisen mallin kehittäminen: Hanke kokosi Suomen maan, maaperän ja pitkäaikaisten meteorologisten tietojen tiedot tietokantaan hyperresoluution laajamittaiselle hydrologiselle mallille. HydroBlocks-mallinnustuloksia voidaan käyttää laskemaan lämpöstressiä maaperässä ja teissä Suomessa nopeiden ilman lämpötilan laskujen aikana ja valitsemaan alueita, joilla on lisääntynyt vaara kryoseismisten ilmiöiden vuoksi, ja arvioimaan niiden riskiä infrastruktuureille näillä alueilla. Ratkaisut useiden tietolähteiden integroimiseen: Hanke on tuottanut uusia tekoälyyn ja koneoppimiseen perustuvia ratkaisuja useiden tietolähteiden integroimiseksi. Yhdistettyihin tietolähteisiin kuuluvat paikan päällä tehdyt maamittaukset, säähavainnot ja satelliittikaukokartoitustiedot. Tietolähteiden yhdistäminen edistää useita ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja sen hillitsemisen osa-alueita rakennetun infrastruktuurin ja ympäristön suhteen. Pitkän aikavälin teiden laadun ennustamisen kehittäminen: Hanke on kehittänyt teiden laadun ennustamiseen liittyviä ratkaisuja (käyttötapaus, josta saatu hyviä tuloksia), jotka perustuvat monimuotoisiin historiallisiin kansainvälisen epätasaisuusindeksin mittauksiin, yksityiskohtaisiin kausiluonteisiin sää tietoihin, ylläpitotietoihin, maaperätyyppitietoihin ja teiden spatiaalisiin ominaisuuksiin.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
347602 Foundations and digital infrastructure for green offshore energy production close to Finnish coasts: from marine investigations to the numerical estimation of undrained shear strength of the seabed deposit layers under cycling loading (GEOMEASURE)	■ Tehdä merienergiaan ja kaapeleiden turvallisuuteen liittyvää tutkimusta ja innovaatioita, jossa yhdistetään merellä olevan infrastruktuurin maalle. ■ Keskittyä vähähiiliseen talouteen, infrastruktuurin kestävyteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen tutkimalla merituulienergiaa.	Tutkimuksen ja innovaatioiden edistäminen: Tutkimuksen tulokset voivat vähentää tulevien rakenteiden ja yhdistävän infrastruktuurin riskejä ja kustannuksia. Tulokset ovat kansallisen elpymis- ja palautumissuunnitelman (RRP) tavoitteiden mukaisia, sillä hanke edisti tutkimusta ja innovaatioita. Teknologian siirron tukeminen: Hanke tuki teknologian siirtoa keskusteluilla teollisuuden ja muiden sidosryhmien kanssa ja edisti yritysten välistä yhteistyötä. Vihreää ja digitaalista siirtyvää edistävien digitaalisten teknologioiden kehittäminen: Hanke tuki sekä vihreää että digitaalista siirtymää, edisti ratkaisuja hiilineutraaliuteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen sekä kehitti siihen liittyviä digitaalisia teknologioita, kuten numeerisia menetelmiä suunnitteluun.
347780 Managing Forests for Climate Change Mitigation (ForClimate)	■ Edistää vihreää siirtymää ja hiilineutraaliuden ja ilmastomuutokseen sopeutumisen ratkaisuja.	Uuden tiedon tuottaminen: Hanke on tuottanut tieteellistä tietoa metsien ja niiden hoidon kokonaisvaltaisista vaikutuksista ilmastoon. Uutta tietoa on tuotettu esimerkiksi siitä, miten metsien hoito orgaanisilla ja mineraalimailla vaikuttaa metsien hiilinieluun. Metsän paikallisen aerosolituotannon mittaamisen menetelmän kehittäminen: Hanke on kehittänyt uuden menetelmän metsän paikallisen aerosolituotannon mittaamiseen ja analysointiin. Menetelmä antaa kattavamman kuvan metsien ilmastovaikutuksista, jotka koostuvat eri puulajeista, kasvavat eri maaperätyypeillä ja joita hoidetaan eri tavoin. Mallinnusmenetelmien kehittäminen metsien ilmastovaikutusten analysoimiseksi: Hanke on kehittänyt Motti C+ -menetelmän, jossa kahta eri mallia (Motti ja PREBAS) käytetään vuorovaikutteisesti tuottamaan ennuste metsänhoidon ja ilmastomuutoksen vaikutuksista. Motti C+ on työkalu skenaarioanalyysien tekemiseen ja metsien roolin arvioimiseksi ilmastomuutoksen hillinnässä. Mallin kehitys ja kehitteillä oleva käyttöliittymä sekä uusi instrumentointi paikallisen aerosolituotannon mittaamiseksi (Cluster Ion Counter) edistävät myös digitaalisia teknologioita.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
347701 Green and digital transition in river basin management (Green-Digi-Basin)	Vihreän ja digitaalisen siirtymän ja kestävän vesien hallinnan edistäminen Suomessa ja EU:ssa.	Digitaalisten kaksosten kehittäminen vesivarojen hallintaan: Hanke on ollut keskeisessä asemassa digitaalisten kaksosten edistämässä vesivarojen hallinnassa sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Niiden käyttöönottoa varten on luotu tiekartta, ja projekti on tehnyt yhteistyötä asiantuntijoiden kanssa yli 10 maassa. Optimoidut ratkaisut luonnonmukaiseen vesien suojeluun: Hanke kehitti Oulangan vesistöalueella hydrologiseen mallinnukseen perustuvan optimointiprosessin, jolla tunnistettiin tehokkaimmat kunnostustoimet vesien suojelun ja hiilen sitomisen parantamiseksi. Ravinteiden ja hiilen mallinnuksen parantaminen Vantaanjoen vesistöalueella: Hanke on tuottanut uutta paikkatietoa veden laadusta ja epäorgaanisen hiilen mittauksista, joita oli aiemmin saatavilla vain vähän. Tietojen avulla on tunnistettu hiilen kuormitushuippuja ja simuloitu maankäytön vaikutuksia hiilipäästöihin eri ilmastonmuutosskenaarioissa. Ilmastonmuutoksen vaikutus jokien talviseen hydrologiaan ja maaston muutoksiin: Hankkeen hyödyntämät uudet mittaustekniikat ovat paljastaneet, että kevättulvat ovat aikaistuneet ja heikentyneet, kun taas talvitulvien määrä ja voimakkuus ovat lisääntyneet. Yli 70 % näistä muutoksista on tapahtunut viimeisen vuosikymmenen aikana. Havainnot tukevat parempaa valmistautumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin vesivarojen hallinnassa. Pitkäaikaisten seurantatietojen ja laskennallisen mallinnuksen yhdistäminen: Hanke on tutkinut, miten vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitukseen maatalousvaltaisessa valuma-alueessa Saaristomeren valuma-alueella. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muuttuvat talviolosuhteet asettavat yhä suurempia haasteita vesien suojelulle Etelä-Suomessa. Reaaliaikainen paikan päällä tapahtuva seuranta ja valuma-alueen laajuinen analyysi ovat keskeisiä työkaluja näiden vaikutusten lieventämisessä. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja digitaalisen mallinnuksen kehittäminen: Hanke on edistänyt vihreää ja digitaalista siirtymää yhdistämällä pitkäaikaiset hydroilmastotiedot ja jokien morfologian digitaaliset mittaustekniikat ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja digitaalisen mallinnuksen parantamiseksi. Hanke on tuottanut tietoa siitä, miten ilmastonmuutos muuttaa boreaalisen alueen hydroilmastollisia järjestelmiä lumesta sadevaltaisiksi. Havainnot tukevat jokien kunnostusstrategioita, digitaalista mallinnusta, sedimenttivirtojen hallintaa ja infrastruktuurin suunnittelua. Kehitetyt mallit ja työkalut integroidaan kansalliseen valuma-alueiden mallinnusjärjestelmään, mikä parantaa vesitilanteen arviointien ja saastelaskelmien tarkkuutta. Tavoitteena on varmistaa, että hankkeessa tuotetut ratkaisut vaikuttavat pysyvästi kansallisiin vesien hallintakäytäntöihin.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348586 Modelling engine to design, assess environmental impacts, and operate wind farms for ice-covered waters (WindySea)	■ Edistää vihreää ja digitaalista siirtymää kehittämällä merituulienergiaratkaisuja kylmiin merialueisiin. Nämä tavoitteet tukevat suoraan hiilineutraaliuden ja ilmastonmuutokseen sopeutumisen tavoitteita. ■ Hanke käsitteli keskeisiä haasteita merituulivoiman käyttöönotossa Itämerellä, erityisesti jääolosuhteita, jotka lisäävät teknisiä ja taloudellisia esteitä.	Digitaalisen kaksosen prototyypin kehittäminen: Hanke kehitti digitaalisen kaksosen prototyypin tuulipuiston suunnitteluun ja ympäristövaikutusten arviointiin sekä kustannustehokkuuden parantamiseen integroimalla huipputeknologiaa. Merijäämallinnuksen kehittäminen: Hanke on kehittänyt ja edistänyt numeerista merijäämallinnusta käyttämällä diskreettielementtimenetelmää ja hyödyntäen supertietokoneita, kuten LUMI:a. Korkearesoluutioiset mallit mahdollistavat kehittyneempien simulaatioiden tekemisen merijään dynamiikasta ja niiden vuorovaikutuksesta tuulipuistojen kanssa. Mallinnuksella voidaan informoida paremmin suunnittelua. Lisäksi jääkuormakokeet paljastivat uusia turbiini-jää-vuorovaikutuksia, jotka vaikuttavat tulevaan työhön merituulirakenteiden turvallisuuden, kestävyys ja resilienssin varmistamiseksi. Yhteistyön vahvistuminen: Hanke on vahvistanut yhteistyötä Aalto-yliopiston, VTT:n ja Ilmatieteen laitoksen välillä. Kumppanuus vahvistaa Suomen johtajuutta kylmien alueiden meriteknikassa ja varmistaa pitkäaikaista innovaatiotyötä uusiutuvien energiaratkaisujen parissa. Huippututkimuksen, teknologisen innovaation ja strategisten kumppanuuksien kautta hanke on vahvistanut Suomen roolia globaalissa siirtymässä kohti kestäviä, resilienssejä merituulienergiaratkaisuja, mikä tukee pitkäaikaisten hyötyjen tuottamista sekä ympäristölle että teollisuudelle. Teollisuusstandardien tarkentaminen: Hanke on auttanut tarkentamaan teollisuusstandardeja merituulivoimalle jäisissä olosuhteissa, mikä tukee sekä kansallisia että EU-tason ilmastotavoitteita. Hanke loi RRF-rahoituskauden aikana perustan tuleville edistysaskeleille ja hankkeen jatkohanke, jota rahoittaa Väylävirasto, tutkii tuulipuistojen vaikutuksia merijääolosuhteisiin, jotka ovat merkityksellisiä merenkululle. Hankkeen tutkimuksen jatkuminen korostaa RRF-hankkeen systeemistä vaikutusta, sillä uusi hanke yhdistää uusiutuvan energian kehityksen meriturvallisuuteen ja ympäristön kestävyys.
348179 Aalto ENG/SCI Alcon (AES)	■ Nopeuttaa digitaalisten ja vähähiilisten teknologioiden kehitystä.	Laskennallisten tietokantojen ja tekoälypohjaisten ratkaisujen kehittäminen: Hanke kehitti kokeellisia ja laskennallisia tietokantoja hiilidioksidin vetyttämiseksi metanoliksi sekä tekoälypohjaisia ratkaisuja uusien katalyyttimateriaalien ennustamiseen. Hanke testasi uusia materiaaleja ja optimoi käyttöolosuhteita tietoon perustuvan kokeellisen suunnittelun avulla. Kokeellista suunnittelumenetelmää sovellettiin elektrotermisiin energianvarastointijärjestelmiin, eli nousevaan vihreään teknologiaan. Hankkeen tietokannat, työnkulut ja katalyytit tullaan avaamaan maksuttomasti julkisesti saataviksi. Näin voidaan edistää vähähiilisten teknologioiden ja digitaalisten (tekoälypohjaisten) materiaalien löytämistä.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348643 Capturing structural and functional diversity of trees and tree communities for supporting sustainable use of forests (@Diversity4Forests)	- Vaikuttaa valtion organisaatioihin ja niiden toimintaan (Luonnonvarakeskus, Suomen ympäristökeskus ja Suomen metsäkeskus) ja sitä kautta parempaan metsäpolitiikan päätöksentekoon ja metsänhoidon suunnitteluun Suomessa. - Tehdä tutkimus- ja kehitystyötä, josta syntyy Suomeen uusia yrityksiä, jotka tarjoavat erilaisia metsäarviointipalveluja, joille on todennäköisesti kysyntää myös kansainvälisesti.	Uusien teknologioiden kehittäminen: Hanke on kehittänyt uusien teknologioita, kuten maalaserskannauksen (TLS), mobiililaserskannauksen (MLS) ja drone-pohjaiset mittaukset. Näiden käyttöönotto Suomen metsäkeskuksen kartoitustehtävissä parantaa tiedon laatua, mikä puolestaan parantaa tarjottavia palveluja. Kehitetyt teknologiat ovat olennaisia puun alkuperän jäljittämässä ja laittoman hakkuun estämisessä. Menetelmiä voidaan käyttää myös metsän viljelyn ja jalostuksen parantamiseen lisäämällä ymmärrystämme kasvuolosuhteiden ja lopputuotteen välisistä suhteista. Kehitetyillä teknologioilla on vientipotentiaalia. Menetelmien kehittäminen: Hankkeessa on kehitetty menetelmiä puiden yksilöllisyyden mittaamiseen, puukuolleisuuden kartoittamiseen ja metsän rakenteellisen monimutkaisuuden arvioimiseen. Nämä mahdollistavat parempien päätösten tekemisen metsänhoidon suhteen yhteiskunnassa ja yrityksissä. Osaamisen vahvistaminen: Hanke on vahvistanut menetelmäkehityksen kautta yhteiskunnassa ja yrityksissä tarvittavaa osaamista ja asiantuntemusta, jota tarvitaan biodiversiteetin häviämisen pysäyttämiseksi ja hiilivarastojen lisäämiseksi.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348035 Artificial intelligence, spatial statistics and Earth observation for digital twinning of forest diversity (ARTISDIG)	Edistää vihreää ja digitaalista siirtymää kehittämällä edistyneitä tekoälypohjaisia algoritmeja Maan havainnointidatan tulkitsemiseksi.	Metsien rakenteellisen ja spektrisen vaihtelun kvantifioinnin ja seurannan kehittäminen: Hanke on vahvistanut olemassa olevia tutkimusyhteistyöverkostoja Suomessa, yhdistäen metsätutkimuksen tekoälyn kehitykseen. Tämä edistää edistyneiden digitaalisten teknologioiden käyttöä metsäekosysteemien seurannassa ja hallinnassa ja vahvistaa hankkeen vaikutusta hiilineutraaliuteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen. Hanke on kehittänyt metsien monimuotoisuuden digitaalista kaksostamista luomalla työkaluja boreaalisen metsien monimuotoisuuden integroimiseksi Digital Twin Earth -hankkeeseen, joka on EU:n lippulaivahanke, jota toteutetaan rinnakkaisissa projekteissa. Tekeillä oleva integraatio lisää ymmärrystä metsänhoitolinjausten vaikutuksista muuttuvassa ilmastossa ja tuottaa korkearesoluutioista dataa. Hanke on yhdistänyt 3D-ilmasta tehtävän laserkeilauksen hyperspektriseen kaukokartoitukseen parantaakseen metsien digitaalisten kaksosten parametrisaatiota ja validointia. Skaalautuvat teknologiat tuottavat dataa sekä metsien rakenteesta että toiminnasta, mikä on keskeistä tarkkojen hiiliarvioiden kannalta. Digitaalisten teknologioiden, kuten tekoälyn ja edistyneen kaukokartoituksen, käyttö vahvistaa metsäsektorin osaamista Suomessa ja yhdistää metsätutkimuksen tekoälyn kehitykseen ja muihin edistyneisiin kartoitusmenetelmiin. Ratkaisujen kehittäminen hiilineutraaliuteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen: Hanke on kehittänyt menetelmiä metsien rakenteellisen ja spektrisen vaihtelun tarkkaan kvantifointiin ja seurantaan, joita tarvitaan hiilivarastojen ymmärtämisessä ja hallinnassa metsissä, jotka ovat keskeisiä hiilen sitomisessa ja ilmaston säätelyssä. Hankkeen tulokset mahdollistavat tietoon perustuvan päätöksenteon suojele- ja hoitokäytännöissä ja tuottamat datasetit ovat olennaisia metsien seurannan parantamisessa tulevilla hyperspektrisatelliiteilla (kuten Euroopan avaruusjärjestön ESA:n vuonna 2029 laukaistava Sentinel-10 CHIME) erilaisten metsänhoitostrategioiden vaikutusten arvioimiseksi hiilen sitomiseen ja sopeutumistoimenpiteiden kehittämiseksi ilmastomuutoksen vaikutusten lieventämiseksi. Digitaalisten teknologioiden kehittäminen hiilineutraaliuteen ja ilmastomuutokseen sopeutumiseen: Hankkeen kehittämät ratkaisut ovat kaikki luonteeltaan digitaalisia teknologioita, jotka tukevat hiilineutraaliutta ja ilmastomuutokseen sopeutumista. Edistyneiden kartoitusteknologioiden integrointi: ilmasta tehtävä laserkeilaus tunnetaan metsien rakenteen tarkasta määrittämisestä metsien digitaalseksi kaksoiseksi. Spektridata tarjoaa lisätietoa lajien monimuotoisuudesta, toiminnasta ja rakenteellisesta vaihtelusta. Hankkeen tuottamat korkearesoluutiset datasetit tukevat tietoon perustuvaa päätöksentekoa suojele- ja hoitokäytännöissä. Hanke on edistänyt myös Destination Earth -kehityksen digitaalista kaksostamista yhdistämällä kenttämittaukset edistyneisiin kartoitusmenetelmiin. Näin voidaan lisätä ymmärrystä metsädynamiikasta muuttuvassa ympäristössä ja helpottaa sopeutumistoimenpiteiden kehittämistä ilmastomuutoksen vaikutusten lieventämiseksi.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
347199 UH-Aalto Sustainable Autonomous AI in Fight Against Climate Change (UHASSA)	■ Ymmärtää, kuinka autonominen sähköistetty liikenne tulisi järjestää ja hallita, jotta liikenteeseen liittyvien CO₂-päästöjen vähentäminen kaupungeissa maksimoitaisiin.	Mallinnustyökalujen viitekehysten kehittäminen: Hanke on kehittänyt laskennallisten mallinnustyökalujen viitekehysten, jolla arvioidaan sähköistettyjen automaattisten ajoneuvojen käyttöönotosta aiheutuvia CO₂-päästöjä kaupunkien tieympäristössä. Tekoälypohjaisten ohjaus- ja optimointistrategioiden kehittäminen: Hanke on kehittänyt tekoälypohjaisia ohjaus- ja optimointistrategioita ajoneuvotasolta kaupunkitasoiseen liikenteen hallintaan, joissa CO₂-päästöt minimoidaan. Tutkimus käsitteli siirtymävaihetta, jossa manuaalisesti ajettavat ja autonomiset ajoneuvot sekä polttomoottori- ja sähköajoneuvot ovat samanaikaisesti läsnä liikennekalustossa. Vahvistusoppimismallien (koneoppimismallien) kehittäminen liikenteen optimointiin: Hanke on kehittänyt uusia monen tavoitteen vahvistusoppimismalleja liikenteen optimointiin. Malli perustuu tärkeimpiin päästöjen vähentämisen näkökulmasta valittuihin skenaarioihin, jotka valittiin projektin sidosryhmien kanssa. Skenaariot käsittelevät yksittäisten ajoneuvojen matka-aikaa ja päästöjä, sähköajoneuvojen latausasemien infrastruktuuria ja viimeisen kilometrin liikennettä kimppakyytien avulla. Skenaarioissa kehitettiin menetelmiä ihmiskuljettajien mallintamiseen, jotta voidaan luoda esimerkiksi strategioita liikenteen päästöjen vähentämiseksi kannustamalla automaattiliikenteen kestävämpään ajokäyttäytymiseen.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
347848 Evaluating integrated spatially explicit carbon-neutrality for boreal landscapes and regions (C-NEUT)	- Tarjota parempia arvioita hiilen prosesseista/varastoista ja nettokasvihuonekaasupäästöistä eri maankäyttöluokille korkealla resoluutiolla. - Tuottaa arvioita alueellisesta potentiaalista vähentää ihmisen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä kansallisen ilmasto- ja energiastrategian nykyisten suunnitelmien perusteella. - Kehittää vaikutusskenaarioita ja kuvauksia keskeisissä malliprosesseissa, joita käytetään arvioinneissa. - Kehittää uusia konsepteja datan alueelliseen ekstrapolointiin (empiirinen data, mallinnus, kaukokartoitus). - Tunnistaa ekosysteemin käännekohtia ja niiden epävarmuuksia. - Kehittää uusia lähestymistapoja korkearesoluutioisiin maan havainnointitekniikoihin (EO) ja koneoppimiseen. - Tuottaa integroidut, tilallisesti eksplisiittiset hiilineutraaliusskenaariot eri mittakaavoilla (yksittäiset elinympäristöt, yhteisöt, alueet, kansallinen mittakaava), jotka huomioivat myös biodiversiteetin (BD) ja kestävyden näkökohdat. - Tunnistaa potentiaali kehitettyjen tekniikoiden käyttämiseksi muilla alueilla/maissa projektitiimin vakiintuneiden läheisten kontaktien kautta kansainvälisiin verkostoihin ja tutkimusinfrastruktuureihin (esim. eLTER, ICOS, ILTER).	Uuden tiedon tuottaminen: Hanke keräsi ja analysoi kasvihuonekaasujen virtausdataa ekosysteemien ja ilmakehän. Virtaukset mitattiin mikrometeorologisella pyörrevirtausmenetelmällä (EC) eri ekosysteemeissä ympäri Suomea osana kansainvälisiä verkostoja (esim. ICOS, eLTER ja Fluxnet). Tietoja käytettiin hankkeessa hyödynnettyjen eri mallijärjestelmien syötteenä ja kasvihuonekaasutaseiden arvioimiseksi. Loppukäyttäjille tuotettiin alueellisia datakokonaisuuksia eri maankäyttöluokista. Mallinnuksessa käytettyjen tila-aineistojen parantaminen: Hanke kehitti mallinnuksessa käytettyjä tiladatoja hiiliprosesseista ja biodiversiteetistä, käyttämällä korkearesoluutioista kaukokartoitusta (ilmalaserkeilaus (ALS), multi- ja hyperspektrinen ilmakuvantaminen), historiallisten ilmakuvien aikasarja-analyysiä ja koneoppimisalgoritmeja. Suurimittakaavaisten mallinnustyökalujen hyödyntäminen: Hanke käytti suurimittakaavaisia dynaamisia mallinnustyökaluja kehittämään skenaarioita hiiliprosesseista/varastoista luonnonmailla ja analysoimaan tuloksia ilmastomuutoksen hillinnän, sopeutumisen ja biodiversiteetin suojelun näkökulmasta. Hanke kehitti myös häiriömoduuleja metsien resilienssin analysoimiseksi. Tilatiekantojen tuottaminen: Hanke tuotti yksityiskohtaisia tilatiekantoja eri maankäyttöluokkien nykyisistä nettokasvihuonekaasupäästöistä. Projektin tuloksia ja työkaluja käytetään tällä hetkellä REPower-CEST-projektissa (Clean Energy System Transition), joka on rahoitettu NextGenerationEU-instrumentilla.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
347319 Microscopy and machine learning in molecular characterization of lignocellulosic materials (MIMIC)	■ Kehittää ja soveltaa molekyylitason pyyhkäisykärkimikroskopiaa ja koneoppimisanalyysiä lignoselluloosamateriaalien karakterisointiin. ■ Ymmärtää, miten kestäviä materiaaleja voitaisiin kuvantaa korkearesoluutioisella pyyhkäisykärkimikroskopiolla.	Biomolekyylien kuvantamisen kriteerien kehittäminen: Hanke loi kriteerit kokeiden ja simulaatioiden systemaattiselle vertailulle monimutkaisten biomolekyylien kuvantamisessa. Koneoppimisen integrointi materiaalien analyysiin: Hanke kehitti työnkulkuja, jotka yhdistävät ML:n ja SPM:n molekyylitason analyysiin, parantavat datan käsittelyä ja nopeuttavat materiaalien löytämistä. Lähestymistapa automatisoi tehtäviä, jotka perinteisesti vaativat laajaa manuaalista panosta, ja tekee niistä tehokkaampia ja skaalautuvampia. Edistyneiden kuvantamistekniikoiden kehittäminen: Molekyyli- ja atomitasen resoluution saavuttaminen LCM:lle kuroo umpeen kuilun kokeellisen kuvantamisen ja simulaation välillä. Tämä mahdollistaa tarkemmat digitaaliset mallit kestävästä materiaaleista, mikä on ratkaisevaa teollisuudelle, joka siirtyy datalähtöiseen suunnitteluun ja simulointiin. Molekyylien löytöputken kehittäminen: Integroimalla ML-energianäytteenoton, ML-potentiaalit ja kvanttisimulaatiot, projekti luo perustan suurten läpimenoaikojen digitaalisille työnkuluille. Tämä innovaatio voidaan laajentaa muihin materiaalijärjestelmiin, edistäen laskennallisen materiaalitieteen ja nanoteknologian kehitystä. Keskittyminen kestäviin materiaaleihin: LCM:n karakterisointi, joka on peräisin uusiutuvasta biomassasta, tukee ympäristöystävällisten vaihtoehtojen kehittämistä petrokemian tuotteille. Syventämällä ymmärrystä niiden molekyylirakenteesta ja ominaisuuksista, projekti nopeuttaa kestävien materiaalien käyttöönottoa teollisuudessa, kuten pakkaus-, rakennus- ja tekstiiliteollisuudessa. Resurssien tehokas käyttö: Korkearesoluutioinen kuvantaminen ja laskennalliset lähestymistavat optimoivat materiaalien kehitysprosesseja, vähentäen kokeellista yritys-erehdys-menetelmää ja minimoiden arvokkaiden resurssien hukkaa. Tämä on linjassa kestävä tuotannon periaatteiden kanssa. Elektrosuihku ja biomolekyylianalyysi: Kyky tallettaa ja analysoida biomolekyyliä tarkasti elektrosuihkutekniikoilla edistää biokompatibleiden ja biohajoavien materiaalien ymmärtämistä. Nämä oivallukset voivat auttaa suunnittelemaan vihreitä teknologioita, kuten bioelektroniikkaa tai ympäristöystävällisiä pinnoitteita. Digitaalisten ja vihreiden tavoitteiden synergia: Projekti osoittaa, miten digitaaliset innovaatiot, kuten ML-pohjaiset työkulut, voivat vastata kestävien materiaalien kehittämisen haasteisiin. Se luo palautusilmukan, jossa laskennalliset edistysaskeleet tukevat vihreitä aloitteita, samalla kun kestävästä materiaaleista saadut oivallukset vievät digitaalisia teknologioita uusille rajoille. Tämä synergia on välttämätön tulevaisuudelle, jossa digitaaliset työkalut ja vihreät materiaalit kehittyvät yhdessä vastaamaan yhteiskunnallisiin ja ympäristöllisiin tarpeisiin.

Hanke	Tavoitteet	Tulokset
348479 Beyond carbon-neutral drone aerial deliveries with autonomous micro airports in sustainable metropolitan areas (AeroPolis)	■ Kehittää turvallinen ja läpinäkyvä digitaalinen infrastruktuuri autonomisten droonien käyttöön nykyaikaisessa kaupunkiympäristössä. ■ Mahdollistaa droonien laajamittainen hyödyntäminen esimerkiksi kuljetus- ja tiedonkeruupalveluissa, edistämällä palveluekosysteemien syntyä ja lisäämällä autonomisten droonien hyväksyttävyyttä yhteiskunnassa.	Digitaalisen infrastruktuurin konseptin ja viitearkkitehtuurin kehittäminen: Hanke on kehittänyt digitaalisen infrastruktuurin konseptin ja viitearkkitehtuurin autonomisten droonien toiminnalle nykyaikaisessa kaupunkiympäristössä. Digitaalisen infrastruktuurin konseptissa kuvataan, miten droonit toimivat säädelyissä tiloissa tarjoten jäljitettävyyttä ja vastuullisuutta, mikä lisää autonomisten droonien yleistä hyväksyttävyyttä. Käytännön viitearkkitehtuurissa kehitettiin palvelupohjaisia lähestymistapoja, joiden avulla voidaan edistää palveluekosysteemejä ja mahdollistaa droonien käyttö eri palveluissa, kuten kuljetuksessa ja tiedonkeruussa. Teknologian kehittäminen: Teknologian kehitys jakautui kahteen päälinjaan. Ensimmäinen linja keskittyi autonomian lisäämiseen, mikä mahdollistaa autonomisten droonien laajemman käyttöönoton eri toimialoilla. Erityisesti suhteellisen paikannuksen algoritmit, jotka yhdistävät UWB-, kamera- ja LiDAR-dataa, parantavat merkittävästi tilannetietoisuutta esimerkiksi droonien nousujen ja laskujen aikana. Tämä edistysaskel tukee autonomisten droonien laajempaa käyttöönottoa, vauhdittaa teollisuuden digitalisaatiota ja parantaa toiminnan tehokkuutta. Se tarjoaa myös ratkaisuja huonon näkyvyyden ja GNSS-signaalin puuttumisen tilanteisiin sekä parantaa reaaliaikaista seuranta vastadroonijärjestelmissä. Nämä teknologiset edistysaskeleet eivät ainoastaan ratkaise kriittisiä ongelmia GNSS-signaalittomissa ympäristöissä, vaan ne myös edistävät kustannustehokkaiden ja tarkkojen paikannusmenetelmien kehitystä, tukien kestävä kasvua ja yhteiskunnan resilienssiä. Toinen kehityslinja sisälsi laajaa tutkimusta sopivista puolijohdemateriaaleista ja -teknologioista, valmistusmenetelmistä ja elektrokemiallisista prosesseista huipputason Micronova-puhtaan tilan tiloissa. Hankkeessa hyödynnettiin ja tuotettiin osaamista monitieteisistä aiheista elektrokemiallisista prosessitekniikkaan ja sovelluksiin. Hybridilaitteet suunniteltiin, valmistettiin ja karakterisoitiin hyödyntäen sekä valo- että kemiallisia energialähteitä sähkön tuottamiseen, poiketen perinteisistä polttokennoista, jotka perustuvat ionien kuljetukseen ja erillisiin elektrodeihin. Nämä toimet huipentuivat laitteen kyvykkyyksien ensimmäisiin demonstraatioihin, jotka osoittivat lupaavia tuloksia kemiallisen energian muuntamisessa sähköenergiaksi.

