

Nioårsutvärdering av
strategiska innovationsprogram

SIO Grafen

Utgivare: Vinnova – Sveriges innovationsmyndighet

Titel: Nioårsutvärdering av strategiska innovationsprogram: SIO Grafen

Författare: Erik Cederberg och Anton Höglin, Sweco

Serie och nummer: VR 2023:21

ISSN-nummer: 1650-3104

Utgiven: December 2023

ISBN-nummer: 978-91-987942-8-1

Diarienummer: 2021-02735

Innehåll

1. Utvärderingen i korthet, slutsatser och rekommendationer	6
1.1 Sammanfattning	6
1.2 Slutsatser	9
1.3 Rekommendationer	9
2. Uppdrag och genomförande	11
2.1 Uppdrag	11
2.2 Metod och genomförande	12
2.3 Rapportens upplägg	15
3. Om SIO Grafen.....	16
3.1 Insatsområde	16
3.2 Mål, organisation och implementering	17
3.3 Finansieringsanalys	21
4. Effekter för deltagare.....	30
4.1 Samverkan och kompetens	30
4.2 Effekter i företag	35
4.3 Effekter för lärosäten och forskningsinstitut	39
5. Systemeffekter.....	44
5.1 Mobilisering	44
5.2 Förutsättningar för innovation	46
6. Programmets mervärde.....	53
6.1 Inriktning	53
6.2 Mervärde	54
7. Handlingsplan efter sexårsutvärderingen	59
8. Bidrag till SIP-instrumentets effektmål.....	65
8.1 Bedömning av bidrag till effektmålen	67
8.2 Programmets framtida bidrag	75
Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning	77
Bilaga B: Fallstudie – Värdekedjor för växande deeptech-företag.....	84
Bilaga C: Expertrapport	95

Förord

Energimyndigheten, Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande (Formas) och Verket för innovationssystem (Vinnova) finansierar 17 strategiska innovationsprogram för samverkan inom forskning och innovation. Programmen kan få finansiering i upp till tolv år, uppdelat i fyra etapper om tre år. Uppföljning, lärande och resultatfokus är betydelsefulla komponenter i dessa långsiktiga satsningar. Därför genomgår alla program en utvärdering inför varje ny treårsetapp.

Utvärderingarna är viktiga av flera skäl. De bidrar till lärande och utveckling av varje enskilt program. De bidrar också till lärande hos oss finansiärer, för att vi ytterligare ska kunna utveckla våra forsknings- och innovationsfrämjande insatser. Därtill är de en viktig del av underlaget för att bedöma om ett program ska få fortsatt finansiering, och ett verktyg för att undersöka och spåra hur och i vilken utsträckning programmen åstadkommer tänkta resultat och effekter.

I år har sex program genomgått sin nioårsutvärdering. Det är programmen BioInnovation, Innovair, IoT Sverige, SIO Grafen, Smartare elektroniksystem och Swelife. I nioårsutvärderingarna ligger en särskild tyngdpunkt på att undersöka resultat och tidiga effekter av programmen. Utvärderarna har också följt upp handlingsplaner från sexårsutvärderingen, samt lämnat rekommendationer inför programmens fjärde och sista treårsetapp.

Likvärdighet och oberoende har varit två ledstjärnor i utvärderingsprocessen. Vinnova, Energimyndigheten och Formas har upphandlat Sweco Sverige AB för att genomföra nioårsutvärderingarna. Innehållet, slutsatserna och rekommendationerna i denna rapport är deras.

Det är med stort intresse vi har tagit del av utvärderingens resultat. Vi hoppas att denna rapport, tillsammans med övriga utvärderingar av de strategiska innovationsprogrammen, ska bidra till kunskap och insikter hos alla som vill stärka svensk innovationskraft och skapa förutsättningar för hållbara lösningar på glo-bala samhällsutmaningar.

Stockholm, december 2023

Klara Helstad

Enhetschef,
hållbar industri

Energimyndigheten

Emma Gretzer

Avdelningschef,
samhällsbyggande

Formas

Jenny Elfsberg

Avdelningschef,
innovationsledning

Vinnova

Den myndighetsgemensamma styrgruppen för strategiska innovationsprogram

Sammanfattning

Det strategiska innovationsprogrammet (SIP) SIO Grafen har utvärderats efter nio års verksamhet. Utvärderingen omfattar perioden 2014-2022, med särskild tonvikt på de senaste tre åren. Utvärderingens övergripande slutsats är att programmet är välskött och effektivt, och bidrar med ett mervärde i att tillskapa ett ekosystem för grafenaktörer, accelerera innovation och påverka de strukturella förutsättningarna inom området. Programmet verkar inom vad som kan bli ett nytt svenskt profilområde, vilket ger möjligheter till andra potentiella mervärden utöver de som redan kan iakttas. Det finns dock även en risk att programmets långsiktiga mervärde går förlorat om området inte ges fortsatt stöd, eftersom aktörssystemet fortfarande är ungt och saknar etablerade plattformar.

SIO Grafen etablerades som en satsning på det innovativa materialet grafen men har sedermera breddats till att omfatta 2D-material (supertunna material med en tvådimensionell struktur). Utvärderingen visar att programmets inriktning har utvecklats i takt med grafenområdet. Projektportföljen har rört sig från explorativa projekt till industriella tillämpningar. SIO Grafen har främjat uppkomsten av startups och stöttat svenska grafenleverantörer, vilket resulterat i viktiga kommersiella framsteg. Genom projekt har kunskap överförs från lärosäten till företag, vilket har stärkt forskning och innovation. Trots lovande prototyper och demonstratorer har förväntningarna på kommersiella framgångar ännu inte helt uppfyllts men förväntningar på framtida resultat är stora.

Grafen och 2D-material har i sig potential att stärka hållbar tillväxt tack vare deras breda tillämpningar. SIO Grafen har bidragit till Sveriges innovationskraft inom området vilket kan öka landets attraktivitet för investeringar. SIO Grafen främjar även innovation med potential att adressera globala utmaningar och bidra till hållbar tillväxt. Dock bör förväntningar balanseras mot programmets budget.

SIO Grafen har spelat en strategisk roll för utvecklingen av grafen och 2D-material genom att bidra till framväxten av ett innovationsekosystem och adressera viktiga strukturella frågor såsom standardisering och arbetsmiljö. Programmet har anpassat sin strategi över tid och framgångsrikt implementerat rekommendationer från sexårsutvärderingen. Med fokus på företag inom deeptech har SIO Grafen byggt broar mellan branscher och stärkt Sveriges position internationellt med synergier till EU:s Graphene Flagship-initiativ.

SIO Grafens finansiering synes ha varit avgörande för områdets framsteg och ett för abrupt avslut kan riskera programmet långsiktiga samhällsekonomiska nyttor. Det finns risk att avvecklingen av programmet kan underminera framgångarna med tanke på områdets avsaknad av andra stödstrukturer.

1. Utvärderingen i korthet, slutsatser och rekommendationer

Den här rapporten presenterar nioårsutvärderingen av det strategiska innovationsprogrammet (SIP) SIO Grafen. Utvärderingen är genomförd av Sweco på uppdrag av Verket för innovationssystem (Vinnova), Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande (Formas) och Energimyndigheten. Utvärderingen avser åren 2014–2022 med fokus på de tre senaste åren och tyngdpunkt på uppnådda resultat och effekter. Den har genomförts med en kombination av metoder, däribland expertbedömning, under perioden januari till november 2023. I detta avsnitt sammanfattas först svaren på de utvärderingsfrågor som har väglett utvärderingen. Därefter följer utvärderingens övergripande slutsatser och rekommendationer.

1.1 Sammanfattning

Övergripande karakteriseras SIO Grafen av att man arbetar med ett nytt material utan branschtradition, grafen. Under programmets tidiga år var inriktningen till stor del att medvetandegöra svenska aktörer om materialets möjliga potential. Programmets arbete har utvecklats med tiden, allteftersom kunskapen om och intresset för grafen bland svenska aktörer har ökat.

SIO Grafen har minst budget av de strategiska innovationsprogrammen och portföljen har präglats av små projekt av ofta förberedande eller utredande karaktär. Under de senaste tre åren har styrelse och programkontor uttalat inriktat arbetet mot en högre andel demonstratorprojekt för att nå högre grad av tillämpning. Det riktade arbetet har sammanfallit med att SIO Grafen fått extra medel från Vinnova genom myndighetens satsning inom Hållbar industri.

1.1.1 Mobilisering, kompetensutveckling och samverkan

Grafen och 2D-material är ett ungt innovationsområde. Behoven och aktörgruppen har utvecklats över tid och SIO Grafen parallellt med dem. Programmets inriktning har efterhand förändrats, från små explorativa projekt till större projekt på högre TRL. Det har möjliggjorts av extra medel från Hållbar industri, och speglar områdets mognad samtidigt som det möter tidigare utvärderingars rekommendationer.

SIO Grafens programkontor har bedrivit en bredd av aktiviteter för att mobilisera aktörer – arrangerat turnéer till forskningschefer i stora företag, tillhandahållit en *outreach manager*, anordnat publika arrangemang, erbjudit projektstödsfunktion samt konferensdeltagande. Sammantaget har programmet också lyckats med att skapa en

bred representation av aktörstyper, med fokus på de små och medelstora (SMF) företag som man särskilt värnar om och som utgör kärnan av innovationsekosystemet kring grafen. Bland dessa SMF märks flera startups inom deeptech, avknoppade från lärosäten. Även forskningsaktörer är väl representerade sedan tidigt i programmet, medan offentliga aktörer är färre men förekommer.

Det var inledningsvis svårt för programmet att involvera stora företag som aktiva (finansierande) parter, men stora företag har hela tiden haft ett engagemang i styrelsen och har idag också en större aktiv medverkan i utlysningssprojekten. Det har funnits en förväntan på att kunna mobilisera fler aktörer från elektronik- respektive medicinteknikområdet. De svårigheter som förelegat härvidlag beror förmodligen på att elektronikkomponenttillverkningen inte är inhemsk, att medtech kräver långa ledtider, samt att båda sektorerna har mycket höga krav på tillförlitlighet. Samtidigt står elektroniksektorn för ca 20 procent av programmets portfölj och även inom medtech finns flera intressanta exempel på projekt.

Ett stort aktörstillflöde, av framförallt nya företag, har skett under etapp tre (innevarande etapp med slut 2023). Det indikerar ett momentum och en tillväxt i det innovationsekosystem som SIO Grafen har som mål att etablera för grafenaktörer i Sverige.

1.1.2 Bidrag till att styra utvecklingen i rätt riktning

Programinriktningen har utvecklats med grafenområdet, från explorativa projekt mot industriell tillämpning och breddad mobilisering. SIO Grafen har därmed kunnat driva utvecklingen av projektportföljen närmare kommersiella tillämpningar. Framförallt har programmet starkt bidragit till att bygga upp ett innovationsekosystem av och för svenska grafenföretag och -användare. SIO Grafen arbetar även med att eliminera hinder på området genom att arbeta strategiskt med ramverk och infrastruktur. Inte minst märks frågor om standardisering och karakterisering – som är viktiga för svenska grafenleverantörer och för den delen all industri – samt frågor om arbetsmiljö och kompetensförsörjning.

1.1.3 Kommersiella bidrag

SIO Grafen har bidragit till uppkomsten av startups och utvecklingen av svenska grafenleverantörer. Sådantillvida förekommer högintressanta kommersiella resultat. Man har genom sin projektportfölj bidragit till kunskapsöverföring mellan framförallt lärosäten och SMF, vilket synes leda till en mer industrirelevant FoI-inriktning för forskningsaktörer (framförallt forskare inom lärosäten) och till lösningar av specifika FoI-problem för företagen. I flera projekt har ur både forsknings- och industriellt perspektiv intressanta tillämpade resultat uppstått i form av demonstratorer och prototyper, och många projekt har även lett till fortsättningsansatser.

För projektdeltagarna är förväntningarna på kommande resultat och effekter större än de realiserade, och det finns i nutid förhållandevis få exempel på kommersialisering och affärsmässiga resultat i termer av försäljning.

1.1.4 Mervärde av programmet

Utvärderingen tyder på mervärden både i termer av vilka insatser som annars inte hade genomförts och vilka resultat som annars inte hade uppnåtts. SIO Grafen har också gett ett mervärde genom att accelerera enskilda innovationsprocesser, bygga en stödstruktur och göra viktiga insatser i etableringen av ett innovationsekosystem för grafen och och andra så kallade 2D-material (ytterst tunna material). I det hinderreducerande arbete som pågår finns goda förutsättningar att gynna områdets fortsatta utveckling, men resultaten kan vara avhängiga av fortsatt finansiering och insatser som kan ske även efter att SIO Grafen utvecklats som program.

1.1.5 Bidrag till SIP-instrumentets effektmål

Att grafen och 2D-material är möjliggörande material med bredd av tillämpningar innebär en potential att bidra till stärkt hållbar tillväxt inom flera områden. SIO Grafen har bidragit till att etablera ett nytt svenskt styrkeområde som, om det förvaltas och förstärks, kan ge viktiga bidrag till ett flertal branschers innovationskraft, tillväxt och export. Genom systempåverkan – uppbyggnad av innovationsekosystem och hinderreducerande strategiska insatser – har SIO Grafen även potential att bidra till att göra Sverige mer attraktivt för investeringar och etableringar inom området.

Flera tillämpningsområden är av relevans för hållbarhetsfrågor och för att lösa globala samhällsutmaningar. Det finns även enskilda innovationer som har en disruptiv potential – exempelvis skulle en serie av innovationsprojekt i SIO Grafen som rör antibakteriella egenskaper hos vertikala grafenflagor kunna ha stor betydelse inom medicinteknik med avseende på problemet med antibiotikaresistenta bakterier. Samtidigt har SIO Grafen en jämfört med andra SIPar liten budget och förväntningarna på programmets påverkan bör anpassas därefter.

1.1.6 Genomförande av handlingsplan efter sexårsutvärderingen

Programmet har hanterat samtliga elva rekommendationer från sexårsutvärderingen på ett tillfredsställande sätt. Rekommendationer kring projektledares könsfördelning och tematisk inriktning av utlysningar har inte efterlevts oavkortat men hanterats tillfredsställande. Hanteringen av rekommendationerna har inte inneburit någon kursändring för programmet.

1.2 Slutsatser

SIO Grafen har varit av strategiskt värde för ett omoget insatsområde, inte minst genom de åtgärder på systemnivå som genomförts för grafen och andra 2D-material gällande etableringen av ett innovationsekosystem för grafenaktörer samt strategiska insatser med avseende på strukturella frågor som standardisering, kvalitetssäkring, kompetensförsörjning och arbetsmiljö.

SIO Grafen har utvecklats i takt med området och även reviderat agenda, mål och effektlogik i enlighet med områdets behov. Det strategiska arbetet har varit ändamålsenligt och bidragit till ett välskött program med fokuserade insatser. Sexårsutvärderingen rekommendationer har operationaliserats och hanterats tillfredsställande.

SIO Grafen har etablerat ett mångsidigt ekosystem med bred representation om än fokus på SMF inom deeptech. Programmet har möjliggjort en bred potential i tillämpning genom att knyta ihop olika branscher och visa på 2D-materialens löfte som en möjliggörande teknologi i en bredd av sektorer. Programmet har utvecklat strukturella förutsättningar för grafenområdet samt bidragit till områdets internationalisering bland annat genom att forma sina strategier efter EU-satsningen Graphene Flagship.

Utvärderingens bedömning är att avvecklingen av programmet kan riskera programmets mervärde och långsiktiga resultat. Detta särskilt då grafenområdet är ungt och det saknas etablerade arenor och intresseorganisationer (bortsett från just SIO Grafen). Även om SIO Grafen arbetat utifrån en i sammanhanget mindre budget har finansieringen som programmet har kanaliserat varit viktig för att accelerera enskilda innovationer liksom områdets mognadsgrad. Programmet kommer enligt Swecos bedömning att avslutas innan insatsområdet ännu är tillräckligt moget för att kunna driva vidare utan riktade offentliga insatser. Om inte detta hanteras på ett genomtänkt sätt och med överbyggnad till eventuella efterföljande insatser finns det därför en risk att förlora betydande delar av det momentum och den kapacitet och de strukturer som programmet har genererat, innan de hunnit ge positiva samhällsekonomiska effekter.

1.3 Rekommendationer

SIO Grafen är i många avseenden ett framgångsrikt program. Swecos rekommendationer grundar sig därför i en ambition om att inför den kommande etappen återigen lyfta blicken och överväga de strategiska vägvalen utifrån tre huvudsakliga rubriker: Förvalta, förena och förklara. Rubrikerna grundar sig i de observationer som gjorts under 2023 års materialinsamling, med särskild tyngdpunkt i experternas observationer. De tre rubrikerna utvecklas till tre rekommendationer enligt följande:

- Förvalta. För att det strategiska värdet av SIO Grafen ska kunna fortleva bör delar av programkontorets arbete fortsätta i någon form även efter avslut.
 - Viktiga delar är strukturella åtgärder (standardisering, kvalitetssäkring, arbetsmiljö), omvärldsbevakning,¹ och framförallt Swedish Graphene Forum som en nationell samlingspunkt för att stärka ekosystemet i arbetet framöver.
 - Programmet bör fortsätta det påbörjade arbetet med scenarioanalyser för att åstadkomma en realistisk och relevant exitstrategi.
- Föreina. SIO Grafen bör fortsätta precisera strategin för 2D-material. I den mån områdets omfattning ej motiverar större satsningar bör programmet utforska möjligheten till en SIP-gemensam "meta-agenda" om avancerade material.
- Förklara. SIO Grafen bör utveckla ett tilltalande narrativ som synliggör det värde som insatsområdet kan tillföra både nationellt och internationellt. Detta utifrån en intressentanalys för anpassning till olika målgrupper.

¹ De experter Sweco anlitat i utvärderingen framhåller att förmågan att leverera denna tjänst som bör bevaras just eftersom grafen och 2D är ett framväxande område i Sverige. Inom framväxande innovationsområden sker förändringar oftast snabbare än inom etablerade områden, och nya teknologier, aktörer, regleringar och marknadsmöjligheter kan uppstå i en takt som minskar förutsägbarheten. Genom omvärldsbevakning kan företag och organisationer hålla sig uppdaterade och anpassa sig snabbt. Detta kan antas vara särskilt viktigt för SMF som saknar egna resurser att tillfyllerast hålla sig à jour med området.

2. Uppdrag och genomförande

2.1 Uppdrag

Verket för innovationssystem (Vinnova), Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande (Formas) och Energimyndigheten (härefter beställarna) har gett Sweco i uppdrag att utvärdera samtliga 17 Strategiska innovationsprogram (SIP). Utvärderingen består i praktiken av 17 separata utvärderingar som genomförs efter att respektive program har pågått i nio år. Den här rapporten presenterar nioårsutvärderingen som är den tredje utvärderingen av SIO Grafen.

I enlighet med beställarnas utvärderingsplan för SIP-instrumentet ska nioårsutvärderingens tyngdpunkt ligga på att följa upp resultat och effekt. Utvärderingen ska även bidra till lärande om insatsformen och rekommendationer inför en eventuell avslutande etapp. De huvudsakliga målgrupperna är beställarna samt SIParnas programkontor och styrelser. Uppdraget baseras på fem utvärderingsfrågor som beställarna har formulerat:

1. Vilka resultat har hittills åstadkommit genom de projekt som har finansierats inom SIPen, och hur har programmet inklusive projekten utvecklats under programmets nio år, avseende:
 - a. I vilken utsträckning har projekten lyckats mobilisera rätt kategorier eller konstellationer av aktörer och/eller bidragit till att öka eller vässa deras kompetens i något väsentligt avseende?
 - b. I vilken utsträckning har projekten bidragit till utveckling av metoder, arbetssätt och processer, som dels konkret innebär samverkan mellan aktörerna, dels sådana processer som är interna hos olika aktörer?
 - c. I vilken utsträckning har projekten bidragit till utveckling av ändamålsenliga regler eller andra incitament som styr utvecklingen i rätt riktning?
 - d. I vilken utsträckning har projekten bidragit till att få fram ny teknik, att bygga infrastruktur eller till att det har utvecklats nya framgångsrika produkter (varor och tjänster)?
2. Vilket mervärde har SIPens verksamhet haft för utvecklingen i det område som de verkar inom?

3. På vilket sätt bidrar verksamheten i SIPen till de övergripande effektmålen för hela satsningen på SIPar? Har de senaste tre åren bidragit till en utveckling avseende effektmålen jämfört med utfallet i sexårsutvärderingen?
4. Hur väl har SIPen lyckats genomföra arbetet med handlingsplanen som togs fram efter sexårsutvärderingen?
5. Vilka är rekommendationerna för att SIPen ska vara framgångsrik i en avslutningsfas?

2.2 Metod och genomförande

Uppdraget baseras på ett ramverk som är gemensamt för alla 17 utvärderingarna. Det har genomförts under januari till december 2023 av Sweco under ledning av Erik Cederberg och med Anton Höglin som huvudsaklig medarbetare. Olof Wredenfors, Anton Bergerhed och Alba Stjärnkvist har också bidragit i utvärderingen. De fem utvärderingarna under 2023 har samordnats av Tobias Fridholm och Mona Hallström Hjorth, och kvalitetssäkrats av Tommy Jansson.

Stort tack till intervjupersoner och enkätrespondenter i och kring SIO Grafen. Ett särskilt tack till programkontoret som bistått med dokumentation och i övrigt hjälpt utvärderingsteamet på ett förtjänstfullt sätt. Tack även till våra kontaktpersoner hos beställarna som har varit mycket hjälpsamma under hela processen.

Utvärderingens metoder och genomförande presenteras ingående i en separat metodrapport som är gemensam för de sex utvärderingar som har genomförts under 2023. I korthet baseras utvärderingen på följande metoder:

Dokumentstudier av ett omfattande material, däribland programmets agendor och effektlogik

Registeranalyser av deltagar- och finansieringsdata

Självvärderingsenkät som SIO Grafens programkontor har fyllt i

Intervjuer med sju företrädare för programkontor, styrelse och finansiärer

Enkäter till projektdeltagare 2014–2022:

- Företagsenkäten skickades till 153 personer och fick 62 svar (41%)
- Forskarenkäten skickades till 90 personer och fick 29 svar (32%)

Fallstudier av två särskilt betydelsefulla eller intressanta bidrag, identifierade i samråd med SIO Grafen och presenterade i varsin bilaga:

- Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning
- Bilaga B: Fallstudie – Värdekedjor för växande deeptech-företag

Expertgranskning utförd av en ämnesområdesexpert och två experter på innovationspolicy. Experternas rapport återfinns i Bilaga D

Tolkningsseminarium den 10 oktober där representanter för SIO Grafen och beställarna deltog

I analysen av bortfall bland enkätrespondenterna observerar utvärderarna (härefter: vi) att deltagare som har tillkommit sedan 2020 är överrepresenterade bland våra enkätrespondenter. Det beror framför allt på att en högre andel av utskicken till den gruppen har nått avsedd mottagare, men även på att gruppens svarsfrekvens är högre.² I övrigt ser vi inte några systematiska skillnader i enkätsvaren. En detaljerad bortfallsanalys redovisas i metodrapporten.

Vissa av enkätfrågorna är identiska med frågor som ställdes i sexårsutvärderingen, för att underlätta jämförelser av effekterna. Av metodskäl, som redovisas i detalj i metodrapporten, har vi valt att enbart nämna skillnader mellan de två utvärderingarna som uppgår till 15 procentenheter eller mer. Dessa förändringar betraktar vi som "säkra". I vissa fall där vi har analytiskt stöd i resonemangen nämner vi även skillnader i övergripande mönster där skillnaderna för enskilda frågor är mindre än 15 procentenheter.

2.2.1 Terminologi

Följande termer används återkommande i rapporten och förtjänar en förklaring:

Effekt avser, särskilt på rubriknivå, både resultat och effekt utifrån deltagandet

Institut avser forskningsinstitut

Medfinansiering avser den finansiering i form av arbetstid, tillgång till utrustning eller kontanter som projektdeltagande organisationer bidrar med i ett projekt³

Lärosäte avser universitet eller högskola

Offentlig finansiering avser den finansiering som Energimyndigheten, Formas och Vinnova bidrar med till ett projekt

² 92 procent av utskicken nådde avsedd mottagare jämfört med 79 procent i den grupp som även deltog före sexårsutvärderingen. Svarsfrekvensen för de som tillkommit sedan sexårsutvärderingen var 33 procent jämfört med 42 procent för den andra gruppen.

³ Vinnova benämner ofta detta egenfinansiering.

Små och medelstora företag (SMF) utgår från Europeiska kommissionens officiella definition och avser företag med:

- upp till 249 anställda, och
- årsomsättning mindre än 50 miljoner euro⁴, och
- balansomsättning mindre än 43 miljoner euro⁵, och
- som inte ingår i en koncern som sammantaget överstiger den storleken⁶

Stora företag avser företag som är för stora för att klassas som SMF enligt beskrivningen ovan

Andra/annat avser organisationer som är svåra att klassificera enligt ovan. Kategorin är särskilt relevant i utvärderingen av SIO Grafen eftersom vi inte anser att Chalmers Industriteknik bör klassas som forskningsinstitut. Organisationen klassas, tillsammans med science parks och vissa andra organisationer, som just "annat" hellre än att byta ut "forskningsinstitut" till det bredare begreppet "forskningsorganisationer."

På grund av avsaknad av data på detaljnivå rörande koncern innebär vår operationalisering av SMF-definitionen att utvärderingen sannolikt anger ett något lägre antal SMF (och större antal stora företag) än vad som vore helt korrekt.⁷ Märk även att utvärderingen baseras på nulägesdata, vilket exempelvis innebär att ett företag som tidigare var ett SMF men som har köpts upp kan klassas som stort företag i utvärderingen.

Vår definition av SMF är striktare än den som vanligen används i svenska analyser och som enbart utgår från antalet anställda. Det innebär att vissa företag som många troligen uppfattar som SMF här definieras som stora företag, vanligen för att de ägs av en större koncern. Vår uppfattning är att våra data ger en mer korrekt verklighetsbeskrivning än att enbart utgå från antal anställda. Det är exempelvis lätt hänt att FoU-intensiva dotterbolag i stora koncerner räknas som SMF. Det ska dock noteras att det bland stora företag kan finnas företag som i funktionell mening är SMF, exempelvis för att de i praktiken agerar helt fristående från koncernmodern.

⁴ Motsvarande cirka 567 miljoner kronor enligt växelkursen vid datauttaget i maj 2023.

⁵ Motsvarande cirka 487 miljoner kronor enligt växelkursen vid datauttaget i maj 2023.

⁶ På grund av bristande tillgång på data är vår definition i det här avseendet något striktare än Europeiska kommissionens, som i vissa fall accepterar koncernägda företag som SMF. Se detaljer i vår metodrapport samt i Bilagan till Europeiska kommissionen (2003). Kommissionens rekommendation av den 6 maj 2003 om definitionen av mikroföretag samt små och medelstora företag: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361> [Tillgänglig 2023-10-16]

⁷ Se föregående fotnot.

2.3 Rapportens upplägg

Rapportens upplägg speglar utvärderingsfrågorna i avsnitt 2.1. Som regel avhandlas en fråga per kapitel. I det föregående **kapitel 1** sammanfattas rapporten. Där återfinns även utvärderingens slutsatser och rekommendationer. I **kapitel 3** introduceras SIO Grafen och dess insatsområde. **Kapitel 4** presenterar effekter i deltagande organisationer medan **kapitel 5** rapporterar effekter på systemnivå, det vill säga bortom enskilda organisationer. I **kapitel 6** analyseras mervärdet med programmet. **Kapitel 7** presenterar utvärderarnas bedömning av hur SIO Grafen har genomfört handlingsplanen efter den förra utvärderingen. I det avslutande **kapitel 8** bedömer utvärderarna hur programmet bidrar till SIP-instrumentets övergripande effektmål.

3. Om SIO Grafen

3.1 Insatsområde

Materialet grafen består av ett enkelt skikt av kolatomer arrangerade i en hexagonal gitterstruktur som bildar en enda plan yta (av det skälet benämns det ibland också 2D-material). Materialet, som tillverkades för första gången 2004 av Andre Geim och Konstantin Novoselov vid universitetet i Manchester, har intressanta egenskaper såsom ovanligt hög mekanisk hållfasthet, termisk ledningsförmåga samt elektrisk ledningsförmåga.

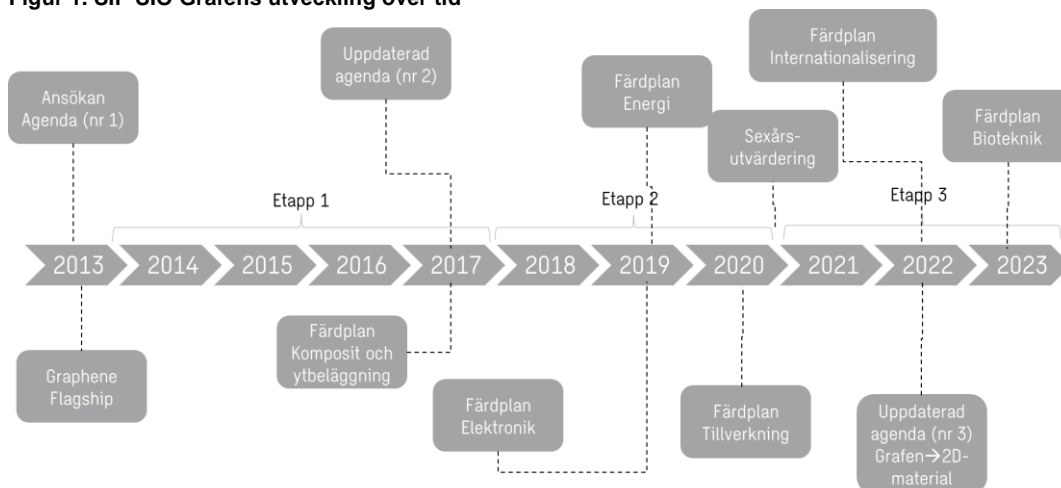
Geim och Novoselov tilldelades Nobelpriset i fysik 2010 för sin upptäckt. Samma år började historien om Graphene Flagship, ett stort europeiskt forskningsinitiativ som finansieras av EU och koordineras utifrån ett konsortium med säte på Chalmers tekniska högskola. Graphene Flagship initierades av Jari Kinaret, professor i teknisk fysik vid Chalmers samt styrelseledamot i SIO Grafen 2014–2023, som samarbetade med en grupp av forskare och industriledare i en ansökan till Europeiska kommissionen. Flaggskeppsinitiativet, som startades år 2013 med budget på 1 miljard euro över tio år, hade som mål att driva forskning och utveckling för att realisera potentialen i grafen och andra 2D-material. Konsortiet bestod av mer än 170 partners från lärosäten, forskningsinstitut och företag över hela Europa. (Från 1 oktober 2023 har man gått in i en ny fas som Graphene Flagship Initiative med i dagsläget 118 partners.)

I samband med starten av Graphene Flagship satte svenska aktörer samman en Strategisk innovationsagenda för materialet grafen. Utifrån agendan startades SIO Grafen med Chalmers Industriteknik som värd. Agendan – som bytt namn till *Den svenska strategiska innovationsagendan för 2D-material* – har sedermera uppdaterats ungefär vart tredje år och omfattar idag fyra huvudsakliga insatsområden: Facilitering av produktframtagning, Kartläggning och tillgängliggörande, Ramverk, samt Aktörssamling inom ekosystemet. Programmet verkar för ökad användning av grafen i svensk industri och har som övergripande målsättning att Sverige ska bli ett av världens tio främsta länder med avseende på att utveckla och använda grafen.

Då programområdet är ungt har få tillämpningar ännu nått marknaden. Forskning på andra 2D-material ligger ofta på grundläggande nivå men för materialet grafen finns idag svensk produktionskapacitet samt tillämpad forskning. Området är humankapitalintensivt vilket ställer utmaningar för kompetensförsörjningen, och företagen – ofta forskningsnära nystartade företag inom *deeptech* – behöver tillgång till värdekedjor och nätverk. Övergripande utmaningar som innovationsagendan pekar ut rör medvetenhet kring tillämpningar; gap mellan producerat och efterfrågat material; utveckling av internationella standarder; behovsanalys för aktörerna; politisk förståelse;

styrning av Fol på lägre *technology readiness level* (teknologisk mognadsgrad, TRL) mot marknadsfönster; nivå på svensk forskning; tillgång till testbäddar; finansiering; kompetensförsörjning; och en sammanhållande funktion för området efter SIO Grafens avslut.

Figur 1. SIP SIO Grafens utveckling över tid



3.2 Mål, organisation och implementering

SIO Grafen verkar för ökad användning av grafen i svensk industri och att grafen och andra 2D-material uppnår teknisk mognad. Målet är att industriellt etablera en ny materialklass som svensk industri kan använda i innovativa produkter och processer. Programmets effektmål är att grafen till 2030 ska:

- Vara ett svenskt styrkeområde
- Vara ett material med stark tvärssektoriell samverkan
- Ha en stark tillverkning i Sverige
- Stötta omställningen till ett hållbart samhälle

Detta ska uppnås genom 1) öppna utlysningar, 2) enskilda projekt (som man inom SIO Grafen kallar strategiska projekt), samt 3) basaktiviteter i form av kommunikation, omvärldsbevakning, workshoppar, seminarier samt en "outreach-manager" som arbetar med att matcha parter med varandra och aktivt utöka ekosystemet med nya parter. Basaktiviteterna syftar till att bygga ekosystemet för grafen och bidra till kunskapsuppbyggnad, medan utlysningarnas genomförbarhetsstudier och Fol-projekt (dvs. det som programkontoret från och med ettapp tre benämner "innovationsprojekt")⁸ samt innovations- och demonstrationsprojekt (IoD-projekt, dvs. det som

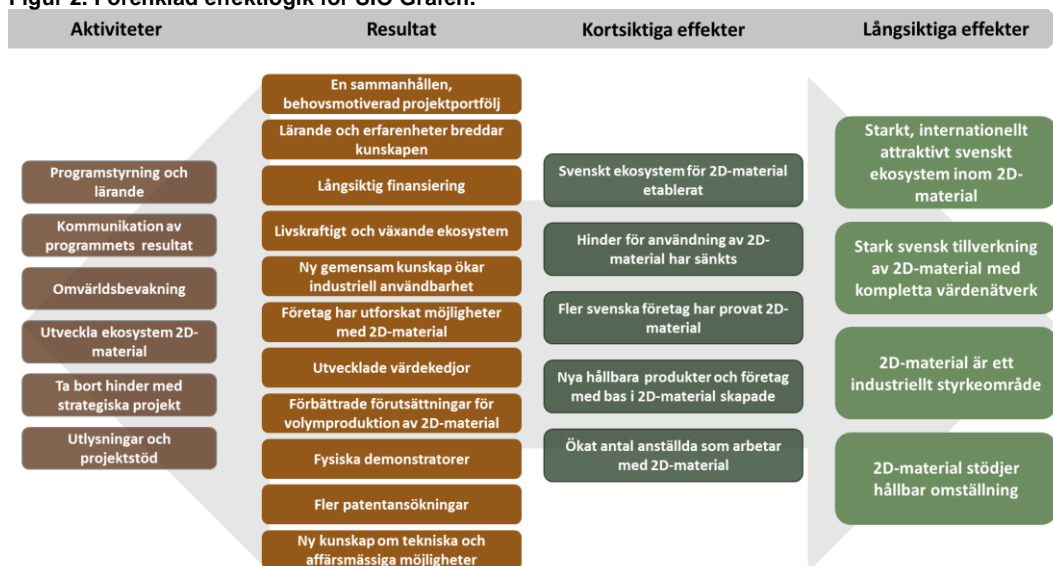
⁸ Notera att begreppet "Fol-projekt" inte använts av programkontoret under ettapp tre. Sweco använder begreppet eftersom det harmoniserar med beställarorganisationernas terminologi och övriga SIPars användning. I denna rapport innebär begreppet "projekt med Fol-innehåll" och inkluderar samtliga projekt från öppna utlysningar samt de enskilda projekt som programkontoret definierat i dialog med utvärderarna.

programkontoret från och med etapp tre benämner demonstratorprojekt) ska bidra till utveckling av konkreta tillämpningar av materialet. Styrelsens strategiarbete och de strategiska projekten ska bidra till att överbrygga hinder för områdets utveckling och uppbyggnad av gemensam kunskap.

Utlysningsprojekten ska bidra inom ett eller flera av programmets sex styrkeområden: Elektronik, Komposit, Bioteknik, Tillverkning, Ytbeläggningar och Energi. I tidigare versioner av agendan avvek styrkeområdena något från nuvarande uppdelning men i och med uppdateringen 2018 slogs Sensor och Högfrequenselektronik samman till Elektronik samtidigt som Komposit bröts ur tillverkning.

SIO Grafens program- eller effektlogik är omfattande och specificerar i detalj de effektmål, resultatindikatorer och aktiviteter för programmets olika etapper. Man har också tagit fram en förenklad effektlogik för en tillgänglig överblick. Den förenklade effektlogiken återges i Figur 2 nedan:

Figur 2. Förenklad effektlogik för SIO Grafen.



Källa: SIO Grafen

Årsstämman är programmets högsta beslutande organ som beslutar om nya prioriterade styrkeområden, utser styrelsen och föreslår ämnen för öppna utlysningar och aktiviteter. Styrelsen har möten ungefär fyra gånger per år och beslutar om utlysningar och styrkeområden. Programchefen och ordföranden är sammankallande. Styrelsens ordförande leder styrelsearbetet och följer programmets inriktning genom regelbundna kontakter med programchefen.

Programkontoret ansvarar för den operativa verksamheten och arbetar för att programmet ska uppnå sina mål och sin vision. Detta sker genom uppföljning,

utvärdering, administration av medlemskap, beslutsunderlag till styrelsen och tekniskt stöd till aktörerna. Styrelsen består av åtta till tio ledamöter med nationell geografisk spridning och jämn könsfördelning. Minst två ledamöter från organisationstyp (stora företag, SMF, institut och lärosäte) är representerade och industrirepresentanterna är personer i strategiska positioner. Finansierande myndigheter är adjungerade i styrelsen.

Figur 3. Organisation och drift.



Källa: Arbetsordning och instruktion för SIO Grafens årsstämma och styrelse 2023

SIO Grafen bedriver som nämnts utöver de öppna utlysningarna även strategiskt arbete. Här inkluderas agenda- och programlogikarbetet, arbetet med färdplaner för styrkeområdena, årsstämman med strategiworkshopen samt styrelsearbetet, men även enskilda projekt. Programkontoret, styrelseledamöter och programmets medlemmar kan föreslå enskilda projekt och det uppfattas idag vara öppet för vem som helst att föreslå vilka projekt som ska övervägas. För de projektförslag som inkommer gäller att styrelsen bedömer huruvida man ska gå vidare med en ansökan till Vinnova varpå myndigheten kan godkänna projektet med programstyrelsens rekommendation.

I programmets tidigare skeden var det framförallt styrelse och programkontor som gemensamt bestämde vilka projekt som var av allmänintresse, vilket exempelvis renderade ett projekt för en koordinerad leverantörslista och projekt för kvalitetsparametrar. Senare projekt har rört arbetsmiljöfrågor och standardiseringsfrågor.

Exempel på enskilda projekt

Standardisering. Inom det enskilda projektet *Svenskt hållbart grafen* deltar personal från SIO Grafens programkontor i kommittén för nanoteknik, i rollen som ordförande. Man ger även stöd till SMF för att delta i kommittén, och medel till RISE för att medverka i internationell *round-robin*. Ett annat projekt av strategisk art inom standardisering är *Standardisering, en väg för grafen till marknaden* som genomförs i samarbete mellan Chalmers Industriteknik, Bright Day Graphene, Grafren, Graphenic, Graphmatech, LayerOne, RISE och SIS. Det överordnade målet med projektet är att undanröja ett av hindren för innovation för grafen och relaterade 2D-material genom att påverka, implementera och generera standarder baserat på grafenindustrins behov. Projektet härrör ur en utlysning för att reducera hinder för grafenområdet och är således inte i egentlig mening ett enskilt projekt enligt Vinnovas terminologi, men kan betraktas som en hybrid mellan projektformerna.

Arbetsmiljö vid industriell grafenhantering. Experter inom nanosäkerhet och arbetsmiljö från Chalmers Industriteknik, RISE, Sahlgrenska Universitetssjukhuset och Lunds universitet ser över risker specifikt relaterade till grafen.

2D graduate network. Ett förberedelseprojekt visade på behovet och ett fortsättningsprojekt konsoliderade ett nationellt nätverk för yngre forskare inom 2D-material. Programmet arbetar nu med ett andra fortsättningsprojektet och räknar med att ytterligare kommer då man ser arbetet som prioriterat.

Innovationstävling: Entreprenörskap inom grafen och andra 2D-material. Inspirerade av SIP Swedish Mining Innovation har SIO Grafen genomfört en innovationstävling för småföretag, doktorander och personer som nyligen disputerat. En andra tävling har i skrivande stund just slutförts och två vinnare ska koras till sommaren 2024.

3.3 Finansieringsanalys

I det här avsnittet redogör Sweco för hur finansieringen har fördelats i programmet under åren 2014–2022. Vi beskriver fördelningen mellan offentlig finansiering och medfinansiering samt de 20 största mottagarna av offentlig finansiering och de 20 största medfinansiärerna.

De strategiska innovationsprogrammen ska i normalfallet ha minst 50 procent i medfinansiering på programnivå, sammantaget i alla enskilda projekt och utlysningssprojekt. De öppna utlysningarna har vanligen krav på medfinansiering på minst 50 procent. (Vinnovas regler för stödnivå innebär att bidraget kan uppgå till 100 procent för enskilda projektparter även när det får vara högst 50 procent på projektnivå.) För de enskilda ("strategiska") projekten som godkänns av programstyrelsen kan beslutas om andra stödnivåer.

Figur 4 visar den sammanlagda finansieringen som resulterat från utlysningar⁹ 2014–2022. (Eftersom projekten är fleråriga så sträcker sig emellertid x-axeln längre än så.) Sett till helheten i SIO Grafen ligger nivån av offentlig finansiering i 193 hittillsvarande projekt på ca 55 procent mot ca 45 procent aktörsfinansiering, där framför allt 2021 sticker ut med en högre andel offentlig finansiering jämfört med aktörsfinansiering. Här ska även noteras att koordineringsmedlen som finansierar programkontoret, och som sedan etapp 2 inte omfattas av krav på medfinansiering, också ingår i figuren.

Den stora offentliga finansieringen för 2021 förklaras av att SIO Grafen (och övriga strategiska innovationsprogram kopplade till Vinnovas område Hållbar industri) under våren 2021 erbjöds en extrafinansiering för aktiviteter under etapp 3. Medlen skulle användas med en jämn fördelning under tre år, inklusive 2021.

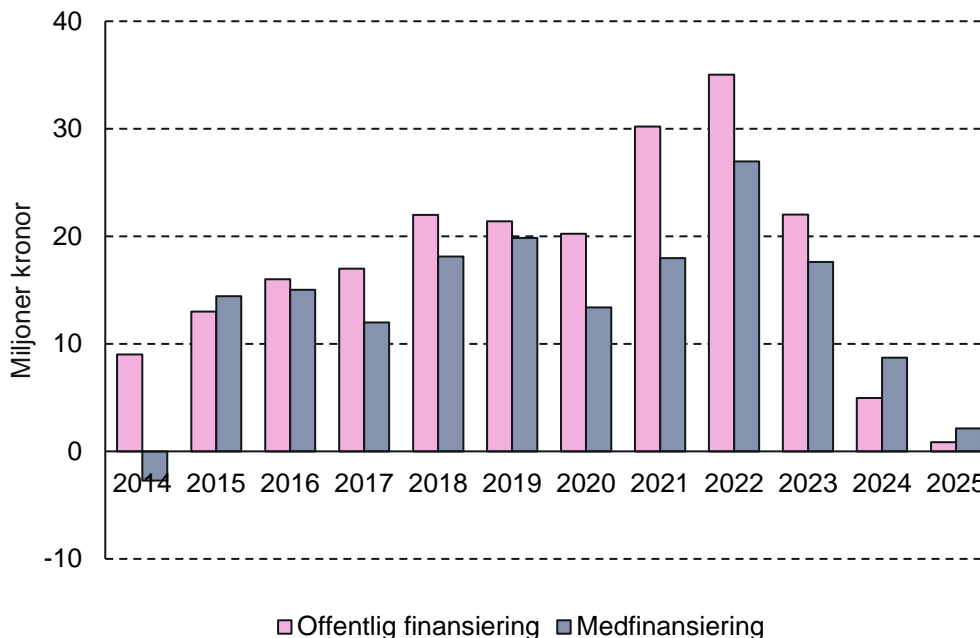
Sommaren 2021 genomfördes en utlysning för så kallade hinderprojekt som skulle adressera aktörsgemensamma och i sammanhanget allmängiltiga utmaningar såsom arbetsmiljöfrågor, testbäddar och standardisering. Därutöver skedde även under sommaren en mindre utlysning av förberedelseprojekt inför kommande demonstratorprojekt. (2021 beslutades även ett större enskilt projekt.) På grund av brådskan att hinna lysa ut och tilldela medlen redan under 2021 beslutades ett lägre medfinansieringskrav på 25 procent för dessa utlysningar.

De så kallade hinderprojekten kan förstås som hybrider mellan utlysningssprojekt och enskilda projekt eftersom de tillkommit i öppna utlysningar men har ett strategiskt och allmännyttigt syfte. Exempelvis har man inte krävt konsortieavtal i dessa projekt då resultaten förväntas komma hela aktörsnätverket till del. Det kan därför ses som rimligt

⁹ Alla projekt tillsätts genom utlysningar men inte alla utlysningar är öppna. "Slutna" utlysningar, som gäller endast inbjudna, omfattar vanligen enskilda projekt och koordineringsmedel som utgörs av en enda ansökan. I SIO Grafen finns dock undantag då vissa enskilda projekt tillkommit genom *öppna* utlysningar.

att man från myndighetens sida beslutat att frångå kravet på 50 procents medfinansiering som annars gäller i öppna utlysningar.

Figur 4: Offentlig finansiering och medfinansiering per år från utlysningar 2014–2022 (eftersom projekten är fleråriga så sträcker x-axeln sig emellertid längre än så)¹⁰



Källa: Vinnova

Figur 5 visar fördelningen av offentlig finansiering och medfinansiering per aktörstyp för utlysningarna 2014–2022. Som framgår av figuren har offentliga aktörer¹¹ haft en minimal roll i SIO Grafen¹² medan (i fallande ordning) universitet och högskolor, SMF, stora företag och forskningsinstitut tagit emot mest offentlig finansiering. Medfinansieringen kommer främst från stora företag och SMF samt i tredje hand från universitet och högskola. Även utländska organisationer och forskningsinstitut har förekommit som medfinansierare. Kategorin "andra" består nästan uteslutande av

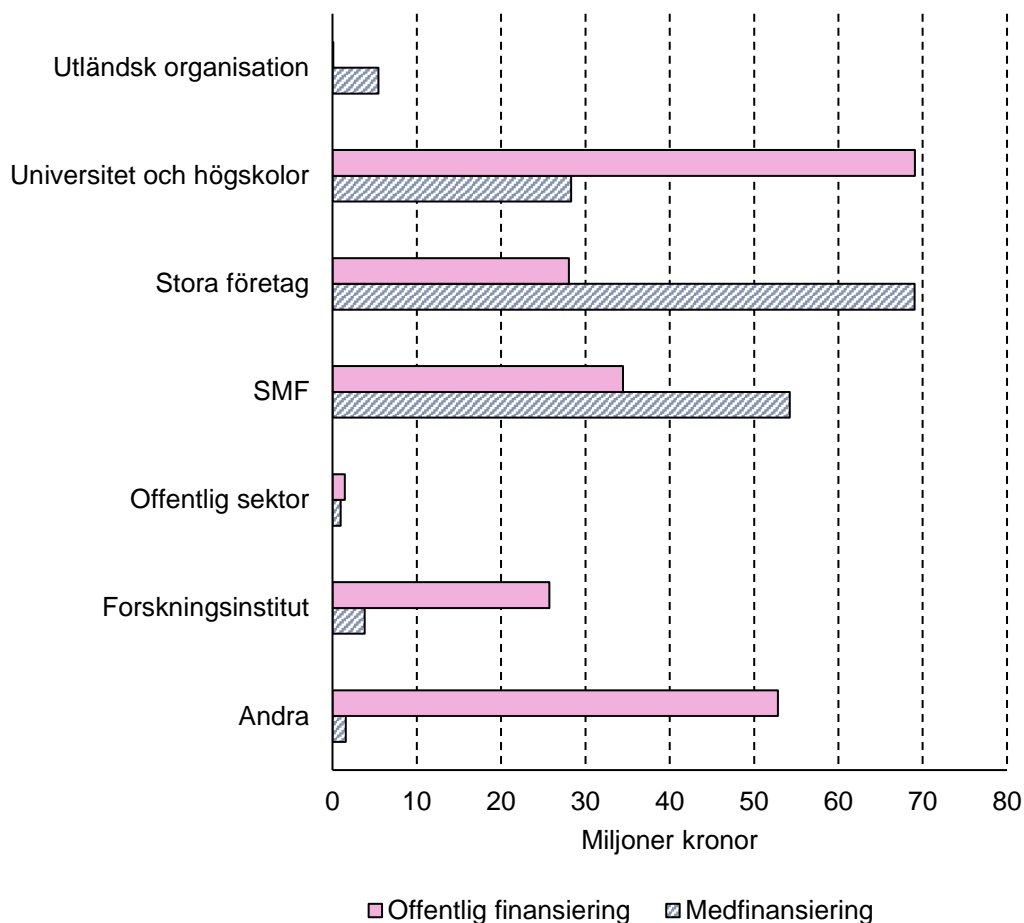
¹⁰ Den negativa stapeln för medfinansiering 2014 ska betraktas som en teknikalitet. Det är en effekt av att bidragen det året har överstigit projektkostnaderna i budgeten. Medfinansiering per år avser en differens mellan projektkostnader och offentligt bidrag som beräknas per projekt. Om projekten startar långsammare än planerat kan medfinansieringen därför se negativ ut i början. Kostnaderna hinner dock ifatt senare i projektet, så summan för alla år är korrekt.

¹¹ Universitet och högskolor är förvisso förvaltningsmyndigheter och således i egentlig mening offentliga aktörer, men här avses andra offentliga aktörer än lärosäten.

¹² Exempel på projekt där offentliga aktörer haft en roll är 2021-05096 Bornitrid (hBN) förstärkt cementbaserad coating 2.0, 2021-04080 Utveckling av metoder för exponerings- och riskbedömning för yrkesmässig hantering av material i grafenfamiljen, samt 2021-05095 Validering av demonstrator för vattenkraftslager "självsörjande nötningsbeständiga 2D/grafen kompositlager." I 2021-05096, som är pågående och koordineras av Lanark AB, har Göteborgs kommun och Akademiska hus deltagit. Projektet syftar till att med vit grafen (hBN) utveckla ytbeläggningar för skydda betongunderlag samt skala upp tillverknings av hBN-förstärkt 2D-material i cementbaserade ytbeläggningar för anläggnings- och byggnadsdemonstration i verklig miljö. 2021-04080, också pågående, koordineras av Sahlgrenska Arbets- och Miljömedicin i VGR, och syftar till att utveckla metoder för att kunna mäta exponering för grafen i luft och på ytor och att utvärdera modelleringsverktygen för grafen. 2021-05095 koordineras pågående av LTU och syftar till att tillverka och validera semi-industriella prototyper av självsmörjande 2D baserad polymer-lager till vattenkraft. Vattenfall och Skellefteåkraft, som är offentligägda företag, ingår i projektet.

Chalmers industriteknik som mottar koordineringsmedel för att driva programkontoret. (Ca 50 procent av medlen till Chalmers Industriteknik avser programkontoret. För ca 50 procent av medlen har Chalmers Industriteknik varit forsknings- och innovationspart i projekten.)

Figur 5: Offentlig finansiering och medfinansiering per aktörstyp från utlysningar 2014–2022

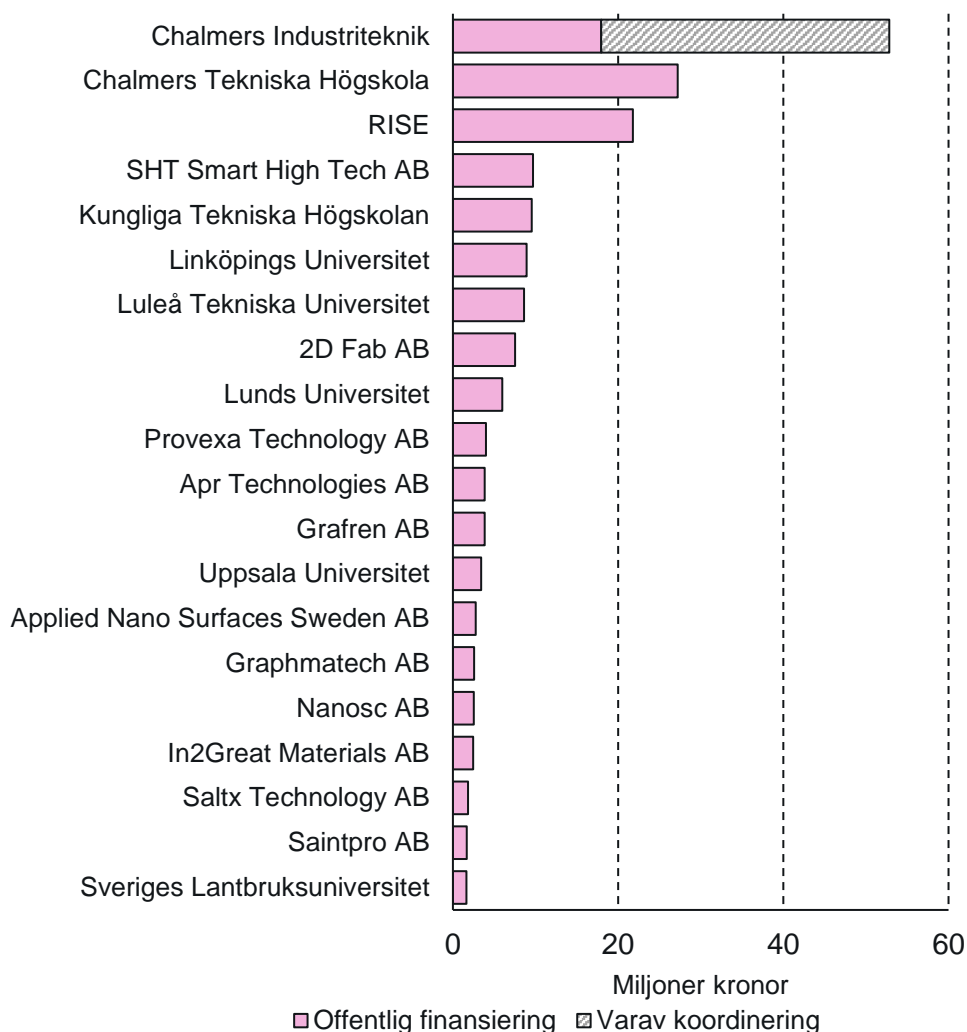


Källa: Vinnova

SIO Grafen har historiskt haft svårt att engagera stora företag, som ofta vill se högre TRL och kommersialiserbara tillämpningar för att satsa egna medel. Grafenområdets pionjärer har typiskt sett varit forskare och SMF inom deeptech som förfogat över i sammanhanget små resurser. Sammansättningen i programmet har dock förändrats då fler stora företag klivit in och idag ingår företag som exempelvis IKEA och Volvo som aktiva projektparter. I finansieringsdata syns detta såtillvida att aktörskategorin (privata) stora företag gått in med i snitt ca 6,6 mkr per år perioden före augusti 2019, och med i snitt ca 9,3 mkr per år perioden från september 2019 till och med 2022 (en ökning på 41 procent).

Som illustreras i Figur 6 är Chalmers och RISE de enskilda aktörer som tagit emot mest offentlig finansiering (Chalmers industriteknik i hög utsträckning för att driva programkontoret och koordinera programmet men även som projektpart). Grafentillverkare som Smart High Tech, 2D Fab och Grafren finns bland de stora medelmottagarna, liksom Göteborgsbaserade ytbehandlingsföretaget Provexa och Enköpingsbaserade APR¹³ Technologies som utvecklar högteknologiska lösningar för att förbättra prestanda hos rymdfarkoster, elfordon, batteripaket och krävande elektronik. Därutöver syns – utöver Chalmers – flera betydande lärosäten: Kungliga tekniska högskolan (KTH), Linköpings universitet, Luleå tekniska högskola (LTU), Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Den övergripande bilden är en samling stödmottagare bestående av lärosäten, institut och forskningsnära deeptech-företag.

Figur 6: De 20 största mottagarna av offentlig finansiering från utlysningar 2014–2022

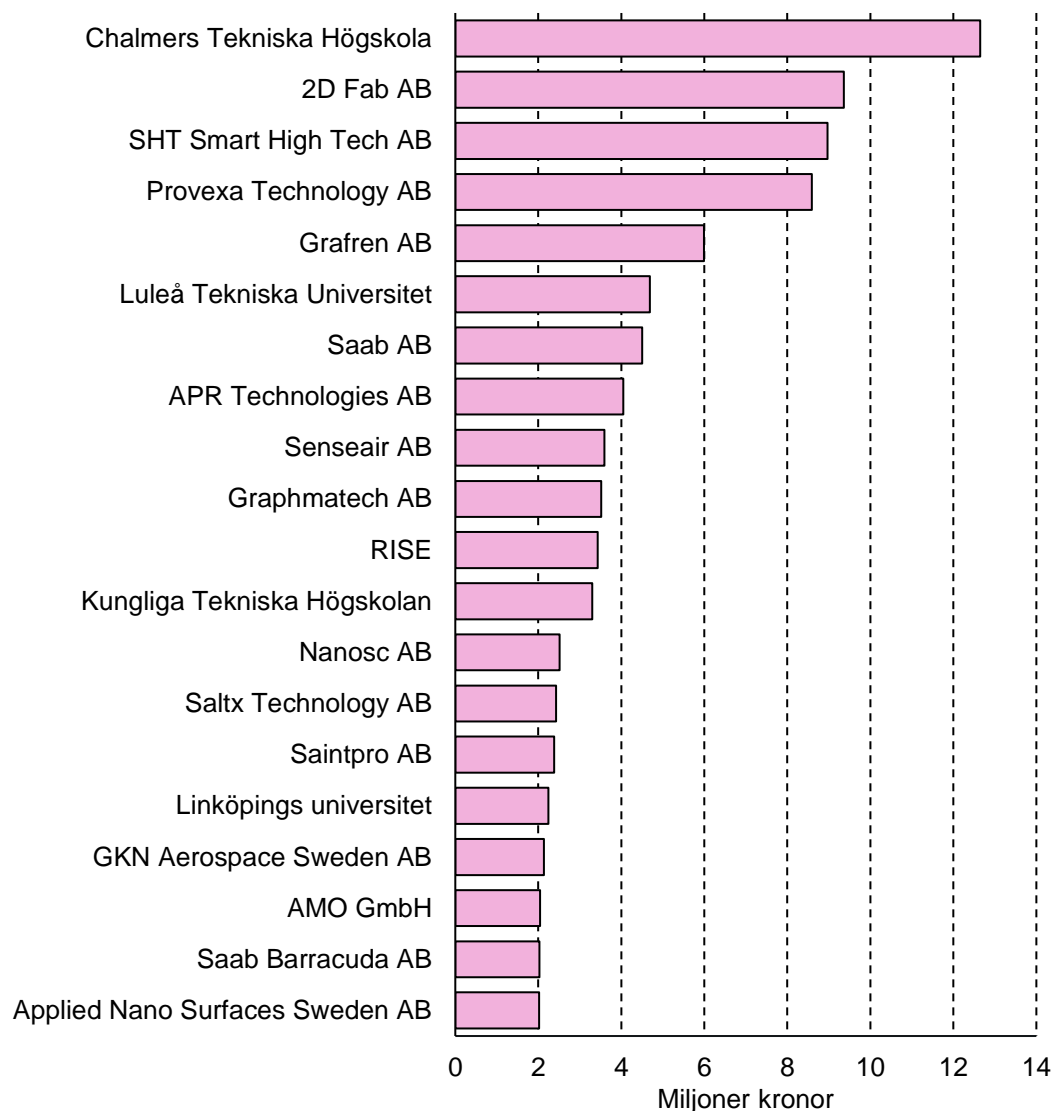


¹³ Advanced Product Research.

Källa: Vinnova

Figur 7 visar de 20 företag som bidragit med störst andel medfinansiering i utlysningar 2014–2022. Flera av de aktörer som också toppar listan över stödmottagare har bidragit som medfinansierare; Chalmers, 2D Fab, SHT, Provexa och Grafren har alla bidragit med över fem miljoner kronor i medfinansiering. Sju aktörer har bidragit med medfinansiering motsvarande mellan 3 och 7 mkr, och de åtta kvarvarande har alla bidragit med mellan 2 och 3 mkr i medfinansiering under perioden.

Figur 7: De 20 största medfinansierarna från utlysningar 2014–2022



Källa: Vinnova

Kartorna i Figur 8 illustrerar den geografiska fördelningen av offentlig finansiering (vänster) och medfinansiering (höger) per region för projekt från utlysningar 2014–2022. Västsverige och Göteborgsregionen dominerar både offentlig finansiering och medfinansiering men även Stockholms län, Östergötlands län, Uppsala län, Västernorrland samt Norrbotten träder fram som regioner med hög inblandning. Det är med andra ord sfärerna kring nämnda lärosäten (Chalmers, KTH, Uppsala universitet, Linköpings universitet, LTU) som gör sig påmind, med den skånska universitetsstaden Lund som en anomali där både offentlig finansiering och medfinansiering är lägre.

Figur 9 illustrerar kvoten mellan offentlig medel och aktörsfinansiering i respektive län. De blåa länen har mer extern finansiering än offentlig finansiering (kvot under 1) och de röda har tvärt om mer offentlig finansiering än extern finansiering (kvot över 1). Att Västsverige sticker ut med hög andel offentlig jämfört med extern finansiering beror bland annat på programkontorets lokalisering. Den höga andelen offentlig finansiering i Norrbottens län beror på att LTU är en stor medelmottagare, bland annat i två stora projekt kopplade till självsmörjande nötningsbeständiga kompositlager till vattenkraft.¹⁴ Den höga andelen aktörsfinansiering i Gävleborgs, Värmlands och Kronobergs län beror i stor utsträckning på medfinansiering från SenseAir AB,¹⁵ UMV Coating Systems AB¹⁶ respektive IKEA¹⁷ och Pamitus AB,¹⁸ och på att projektens medelmottagare har registrerat arbetsställe i ett annat län än de medfinansierande företagen.

¹⁴ 2017-03609 Grafenbaserad självsmörjande nötningsbeständiga kompositlager för lager i vattenkraft och 2021-05095 validering av demonstrator för vattenkraftslager "självsmörjande nötningsbeständiga 2D/grafen kompositlager." Det senare fortsättningsprojektet är pågående och syftar till att tillverka och validera semi-industriella prototyper av självsmörjande 2D baserad polymerlager till vattenkraft.

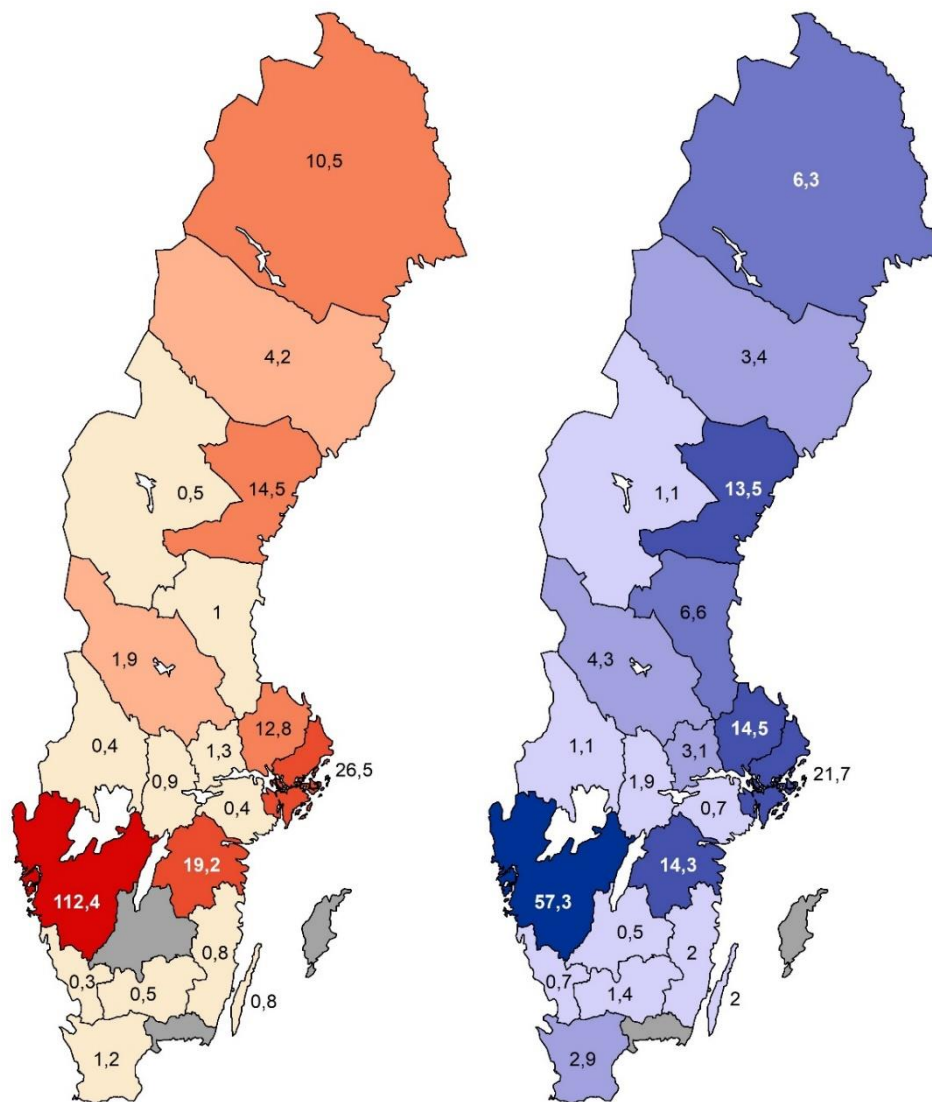
¹⁵ Senseair AB levererar teknologi för detektion av luft och gas. Deras sensorer och lösningar används inom områden som inomhus- och utomhusluftkvalitet, alkoholtestning, gaslarm, transporter och life science. Projektet 2016-01655 Vägledarintegrerade grafen baserade IR detektorer för optiska gassensorchip (tillsammans med KTH) tog fram grafenbaserade IR-detektorer integrerade på fotoniska vägledare. Projektet ledde även till en ansökan till FlagERA Graphene tillsammans med internationella partners.

¹⁶ UMV Coating Systems erbjuder produkter och tjänster som omfattar utrustning och kunskaper inom beläggningslösningar såsom ytbeläggning och pigmentering. Det pågående projektet 2021-04083 Testbädd: Rulle-till-rulle-bestrykning av grafenkompositlager syftar till att etablera en testbädd för bestrykning av grafenkompositlager med storskalig teknik och demonstrera elektrodbestrykning av grafenkompositlager med storskalig pappersbestrykningsteknik. Projektet koordineras av Mittuniversitetet som har verksamhet i Östersund och Sundsvall men inte Värmland och vars medelstillsättning inte syns i Värmlands län. Även Mondy Dynäs i Kramfors deltar i projektet.

¹⁷ Projektet 2021-05101 Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material beskrivs närmare i fallstudierna.

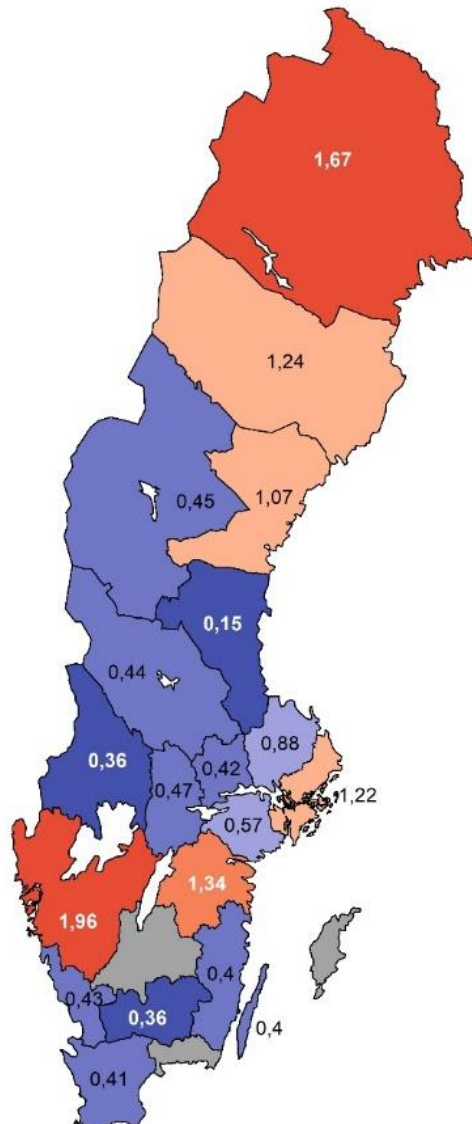
¹⁸ Projektet 2016-01656 Tillverkning av grafenbaserade komponenter för bio- och kemiska sensortillämpningar på skivskala, som koordinerades av Graphensic AB och där även Acreeo deltog, syftade till att öka den tekniska mognadsgraden för grafen på SiC (*silicon carbide*, ett sammansatt halvledarmaterial bestående av kisel och kol) för sensortillämpningar samt att etablera en potentiell värdekedja från materialtillverkning till slutanvändning av sensor. Sensorelementets design baserades på behov från Pamitus och NFC som sedan verifierat sensoruppställningen. Acreeo är idag en avdelning inom RISE och har inte registrerat arbetsställe i Kronoberg.

Figur 8: Offentlig finansiering (vänster) och medfinansiering (höger) per län från utlysningar 2014–2022, miljoner kronor



Källa: Vinnova

Figur 9. Kronor i offentlig finansiering på projekt registrerade med arbetsställe i regionen, per krona extern finansiering. Färgskalan indikerar huruvida kvoten är över eller under en krona; röd >1kr och blå <1kr, med starkare färg desto högre/lägre kvot.¹⁹



Källa: Vinnova

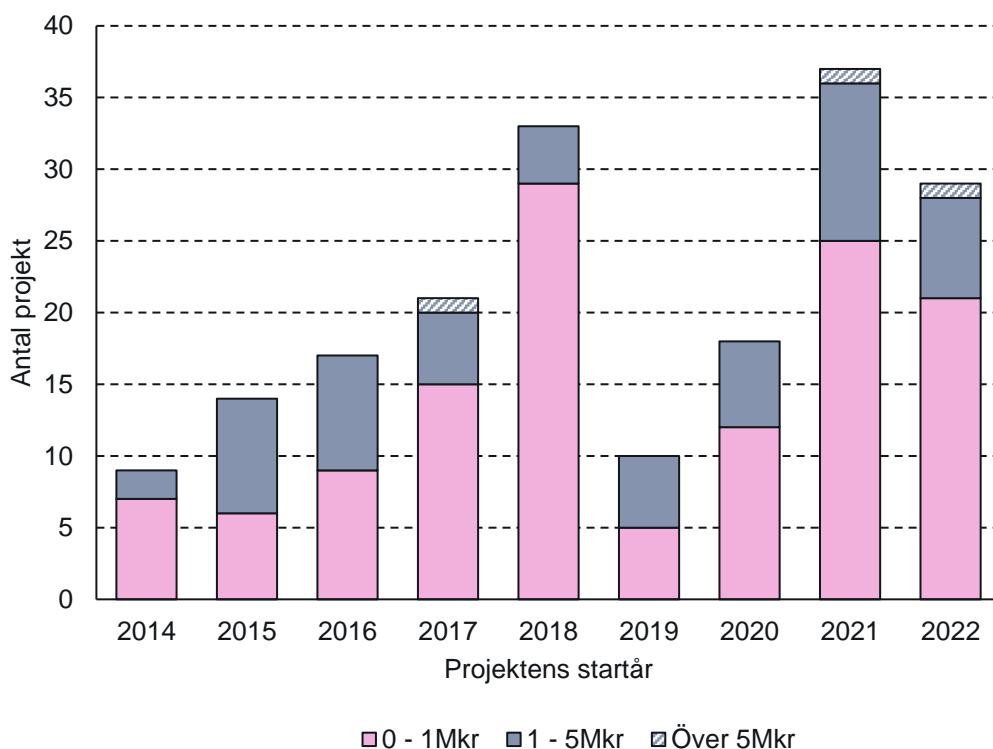
Figur 10 visar storleken på projektens offentliga finansiering. Som syns i figuren har SIO Grafen haft en hög andel mindre projekt (0–1 mkr) med ett något större antal stora projekt (>1 mkr) från 2021 och framåt. Detta speglar att projektportföljen under de första etapperna dominerades av genomförbarhetsstudier och mindre innovationsprojekt, vilket förklaras av områdets låga mognadsgrad och de primärt

¹⁹ Blå färgskala innebär således en kvot lägre än 1, vilket betyder att offentlig finansiering understiger extern finansiering. Röd färgskala innebär motsvarande en kvot högre än 1, vilket innebär att offentlig finansiering överstiger extern finansiering.

explorativa behov som synes ha förelegat i aktörssystemet. Av diagrammets tre projekt över 5 mkr är två koordineringsmedel för programkontoret och inte FoU-projekt eller enskilda projekt.²⁰ Projekten mellan 1 och 5 mkr är 56 till antalet varav 18 stycken (32 procent) åren 2021–2022.

Under programmets tredje etapp mer än dubblades antalet demonstratorprojekt (sju under etapp 3 jämfört med totalt sex under båda tidigare etapper), och projekten har också varit mer än dubbelt så stora (i genomsnitt 3,4 mkr i offentlig finansiering jämfört med 1,5 mkr under etapperna 1 och 2). I samband med medelstillskottet från Hållbar industri kunde SIO Grafen från och med våren 2021 även satsa på strategiska projekt i öppna utlysningar (de nämnda hinderprojekten) vilket ledde till fem projekt inom systemgemensamma problemområden som arbetsmiljö, testbäddar, standarder och cirkularitet.

Figur 10: Projektstorlekar från utlysningar 2014–2022 (nettobeviljade offentliga medel)



Källa: Vinnova

²⁰ Det enda egentliga projektet med mer än 5 mkr i offentlig finansiering är 2021-05121 GAIA – Grafen Applikation i Industriell Anläggning som syftar till att utveckla en flexibel pilotanläggning för elektrolytisk ytbeläggning med möjlighet till produktion i mindre skala. Utöver pilotanläggning ingår utveckling av metoder för att kunna mäta grafenhalt i produktionsbad samt funktionalisering av grafen för specifika tillämpningar. Tittar vi på medfinansiering är detta projekt också ett av två med mer än 5 mkr i medfinansiering. Det andra stora projektet räknat i medfinansiering är 2021-05125 Integration of 2D materials for high-volume semiconductor manufacturing som syftar till att utveckla och verifiera en teknik för integration av 2D material med konventionella halvledarsubstrat till den grad som krävs för produktionslinjer i halvledarfabriker.

4. Effekter för deltagare

Sammanfattning:

- Motiv att delta för enkätsvarande forskare är mer industrirelevant Fol-inriktning; för företagsrespondenter att lösa specifika Fol-relaterat problem; och för SMF-respondenter även tillgång till extern Fol-infrastruktur
- Fol-projekten bidrar till kunskapsöverföring framförallt mellan SMF och forskare
- Samarbetsförmågan stärks, framförallt för forskare vid lärosäten
- Demonstratorer och prototyper vanligast effekt för svarande företag
- Mer industrirelevant Fol-inriktning ett resultat för forskningsaktörerna
- Förväntningar på kommande resultat och effekter ofta större än de realiserade

4.1 Samverkan och kompetens

4.1.1 Motiv att delta

Företagens motiv att delta i Fol-projekten handlar i fallande ordning om att 1) lösa specifika Fol-relaterade problem; 2) bygga upp generell Fol-kompetens; 3) få tillgång till extern Fol-infrastruktur; samt 4) få offentlig delfinansiering till Fol. Företagen uppger generellt sett inte som motiv att rekrytera disputerade forskare eller engagera doktorander, och en hög andel svarar uttryckligen att detta inte alls varit ett motiv att delta. För SMF-respondenterna har framförallt tillgång till extern Fol-infrastruktur varit ett viktigt motiv för deltagande, i hård konkurrens med att lösa specifika Fol-problem. För respondenter som representerar stora företag är lösandet av specifika Fol-problem det dominerande motivet.

Forskarrespondenterna svarar i hög utsträckning (94 procent i hög eller mycket hög grad och övriga i viss grad) att deltagandemotivet är att arbeta med industriellt relevanta problem. I andra hand är motiven att lösa ett specifikt Fol-relaterat problem och att få insikt i industriella behov och arbetssätt. Forskarnas motiv är inte annat än i undantagsfall att få finansiering till någon form av doktorand.

4.1.2 Projekten bidrar till kunskapsöverföring framför allt mellan SMF och forskningsaktörer

Som framkommer i Figur 11 nedan rapporterar en hög andel av deltagande forskare (76 procent) att projektdeltagandet lett till kunskapsöverföring från SMF. En lägre andel forskare (46 procent) rapporterar motsvarande från stora företag. Förväntningar på kunskapsöverföring på sikt från stora företag är dock något vanligare bland forskarna än motsvarande från SMF. Att kunskapsöverföring skett eller förväntas ske från företag

är i linje med motiven att delta och forskarnas önskan att arbeta med industriellt relevanta problem samt få insikt i industriella behov och arbetssätt.

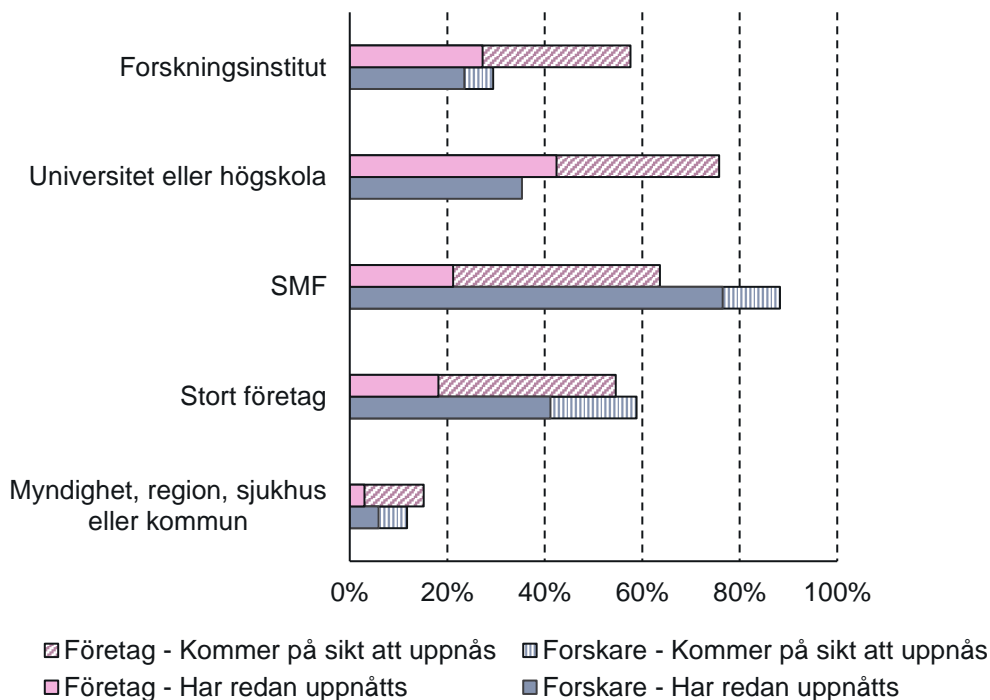
En jämförelsevis lägre andel av forskarrespondenterna svarar att kunskapsöverföring skett från institut eller lärosäten. Det finns inte heller någon betydande förväntan på att detta ska uppkomma på sikt. Av svarande från lärosäten uppger 22 procent att kunskapsöverföring uppnåtts från forskningsinstitut och 60 procent av svarande från institut uppger motsvarande från lärosäten. Givet forskarnas motiv att delta är det inte förvånande att fokus mer sällan ligger på kunskapsöverföring från forskningsaktörer än från företag. I vissa fall kan projektkonstellationer också bestå av exakt en forskningsaktör varpå kunskapsöverföring mellan forskningsaktörer blir en omöjlighet. Båda tolkningarna tillåts av att en hög andel av forskarna svarat "vet ej/ej relevant" på frågan om kunskapsöverföring från lärosäten (89 procent) respektive institut (78 procent).

Motsvarande har en låg andel av företagsrespondenterna svarat att kunskapsöverföring skett från SMF (21 procent) eller stort företag (18 procent). Däremot framkommer en förväntan om att detta ska uppnås på sikt. Störst andel svarande företag uppger att kunskapsöverföring skett från universitet eller högskola (42 procent) och en stor andel förväntar sig även sådana resultat framöver. Bilden är liknande med avseende på kunskapsöverföring från forskningsinstitut men på en lägre nivå (56 procent uppger faktisk eller förväntad kunskapsöverföring från institutaktör). Som framkommer i figuren är det få respondenter som rapporterar kunskapsöverföring från offentliga aktörer vilket huvudsakligen beror på att offentliga aktörer inte är vanligt förekommande i programmet.²¹

Fördelat på typer av företag ser vi att fler svarande SMF uppger en kunskapsöverföring från lärosäten än vad respondenter från stora företag gör. För SMF svarar 67 procent att kunskapsöverföring uppnåtts från universitet eller högskola och övriga att det förväntas på sikt. Motsvarande för stora företag är 30 procent redan uppnåtts och 35 procent uppnås på sikt. Gällande forskningsinstitut är motsvarande siffror 56 procent uppnått och 22 procent förväntat på sikt för SMF-respondenter, och 17 procent uppnått, 35 procent förväntat på sikt för respondenter från stora företag. Det framkommer alltså att en hög andel enkätsvaranden från SMF bedömer att det skett kunskapsöverföring från forskningsaktörer.

²¹ En hög andel respondenter svarar "vet ej/ej relevant." Se fotnot 12 för exempel på projekt där offentliga aktörer dock ingått.

Figur 11: Kunskapsöverföring från annan organisation. Deltagandets bidrag enligt företagsrespondenter (N=33) och forskare (N=17)



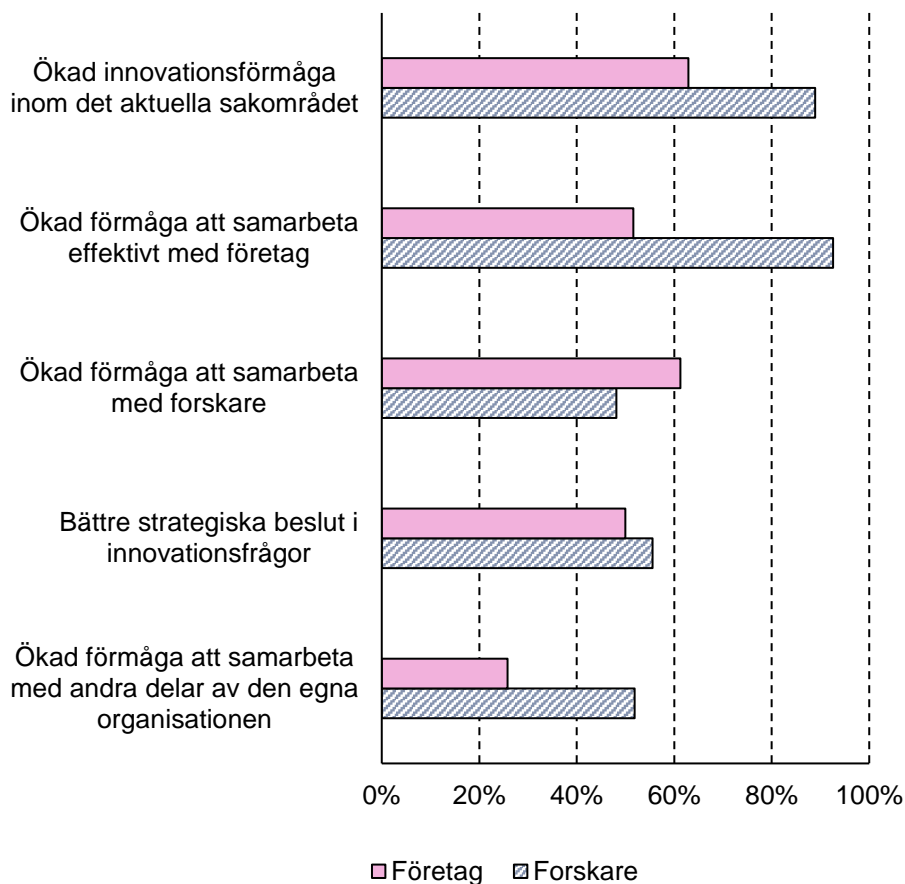
Anm.: Frågan ställdes enbart till deltagare som tillkommit sedan 2019. Påståendena löd i sin helhet "Kunskapsöverföring till den egna organisationen från...". Källa: Enkät

4.1.3 Stärkt samarbetsförmåga, framförallt för forskarrespondenterna

Som framkommer i Figur 12 svarar framförallt forskarrespondenterna att deras projektdeltagande bidragit till ökad samarbetsförmåga – främst med företag – samt ökad innovationsförmåga. 93 respektive 89 procent av de svarande forskarna svarar att så är fallet i hög eller mycket hög grad (på båda delfrågorna svarar sju procent att så skett till viss grad). Givet att innovation i stor utsträckning handlar om att förena forskning med industriella behov och att forskare ofta eftersträvar mer industrirelevant FoU-inriktning är detta att betrakta som intressanta resultat.

63 procent av företagsrespondenterna svarar att projektdeltagandet i hög eller mycket hög grad bidragit till ökad innovationsförmåga (23 procent i viss grad), 61 procent till ökad förmåga att samarbeta med forskare (16 procent i viss grad) och 52 procent till ökad förmåga att samarbeta med andra företag (29 procent i viss grad). 56 respektive 50 procent av svarande forskare respektive företagsrespondenter uppger att deltagandet i hög eller mycket hög grad bidragit till bättre strategiska beslut i innovationsfrågor (15 respektive 27 procent i viss grad). Endast ett fåtal respondenter, varav nästan inga SMF eller forskarrespondenter, har svarat att deltagandet inte alls bidragit i dessa avseenden.

Figur 12: Kompetensutveckling. Andel företagsrespondenter (N=62) respektive forskare (N=27) som anser att deltagandet har bidragit i hög eller mycket hög grad.



Anm. I enkäten framgick att de tre påståenden som rör samarbeten handlade specifikt om innovationsprojekt samt, om inte annat framgår, om samarbeten med andra organisationer än den egna. Källa: Enkät

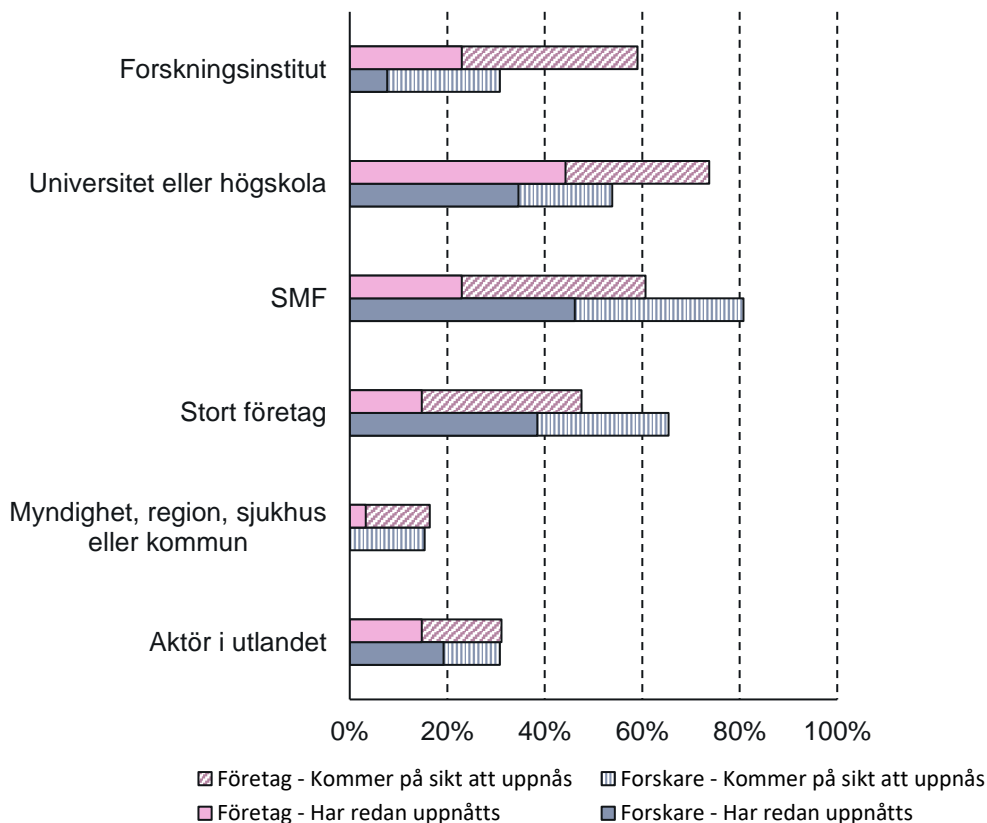
4.1.4 Förväntan att projekten ska leda till långsiktig Fol-samverkan

Figur 13 redovisar enkätsvaren med avseende på hur projektdeltagandet bidragit till långsiktig Fol-samverkan med andra organisationer. Det ligger i sakens natur att förväntan på att sådan långsiktig samverkan ska uppkomma på sikt är större än faktiskt konstaterade resultat. Inräknat både realiserade och förväntade resultat rapporterar framförallt forskarrespondenterna sådana med avseende på samverkan med SMF och stora företag. Motsvarande gäller bland de svarande företagen där störst andel uppger realiserade eller förväntade resultat i termer av samverkan med universitet och högskola samt i lägre utsträckning med institut.

I kategorin SMF är det endast ett fåtal respondenter som svarar att långsiktig Fol-samverkan inte alls kommer att uppnås och då främst med myndighet, region, sjukhus eller kommun (25 procent). För denna samverkanskategori svarar hälften av SMF-responenterna att frågan inte är relevant eller att man inte vet. Ett sådant svar – ”vet ej/ej relevant” – ges också av 60 procent av SMF-responenterna med avseende på

långsiktig Fol-samverkan med aktör i utlandet. Hälften av SMF-respondenterna svarar att man redan uppnått samverkan med universitet eller högskola (30 procent på sikt); 25 procent med forskningsinstitut (45 procent på sikt); och 20 procent med stort företag (50 procent på sikt). Respondenter från stora företag fördelar sig som SMF-respondenterna men på en lägre nivå.

Figur 13: Långsiktig Fol-samverkan med andra organisationer. Deltagandets bidrag enligt företagsrespondenter (N=61) och forskare (N=26)



Anm. Påståendena löd i sin helhet "Långsiktig Fol-samverkan med..." och uttryckte att det handlade om organisationer i Sverige i de fall där det inte framgår i figuren. Källa: Enkät

Intressant att notera är att var femte forskare och knappt 15 procent av företagsrespondenterna svarat att projektdeltagandet redan bidragit till långsiktig samverkan med aktör i utlandet. Ytterligare ett antal respondenter när förväntan på sådan samverkan på sikt. Som framkommer i fallstudierna (se bilagorna A och B) har flera Fol-projekt lett vidare till ansökningar med internationella konsortier. Inom Graphene Flagship drivs projektet *Circuit breakers spearhead project* som handlar om självsmörjande elektriska kontakter. Graphmatech och RISE driver även EU-projektet *NoVoc (Eliminating VOC from Battery manufacturing through dry or wet processing)* som bygger vidare på SIO Grafen-projekt *GraFREE (Grafenförbättrad bindemedelsfri katodformulering för nästa generations litiumjonbatterier)*. I själva SIO Grafen har totalt 16 utländska aktörer deltagit sedan starten.

4.2 Effekter i företag

Exempel på bidrag från projektdeltagande som uppges i enkätens fritextsvar handlar för SMF-respondenterna om aspekter såsom förståelse för marknaden; ökad produktionskapacitet; materialutveckling; bättre insikt och förståelse av möjligheterna med en given teknologi för ett befintligt produktsegment; bättre förståelse för begränsningar och utmaningar med grafen; finansiering; samt delad kunskap och kompetens. Respondenter från stora företag nämner kännedom om ny teknik; ökad förmåga att utvärdera ny teknik och uppnå bättre produkttegenskaper med grafen; att kunna avskriva ett forskningsspår; samt viktig input med avseende på utvecklingsbehov och användbarhet av material. Flera nämner också nya nätverk och möjligheten att samarbeten med forskare och med andra företag.

4.2.1 Demonstratorer och prototyper vanligast effekt för svarande företag

Som framkommer i Figur 14 är den mest frekvent rapporterade effekten för företag utveckling av demonstratorer och/eller prototyper (25 procent svarar så). Att så hög andel av företagsrespondenterna rapporterar sådana realiserade eller förväntade resultat (totalt 69 procent) är särskilt intressant givet att grafenområdet är ungt och tenderat att röra sig på en förhållandevis låg TRL. Att 44 procent av de svarande (men 58 procent av svarande SMF) uppger att man förväntar sig sådana resultat *på sikt* är typiskt för långsiktiga FoU-processer.

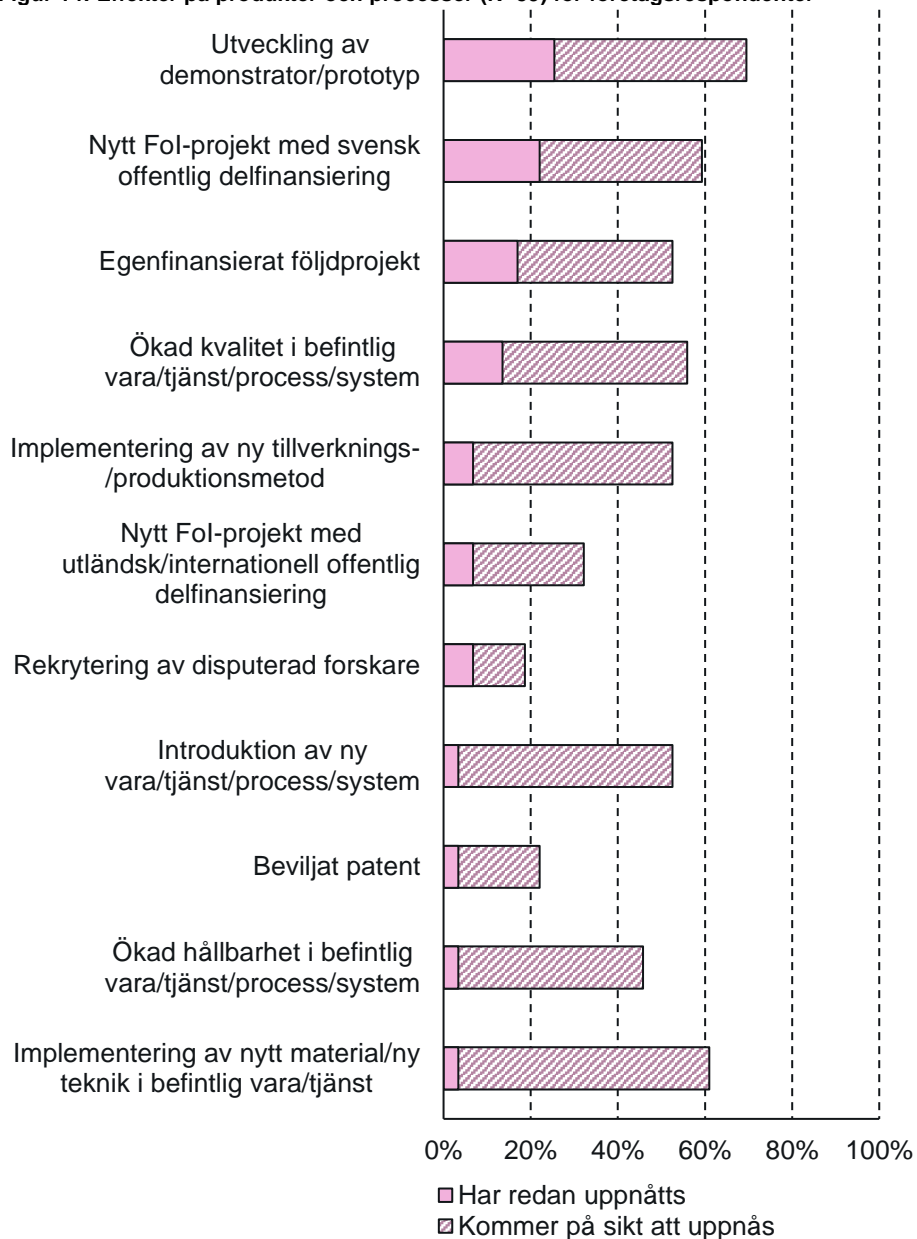
Att en stor andel (44 av 69 procentenheter) hyser förväntningar snarare än rapporterar realiserade resultat kan också tyda på att många demonstratorprojekt tillkommit sent i programmet och inte hunnit bära all sin frukt i dagsläget. Av de befintliga enkätrespondenterna har de som svarar för projekt med första beslutsår 2019 eller senare oftare förväntningar på att effekter kommer att uppnås på sikt medan de som svarar för projekt med tidigare första beslutsår oftare svarar att det ej kommer att uppnås.²² Samma mönster gäller för samtliga delfrågor.

Exempel på demonstratorer och prototyper ges i fallstudierna i bilagorna A och B. Projektet *Grafenkamouflage med avancerad vikt och funktionella egenskaper (2021-05108)* har tagit fram ett radarabsorbent grafen-kamouflagenät i fullskala. *Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material (2021-05101)* ska ta fram tre olika demonstratorer, i form av 1) en träpanel limmat med hållbart lim med grafen; 2) en förpackningslåda limmat med hållbart lim med grafen; samt 3) ett förnyelsebart sugrör med grafenbaserat stärkelsemedel.

²² En hypotes är att aktuella och nyligen avslutade projekt mer sällan hunnit uppnå realiserade effekter jämfört med äldre projekt. Enkätdata indikerar här dock snarare tolkningen att nyare projekt *ännu inte hunnit bli besvikna*, och att de nyare projektens förväntningar inte motsvaras av lika stora realiserade effekter för äldre projekt.

Ett annat exempel är 2021-05121 GAIA – *Grafen Applikation i Industriell Anläggning*, som syftar till att utveckla en flexibel pilotanläggning för elektrolytisk ytbeläggning (se fotnot 20). Demonstratorprojektet, som är pågående, hör ihop med 2020-00787 *Pluto Conductive*, ett Fol-projekt med mål att utveckla en elektriskt ledande grafenbaserad ytbeläggning med korrosionsbeständighet, definierade friktionsegenskaper och en uppskalningsbar process. Projekten som smält samman i GAIA har nått resultat gällande elektromagnetiska skärmningsegenskaper i färg som man idag arbetar för att demonstrera i fullskala. Utmaningen är att satsifiera industriella behovsparametrar snarare än att åstadkomma isolerade resultat i laboratoriemiljö.

Figur 14: Effekter på produkter och processer (N=59) för företagsrespondenter



Källa: Enkät

Ett resultat som realiserats enligt 22 procent av respondenterna (16 procent av SMF-respondenterna) och som förväntas på sikt av ytterligare 37 procent (47 procent av SMF) är ytterligare Fol-projekt med svensk offentlig finansiering. Som exemplifieras i fallstudie A – ”från explorativ idé till industriell tillämpning” – löper det inte sällan kedjor av Fol-projekt som syftar till att utveckla idéer, föra dem närmare praktisk tillämpning och skalbara produktionsmetoder samt sedermera (som i fallstudie B) integrera dem i relevanta värdekedjor eller värdenätverk.

Figuren ovan visar att totalt 19 procent av företagsrespondenterna ser rekrytering av disputerad forskare som en realiserad (sju procent) eller förväntad (tolv procent) effekt av projektdeltagandet. Detta kan jämföras med att endast tre procent av företagsrespondenterna uppger att rekrytering av nydisputerad forskare varit ett motiv för projektdeltagandet. Delfrågeformuleringarna är inte fullt överlappande men svaren kan ändå tolkas som en indikation på att förväntningarna i denna del troligen kommer att överträffas.

4.2.2 Större förväntade än realiserade effekter för verksamheterna

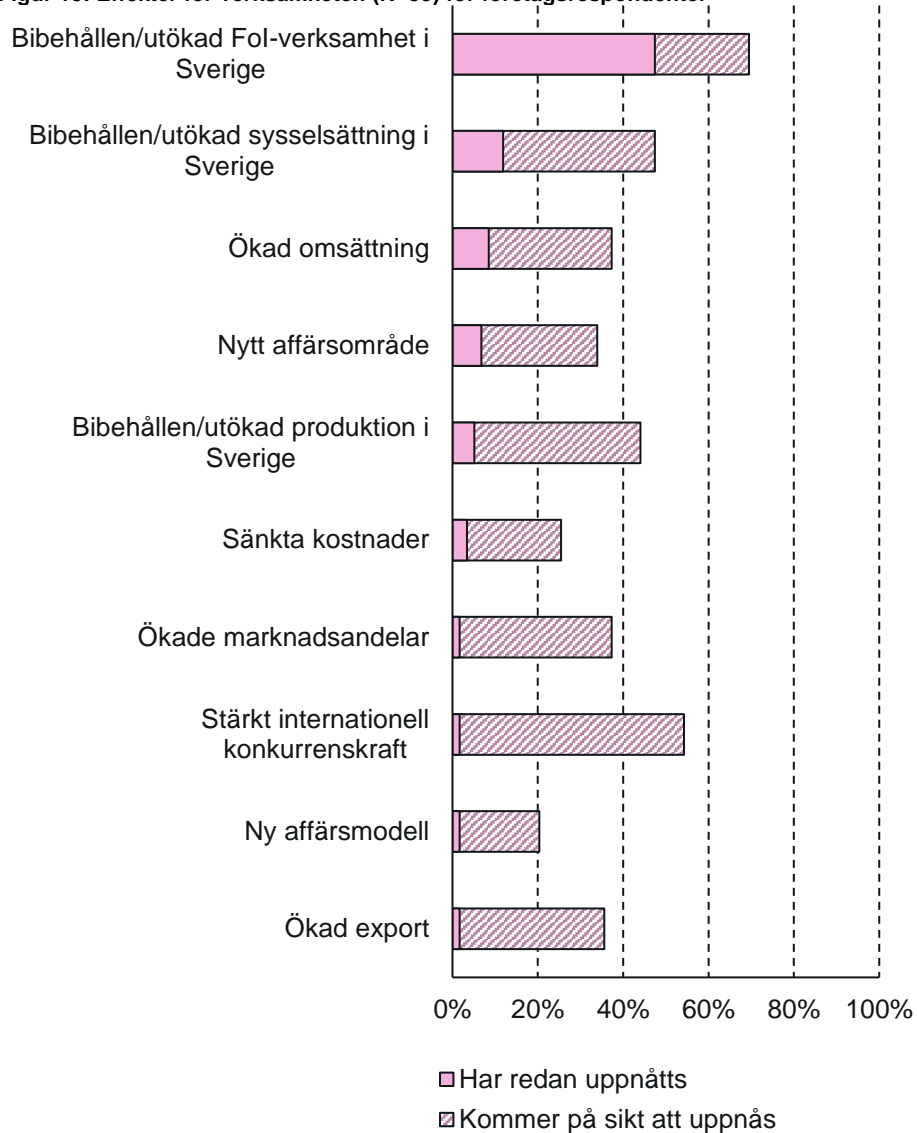
Vad som annars utmärker svarsfördelningen som redovisas i Figur 14 är att andelen realiserade resultat är lägre än andelen förväntade resultat (givet att vi tittar på respondenter som rapporterat resultaten i hög eller mycket hög grad). I viss mån kan detta rimligen förklaras med att grafenområdet är ungt och att innovationssystemet är omoget.²³ Endast tre procent av respondenterna har uppgett implementering av ny teknik eller ett nytt material som en effekt av sitt projektdeltagande – ytterligare 61 procent (79 procent av SMF-respondenterna) förväntar sig dock detta på sikt. Samma mönster uppträder i flera av delfrågorna.²⁴

Att de realiserade resultaten i vissa delar är blygsamma är ett mönster som återkommer i Figur 15. Exempelvis är det bara två procent av företagsrespondenterna som uppger att stärkt internationell konkurrenskraft varit en effekt av projektdeltagandet medan ytterligare 52 procent (74 procent av SMF-respondenterna) förväntar sig detta på sikt. Tydligast realiserade effekter framkommer med avseende på bibehållen/utökad Fol-verksamhet i Sverige. Detta är i linje med att en relativt hög andel svarande rapporterar nytt offentligfinansierat Fol-projekt och/eller egenfinansierat följdprojekt som ett resultat.

²³ En annan tolkning är att respondentgruppen på grund av bortfall framförallt består av svarande som representerar pågående eller nyligen avslutade projekt – men av de som svarat på denna fråga ser vi inte att avsevärt större andelar av respondenter från projekt med tidigare första beslutsår uppger realiserade resultat jämfört med respondenter som svarar för projekt med senare första beslutsår.

²⁴ Vid en jämförelse med sexårsutvärderingens enkätsvar är bilden likartad. Det är alltså inte så att effekterna som rapporteras för verksamheterna enligt vad som kan utläsas är större nu än för tre år sedan.

Figur 15: Effekter för verksamheten (N=59) för företagsrespondenter



Källa: Enkät

SIO Grafen kan i många fall visa upp flera konkreta utfall i termer av tillämpningar, produkter och processer. Kommersiella resultat synes dock i linje med enkätresultaten ofta ligga i framtiden. Ett exempel på de ofta långa och oförutsägbara innovationsprocesserna belyses i Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning. Fallstudien visar hur antibakteriella ytor av vertikalt grafen utvecklats även om projekten i dagsläget inte nått kommersialisering då man ännu beforskar lämpliga produktionsmetoder.

Inom elektronikområdet finns *2017-03604 Grafen för Hallsensorer*,²⁵ med det uppfylla syftet att utforska prestanda och begränsningar för Hall-sensorer baserade på epitaxiellt grafen.²⁶ Projektet rapporterar att man överträffat befintliga sensorer med avseende på spänningsrelaterad känslighet, men att affärsmässiga resultat är avhängiga av anpassning till andra prestandakrav inom fordonsindustrin där kommersialisering var avsedd att ske. Ett ytterligare elektronikprojekt som pekar mot produktifiering är det treåriga projektet *2020-00804 Värmeledande grafen-band för att kyla elektronikkomponenter*. Målet med projektet, som koordinerats av Saab, har varit att utveckla ett värmeledande grafen-band för värmebortledning i flygande radar- och laserapplikationer. Bakgrunden till projektet har varit att forskare vid Chalmers utvecklat en grafenbaserad film för kylning av elektronik.

Inom ytbeläggningsområdet kan nämnas projektet *2020-04878 CorroNite, en innovativ termokemisk behandlingsmetod för ökat korrosions- och nötningsmotstånd*, där man tagit fram en behandlingsmetod för att generera korrosionsbeständiga och slitstarka ytor genom ytbeläggning av värmebehandlade komponenter, vilket framhålls som hållbart och kostnadseffektivt tack vare grafenet som en förstärkande ingrediens. Metoden CorroNite förväntas enligt publika uppgifter från projektkoordinerande Tribonex AB nå marknaden under 2024.²⁷

Nämnda projektet *GAIA (2021-05121)* är intressant för att belysa utmaningarna i att gå mot industriell tillämpning och kommersiella resultat. När projektkoordinatorn Provexa deltog i Vinnovas Booster (stödprogram) för EIC²⁸-ansökningar uppfattade man från företagets sida en tydligare kravställan med avseende på kommersiella förutsättningar. Provexa avstod sedermera att ansöka om ett innovationsprojekt inom EIC eftersom man utifrån kravställan inte såg sig ha ett tillräckligt genomarbetat kommersiellt case. Det är en påminnelse om att även ett förhållandevis moget projekt på demonstratornivå kan ha långt kvar till kommersiella resultat.

4.3 Effekter för lärosäten och forskningsinstitut

Exempel på bidrag från projektdeltagande som uppges i enkätens fritextsvar handlar för forskarrespondenterna om aspekter såsom att etablera ekosystem och mötesplatser; kunskapsutbyte längs värdekedjor; förståelse av industriella behov; ökad kompetens

²⁵ Hallsensorer är elektroniska enheter som används för att mäta och detektera magnetiska fält. Inom fordonsindustrin används hallsensorer i olika tillämpningar för att övervaka och styra olika system och komponenter i fordon.

²⁶ Epitaxiellt grafen bildas genom epitaxiell tillväxt, en process där en kristallin film eller yta växer på en substrat-yta med samma kristallinstruktur. Metoden är av betydelse inom materialvetenskap och -teknik eftersom det möjliggör kontrollerad tillväxt av tunna filmer med önskade egenskaper och strukturer. Epitaxiell tillväxt möjliggör tillväxten av grafen på en kristallin substratyta som har en liknande gitterstruktur som grafen, vilket leder till att grafen blir välordnad och strukturellt jämn. Detta kan innebära möjligheter för en mängd olika applikationer inom elektronik, optoelektronik och nanoteknik.

²⁷ <https://www.mynewsdesk.com/se/siografen/pressreleases/foerbaettrat-rotskydd-med-grafen-3224114> (tillgått 2023-06-22).

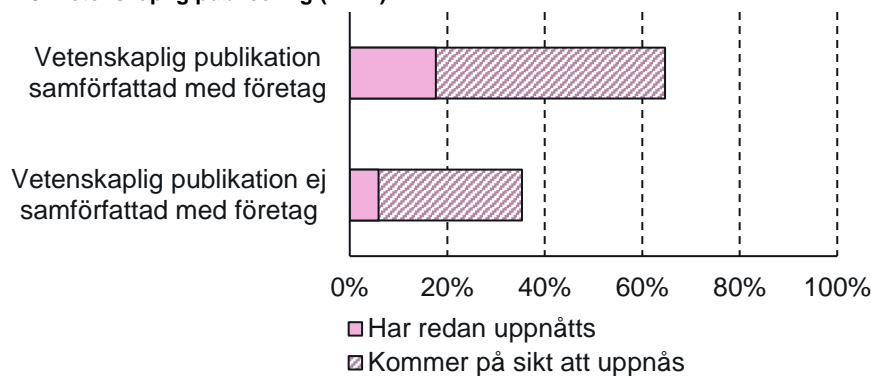
²⁸ Ett EU-program som syftar till att identifiera, utveckla och skala upp banbrytande teknologier och disruptiva innovationer.

och kunskapsuppbyggnad inom fältet; kunskapsöverföring, samverkan och nya samarbeten; framtagande av demonstratorer och prototyper; samt möjlighet att bedriva "intressant forskning med hög kvalitet som företagen har ett direkt intresse av."

65 procent av svarande forskare uppger att man uppnått eller kommer att uppnå en eller flera vetenskapliga publikationer samförfattade med företag. Givet SIO Grafens inriktning mot deeptech och den stora andelen universitets- och högskolenära SMF är detta inte en i sammanhanget påfallande hög andel.²⁹ Merparten av de respondenter som svarat annat har dock svarat att de inte vet eller att frågan inte är relevant – endast ett fåtal har svarat att resultatet ej kommer att uppnås. De finns därmed inga indikationer på att projekt som avses leda till vetenskapliga publikationer misslyckas med detta.

Endast 17 personer har besvarat frågorna i figuren nedan vilket mot bakgrund av totalt 193 beslutade projekt i programmet indikerar ett omfattande bortfall.³⁰ Frågan gäller vetenskaplig publicering, och då *peer-review*-processen ofta är tidskrävande är det avgörande att de som svarat är personer iblandade i aktuella och nyligen avslutade projekt.³¹ Det skulle kunna förklara den låga andelen realiserade resultat jämfört med den högre förväntade, men även den totala andelen realiserade plus förväntade publikationer eftersom programaktörerna mognat ökat under senare etapp och fler projekt legat på högre TRL än vad som var fallet tidigare.

Figur 16: Vetenskaplig publicering (N=17)



Anm.: Frågan ställdes enbart till deltagare som tillkommit sedan 2019. Källa: Enkät

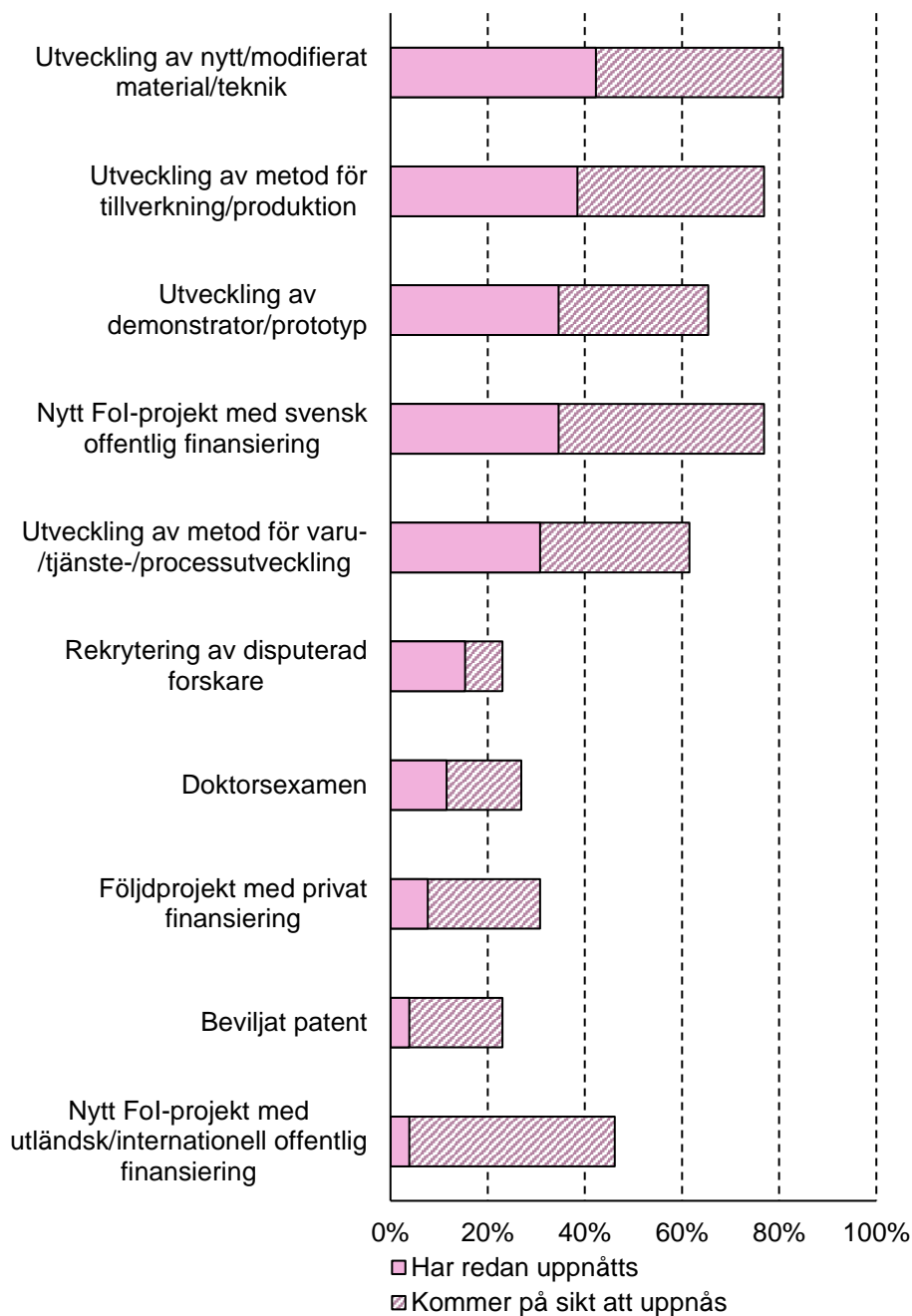
²⁹ Vi kan inte heller anta att respondentgrupperna som svarat att man uppnått publikationer samförfattade respektive ej samförfattade med företag är ömsesidigt uteslutande, då samma respondenter kan ha givit (och de facto *har* givit) ett positivt svar på båda delfrågorna. Annars hade 65 plus 35 procent adderat till att 100 procent av respondenterna uppnått någon form av publikation.

³⁰ Av respondenter som kunnat nås av enkätutskick (97 procent) har 27 procent av de som representerar lärosäten besvarat enkäten. Motsvarande bortfall för institutrespondenter är att 85 procent kunnat nås av utskick och 35 procent av de som nåtts av utskick svarat. Av forskarrespondenter som svarar för projekt med projektstart september 2019 eller senare har 40 procent besvarat enkäten. Av samma grupp men med projektstart före september 2019 har 21 procent svarat på enkäten.

³¹ Inga forskarrespondenter som representerar projekt med första beslutsår tidigare än 2019 har besvarat enkätfrågan.

I Figur 17 framkommer att forskarrespondenterna främst rapporterar (realiserade och förväntade) resultat med avseende på utveckling av ny eller modifierad teknik eller nytt eller modifierat material. I andra hand kommer utveckling av metod för tillverkning/produktion, och i tredje hand nytt Fol-projekt med svensk offentlig finansiering. Utveckling av demonstrator eller prototyp uppges av 35 procent av de svarande vara en effekt av projektdeltagandet och ytterligare 30 procent av de svarande förväntar sig sådana effekter på sikt. Få respondenter, fyra procent, svarar att Fol-projekt med utländsk offentlig finansiering följt av projektdeltagandet men 42 procent svarar att det kommer att uppnås på sikt. Återigen ska enkätsvaren ses i förhållande till bortfallet och att främst deltagare i pågående eller nyligen avslutade projekt har besvarat enkäten.

Figur 17: Effekter till följd av projektdeltagandet (N=26) för forskarrespondenter

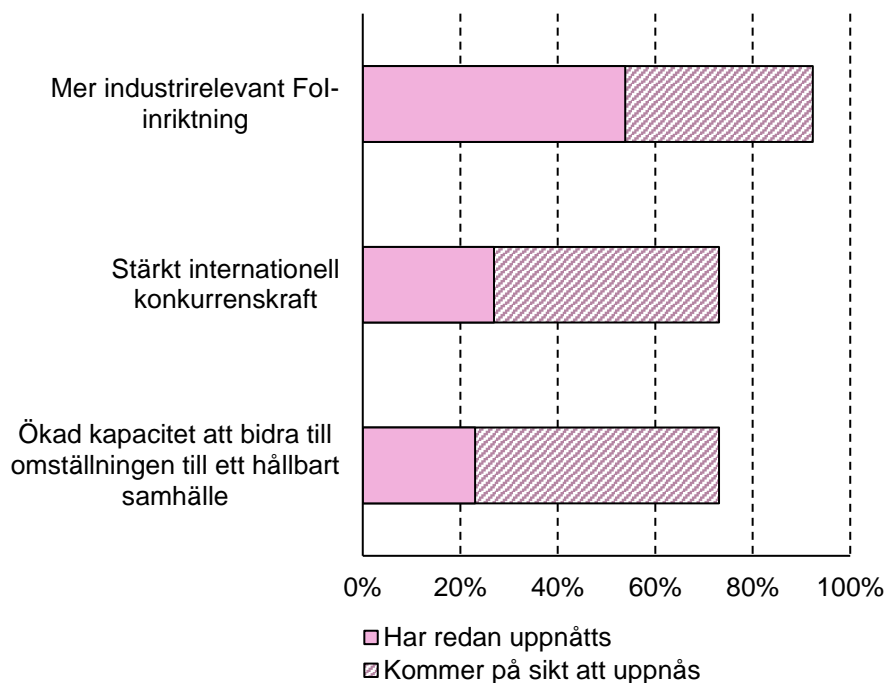


Källa: Enkät

En hög andel av forskarrespondenterna svarar att projektdeltagandet lett till en mer industrirelevant Fol-inriktning för den egna verksamheten (Figur 18). 54 procent svarar att detta redan uppnåtts och ytterligare 38 procent att det kommer att uppnås på sikt. Mer industrirelevant Fol-inriktning är således att vänta för omkring 92 procent av respondenterna. 73 procent rapporterar ökad kapacitet att bidra till omställningen till ett

hållbart samhälle och 73 procent stärkt internationell konkurrenskraft. I dessa fall överstiger dock prognoserna de konstaterade effekterna med den ungefärliga ration 3:1.

Figur 18: Effekter för verksamheten (N=26) för forskarrespondenter



Källa: Enkät

5. Systemeffekter

Sammanfattning:

- Programinriktningen har utvecklats med grafenområdet, från explorativa projekt mot industriell tillämpning och breddad mobilisering
- SIO Grafen har starkt bidragit till att bygga upp ett ekosystem av och för svenska grafenföretag och användare
- SIO Grafen arbetar aktivt och strategiskt med strukturella frågor, ramverk och infrastruktur

5.1 Mobilisering

Grafenområdet är ungt och innovationssystemet kring 2D-material likaså. Till skillnad från vad som kan vara fallet inom mer traditionstyngda sektorer med befintliga ekosystem och etablera nätverk har SIO Grafen behövt utvecklas simultant med sitt innovationsområde. Detta har skett både genom en breddad mobilisering och genom en förändrad inriktning från små explorativa projekt till större projekt på högre TRL.

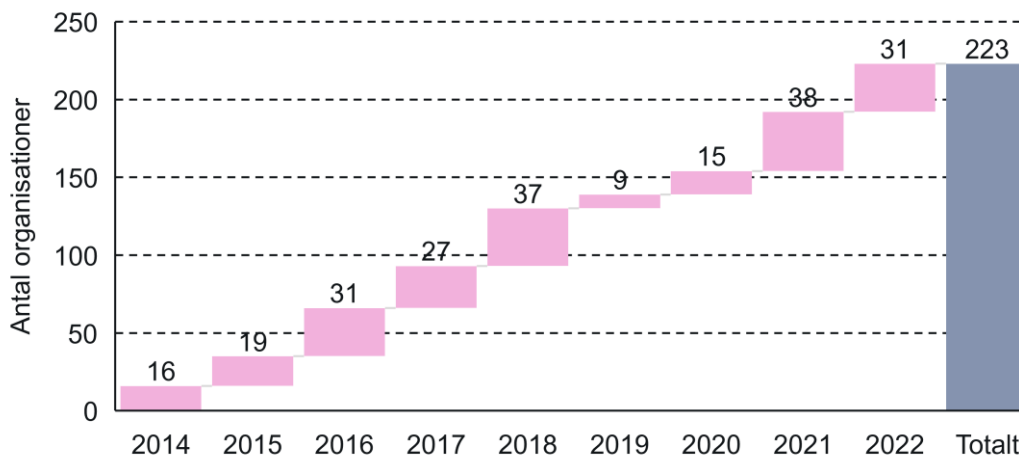
SIO Grafen hade inledningsvis svårt att attrahera stora företag³² och de forskare och universitets- och högskolenära SMF som fanns hade i många fall begränsade egna resurser att bidra med. Programmet byggde därför inledningsvis på småskaliga genomförbarhetsstudier som inte krävde omfattande industriell medfinansiering och många aktörer drog sig också för att gå vidare till demonstratorprojekt. Detta har ändrats med tiden i och med områdets mognad samt de extra resurser som kom SIO Grafen till del genom Hållbar industri-satsningen under 2021. Områdets mognad och de extra medlen möjliggjorde större demonstratorprojekt samt hybridformen strategiska projekt genom öppna utlysningar.

En primär inriktning för SIO Grafen och programkontorets arbete har varit att bygga nätverk och skapa och stärka ett ekosystem för aktörer inom grafen och 2D-material. Figur 19 visar när nytilkomna deltagare kommit in i programmet. Uppbrutet på aktörstyper ser vi att knappt en tredjedel av deltagande universitet och högskolor gick in i SIO Grafen redan 2014 medan företag kommit in löpande med stora tillflöden 2016–

³² Det finns undantag. 2014 tillkom både Alva Laval och Stora Enso; 2015 Ericsson; och 2016 Tetra Pak, Saab, Sandvik och Perstorp AB. Däremot dominerades projektportföljen under etapp 1 och 2 av genomförbarhetsstudier och mindre Fol-projekt, bland annat då det var svårt att skapa större industriell medfinansiering i projekten. I självvärderingen framhåller programkontoret att "små företag med få anställda har svårt att skapa större volymer av medfinans, och de stora, etablerade satsar ofta först när de tydligt ser möjliga applikationer."

2018 samt 2021-2022 (drygt 76 procent av alla företag tillkom dessa år). Totalt har 223 organisationer varit aktiva i SIO Grafen.

Figur 19: Nyttillkomna deltagare



Källa: Vinnova

Mobiliseringen av nya aktörer till programmet sker genom utlysningar, utåtriktat arbete, diverse publika arrangemang och genom en projektstödsfunktion. Den senare funktionen inkluderar en så kallad *outreach manager* som ska stötta både befintliga aktörer och nå nya som inte ingår i ekosystemet eller ännu sett möjligheterna med grafen och andra 2D-material. Man agerar här genom samarbeten med andra strategiska innovationsprogram, utåtriktat arbete via befintliga konferenser (2023 till exempel Ytforum), samt uppsökande arbete visavi specifika företag.

Det senare har exempelvis skett genom "turnéer" under programmets tidiga dagar, där man specifikt riktade sig till forskningschefer inom stora företag. Även om stora företag hade ett lägre engagemang i termer av medfinansieringsvilja (och därmed projektdeltagande) under SIO Grafens tidiga år har dock flera stora aktörer hela tiden haft ett engagemang i området och varit aktiva i strategiskt arbete genom styrelsenärvaro och deltagande i agendaarbetet.

Exempel på utmaningar som framkommer i Swecos intervjumaterial är att mobilisera aktörer från elektronikindustrin respektive medicinteknik. En förklaring vad gäller elektronikområdet är att svenska aktörer ofta är systemintegratörer medan själva komponenttillverkningen sker utomlands. Det har varit svårt att arbeta med grafen som en lösning i förhållande till själva komponenterna eftersom värdekedjorna i den delen inte är inhemska. Vad gäller medicinteknik har det främst varit de långa ledtiderna som beror på rigorösa kontroll- och certifieringssystem som försvårat för SIO Grafen. (För ett undantag, se Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning angående vertikalt grafen som antibakteriell yta på medicintekniska implantat.)

5.2 Förutsättningar för innovation

SIO Grafen arbetar med tre parallella perspektiv: Utveckling av tillämpningar, utveckling av ekosystem och utveckling av ramverk och infrastruktur. Utveckling av tillämpningar utgör själva innovationen, medan ekosystem samt ramverk och infrastruktur utgör förutsättningar för sådan innovation. Utvecklingen av tillämpningar – innovationen i sak – sker primärt i öppna utlysningar medan förutsättningarna till stor del adresseras i de många andra aktiviteter som programkontoret bedriver. (Men, som nämnts, även i hybridformen enskilda/strategiska projekt som tillskapas genom öppna utlysningar.)

5.2.1 Ekosystem och värdenätverk

Idag har grafenområdet generellt sett rört sig från grundforskning och startups mot industriell tillämpning och scaleups. SIO Grafen har bidragit till att bygga upp ett ekosystem runt materialet och har i och med projektportföljens stigande TRL fokuserat allt mer på att bygga värdekedjor (som man från programmets sida hellre kallar värdenätverk) och stödja deeptech-företag som sitter med möjliga lösningar att hitta kunder och affärskontakter. (Se Bilaga B: Fallstudie – Värdekedjor för växande deeptech-företag.) Programmet har även fokuserat alltmer på att lösa systemgemensamma utmaningar och problem genom enskilda projekt rörande exempelvis standarder, arbetsmiljö och cirkularitet.

Inte minst för de startups och SMF som SIO Grafen framförallt byggt grafen-ekosystemet på och för³³ har mycket av programmets insatser – bortsett från öppna utlysningar och enskilda projekt – handlat om att föra samman aktörer, skapa arenor för möten och förmedla information. Man agerar här genom magasinet *Swedish Graphene Forum*, en föredömligt informationsrik [hemsida](#), pressreleaser, sociala medier (med stark [närvaro på LinkedIn](#)) och nyhetsbrev med omvärldsbevakning, samt fysiska (och under pandemin digitala) arrangemang som Swedish Graphene Forum (en resultatkonferens där alla projekt presenteras), programmets årsstämma, webinarier och workshops. Man har även arbetat med plattformen *Swedish Graphene Suppliers Alliance* för att specifikt stödja grafeleverantörer. Därutöver har man (2022 och 2023) arrangerat innovationstävlingar vars format man lånat från SIP Swedish Mining Innovation.

Ett sätt att stödja ett mognare ekosystem är också att adressera frågan om kompetensförsörjning. Här bedriver SIO Grafen aktiviteter såsom *2D Graduate Network* (startat under etapp 3) som syftar till att koppla ihop doktorander, examinerande studenter och post-docs med varandra och med företag med kompetensbehov. Man har även delat ut stöd för examenarbeten kopplat till industriell användning av 2D-

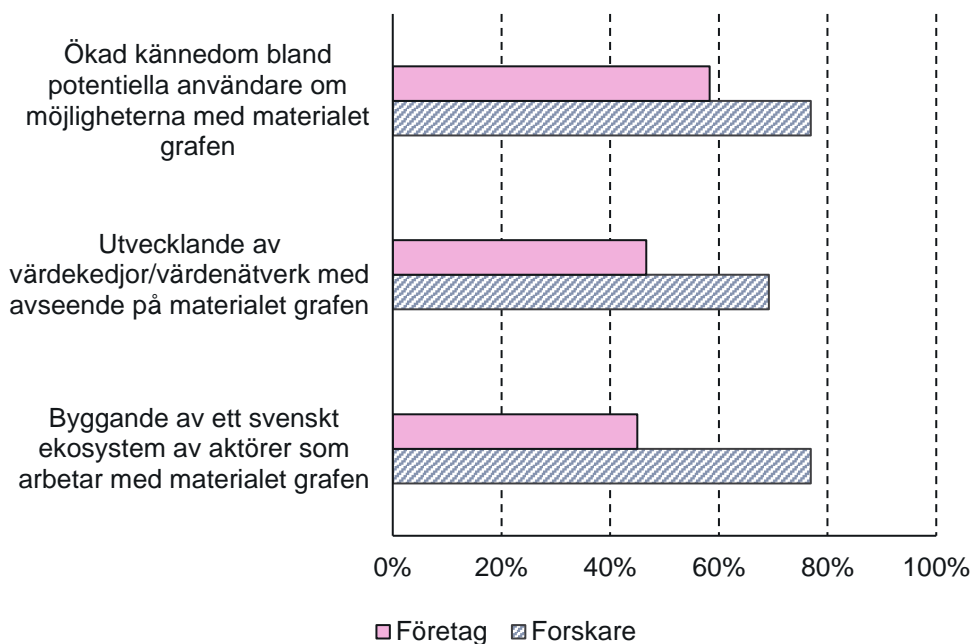
³³ Nästan hälften av programmets aktörer är SMF. Totalt är 168 stycken (75 procent) företag. 33 (15 procent) är forskningsaktörer (lärosäte eller institut).

material samt delat ut pris till bästa examensarbete för att skapa intresse för området. Tillgång till kompetens är utan tvekan en viktig förutsättning för innovation.

Det sker alltså en mängd insatser och aktiviteter på övergripande programnivå. Det är därutöver intressant att belysa hur de öppna utlysningarna i sig kan bidra till att utveckla värdenätverk och ett ekosystem för grafenaktörer. Sweco har ställt tre enkätfrågor specifikt till de svarande deltagarna i SIO Grafen – svaren redovisas i Figur 20. Här ska noteras att frågorna inte gäller en helhetsbedömning av programmets bidrag med avseende dessa parametrar utan specifikt vad respondenternas projektdeltagande inneburit.

Framför allt är det forskarrespondenterna som i stor utsträckning svarar att deras deltagande i programmet i hög eller mycket hög grad bidragit till utvecklade värdenätverk; 69 procent svarar detta jämfört med 47 procent av företagsrespondenterna (27 respektive 33 procent svarar att så är fallet i viss grad). 77 procent forskarrespondenterna och 45 procent av företagsrespondenterna svarar även att deltagandet i hög eller mycket hög grad inneburit ett bidrag till byggandet av ett svenskt ekosystem av aktörer inom grafenområdet (8 respektive 28 i viss grad).

Figur 20. Systempåverkan. Andel företagsrespondenter (N=60) respektive forskare (N=26) som bedömer att deltagandet i hög eller mycket hög grad har inneburit nedanstående.



Källa: Enkät

En faktor som också varit viktig för styrelse och programkontor är att öka kännedomen om möjligheterna med grafen. Grafen har många potentiella användningsområden men någon flaggskeppsprodukt synlig för en bred allmänhet finns i dagsläget inte. Från att

ha setts som ett mirakelmateriale har pendeln svängt och lämnat kvar en viss skepsis kring materialets konkreta användbarhet. En del av inriktningen för programmets insatser har därför kommit att handla om att skapa kännedom om materialet i termer av välkalibrerade snarare än haussade förväntningar.

De flesta, 77 procent av forskarrespondenterna och 58 procent av företagarespondenterna, bedömer att deltagandet i hög eller mycket hög grad inneburit en ökad kännedom bland potentiella användare vad gäller möjligheterna med materialet grafen (12 respektive 27 i viss grad). Svaren i Figur 20 kan tolkas som att utlysningssprojekten i sig bidrar till att utöka ekosystemet genom att influera potentiella användare som själva inte är grafenleverantörer eller renodlade 2D-deeptech-företag.

5.2.2 Ramverk och infrastruktur

Testbäddar

Ramverk och infrastruktur adresseras i SIO Grafen främst genom strategiska projekt (enskilda eller framtagna i öppna utlysningar) och projektövergripande aktiviteter. I och med att grafenområdet mognat över tid har programmet alltmer inriktat sig på sådana insatser vilket också möjliggjorts av 2021 års tillflöde av extra medel. En del av arbetet rör testbäddar, där SIPen agerat inte genom att initiera sådana utan genom att arbeta med tillgången till befintliga bäddar med relevans för att testa, utveckla och demonstrera 2D-material.

Utlysningsprojekt i de strategiska innovationsprogrammen kan ha en inriktning mot att tillskapa testbäddar eller annan infrastruktur. Så har dock oftast inte varit fallet i SIO Grafens projektportfölj; som syns i Figur 21 svarar endast en låg andel av FoU-projektdeltagare att deras deltagande bidragit till att etablera fysisk eller digital infrastruktur som andra aktörer kan använda. Det finns dock undantag såsom projektet *2021-04083 Testbädd: Rulle-till-rulle-bestrykning av grafenkompositer*.

Det pågående testbäddsprojektet *Rulle-till-rulle* inriktar sig på att visa upp en storformatsbehandlingsmetod för beläggning av grafenkompositer på olika substrat. I samarbete mellan Mittuniversitetet, UMV Coating Systems och Mondi Dynäs vill man gå från laboratorieundersökningar till pilotproduktion och sedan vidare till produktutveckling och produkt. I projektbeskrivningen framhålls en testbädd för storskalig beläggningsteknik vara nödvändig för att uppnå potentiellt disruptiva grafeninnovationer.

Kunskapsspridning och nätverkseffekter

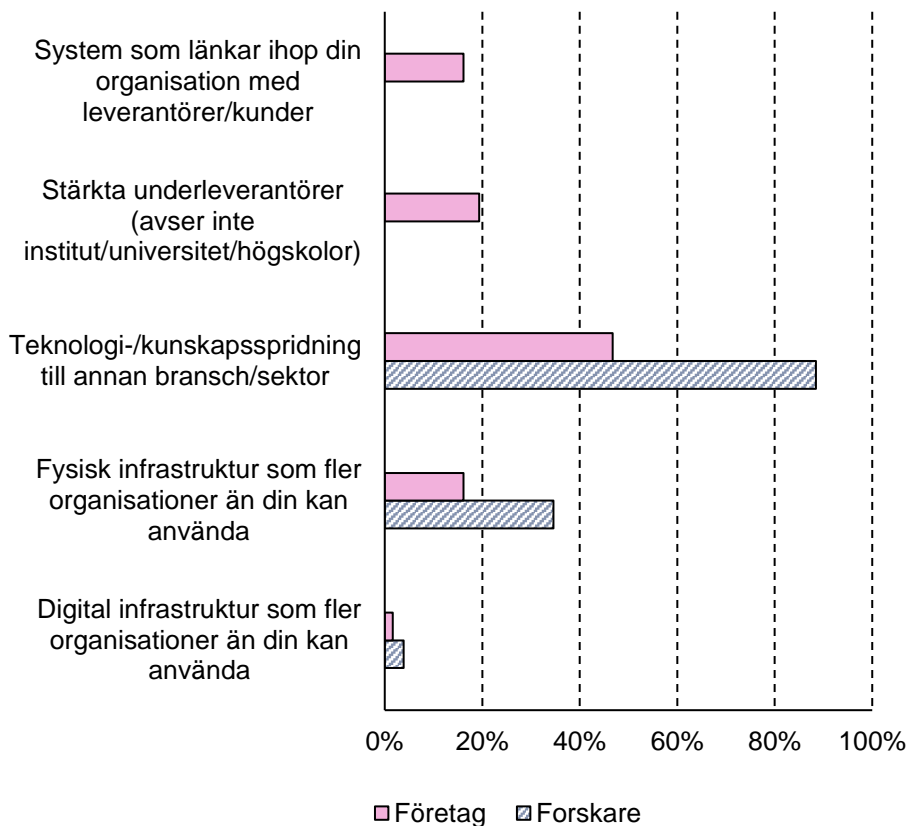
Det som främst framkommer i enkätsvaren i Figur 21 är effekter i termer av teknologi- och kunskapsspridning mellan sektorer och branscher. Framförallt forskarrespondenterna svarar att projektdeltagandet i hög eller mycket hög grad

bidragit till detta (88 procent, 4 procent i viss grad), men även nära hälften av företagsrespondenterna svarar så (och ytterligare 26 procent i viss grad).

Intressant nog utifrån perspektivet att skapa nya värdekedjor och -nätverk svarar respondenterna *inte* att deltagandet i hög eller mycket hög grad bidragit till att länka ihop deras organisationer med leverantörer eller kunder eller att stärka underleverantörer (29 procent svarar uttryckligen att så inte alls skett). Givet svaren från Figur 20 (utvecklande av värdekedjor/värdenätverk) hade man kunnat förvänta sig tydligare resultat även i denna del.

Svaren som redovisas i Figur 21 gäller dock effekter *bortom projektkonstellationen*. En tolkning är att utvecklade värdekedjor främst gäller aktiva projektparter i ett givet Fol-projekt. Vad gäller strukturella aspekter och system är det sannolikt att dessa främst uppstår i programövergripande aktiviteter (evenemang, samverkansarenor etcetera) snarare än i Fol-projekt, medan Fol-projekten kan förväntas innebära men också fördjupa och utveckla specifika aktörssamarbeten. En kompletterande datapunkt är svaren som framkommer i Figur 22 gällande huruvida respondenternas projektdeltagande lett till samarbete med för dem nya aktörer. Här svarar en hög andel – 81 procent av forskarna och 61 procent av företagsrespondenterna – att deltagandet i mycket/hög grad inneburit sådant samarbete (8 respektive 28 procent i viss grad).

Figur 21: Effekter bortom projektkonstellationen. Andel företagsrespondenter (N=62) respektive forskare (N=26) som anser att deltagandet har bidragit i hög eller mycket hög grad.



Anm: Två av påståendena besvarades enbart av företagsrespondenterna. Källa: Enkät

Strukturella och systemiska faktorer

Andra ramverk av vikt för grafen-ekosystemet finns inom standardisering. Så länge standarder saknas för att karakterisera grafen och andra 2D-material är det svårt att skapa en förutsägbarhet och därmed svårt att skala upp produktion. Bristen på standarder har även missgynnat avancerade leverantörer av grafen med hög kvalitet på grund av *lemons*-effekten.³⁴ Här arbetar SIO Grafen på flera olika fronter.

Inom det strategiska projektet *Svenskt hållbar grafen (2021-01978)* deltar personal från SIO Grafens programkontor i kommittén för nanoteknik i rollen som ordförande. Medel går även till SMF för att delta i kommittén och till RISE för att medverka i internationell *round-robin*.³⁵ Ett annat projekt av strategisk art inom standardisering är

³⁴ (*The market for*) *lemons*-effekten beskriver situationen där det är fördelaktigt för säljaren att sälja dåliga produkter eftersom köparen inte kan skilja dem från de bra. Detta sker på grund av asymmetrisk information, där säljaren har mer kunskap om produktens kvalitet än köparen. Denna brist på information kan leda till en nedåtgående spiral där köpare blir tveksamma att köpa produkter överlag, vilket i sin tur minskar incitamenten för säljaren att erbjuda högkvalitativa produkter. Se Akerlof 1970, "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism" i *The Quarterly Journal of Economics*.

³⁵ *Round robin* är en metod för att hantera och utvärdera kvalitetsparametrar på ett jämförbart sätt. Flera olika organisationer och/eller forskargrupper deltar i en cyklisk rotation där de utför mätningar eller bedömningar av samma kvalitetsparametrar. Varje aktör rapporterar sedan sina resultat varpå dessa jämförs och analyseras för att bedöma överensstämmelse och identifiera eventuella avvikelser.

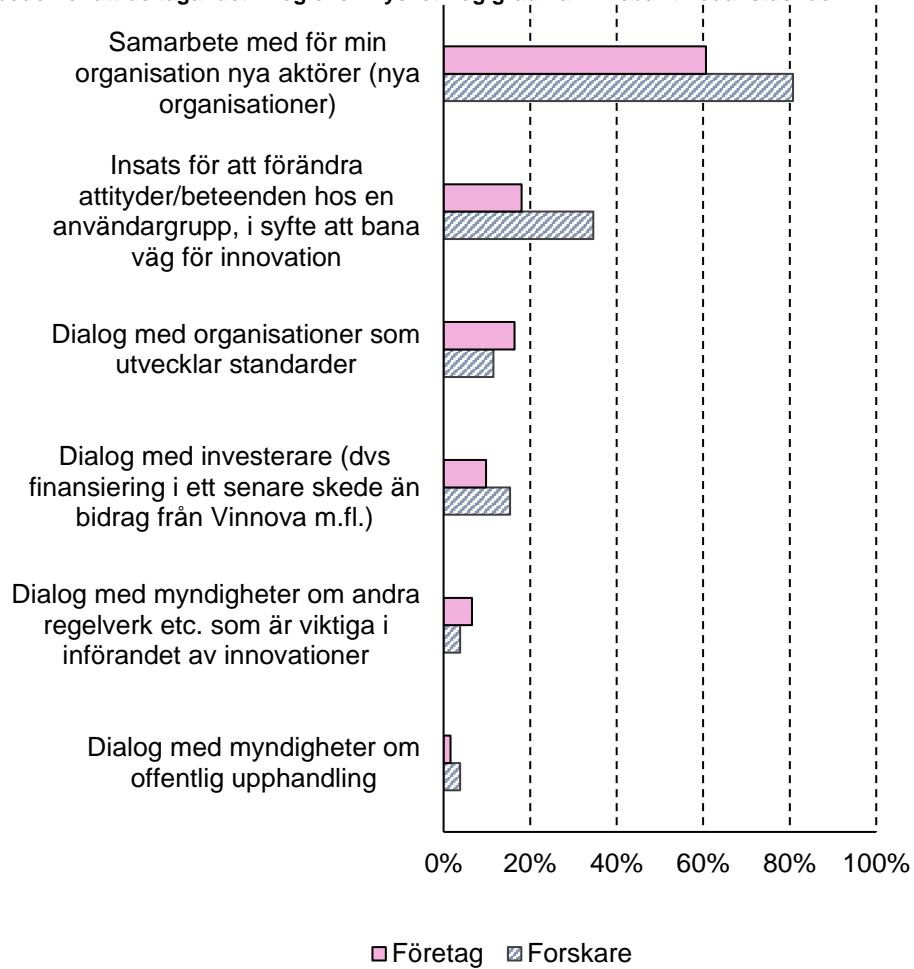
Standardisering, en väg för grafen till marknaden som genomförs i samarbete mellan Chalmers Industriteknik, flera grafenföretag, RISE och SIS. Målet med projektet är att undanröja ett av hindren för innovation för grafen och relaterade 2D-material genom att påverka, implementera och generera standarder baserat på grafenindustrins behov.

Ytterligare ramverk och strukturella frågor som SIO Grafen adresserar är nanosäkerhet och därinom inte minst arbetsmiljöfrågor. I form av ett strategiskt projekt som slutfördes 2021 har en genomgång skett av aktuell kunskap om risker vid hantering av grafen. Där utvecklades även en checklista avsedd för industriella användare. I två pågående projekt har arbetet fortsatt bland annat genom utveckling av metoder för att mäta exponering vid industriell hantering av 2D-material.

I Figur 22 framkommer som nämnts att en hög andel respondenter bedömt att deras projektdeltagande i hög eller mycket hög grad inneburit samarbete med för deras organisationer nya aktörer. I övrigt tyder figuren på att utlysningssprojekten oftast *inte* i hög grad inneburit dialog med myndigheter om offentlig upphandling; dialog med organisationer som utvecklar standarder; dialog med investerare; dialog med myndigheter om viktiga regelverk; eller insatser för att förändra attityder hos användargrupper. Vad gäller standarder arbetar bevisligen SIO Grafen i stor utsträckning med dessa frågor på programövergripande nivå samt i strategiska projekt och det finns ingen anledning att förvänta sig att FoU-projektdeltagare i allmänhet ska möta dessa frågor.

Motsvarande kan sägas om flera av de övriga enkätfrågorna. Vad gäller insatser för förändrade attityder hos användargrupper kan denna ställas mot Figur 20 där det framkommer att en förhållandevis hög andel av deltagarna bedömer att deras projekt bidragit till ökad kännedom om möjligheterna med materialet grafen. Här tillåter skillnaden i svarsvärden tolkningen att enkätrespondenterna haft en restriktiv förståelse av innebörden i "insats för att förändra attityder/beteende hos en användargrupp." Det ska dock noteras att ytterligare 26 procent av företagsrespondenterna (42 procent av SMF) och 15 procent av forskarrespondenterna svarat att så varit fallet i viss grad.

Figur 22: Systempåverkan. Andel företagsrespondenter (N=61) respektive forskare (N=26) som bedömer att deltagandet i hög eller mycket hög grad har inneburit nedanstående.



Källa: Enkät

6. Programmets mervärde

Sammanfattning:

- Behovsanpassad inriktning som utvecklats för att möta förändrade behov
- Deltagare rapporterar mervärden både i termer av vilka insatser som annars inte hade genomförts och vilka resultat som annars inte hade uppnåtts
- SIO Grafen har ett mervärde i att accelerera enskilda innovationsprocesser, bygga ett ekosystem kring grafen och andra 2D-material, samt tillskapa strukturella förutsättningar för områdets fortsatta utveckling

6.1 Inriktning

SIO Grafens inriktning kan sägas vara en funktion av områdets behov och de ekonomiska förutsättningarna. Båda har förändrats över tid.

Under programmets tidiga etapper har behoven främst handlat om att sprida kännedom om möjligheterna med grafen; att skapa träffpunkter samt bygga och underhålla nätverk; att stödja explorativ forskning, startups och SMF inom deeptech som knoppat av från forskargrupper och lärosäten; samt etablera inhemska grafenleverantörer. De stora företagen var under den tidiga fasen svåra att engagera i termer av medfinansiering, och de små aktörerna saknar ofta egna resurser liksom kapaciteten att absorbera större volymer av medelstilldelning. Den operativa inriktningen för SIO Grafen, som har minst budget av alla strategiska innovationsprogram, har varit att fördela i sammanhanget små projektmedel för genomförbarhetsstudier och explorativa innovationsprojekt.

I takt med att området mognat har SIO Grafen haft anledning att ändra inriktning, vilket sammanfallit med extra tillskott på medel från Hållbar industri. Därmed har programmet som nämnts haft möjligheten att satsa på större FoU-projekt, högre TRL, och demonstratorprojekt. Programmet har under etapp tre finansierat fler demonstratorprojekt än under etapp ett och två tillsammans, och projekten under etapp tre har i snitt varit mer än dubbelt så stora i medel räknat som under tidigare etapper. Under etapp tre har behov och extra medel även föranlett större strategiska projekt. I takt med att ett ekosystem av grafenaktörer växt fram har aktörsgemensamma problem och utmaningar blivit tydliga inom områden som standardisering, hållbarhet och arbetsmiljö – som SIO Grafen valt att adressera på strategisk nivå i enskilda projekt.

Sweco bedömer att programmets inriktning ligger och legat i linje med insatsområdets behov och att de inriktningsändringar som skett varit ändamålsenliga. Det framkommer i materialet att programkontor och styrelse samlat in ekosystemets behov och haft den

organisatoriska och personella förmågan att kanalisera dessa i konkreta insatser och arbetssätt. Sweco bedömer vidare att programmet starkt bidragit till att etablera det ekosystem av grafenaktörer som finns idag och att man därmed kunnat göra avtryck med i sammanhanget små medel.

6.2 Mervärde

Mervärde, eller additionalitet som det ofta kallas inom utvärdering, avser i praktiken om det var värt för staten att satsa resurser på SIO Grafen. Vi analyserar här mervärdet i de etablerade kategorierna input-, output- och beteendeadditionalitet.

Inputadditionalitet avser i vilken mån insatsen stimulerar deltagarna att utföra aktiviteter som annars inte hade blivit utförda. Det handlar i grunden om så kallade marknadsmisslyckanden, det vill säga att samhällets intresse av att något görs är större än den aggregerade insats som privata aktörer gör om inte staten agerar.

Outputadditionalitet handlar om vilka resultat och effekter som inte hade uppstått utan insatsen. Perspektivet liknar således inputadditionalitetens. Outputadditionalitet är mer svårbedömd, dels för att många effekter ännu inte har uppstått vid tidpunkten för utvärderingen, dels för att projektarbetet under resans gång blandas upp med bidrag från andra insatser.

Beteendeadditionalitet handlar till skillnad mot de andra två additionalitetsbegreppen till stor del om kvalitativa bidrag. Begreppet är brett och relativt odefinierat, med fokus på vad som kan beskrivas som "systemmisslyckanden". Typiska bidrag handlar om kunskap, nätverk, strategier och effektivitet.

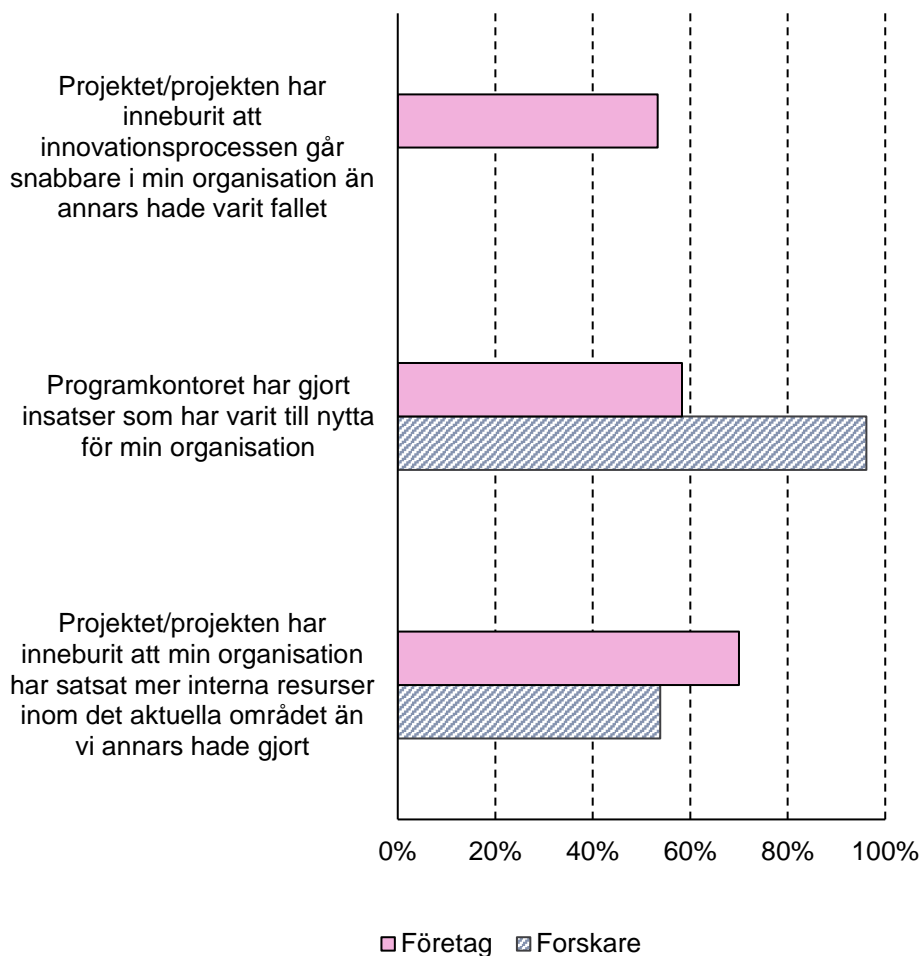
SIO Grafen syftar till att accelerera innovation inom grafenområdet både genom att på strukturell nivå etablera ett ekosystem som katalyserar samverkan mellan lärosäten, institut och företag, och genom att accelerera specifika innovationsprocesser i (ibland kedjor av) innovationsprojekt. Som framkommer i Figur 23 instämmer 53 procent av företagsrespondenterna att deras projekt i hög eller mycket hög grad inneburit att innovationsprocessen i deras respektive organisationer gått snabbare än vad som annars hade varit fallet. Ytterligare 22 procent håller i viss grad med om att så är fallet.

En högre andel företags- (70 procent) än forskarrespondenter (54 procent) håller i hög eller mycket hög grad med om att projekt man deltagit i har lett till att respektive organisationer satsat mer interna resurser än vad som annars hade varit fallet. Praktiskt taget samtliga forskare håller i hög eller mycket hög grad med om att programkontoret gjort insatser som varit till nytta för den egna organisationen och 58 procent av företagsrespondenterna svarar på samma sätt (och ytterligare 27 procent svarar att de instämmer till viss del). Utvärderarna tolkar svaren som att

programkontoret har haft en mycket central roll i programmet och en jämförelsevis nära samverkan med projekten.

Utifrån dessa enkätsvar synes SIO Grafens insatser stimulera deltagarna att utföra aktiviteter som annars inte hade blivit utförda: Accelererade innovationsprocesser, större egna satsningar, och ett mervärde i att tilldelade medel kompletteras med stödjande insatser från programkontoret.

Figur 23: Mervärde. Andel företagsrespondenter (N=60) respektive forskare (N=26) som instämmer i hög eller mycket hög grad.

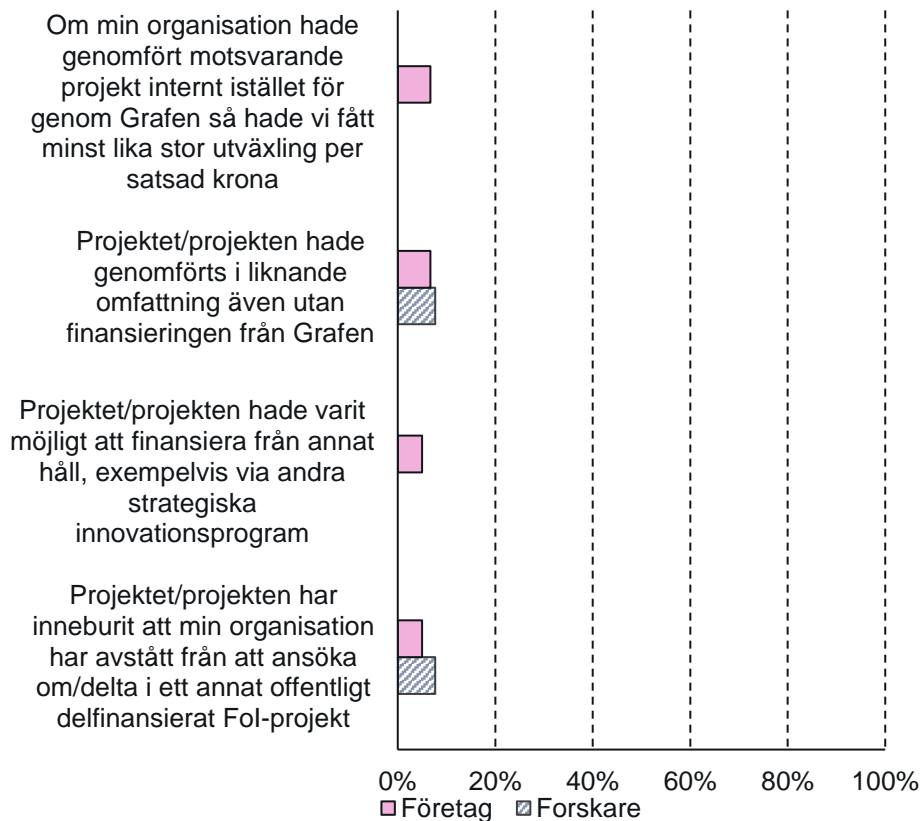


Anm. Ett påstående besvarades endast av företagsrespondenterna. Källa: Enkät

I Figur 24 (som redovisas med en negativ skala där "låga staplar är bra") svarar endast sju procent att deras företag hade fått samma utväxling av satsade medel om det inte skett genom ett SIO Grafen-projekt. Sju procent av företagsrespondenterna och åtta procent av forskarna svarar att projektet alls hade genomförts utan SIO Grafen-finansieringen; fem procent av företagsrespondenterna och noll procent av forskarna att projektet hade varit möjligt att finansiera på annat sätt, exempelvis från andra

strategiska innovationsprogram; och slutligen har fem procent av företagsrespondenterna och åtta procent av forskarna svarat att SIO Grafen-medlen gjort att man avstått från att söka andra medel.

Figur 24: Mervärde (negativ skala). Andel företagsrespondenter (N=60) respektive forskare (N=26) som instämmer i hög eller mycket hög grad.



Anm. Skalan är negativ. Ju kortare stapel desto bättre resultat. Det översta påståendet besvarades endast av företagsrespondenterna. Källa: Enkät

Sweco bedömer mot bakgrund av enkätfigurerna i kombination med andra underlag i utvärderingen att SIO Grafen har bidragit till att skapa ett ekosystem av och för grafenaktörer; att programmet har arbetat strategiskt för att adressera aktörsgemensamma hinder; samt att det har bidragit till att bygga värdekedjor och -nätverk som annars inte hade realiserats (lika snabbt). Programmet har som minst accelererat områdets utveckling och som mest varit avgörande i att innovationsområdet alls utvecklats på det sätt som skett sedan 2010. SIO Grafen har även samverkat nära med Graphene Flagship samt bidragit till kunskapscentrum 2D-Tech på Chalmers, vilket har hjälpt till att realisera programmets mervärde och att lägga en stabilare grund för området bortom programmets horisont.

SIO Grafen har även haft en roll i att accelerera skapandet av startups och utvecklingen av dem.³⁶ Då detta i flera fall har handlat om inhemska grafenleverantörer har SIPen bidragit till att lägga grunden för svenska värdenätverk och en svensk grafenmarknad.³⁷ Därutöver bedriver man som nämnt pågående strategiska insatser för att skapa standarder och därmed förbättra tillgång, kvalitet och tillförlitlighet. SIO Grafens beteendeadditionitet kan därmed sägas handla både om att få tillstånd eller accelerera specifika innovationsprojekt (som i Figur 24) och forma de strukturella förutsättningarna för att företag och innovatörer ska kunna agera. Fokuset på industriella tillämpningar har förmodligen bidragit till ett snabbare lyft av grafenområdet från grundforskning till faktisk tillämpning, vilket de för utvärderingen anlitate experterna bedömer är fallet.

Programmets strategiska arbete med innovationsagenda och flera olika färdplaner³⁸ har sannolikt bidragit till en aktörs gemensam inriktning och de strategiska satsningarna genom enskilda projekt har ackumulerat kunskap och även inneburit konkret struktupåverkan inom områden som standardisering, arbetsmiljö, kompetensförsörjning etcetera – vilket formar handlingsutrymmet för systemets aktörer. De experter som Sweco anlitat i utvärderingen framhåller som ett mervärde att programmets strategiska projekt inom standardisering och optimering inte hade skett utan SIPen, och att detta bör ses som ett direkt mervärde. Experterna bedömer även att SIO Grafen bidragit till en koncentration av finansiering till området.

De specifika Fol-projekten har, baserat på enkätsvar och fallstudier (se bilagor), bidragit till samverkan mellan lärosäten, institut och företag, vilket inte minst är av vikt för forskare som söker en mer industrirelevant forskningsinriktning. Swecos externa experter pekar framför allt på det ekosystem som programmet bidragit till kring grafen och andra 2D-material. Experterna bedömer att detta sannolikt inte hade existerat i någon betydande omfattning utan SIO Grafen. Experterna menar även att programmet har aktiverat en bred konstellation av aktörer och därigenom kunnat nyttja och komplettera internationella satsningar. Inte minst framhåller experterna de synergier man kunnat skapa i förhållande till Graphene Flagship, där SIO Grafen i flera fall fungerat som språngbräda till större EU-samarbeten.

Sammanfattningsvis bedömer Sweco att SIO Grafen uppvisar en **inputadditionalitet** såtillvida att deltagarna stimulerats att utföra aktiviteter som annars inte hade skett. Vi

³⁶ För närvarande finns det omkring tio företag som erbjuder produkter baserade på 2D-material. Nästan samtliga av dessa har etablerat sig inom SIO Grafen. I etapp 3 har hittills fem nya startups deltagit i finansierade projekt: Glenntex, Granode Materials, In2Great Materials, SMENA Catalysis och Tenutec. Övriga företag inkluderar 2D fab, Aninkco, Grafren, Bright Day Graphene, Graphmatech, SHT Smart High Tech och Talga. Av dessa företag producerar 2D fab, Graphmatech och SHT Smart High Tech industriellt i stor skala.

³⁷ Under år fem lanserades *Swedish Graphene Suppliers Alliance* som en plattform inom SIO Grafen för leverantörer att samverka inom.

³⁸ Programmet har tagit fram en färdplan för komposit och ytbeläggningar 2017, för elektronik 2019, energi 2020, tillverkning 2020 och en internationaliseringsstrategi 2022. Sedan innevarande år 2023 finns även en färdplan för bioteknik.

ser även en **outputadditionalitet** såtillvida att resultat och effekter har uppstått som (sannolikt) inte hade uppstått utan programmet. Empirin och experternas bedömning pekar även på en betydande **beteendeadditionalitet** i form av kvalitativa bidrag.

7. Handlingsplan efter sexårsutvärderingen

Sammanfattning:

- Programmet har hanterat samtliga rekommendationer
- Rekommendationer kring projektledares könsfördelning och tematisk inriktning av utlysningar har inte efterlevts oavkortat men hanterats tillfredsställande
- Hanteringen har inte inneburit någon kursändring för programmet

Sexårsutvärderingen av SIO Grafen framhöll elva rekommendationer riktade till programkontoret inför tredje etappen av programmet. Programmet har hanterat samtliga rekommendationer genom att ta fram handlingsplaner där aktiviteter och ansvar specificerats. Handlingsplanen tas upp som en stående punkt vid varje styrelsemöte.

Det framkommer att man haft goda möjligheter att hantera rekommendationerna i och med de extra medel som tilldelades SIO Grafen under etapp tre, kopplat till Vinnovas satsning på hållbar industri. Detta har framförallt möjliggjort ett mer utvecklat arbete med standardisering där SIO Grafen både deltar i internationella kommittéer samt bedriver strategiska projekt och genomfört en öppen utlysning.

En rekommendation har gällt jämställdhetsarbete och könsfördelning bland projektledare. SIO Grafen har här valt att vidga begreppet från jämställdhet till mångfald, och har breddat målbilden till nyckelpersoner snarare än projektledare. Det har funnits en farhåga att skapa skeva incitament och inkräkta på meritokratiska principer genom att styra projektbedömningarna utifrån projektledarnas kön. Sweco bedömer att programmets tolkning är rimlig och hanteringen adekvat.

En ytterligare rekommendation som programmet valt att förhålla sig fritt till gäller att rikta utlysningarna tematiskt utifrån styrkeområden. Med hänsyn till budgetbegränsningar har SIPen i stället tillämpat tematiskt öppna utlysningar med fokus på TRL. Detta har man föredragit givet området och ekosystemets tidiga utvecklingsfas.

Sammanfattningsvis har programmet planerat och verkställt hantering av samtliga rekommendationer ur sexårsutvärderingen. Rekommendationerna har hanterats även om tolkning skett enligt ovan beskrivet. Swecos bedömning är att hanteringen inneburit inkrementell förändring snarare än radikal kursändring och att hanteringen i vissa fall varit pågående sedan innan sexårsutvärderingen lämnade sina rekommendationer.

Rekommendation:	Programmet bör fortsätta att bevaka utvecklingen inom sina styrkeområden och bör vid behov revidera dessa för att säkerställa ändamålsenlighet.
Handlingsplan och genomförande:	Handlingsplanen beskriver att arbetet med styrkeområdena utvecklas genom omvärldsbevakning och mappning av projekt mot styrkeområden. En tillkommande punkt är att styrkeområdets färdplan ska revideras minst en gång under etapp tre. Strategiarbete kommer att genomföras årligen med styrelsen för att säkerställa att styrkeområdena är fortsatt relevanta. Vid behov kommer styrelsen och programchefen att föreslå korrigerande av styrkeområdena till årsstämman, som också fattar beslut om nya styrkeområden.
Bedömning av genomförandet:	Hantering av rekommendationen har i praktiken implementerats redan under etapp två, och fortsatte under etapp tre. Den veckovisa omvärldsbevakningen och halvårsvisa fördjupningen är uppskattad och mappningen av projekt mot styrkeområden ger en strategisk överblick. Arbetet med färdplanen för bioteknik är påbörjat och kan inte utvärderas i sak men visar på att revisionen av styrkeområdena får konkreta implikationer. Det finns en tydlig processbeskrivning för strategiarbetet och eventuell korrigerande av styrkeområden samt hur dessa ska beslutas. Sweco bedömer att rekommendationen är hanterad.
Rekommendation:	Programmets arbete med agenda och programlogik är en av dess styrkor och arbetet bör därför fortsätta.
Handlingsplan och genomförande:	SIO Grafen genomför en uppdatering av Innovationsagendan för grafen som ett strategiskt projekt mellan oktober 2020 och mars 2021. Effektlogiken går årligen igenom vid styrelsens strategiworkshop och uppdateras enligt resultaten av denna. Programchefen ansvarar för förankring i aktörsnätverket vid årsstämman. Beslut om en uppdatering av innovationsagendan tas inför etapp fyra av styrelsen.
Bedömning av genomförandet:	Hantering av rekommendationen har i praktiken implementerats redan under etapp två, och fortsatte under etapp tre. Uppdateringen av innovationsagendan blev klar i maj 2022, och den årliga genomgången av effektlogiken har skett i workshopformat med styrelsen och programchefen för 2022. De årliga förankringen i aktörsnätverket skedde vid årsstämman tidigt 2023, och beslut om eventuell vidare uppdatering av innovationsagendan kommer att tas under 2023. Sweco bedömer att rekommendationen är hanterad.
Rekommendation:	Programmet bör i dialog med sina aktörer ta fram en plan för hur aktörsnätverket ska kunna fortleva efter programmets slut.
Handlingsplan och genomförande:	Programkontoret kommer under etapp tre att starta arbetet att sätta upp mål, ramar och arbetssätt för ett <i>Ekosystem grafen 2030</i> i dialog med SIP-aktörerna. Ett förarbete görs av programkontoret inför årsstämman i februari 2023 och en öppen strategiworkshop hålls vid årsstämman 2023. Programkontoret kommer sedan att föreslå en strategi och handlingsplan till styrelsen och årsstämman 2024. Implementeringen av beslutad strategi inleds vid start av etapp fyra och under 2026 fasas <i>Ekosystem grafen 2030</i> i gång. SGSA, en samverkansplattform mellan grafen-leverantörer, har initierats under etapp två och särskild uppmärksamhet kommer läggas på att säkra att SGSA, i relevant format, fortlever efter 2026.
Bedömning av genomförandet:	Strategidiskussioner med styrelsen genomfördes 2022 samt på en strategiworkshop i januari 2023. I februari 2023 beslutades medverkan i ansökan till ett förberedelseprojekt inför Impact Innovation. Aktördialog har skett under 2022, och även framtagande av strategi och handlingsplan för

Handlingsplan efter sexårsutvärderingen

	aktörsnätverk efter SIO Grafens avslut, vilket har avrapporterats på årsstämman. Beslut om strategi och handlingsplan ska fattas av styrelsen på ett kommande styrelsemöte. Implementeringen av vad som då beslutas ska starta efter årsstämman. Sweco bedömer att rekommendationen hanteras men fortsatt är en kärnfråga inför innovationsprogrammets kommande avslut.
Rekommendation:	SIO Grafen har ett genomtänkt jämställdhetsarbete, men bör formulera ett kvantitativt mål även för projektledare. Programmets jämställdhetsarbete bör vara omnämnt i agendan
Handlingsplan och genomförande:	SIO Grafens effektmål 2030 diskuterades vid årsstämman 2021 och det beslutades att utvidga begreppet från jämställdhet till mångfald. SIO Grafen samarbetar med andra SIPar kring arbetssätt för ökad jämställdhet, och arbetar med att uppdatera Innovationsagendan och effektlogiken med indikatorer och resultatmål. Vid varje utlysning kommer projektkonsortier att stöttas i arbetet med jämställdhet i projekt, och SIO Grafen kommer uppmana nätverket att delta i Graphene Flagships initiativ <i>Diversity in Graphene</i> . Vid strategiworkshoppen vid årsstämman 2022 är fokus hur SIO Grafen kan främja mångfald och jämställdhet inom svensk grafenindustri och resultatet från strategiworkshoppen kommer börja implementeras från 2022.
Bedömning av genomförandet:	Sweco bedömer att rekommendationen är delvis missriktad i och med ett ensidigt fokus på könsfördelning bland projektledare. En så specifik målsättning riskerar skapa oönskade incitament och inkräkta på meritokratiska principer. SIO Grafen har frångått rekommendationen och gjort en vidare tolkning genom att istället målsätta könsfördelning bland nyckelpersoner, vilket vi också förordar. Samverkan med övriga SIPar sker pågående, liksom översyn av indikatorer som görs årligen. Programkontoret arbetar även kontinuerligt med stöttning av ansökande och man uppmanar aktörerna att delta i <i>Diversity in Graphene</i> . Jämställdhet har inkluderats i den uppdaterade innovationsagendan. Sweco bedömer att rekommendationen är hanterad i en rimligare tolkning.
Rekommendation:	SIO Grafen har föredömligt formulerade mål för 2018–2020, och bör formulera liknande mål för nästa finansieringsperiod
Handlingsplan och genomförande:	Resultatmål för etapp tre sätts i arbetet med Innovationsagendan för grafen 2021, av programchef och agendans arbetsgrupp men med godkännande av styrelsen. Preliminära resultatmål sätts i samband med ansökan. Den reviderade innovationsagendan ger fortsatt riktning. Det görs en årlig uppföljning och uppdatering av resultatmålen, utifrån diskussioner kring eventuell uppdatering vid styrelsens strategiworkshop.
Bedömning av genomförandet:	Hantering av rekommendationen har i praktiken implementerats redan under etapp två, och fortsatte under etapp tre. Sweco bedömer att rekommendationen är hanterad.
Rekommendation:	Programmet bör fortsatt inkludera sin programlogik i agendan, inklusive resonemang om bakomliggande antaganden och risker
Handlingsplan och genomförande:	SIO Grafen gör en första ansats att lyfta antaganden och risker i uppdateringen av innovationsagendan 2021. Ett kontinuerligt arbete med identifiering och uppföljning av risker initieras av programkontoret, och årlig uppföljning av risker och antaganden inkluderas vid styrelsens strategiworkshop.
Bedömning av genomförandet:	Implementeringen av handlingsplanen startade i och med arbetet med agendan 2021, och fortsatte under etapp tre. Sweco bedömer att rekommendationen är hanterad.

Rekommendation:	SIO Grafens resurser allokerade till standardisering, karaktärisering och kvalitetssäkring bedöms som otillräckliga. Programmet bör därför prioritera insatser för standardisering av material och produktionsprocesser
Handlingsplan och genomförande:	SIO Grafen påbörjade under etapp två arbetat med standardisering av grafen genom strategiska projekt kring karaktärisering, standardiseringscheckar till SMF, och engagemang i nationella och internationella kommittéer för standardisering (inklusive en arbetsgrupp inom Graphene Flagship). Sedan 2020 är personal från SIO Grafens programkontor ordförande i SIS tekniska kommitté för nanomaterial (TK 516). Under etapp tre fortsätter programkontoret arbetet mot standardiseringskommittéer samt bevakning inom karaktärisering. Strategiska insatser för att stärka industrins engagemang föreslås inom ramen för de strategiska projekten, och programkontoret undersöker möjligheter att skapa riktade satsningar för att stärka standardisering och karaktärisering av grafen och 2D-material.
Bedömning av genomförandet:	Innan 2021 års extra finansiering från Vinnova (Hållbar Industri) påbörjades diskussioner om extra medel till standardisering och större demonstratorprojekt. När erbjudandet om extra medel kom 2021 valde man att inkludera standardisering som ett prioriterat område. Detta skedde dels inom det strategiska projektet Svenskt hållbart grafen, med tre huvudsakliga aktiviteter: 1) Personal från programkontoret arbetar inom kommittén för nanoteknik TK 516 hos SIS med rollen som ordförande; 2) stöd till SMF för standardiseringsarbete i TK 516; samt medel till RISE för medverkan i internationell round-robin, som är ett förstadium till kommande standardisering. Det är första gången Sverige deltagit i denna typ av aktivitet kopplat till grafen och kommande standarder. Dels skapades utlysningen om projekt som reducerar hinder, hösten 2021, med standardisering som ett av områdena. Utöver detta kan noteras att personal från SIO Grafen ansvarar för standardiseringsfrågor inom Graphene Flagship. Sweco bedömer att rekommendationen hanteras och att frågan alltjämt kvarstår som en kärnfråga för grafenindustrins utveckling.
Rekommendation:	För att ytterligare främja svensk konkurrenskraft bör programmet i högre utsträckning fokusera på internationalisering
Handlingsplan och genomförande:	Under etapp tre tas en internationaliseringsstrategi fram av programkontoret i samverkan med SIP-aktörerna. Strategin prioriterar aktiviteter samt internationella aktörer. Strategin implementeras även i effektlogiken med påverkan på aktiviteter för etapp tre och fyra.
Bedömning av genomförandet:	Framtagningen av internationaliseringsstrategin är klar och den är implementerad i effektlogiken i och med 2022 års strategiworkshop med styrelsen. Syftet som uttrycks i Strategi för internationaliseringsarbetet inom SIO Grafen 2022 – 2026 är att stärka konkurrenskraft genom ökad svensk synlighet; öka finansieringen av innovation kopplad till 2D-material i Sverige utifrån EU-medel; långsiktigt skapa ökade affärsmöjligheter för svenska aktörer genom internationella samarbeten; samt att underlätta rekrytering av internationella talanger. Sweco bedömer att internationaliseringsstrategin är relevant givet ekosystemets behov och SIO Grafens mål i övrigt, och att rekommendationen kan bedömas vara hanterad. Vi noterar även att SIO Grafen har ett utåtriktat internationellt arbete med medverkan på mässor och i internationella kommittéer, samt att flera Fol-projekt lett vidare till fortsättningsprojekt med finansiering från Horizon och Flaggskippet (se exempelvis fallstudien om värdekedjor för växande deeptech-företag).
Rekommendation:	Programmet bör framgent överväga riktade utlysningar inom specifika styrkeområden, alternativt fler stora Fol- och IoD-projekt för att

Handlingsplan efter sexårsutvärderingen

	därigenom accelerera grafenområdets teknikmognad och öka tilltron till materialet
Handlingsplan och genomförande:	Handlingsplanen beskriver två parallella spår för hanteringen: Kontinuerlig översyn av projektportföljen i utlysningsarbetet, för att bedöma rimligheten i riktade utlysningar, samt diskussioner med Vinnova och andra innovationsprogram för att undersöka möjligheterna till större spjutspetsprojekt och programöverskridande systemdemonstratorer.
Bedömning av genomförandet:	<p>Beslut om utlysningarnas inriktning sker kontinuerligt i samband med att varje utlysning formas. Sweco uppfattar att SIO Grafen valt inriktningen att inte ha tematiska utlysningar, utan istället genomgående valt att arbeta med typer av projekt utifrån TRL: Genomförbarhetsstudier, FoI- och IoD-projekt (samt naturligtvis strategiska projekt). Det är således ett medvetet val att gå på kvalitet i ansökningar snarare än tematisk inriktning utifrån styrkeområden. Sweco bedömer att rekommendationen härvidlag är hanterad men inte efterled.</p> <p>I delen gällande SIP-övergripande projekt och systemdemonstratorer har dialog initierats, och resultat nåtts i och med 2021 års tillskott från Vinnova rörande Hållbar industri. Programkontoret uppger även att man utvärderar möjligheterna till systemdemonstratorer inom kommande Impact Innovation.</p>
Rekommendation:	SIO Grafens externa kommunikation och uppsökande verksamhet riktas främst till potentiellt grafen-intresserade företag, men när oftast ett fåtal individer inom dessa företag. Programmet bör därför: Fortsätta att identifiera och kommunicera till en bred skara av företag; Verka för att nå ut till fler personer inom redan involverade företag
Handlingsplan och genomförande:	Programkontoret inleder ett strategiarbete kring hur man effektivast når fler organisationer och personer. Parallellt med det arbetet genomförs ett antal aktiviteter: Fortsatt fokus på att kontakta lämpliga aktörer för att introducera möjligheterna med grafen; ökade kontakter med andra SIPar för att medvetandegöra deras aktörsnätverk om 2D-material; samt prov av nya koncept för att nå in bredare i storföretagen, exempelvis genom workshops kring företagets behov.
Bedömning av genomförandet:	Arbetet med att identifiera aktörer sker kontinuerligt. Samverkan med andra strategiska innovationsprogram likaså, och 2021 skedde samverkan med fem SIPar. 2022 arbetade man gemensamt med ansökan för förberedelseprojekt till Impact Innovation. Vad gäller workshoppar till storföretag bedömer Sweco att arbetet gå trögare än önskat beroende på ett svalt intresse, men workshoppar har dock genomförts med SKF, och diskussioner förs med ytterligare aktörer. Sweco bedömer att rekommendationen hanteras.
Rekommendation:	Givet att programkontorets värdorganisation är en betydande stödmottagare bör SIO Grafen vinnlägga sig om att andra aktörer inte får någon anledning att misstänka att värdorganisationen får några konkurrensfördelar
Handlingsplan och genomförande:	Programmet har redan under etapp två påbörjat arbetet med att tydliggöra beslutsprocessen för strategiska satsningar och projekt i öppna utlysningar. Handlingsplanen beskriver vidare att man kommer att uppdateras information om hur strategiska projekt tillskapas och hur procedurerna för hantering av jäv hanteras i styrelsearbetet. Vinnovas och programkontorets roller kommuniceras till aktörsnätverket liksom processen för bedömning av ansökningar i öppna. Därutöver sker utvärdering av huruvida ytterligare jävshantering behöver införas.

Bedömning av genomförandet:	Programkontoret har uppdaterat hemsidans information om processen för de strategiska projekten, samt inkluderat de procedurer för jäv som används i styrelsens arbetsordning. Programkontoret, tillsammans med Vinnova, kommunicerar även rollfördelningen mellan myndigheten och programmet. Detta har gjorts vid digitala workshops med nya, samt alla pågående, projekt. Vid information om nya utlysningar kommunicerar man även, också gemensamt, processen för hur ansökningar bedöms. Ett kontinuerligt arbete sker även där jävshanteringen utvärderas vid varje styrelsemöte.
------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8. Bidrag till SIP-instrumentets effektmål

Sammanfattning:

- SIO Grafen bidrar potentiellt till samtliga effektmål
- Möjliggörande material med bred applikation innebär potentiellt bidrag till hållbar tillväxt och samhällsutveckling
- SIO Grafens bidrag till ett nytt svenskt profilområde kan stärka konkurrenskraft och öka export
- Genom systemeffekter, framförallt uppbyggnaden av ett ekosystem, har SIO Grafen bidragit till att göra Sverige till ett mer attraktivt land att investera och bedriva verksamhet i
- SIO Grafen har kommit långt med avseende på (scenarier för) exitstrategi

I det här avsnittet formulerar vi bedömningar om SIO Grafens bidrag till SIP-instrumentets fem effektmål. Bedömningarna är av kvalitativ och resonerande karaktär, vilket är en följd av målens formuleringar och att det inte verkar finnas bakgrundsdokument som motiverar valen av just dessa formuleringar. Detta försvårar utlåtanden om huruvida SIO Grafen bidrar i högre eller lägre grad till målen efter nio år jämfört med i sexårsutvärderingen. Även i detta avseende har bedömningarna därför ett resonerande anslag.

För att förstå SIO Grafens möjliga bidrag till SIP-instrumentets effektmål bör följande sägas om programmets potential:

- Disruptiv potential
- Indirekt potential
- Proportionerlig potential

Disruptiv potential

Till skillnad från många andra strategiska innovationsprogram adresserar SIO Grafen ett nytt innovationsområde som saknar industrihistorisk tradition, aktörsnätverk och nischade storföretag. Grafen har en tvärsektoriell potential – en bred potentiell användning – vilket innebär att företag flera olika branscher ingår i aktörsnätverket. De värdenätverk som växer fram är dock beroende av grafenleverantörer och andra

deeptech-företag inom ett ekosystem som ännu är ungt. En stor del av återväxten inom området sker i startups som avknoppas från forskningsmiljöer och universitet.

SIO Grafens potentiella bidrag både sägas vara *mindre* och *större* än det bidrag som kan förväntas från strategiska innovationsprogram som utgår från etablerad industritradition. *Mindre*, eftersom vi inte kan förvänta oss samma skalfördelar. *Större*, eftersom både materialet, tillämpningarna och en påfallande stor andel av aktörsnätverket är nytt och nya, och resultaten av programmets arbete och områdets utveckling därmed kan sägas ha en tydligare additionalitet.

SIO Grafen är därmed också förknippat med större *risk* än inkrementellt inriktade satsningar. Många av projekten i programmets portfölj har lång väg kvar till kommersialisering (vilket är fallet även i andra programs projektportföljer men tydligt inte minst i SIO Grafen). Strikt taget vet vi inte huruvida förväntan på 2D-materialen kommer att infrias.

Motsvarande den högre risken finns dock en större nyttopotential. SIO Grafens projektportfölj påvisar en bredd av utvecklingsspår som kan leda till kommersiella och samhällseliga framsteg (vilket i några fall också redan skett). Kanske bidrar SIO Grafen till att bygga ett av morgondagens svenska spetsområden och kanske är det morgondagens storföretag som ruvar på sina första framgångar i programmets hägn (även bortsett från att flera av dagens storföretag faktiskt är aktiva i SIO Grafen).

Indirekt potential

Vi bör skilja på vad *programmet* Grafen kan göra för att bidra till målen och vad *materialet* grafen har för potential. Exempelvis är ett av SIO Grafens långsiktiga effektmål att 2D-material ska stödja en hållbar omställning. Grafen som material kan här förväntas bidra av flera olika skäl:

- Grafen har hög elektrisk och termisk ledningsförmåga vilket gör det användbart för energieffektiva elektronikkomponenter.³⁹
- Grafen har visat sig vara effektivt för att ta bort föroreningar (såsom oljor, organiska föroreningar och tungmetaller) från vatten. Detta kan bidra till en renare miljö och främja hållbar användning av vattenresurser.
- Grafen är ett av de starkaste material som finns och samtidigt väldigt lätt. Detta möjliggör tillverkning av lättare och mer hållbara komponenter eller kompositer som kan ersätta material i allt från flygplan till cyklar.

³⁹ I *Färdplan Energi Grafen för energitillämpningar i Sverige 2020-2030* skriver man: "Grafen har potential att användas för att förbättra prestandan i ett betydande antal olika teknologier och tillämpningar inom energiområdet. Förslaget är att framåt prioritera fem områden - elfordon, lagring av el och balansering av elnät, värmväxlare och annan värmeöverföring, krafttransmission och distribution samt motorer, generatorer och turbiner [...] övriga tillämpningar [...] är termiska energilager, förnybar elproduktion, vätgas samt CO₂-avskiljning och avskiljning av andra gaser."

- Grafen har en bredd av potentiella tillämpningar som kan gynna hållbarhet och miljö. Exempel ur projektportföljen gäller utveckling av batterier (2022-01321 Biobaserad grafenbeläggning för anodmaterial i litiumjonbatterier, GraphAnode). I fallstudiebilagan till denna utvärdering ges ytterligare exempel kring limmer där grafenet kan bidra till förbättrade egenskaper i ekologiskt hållbara varianter (Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material).
- Grafen kan användas för att tillverka biomedicinska implantat som är mer hållbara och biokompatibla än dagens material. Detta kan leda till bättre medicinsk behandling och minskad användning av engångsmaterial. (Se fallstudiebilagan gällande antibakteriella grafenytter; Utveckling av grafenbaserad antibakteriell yta för medicintekniska produkter.)
- Grafen kan användas som tillsats för att motverka korrosion och annan degradering av material samt för att öka hållfasthet. Detta kan bokstavligen leda till ett mer hållbart samhälle där konstruktioner helt enkelt står längre.

2D-material som grafen kan bidra till SIP-instrumentets mål exempelvis med avseende på hållbarhet, om innovationer når marknadsintroduktion och faktisk användning. SIO Grafen arbetar brett med att reducera hinder och på andra sätt skapa förutsättningar för användningen av 2D-material, vilket bör tillgodoräknas programmet även om det inte direkt leder till marknadsintroduktion av specifika tillämpningar. Med andra ord har systemeffekterna av SIO Grafen en *indirekt men potentiellt avgörande* påverkan vad gäller 2D-materialens genomslag och användande.

Proportionerlig potential

Slutligen bör nämnas att SIO Grafens budget understiger övriga strategiska innovationsprogram. Det innebär att vi – allt annat lika – bör förvänta oss en proportionerligt sett mindre nytta med avseende på tillväxt, konkurrenskraft, samhällsutveckling etcetera. Denna genomgång av SIO Grafens bidrag till SIP-instrumentets effektmål är inte av kvantitativ art. Finansieringens proportioner bör ändå ingå som en baslinje i förväntansbilden.⁴⁰

8.1 Bedömning av bidrag till effektmålen

Starkt hållbar tillväxt

Att grafen och 2D-material har en potential att bidra till hållbar tillväxt kan anses klarlagt. Den intressanta frågan är då i vilken utsträckning SIO Grafen bidrar till att realisera denna potential. När vi pratar om tillväxtmått är det kommersiella resultat som

⁴⁰ Att SIPens potential ska förstås som proportionerligt mot dess finansiering kan uppfattas som kontraintuitivt i innovationssammanhang, där vi förväntar oss både nollresultat och exponentiell nytta. Det kan även sägas stå i motsättning mot beskrivningen av SIPen som disruptiv. Att förhålla sig till finansieringens omfattning speglar dock just finansiärspektivet där både risk och potential prisas in i förväntansbilden. Funnes det "billiga" satsningar med garanterat exponentiell potential vore frågan om kostnadseffektivitet och resurshushållning irrelevant.

är av primärt intresse (även om blomstrande forskningsmiljöer och kapitalattraherande startups också är intressant). De strategiska innovationsprogrammets portföljer rör sig i allmänhet på lägre TRL men SIO Grafen illustrerar att man kan bedriva en hög andel projekt på demonstratornivå (omkring TRL 6-7). Dessa projekt, som i stor utsträckning framkommit under programmets senaste etapp, innebär en förhållandevis hög mognadsgrad för innovationsområdet. Detta medför dock inte per automatik en affärsmässighet som motsvarar ett bidrag till hållbar tillväxt.

En inriktning i *Den svenska strategiska innovationsagendan för 2D-material* är det man kallar utmaning 9: "Hur säkerställer vi att TRL-kedjans lägre delar får vetskap om, och styrs mot, marknadsfönster så att innovation kan fullbordas?" Frågan besvaras delvis utifrån ett forskningsperspektiv där SIO Grafen vill ge möjlighet till industriellt relevant forskning. Som vi sett i kapitel 4 är detta en drivkraft och även ett infriat resultat för många projektdeltagande forskningsaktörer. Frågan i utmaning 9 besvaras i agendan även med demonstratorer, vilket SIO Grafen kunnat implementera i sin portfölj och där det framkommer konkreta resultat. Industrirelevant forskning och demonstratorprojekt är emellertid inte tillräckligt, om än nödvändigt, för kommersiella resultat.

För att ett innovationsprojekt ska ha ett kommersiellt case behöver det uppfylla flera viktiga parametrar. Projektet måste adressera en verklig marknadsnisch, vilket kräver en marknadsanalys som ser till efterfrågan och behov hos potentiella kunder. Teknologin som beforskas måste också erbjuda en unik konkurrensfördel som differentierar visavi befintliga lösningar på marknaden. Det bör finnas en åtminstone tänkt affärsmodell för hur intäkter ska balanseras mot kostnader och det bör finnas en skalbarhet i produktionsmetoder (om affärsmodellen ställer krav på massproduktion).⁴¹ Idag är också hållbarhet en central marknadsparameter.⁴²

SIO Grafen har inte minst haft industriell tillämpning och skalbara produktionsmetoder som en inriktning i delar av projektportföljen. (Se exempelvis Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning.) Som exemplifierats tidigare i denna rapport utifrån demonstratorprojektet *GAIA* synes SIO Grafen emellertid inte ha haft någon tydlig inriktning mot kommersialisering i termer av marknadsanalys och affärsmodell (och man anser sig från programkontorets sida inte heller ha haft möjligheten att inom ramarna för öppna utlysningar ställa egentliga krav i dessa avseenden). *GAIA*s koordinerande projektpart Provexa avstod att söka medel genom EIC när man som en följd av kravställan inom Vinnovas stödprogram för sådan ansökan såg utvecklingsbehov i det egna kommersiella caset.

⁴¹ Se exempelvis Proctor et al 2021: "Market viability: a neglected concept in implementation science" i *Implementation Science* (2021) vol 16 nr. 98.

⁴² Se exempelvis McCausland 2021: "Innovating for Sustainability" i *Research-Technology Management* (2021), vol 64, issue 4.

Sweco uppfattar att SIO Grafen velat gå mot högre TRL i sin portfölj, vilket varit en utmaning inom vad som är ett nytt område. Därför har det inte varit relevant att ställa för långtgående eller specifika krav i utlysningarna. SIO Grafens väl utvecklade former för att stödja Fol-projekten och erbjuda nätverksaktiviteter ses enligt vad som framkommer i vår empiri som positivt av projektaktörerna i Fol-projekten. Däremot bedömer vi att det finns en utvecklingspotential kopplat till att uppmuntra projektaktörerna i Fol-projekt med högre mognadsgrad att parallellt med innovationsarbetet även arbeta med frågor rörande kommersialisering och affärsmodeller. SIO Grafen skulle, i enlighet med innovationsagendan, ytterligare kunna utveckla styrningen mot ”marknadsfönster så att innovation kan fullbordas.”

Sammantaget bedömer Sweco att det finns en tydlig potential i programmets bidrag till en hållbar tillväxt men att steget till kommersiella effekter är förknippat med vissa utmaningar som programmet inte idag tillfullo adresserar. En aspekt av denna problematik är att områdets mognadsgrad inte varit högre. Förmodligen skulle ett ökat fokus på styrning mot marknadsfönster vara mer relevant i kommande etapper, när söktrycket på utlysningar är större och fler initiativ nått högre TRL. Sådållvida kan programmet sägas nå avslut vid en olycklig tidpunkt. Sweco ser en risk för ett gap i innovationssystemet om ingenting nytt tar vid där SIO Grafen slutar. Lovande innovationsprocesser liksom företag i uppskalningsfasen kan då riskera att stagnera.

Med det sagt bidrar SIO Grafen till att bygga upp ekosystem och värdenätverk och till att föda och utveckla startups och accelerera innovation. Även om styrningen mot marknadsfönster inte är (eller kan vara) perfekt kommer resultaten med hög sannolikhet rendera framgångsrika företag, tjänster och produkter. I sexårsutvärderingen pekar man på att tre av fyra företagsrespondenter anger att de projekt de deltagit i har eller kommer att bidra till ökad omsättning. Sexårsutvärderingens saks experter bedömer också att ”det starka samarbete mellan FoU-utförare och företag som finns i många projekt är positiv och kan bidra till hållbar tillväxt i en verklig grafenindustri.”

Sweco delar sexårsutvärderingens bedömning att ”SIO Grafens bidrag till [målet hållbar tillväxt] kan bli mycket stort,” även om vi också bedömer att omfattningen av realiserad potential är avhängig en framgångsrik kommersialiseringsfas för initiativen inom projektportföljen. Att programmet idag har fler demonstratorprojekt och större Fol-projekt i portföljen indikerar också att man tagit stora kliv framåt sedan sexårsutvärderingen och de facto accelererat områdets mognad.

Stärkt konkurrenskraft och ökad export för svenskt näringsliv

För att stärka svensk konkurrenskraft och bidra till ökad export för svenskt näringsliv inom 2D-material identifierade sexårsutvärderingen att programmet behöver rikta sig mer mot internationalisering. SIO Grafen tog därför fram en internationaliseringsstrategi

år 2020. Syftet med strategin är att öka konkurrenskraften och motverka risken för inlåsnings effekter i det svenska ekosystemet. För att uppnå strategin formulerades ett flertal mål gällande ökat deltagande och ledarskap i internationella sammanhang, både vad gäller ansökning om finansiering av projekt och standardisering av 2D-material. De internationellt inriktade målen har inkluderats i programmets effektlogik, vilket Sweco ser som en positiv indikation på att programmet har en långsiktig internationell ambition. Den internationella ambitionen för programmet återspeglas även i att kommunikationen inom SIO Grafen skiftat till engelska för vidare internationell spridning.

I föregående avsnitt om tillväxt presenterades resultat som fastslog att mycket av potentialen inom 2D-material identifierats men ännu inte realiserats. Swecos bedömning av potential som ännu inte infriats i termer av tillväxt gäller även till viss del för bidraget till stärkt konkurrenskraft och ökad export. Det finns en stor förväntan, särskilt bland deltagande lärosäten, gällande stärkt konkurrenskraft över tid vilket återspeglas i figur 17. Förväntan återspeglas till viss del i det internationella arbetet med standardisering där en representant från programkontoret fått ansvar inom ramen för Graphene Flagship. SIO Grafen har därigenom lyckats få genomslag på en internationell nivå och nyttjar, enligt självvärderingen, Graphene Flagship som en plattform för sitt internationella arbete. Programmet är således avgränsat i sitt arbete till samarbeten med aktörer som är verksamma i Europa. Det beskrivs dock inte som något problem och Sweco ser inte heller någon vidare utmaning med denna avgränsning.⁴³

Ytterligare en aspekt som kan antas bygga programmets potential är omvärldsbevakningen (som beskrivs närmare i kapitel 5). För att främja ett internationellt perspektiv bland deltagande aktörer i SIO Grafen erbjuds dels en veckovis uppdatering av publicerade artiklar, dels två fördjupade analyser per år.

Sweco har därutöver inte kunnat identifiera några konkreta affärsmässiga resultat inom de finansierade verksamheterna vad gäller stärkt konkurrenskraft eller export för svenskt näringsliv. Vid en internationell utblick pågår flera liknande initiativ gällande Grafen i exempelvis Kina, Storbritannien och Spanien. Mycket av det arbete som görs nu uppfattas i stället bilda ett grundfundament för att svenska aktörer ska kunna uppfylla visionen om att 2D-material ska bli ett profilområde. Som lyfts tidigare i utvärderingen har flera SIO Grafen-projekt också lett till internationella samarbeten och EU-projekt som kan utgöra en språngbräda till globala marknader och miljöer.

Experterna bedömer att SIO Grafen har bidragit till att etablera grafen och 2D-material som ett svenskt profilområde, och till att bygga upp värdekedjor och värdenätverk som

⁴³ Under hösten 2023 kommer Graphene Flagship att anordna evenemanget Graphene Week i Göteborg. Det är ett evenemang som markerar tioårs-jubiléet av plattformens existens och indikerar att internationella aktörer har ett intresse av att besöka Sverige för att höra mer om svenska aktörers arbete.

ofta är inhemska. Inom Sveriges gränser finns idag både grafengruvor, grafenleverantörer och grafenanvändare som tillsammans har en potential att bidra till stärkt konkurrenskraft och ökad export för svenskt näringsliv.

Sweco bedömer liksom sexårsutvärderarna att programmet har stor potential vad gäller detta målområde. Sedan den förra utvärderingen har ytterligare åtgärder vidtagits som stärkt internationaliseringsambitionen vilket visar på en positiv riktning. Som experterna konstaterar är förutsättningarna goda för att göra grafen till ett svenskt styrkeområde vilket både kan innebära konkurrenskraft och export samt en hög grad av oberoende inom en möjliggörande nyckelteknologi.

Att göra Sverige till ett attraktivt land att investera och bedriva verksamhet i

SIO Grafens strukturella arbete kopplat till kompetensförsörjning, standarder, samt ekosystem och värdenätverk bidrar till att göra Sverige mer attraktivt för aktörer med koppling till grafen och andra 2D-material. Att programmet bidragit till framväxten av nya företag och etablerade grafenleverantörer är likaledes ett tydligt bidrag.

Den rådighet SIO Grafen har är emellertid begränsad vilket framkommer tydligast inom kompetensområdet där de insatser man bedriver kan betraktas som marginella. Som noterats i tidigare utvärderingar sker de strategiska innovationsprogrammets insatser med avseende på kompetensförsörjning ofta i stuprör. Utbildningsval och bristande matchning på arbetsmarknaden behöver troligen analyseras gemensamt för att programmen ska kunna vara pådrivande mot politiken och utbildningssystemet som förfogar över de egentliga verktygen.

Med det sagt har SIO Grafen som nämnts minst ekonomiska muskler av innovationsprogrammen samt en förhållandevis snäv inriktning, och kan därför inte förväntas adressera de breda strukturella kompetensförsörjningsproblemen. Det är således rimligt att man väljer en avgränsad inriktning och försöker göra kostnadseffektiva avtryck med de medel man kan avsätta.

Framförallt bidrar SIO Grafen till att göra Sverige attraktivt genom att man bidrar till ett helt nytt innovationsområde. Sweco gör därför samma bedömning som sexårsutvärderingen; att programmet har "mycket stor potential att bidra till detta mål." Swecos anlitate experter gör samma bedömning.

Hållbar samhällsutveckling som tryggar försörjning, välfärd, miljö- och energipolitiska mål

Då frågorna rörande hållbar samhällsutveckling, tryggad försörjning och välfärd adresseras under tidigare rubriker avgränsas detta avsnitt till att handla om de miljö-

och energipolitiska målen. Kort kan sägas att ett välfungerande energisystem är avgörande för produktivitet och därmed välfärd. Det gäller inte minst för framtagandet och utvecklingen av grafen. Idag är framtagandet en energikrävande process och ur ett hållbarhetsperspektiv är därför energikällan vid framtagandet viktig.

2020 tog CIT Industriell Energi tillsammans med en referensgrupp inom programmet fram en *Färdplan Energi* för SIO Grafens räkning. Färdplanen, som omfattar perioden fram till 2030, beskriver mål, prioriteringar och insatser baserat på kunskap om teknisk och ekonomisk potential samt kunskap om aktörsfloran. Utgångspunkten är att materialet grafen har en hög "energirelevans" i och med unika egenskaper som kan bidra till energieffektivisering. Färdplanen föreslår prioritering av fem områden: 1) Eلفordon, 2) lagring av el och balansering av elnät, 3) värmväxlare och annan värmeöverföring, 4) krafttransmission och distribution, samt 5) motorer, generatorer och turbiner.

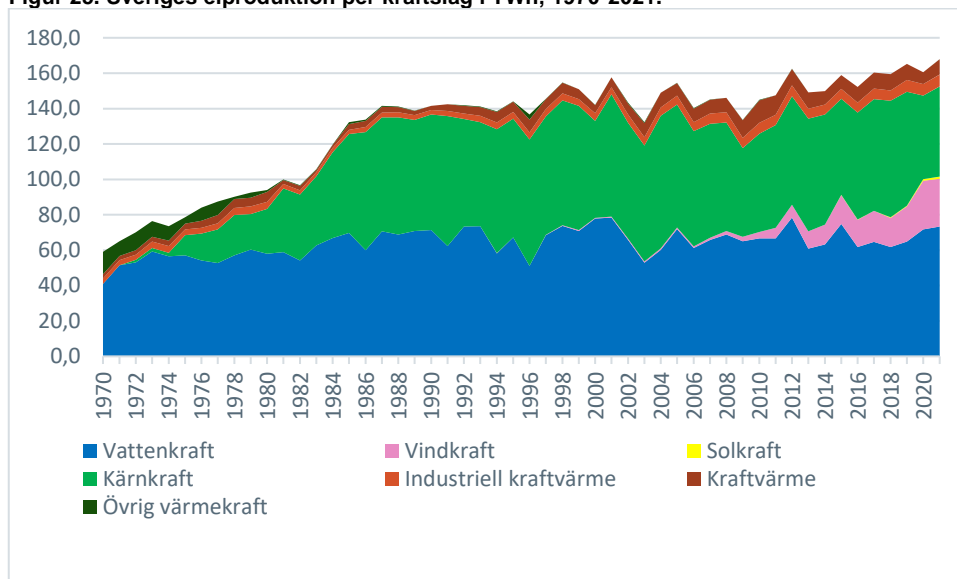
Inom flera av dessa områden – elfordon, lagring, balansering och frekvenshållning av nät – är batterier en nyckelteknologi. Som nämnts arbetar Graphmatech tillsammans med RISE med EU-projektet *NoVoc (Eliminating VOC from Battery manufacturing through dry or wet processing)*. Projektet bygger vidare på SIO Grafen-projekt *2021-02054 GraFREE (Grafenförbättrad bindemedelsfri katodformulering för nästa generations litiumjonbatterier)* som hade som mål att utveckla en bindemedelsfri elektrod för mer hållbara litiumjonbatterier. Ett annat SIO Grafen-projekt på området är *2022-01321 GraphAnode: Bio-Based Graphene coatings for anode materials in Li-ion Battery*, där RISE och Granode Materials AB uppnådde ökad elektrokemisk prestanda genom introduktion av ett nytt material baserat på expanderad grafit dekorerad med nanokisel och belagd med grafen.

En annan aspekt är friktion och kontaktresistans för energieffektivisering, ökad tillförlitlighet, minskat underhåll och längre livslängd. Som nämnts återfinns här flera Fol-projekt inom SIO Grafens öppna utlysningar, så som *2017-03609 Grafenbaserad självsmörjande nötningsbeständiga kompositer för lager i vattenkraft* och *2021-05095 validering av demonstrator för vattenkraftslager "självsmörjande nötningsbeständiga 2D/grafen kompositlager."* Det senare fortsättningsprojektet är pågående och syftar till att tillverka och validera semiindustriella prototyper av självsmörjande 2D-baserade polymerlager till vattenkraft.

Det finns alltså många intressanta Fol-projekt som bidrar till målen i SIO Grafens färdplan med avseende på energi. Mest intressant ur ett samhällsnyttoperspektiv är att färdplanen och programmet inriktar sig på tillämpningar som har energirelevans i industriell skala och storskaliga tillämpningar. Det är i många fall stora effekter som eftersträvas i de innovationsprocesser som programmet initierar och finansierar.

Det svenska energisystemet är med start i nedläggningen av Barsebäck (1999-2005) under omvandling. Från att ha haft ett fossilfritt energisystem med planerbar baskraft har Sverige under en tid av ökande behov och drastiska framtidsprognoser avvecklat sex av tolv kärnkraftsreaktorer. Idag sker en stor utbyggnad av landbaserad vindkraft och prospektering sker för havsbaserad dito. Energimixen har breddats ytterligare genom utbyggnad av solceller och i viss mån biogas. 2021 stod vattenkraften för 73,3 TWh; kärnkraften för 51 TWh; vindkraften för 27,1 TWh; och solkraften för 1,1 TWh. Därutöver stod kraftvärmen för 8,7 och kraftvärme i industrin för 6,7 TWh.

Figur 25. Sveriges elproduktion per kraftslag i TWh, 1970-2021.



Källa: Energimyndigheten

Den stora utmaningen för Sveriges energisystem är idag – trots massiva energibehov kopplat till elektrifiering och vätgasproduktion – inte så mycket tillförseln av nya TWh som anpassningen av elnätet till en ny energimix.⁴⁴ En högre andel intermittenta kraftslag och en lägre andel planerbar baskraft ställer avsevärda krav på själva infrastrukturen.⁴⁵ Färdplanen och SIO Grafens projektportfölj indikerar en hög medvetenhet kring de utmaningar som energisystemet står inför. Att initiera och accelerera innovationer som löser knutarna i energisystemet är sannolikt avgörande för att möjliggöra elektrifiering, minska CO₂-emissioner, samt öka andelen förnybar energi.

⁴⁴ Se exempelvis Riksrevisionens granskning, *Statens åtgärder för utveckling av elsystemet – reaktiva och bristfälligt underbyggda* (RiR 2023:15).

⁴⁵ Integration av förnybar energi ställer krav på energisystemet eftersom 1) sol- och vindkraft är intermittenta, vilket måste balanseras med lagringslösningar för att täcka tillgångsvariationen; 2) kraftslagen kräver omfattande ny infrastruktur för att ansluta många och spridda kraftverk; 3) kraftslagen ställer nya krav på överföringskapacitet på grund av platsbundenhet avseende optimala väderförhållanden; och 4) kraftslagen ställer krav på styrsystem och frekvensreglering på grund av avsaknad av svängmassa vilket äventyrar frekvens-, reserv- och systemstabilitet.

Strategin är således i linje med de relevanta målen. Bidrar då SIO Grafens projektportfölj till dessa mål? En hög andel av forskarna anser att så är fallet (se Figur 18). Svaren handlar främst om förväntade snarare än realiserade effekter, men som tidigare noterats bör långsiktiga innovationsprocesser inte främst bedömas utifrån kortsiktiga utfall.

I sexårsutvärderingen av SIO Grafen bedömde utvärderarna att programmets bidrag till hållbar samhällsutveckling kan bli stort. Detta då man vid tiden för utvärderingen kopplar 61 Fol-projekt till det globala hållbarhetsmålet *Hållbar industri, innovation och infrastruktur* och 43 projekt till *Hållbar konsumtion och produktion*. Sexårsutvärderingens sakk experter konstaterade också att många projekt berör stora samhällsutmaningar. Sweco bedömer i linje med sexårsutvärderingen att SIO Grafen har en tydlig potential att bidra. Vi ser att inriktningen är strategiskt intressant och att ett flertal Fol-projekt kan tänkas leverera konkreta nyttor i sammanhanget.

Skapa förutsättningar för hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar

SIO Grafens möjlighet att bidra till lösningar på globala samhällsutmaningar ska inte överdrivas. Det är ett i sammanhanget litet innovationsprogram och oprövad teknologi. Globala samhällsutmaningar kan förväntas vara både omfattande och svårlösta, och den tidigare sexårsutvärderingen bedömer att programmets bidrag sannolikt är litet. Med det sagt kan vi peka på flera intressanta Fol-projekt i portföljen som kan bidra till att lösa vissa specifika problem.

I Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning beskriver vi en serie av projekt som syftar till att ta fram en antibakteriell yta för medicintekniska implantat. Eftersom effekten är mekanisk – bakterier spetsas på vertikalt stående grafenflagor – är det en intressant komplement till antibiotika och kan på så sätt bromsa antibiotikaresistens samt motverka resistent bakteriestammar. Innovationens faktiska genomslag ligger i framtiden och det totala utfallsrummet är okänt, men i ett bästascenario skulle innovationen kunna innebära betydande samhällsnyttor. Dessa nyttor beror emellertid inte enbart på själva teknologin i sig utan även på marknadens omfattning; innovationens unicitet och sannolikheten för ett (globalt) genomslag; samt förutsättningar för att ett kommersiellt case ska lyckas.

En annan global samhällsutmaning i ropet är människans utsläpp av växthusgaser. Swecos resonemang ovan om SIO Grafens inriktning mot att lösa knutar i det *nationella* energisystemet innebär å andra sidan att de *globala* effekterna blir mer svåröverskådliga. Inte alla länder har Sveriges goda förutsättningar till planerbar kraftproduktion genom vattenkraft och har därför helt andra utmaningar i den omställning till en fossilfri energimix som är förutsättningen för att en elektrifiering ska ha positiva effekter. I den mån grafenrelaterade innovationer kan bidra till att balansera

en ökande andel intermittenta kraftslag och avsaknad av svängmassa är det gott för det svenska energisystemet, men inte tillräckligt för att stabilisera energisystem där stabiliteten idag kommer från exempelvis kolkraft.

Å andra sidan kan energieffektivisering och innovationer inom batteriteknologi påverka förutsättningar för, och nyttorna av, elektrifiering; men knappast lösa det grundläggande problemet med fossilfri energiproduktion. I de fall andra länder väljer en massiv utbyggnad av kärnkraft (som har potential att ge både behövda TWh och nätstabilitet) kan innovationer ur SIO Grafens portfölj dock spela en större roll eftersom elektrifiering blir ett mer realistiskt och nyttoskapande alternativ.

SIO Grafens Fol-portfölj har potential att bidra till flera av de globala målen (till exempel 3, 7, 8, 9 och 11) men ofta i inkrementella steg. Som för tidigare mål är också fullbordandet av innovationer ett viktigt ”om” för att potentialen ska realiseras. Sammantaget bedömer Sweco att SIO Grafen bidrar till att lösa globala samhällsutmaningar i den grad man kan förvänta sig utifrån insatsens omfattning; det vill säga sannolikt på marginalen.

8.2 Programmets framtida bidrag

Aktiviteter och resultat från SIO Grafen är tänkta att vara till gagn för branschen även efter programmets avslut. Detta förutsätter dock att samarbeten och överlämningar av resultat sker till någon organisation som kan förväntas finnas kvar efter programmet för att förvalta och nyttja resultat och arbetssätt.

Som nämnts i kapitel 6 har SIO Grafen löpande anpassat sin inriktning utifrån en bedömning av områdets mognad, förutsättningar och behov. Det som kan visa sig utmanande är framtida inriktning och ekosystemets fortlevnad. Om tidpunkten för tillskottet av Hållbar industri-medlen var rätt, så synes tidpunkten för programmets avveckling vara olycklig. Detta då aktörsnätverken ännu är unga, flaggskeppsprodukterna lyser med sin frånvaro och kompetensbasen fortfarande kan sägas vara bräcklig.

En aspekt som SIO Grafen inte hittills har adresserat är tillgången till riskkapital.⁴⁶ Däremot har programmet som sådant i och med de öppna utlysningarna givetvis tillhandahållit finansiering för startups och forskningsnära SMF. Att medlen via SIO Grafen försvinner ur systemet kan potentiellt påverka ekosystemets funktionalitet och företagens utveckling och tillväxt. Samtidigt kan också riskkapital ha blivit knappare

⁴⁶ Det finns en medvetenhet i programstyrelse och programkontor om behovet av att blicka mot bredare horisonter än enbart offentlig finansiering. Man har haft tentativa diskussioner med Business Sweden, Ignite och riskkapitalplattformar vid diverse lärosäten men programmet har inte idag verktygen att tillskapa en långsiktig struktur. Däremot arbetar man aktivt med att hjälpa innovatörer som får avslag i de öppna utlysningarna att söka sig vidare, till andra strategiska innovationsprogram men även andra finansieringsmöjligheter.

efter en stigande tillgång post 2015 och en brant lutande uppåtgående kurva från 2019.⁴⁷ Hålet efter SIO Grafen kan i så fall tänkas bli ännu större.

Programstyrelse och -kontor arbetar i dagsläget med fyra olika scenarier för exitstrategier och tiden efter 2026. Sweco bedömer att SIO Grafen är långt komna i sina resonemang och analyser med avseende på en framkomlig exitstrategi, även om scenarioanalysen inte är fullt ut konkretiserad i dagsläget.

De experter som Sweco anlitat bedömer att SIO Grafen är ett välskött och framgångsrikt program som bidragit till att etablera vad som kan bli ett nytt svenskt profilområde. Experterna menar att denna framgångsrika investering bör förvaltas och att det krävs någon typ av livskraftig plattform som en fortsättning när programmet avvecklas. Experterna menar även att programmet bör utveckla ett tydligare narrativ som argument gentemot intressenter inom politik och näringsliv, för att understryka vikten av att området fortsatt får det stöd som krävs.

⁴⁷ Tillväxtanalys 2023. Statistik 2023:01 Riskkapitalstatistik 2021 – Venture Capital. Figur 2 i rapporten redovisar investeringsvolymen i svenska portföljbolag per år 2011–2021. Publicerade data för 2022 och än mindre 2023 finns i skrivande stund inte för Sverige men SVCA uppger vid en avstämning att ökningen avstannat under andra halvan av 2022 och det finns en förväntan att trenden kommer fortsätta under 2023. Global Venture Capital Monitor (<https://dealroom.co/guides/global-venture-capital-monitor>, tillgång 230621) visar också att globalt riskkapital Q1 2023 nådde lägst nivåer på tre år, dock från höga nivåer. Det finns också betydande regionala variationer.

Bilaga A: Fallstudie – Från explorativ idé mot industriell tillämpning

Inledning

Det finns flera fall inom SIO Grafen där man i serier av projekt utvecklat en forskningsbaserad idé mot industriell tillämpning. Ett exempel är de tre projekt om möjliga antibakteriella egenskaper hos grafen för medicintekniska tillämpningar. I ett första och mer utforskande projekt skapades förståelse för mekanismen bakom den antibakteriella effekten, som varit omstridd hos grafen. I de två efterföljande projekten har man arbetat vidare med att utveckla tillämpning och skala upp processen genom att titta på vad som är rätt kvalitet på grafenet, undersöka olika kombinationer av grafenkvaliteter och polymera material, och att utveckla en kostnadseffektiv tillverkningsprocess. Resultat från projekten har patenterats.

De tre projekt som är föremål för denna fallstudie är följande:

- Grafenlager för att förhindra kateter-relaterad urinvägsinfektion (2015-01446)
- Polymerer med exponerade grafenkanter: nya antibakteriella material för medicintekniska applikationer (2017-01674)
- Utveckling av grafenbaserad antibakteriell yta för medicintekniska produkter - Effektiv, säker och prisvärd (2020-00792)

Exempelprojekt

LoFric-katetern är en kateter som tillverkas av företaget Wellspect Healthcare, tidigare känt som Astra Tech. Den introducerades 1983 och har sedan dess använts för att tömma blåsan hos personer som har urinproblem. Det som skiljer LoFric-katetern från andra katetrar är att den har en speciell beläggning av hydrofil polymer, vilket gör att den blir mjuk och glatt när den kommer i kontakt med vatten eller urin. Detta minskar risken för att katetern ska skada urinröret. Det minskar också risken för kateterassocierade urinvägsinfektioner (KAUI). eftersom ytans egenskaper minskar risken för bakterieansamlingar. Ett problem som behöver lösas är dock att många patienter som behöver en kateter använder den under en längre tid, vilket ökar risken för infektioner. Det finns också en ökad risk för resistens mot antibiotika hos patienter som får upprepade urinvägsinfektioner på grund av användning av kateter. Det finns således behov av nya metoder för att minska risken för KAUI och för att behandla infektioner på ett effektivt sätt.

Grafenlager för att förhindra kateter-relaterad urinvägsinfektion⁴⁸ var ett FoU-projekt som löpte mellan 2015 och 2017. Projektet hade som mål att skydda en medicinteknisk produkt – en kateter – från bakterietillväxt och minska risken för KAUI genom att utnyttja grafenets egenskaper. Detta skedde mot bakgrund av motstridiga rapporter gällande grafens antibakteriella effekter. Grafens egenskaper i termer av hårdhet, böjlighet, elektrisk ledningsförmåga och att det är kemiskt inert⁴⁹, indikerade dock en lämplighet att skydda medicintekniska produkter, som katetrar, från bakterietillväxt.

Projektet genomfördes i samarbete mellan företaget Wellspect Healthcare, Chalmers grafencentrum och två forskargrupper inom fysik och mikrobiologi på Chalmers. Wellspect bidrog med expertis inom den kliniska tillämpningen samt kunskap om utveckling och kommersialisering av en färdig produkt; Grafencentrum med stora flak av grafen; och forskargrupperna på Chalmers med expertis inom signalering i bakterier⁵⁰ samt mikrofluidik⁵¹ och fluorescensmikroskopi⁵².

Projektet renderade fyra vetenskapliga publikationer, en artikel i *Ny Teknik* och en patentansökan (sedermera patent) kring antibakteriella egenskaper hos det som kallas "vertikalt grafen" och består av vertikalt stående grafenflagor – som i och med detta projekt visade sig döda bakterier på rent mekanisk väg. Sammantaget gav projektet ny kunskap om användandet av grafen i medicintekniska produkter och applikationer, och ett utökat samarbete mellan forskargrupperna på Chalmers och företaget Wellspect. Dessutom framkom underlag att arbeta vidare med ytterligare frågeställningar i de projekt som kom att följa, inte minst gällande kostnadseffektiva produktionsmetoder av

⁴⁸ Projektet genomfördes inom utlysningen *Förstudieprojekt samt Forsknings- och Innovationsprojekt 2015*. Finansieringen från Vinnova uppgick till 2 mkr.

⁴⁹ "Kemiskt inert" innebär att ett material är oföränderligt och inte reagerar med andra kemikalier eller material i sin omgivning. Det innebär att det inte kommer att brytas ner, korrodera eller reagera med andra kemikalier eller ämnen som det kommer i kontakt med under normala förhållanden. Ett kemiskt inert material kan betraktas som stabilt och oföränderligt, vilket kan vara fördelaktigt i vissa användningar där man vill undvika reaktioner eller försämring av materialet över tiden. Många medicinska implantat och medicinska apparater tillverkas av material som är kemiskt inerta, för att minimera risken för skadliga reaktioner.

⁵⁰ *Signalering i bakterier* är en process där bakterier kommunicerar med varandra genom att utsöndra och uppfatta kemiska signaler. Genom att känna av den kemiska koncentrationen av signalämnen i omgivningen kan bakterier avgöra om det finns tillräckligt många individer av samma art i närheten för att initiera ett specifikt beteende eller en specifik funktion. Exempelvis kan bakterier som bildar biofilm eller patogena faktorer som kan orsaka infektioner regleras genom signalering i bakterier.

⁵¹ *Mikrofluidik* är en teknik som används för att hantera och manipulera små mängder av vätskor och partiklar i mikroskala. Det innebär att man arbetar med vätskor på en skala som är mindre än en millimeter, vilket möjliggör en hög precision och en kontrollerad miljö. Mikrofluidik används inom många olika områden, inklusive bioteknik, medicin, kemi och materialvetenskap. Exempel på applikationer inom bioteknik inkluderar användning av mikrofluidik för att sortera och separera celler, för att utföra diagnostiska tester eller för att studera cellulära interaktioner på mikroskala.

⁵² *Fluorescensmikroskopi* är en teknik som används för att visualisera specifika molekyler eller strukturer i biologiska prover. Metoden bygger på användning av fluorescerande färgämnen som binder till eller märker upp specifika molekyler av intresse, och sedan belyser proverna med ljus av en specifik våglängd för att få färgämnen att fluorescera och avge ljus vid en annan våglängd. Genom att avbilda det fluorescerande ljuset kan man visualisera specifika molekyler och deras plats i celler och vävnader. Fluorescensmikroskopi används inom många olika områden, inklusive cellbiologi, neurobiologi och medicin.

vertikalt grafen. Projektet ökade också förståelsen för varför vissa former av grafen är antibakteriella medan andra former inte påverkar vare sig bakterier eller andra celler.

KAUI kan sägas vara ett specifikt fall av ett mer generellt problem – att bakterier binder på medicintekniska produkter och orsakar både allvarliga komplikationer för patienten och kostnader för vårdgivaren. Bakterier kan lätt fästa på ytan av medicintekniska produkter och bildar då en skyddande biofilm som gör dem svåra att eliminera. Bakterierna kan sedan orsaka allvarliga infektioner i kroppen, inklusive urinvägsinfektioner, blodinfektioner och sårinfektioner. Infektioner orsakade av bakterier på medicintekniska produkter är svåra att behandla och kan leda till ökad sjuklighet och dödlighet bland patienter. Ett prisvärt antibakteriellt material är därför en potentiellt stor konkurrensfördel för medicintekniska produkter överlag. Projektet *Grafenlager för att förhindra kateter-relaterad urinvägsinfektion* gav resultat som visade på en bredare tillämpningspotential än enbart katetrar.

I *Grafenlager för att förhindra kateter-relaterad urinvägsinfektion* tillämpade man en tillverkningsmetod där man enligt intervjupersoner på Wellspect ”bygger det här nästan atom för atom.” Metoden var lämplig för att förstå grafenets antibakteriella egenskaper, och att dessa uppstår på mekanisk snarare än till exempel kemisk väg. Däremot är det inte en metod som lämpar sig för produkttillverkning i större skala. I projektet framkom därmed ett behov att producera den antibakteriella ytan på ett rimligt och kostnadseffektivt sätt.

Polymerer med exponerade grafenkanter: nya antibakteriella material för medicintekniska applikationer⁵³ löpte mellan 2017 och 2019 och syftade till att kommersialisera upptäckterna från det föregående projektet; att grafenkanter på en beläggning med vertikalt riktad grafen effektivt dödar bakterier. Målet med projektet var att utveckla en kostnadseffektiv tillverkningsprocess för polymermaterial⁵⁴ med en antibakteriell yta. Arbetet skedde i ett projektconsortium bestående av grafentillverkaren 2D fab och två forskargrupper från Chalmers (varav en samma som i föregångsprojektet), samt företaget Wellspect som fortsatt bidrog med ett slutanvändarperspektiv i syfte att uppnå en realistisk kravspecifikation.

Projektet ledde till att en enkel tillverkningsprocess utvecklades. I stället för att bygga ”atom för atom” använde man sig av grafenflingor som ett mer tillgängligt bulkmaterial som kunde blandas i plastmaterial. Genom att extrudera polymer-grafen-blandningen kunde man få grafenflingorna att lägga sig parallellt längs med ytan, och genom att sedan kapa den extruderade enheten i skivor fick man fram stående flingor ortogonalt

⁵³ Projektet genomfördes inom utlysningen *Fol-projekt och Genomförbarhetsstudier (1) 2017*. Finansieringen från Vinnova uppgick till 3 052 000 kr.

⁵⁴ Det vill säga plastmaterial.

mot plastskivan och vertikalt mot ytan. Den utvecklade tillverkningsprocessen tillät framtagande av en yta med ”mycket hög [...] (>99,9%)” antibakteriell effekt. Vidhängande resultat gällde undersökningar av polymermatrisens egenskaper, extruderingsparametrar och grafeninnehåll samt steg för kapning och etsning av extruderade prover. Projektet ledde även till två vetenskapliga publikationer samt ännu en patentansökan. Det framkommer i Swecos materialinsamling att processen var avsevärt enklare och billigare än tidigare, men med stora begränsningar med avseende på uppskalning och praktisk användning på medicintekniska produkter.

Projektet gav en grundläggande förståelse för den utvecklade tillverkningsprocessen och identifierade relevanta värden på faktorer. Här kunde man visa att med enhetlig fördelning och orientering av grafenflingorna har grafeninnehållet stor inverkan på den antibakteriella effekten. Man såg också att denna effekt troligen var direkt kopplat till avståndet mellan exponerade grafenkanter, analogt med avståndet mellan spikarna i en spikmatta, för att matcha bakteriernas storlek och inte tillåta utrymme för bakteriepåväxt mellan de stående flingorna. Vidare framkom att ytan inte är toxisk för humanceller, eventuellt då dessa är större och metaforiskt kan ”vila” på ”spikmattan.”

Att skala upp tillverkningsprocesser är viktigt för att minska produktionskostnader, genom ökad effektivitet och minskade enhetskostnader. Vad gäller medicinteknik handlar det även om att säkerställa att produkter och material är tillgängliga för de patienter som behöver dem.

Utmaningen vid uppskalning av medicintekniska produkter handlar om att nå volymer där produktion sker till en rimlig kostnad, utan att man kompromissar kvalitet, prestanda och säkerhet. Det är då viktigt med kvalitetskontroll för att leva upp till säkerhetskrav, vilket kan föranleda dyrare processer och testning. Tillverkning av medicintekniska produkter är mycket reglerad för att säkerställa att produkterna uppfyller nämnda säkerhets- och kvalitetskrav, vilket kan göra att det tar längre tid och kostar mer att få en produkt godkänd för tillverkning och försäljning. Dessa skalningsutmaningar kan i någon mån också sägas gälla skalning av produktion av material för medicintekniska produkter.

En ytterligare utmaning för uppskalning av medicinteknisk produktion rör materialval. Materialen som används i medicintekniska produkter måste uppfylla höga standarder för biokompatibilitet och vara säkra för användning i människokroppen, vilket kan göra att valet av material blir begränsat och att kostnaderna för material kan vara högre. Ur materialtillverkarens perspektiv gör det att högkvalitativt och prisvärt material med unika egenskaper i stället blir en extra viktig konkurrensfördel, då materialet inte är potentiellt utbytbar på samma sätt som kan vara fallet i andra typer av produkter.

Eftersom medicintekniska produkter används i människokroppen måste de uppfylla höga krav på biokompatibilitet och säkerhet. Detta kan göra att materialen som används och tillverkningsprocesserna blir mer komplexa och dyrare att implementera. Det är därför viktigt att ha en noggrann planering och förståelse för de specifika kraven och utmaningarna som finns vid tillverkning av medicintekniska produkter när man skalar upp tillverkningsprocesserna. Särskilt viktigt blir detta i sammanhanget nano-material, där säkerhetsfrågor varit högt på agendan och osäkerhetsfaktorerna tidigare varit betydande.⁵⁵

Det finns en potentiell samhällsnytta i att skala upp just tillverkningen av vertikal grafen och tillgängliggöra materialvariantens antibakteriella egenskaper brett. Som nämnts finns en ökad risk för resistens mot antibiotika hos patienter som får upprepade urinvägsinfektioner på grund av användning av kateter. Mer generellt bidrar bakterieinfektioner i samband med medicintekniska tillämpningar till ökad antibiotikaanvändning och därmed indirekt till resistensproblematiken. Den mekaniska antibakteriella effekter som påvisats hos vertikalt grafen innebär att bakteriekolonisation kan motverkas utan användning av antibiotika, vilket kan vara ett viktigt resultat för att hejda antibiotikaresistens och även att hantera redan resistenta bakteriestammar.

Projektet *Polymerer med exponerade grafenkanter: nya antibakteriella material för medicintekniska applikationer* gick vidare från föregångsprojektets resultat gällande yt-tillverkning och att demonstrera och förstå den antibakteriella effekten – till att principiellt påvisa en möjlig metod för att i större skala producera polymermaterial med den antibakteriella egenskapen från vertikal grafen.

Att blanda grafen i polymer gav dock egentligen grafen i hela materialet, snarare än bara på ytan där den antibakteriella effekten önskas. Detta kan vara suboptimalt om grafenet i värsta fall påverkar originalegenskaperna i plastmaterialet. Dessutom möjliggjorde extruderingen och kapningen i skivor inte en flexibel tillverkning av olika geometrier. Givet att man inte behöver just skivor med en yta av vertikalt grafen krävs någon annan form av tillverkningsmetod.

Utveckling av grafenbaserad antibakteriell yta för medicintekniska produkter - Effektiv, säker och prisvärd löper mellan 2020 och 2023.⁵⁶ (Projektet var i sitt slutskede när materialinsamlingen till denna fallstudie skedde, och kommer att vara avslutat när utvärderingsrapporten publiceras.) Målet för projektet är att utveckla

⁵⁵ Nanoskaliga storlek föranleder farhågor om säkerhet, till exempel toxicitet. Det har visat sig att grafenoxid, som är en vanlig form av grafen, kan orsaka inflammation och skador på cellmembran när det injiceras i höga doser i levande organismer. Det har också funnits oro för att nanomaterial som grafen kan orsaka lungskador om det inhaleras. Ytterligare en farhåga är att nanomaterial som grafen kan ackumuleras i kroppen och orsaka långsiktiga hälsoproblem. Detta gäller särskilt för grafenoxid, som visat sig kunna ansamlas i levern och mjälten. Detta är givetvis avgörande farhågor inom medicinteknisk tillämpning. Forskning har dock visat att grafen och dess derivat kan modifieras för att minska deras toxicitet, och att grafen och dess derivat kan användas på ett säkert sätt i olika medicintekniska applikationer.

⁵⁶ Projektet genomförs inom utlysningen *Samverkan kring kommersiella grafentillämpningar, våren 2020*. Finansieringen från Vinnova uppgår till 2 997 000 kr.

tillverkningsprocessen för den antibakteriella ytan så att den blir användbar för användning i medicintekniska produkter och därigenom minska risken för att de orsakar infektion. Planen är att utnyttja en nerskalad produktionsutrustning för att screena fler polymermaterial och grafenkvaliteter; undersöka och utveckla förbättrade produktionsmetoder; utvärdera och karaktärisera de antibakteriella egenskaperna av olika ytvarianter; samt bedöma möjligheter och begränsningar för att använda den grafenbaserade ytan för medicintekniska tillämpningar.

Projektet avsågs löpa till 2022 men förlängdes till mars 2023. Detta har berott på att Covid-19-pandemin påverkat rekryteringen samt försenat leveransen av en viktig maskin. När Swecos materialinsamling sker i mars 2023, strax innan projektavslut, uppger intervjupersonerna att projektet i dagsläget inte nått några konkreta resultat annat än att man kunnat utesluta ett antal strategier som inte varit framkomliga för att få tillstånd en kostnadseffektiv och användbar produktionsmetod. Dock uppger man att det kvarstår ett antal lovande samt ett antal oprövade alternativ. Det är i skrivande stund inte beslutat huruvida man från Wellspects sida kommer vilja gå vidare i motsvarande projektform.

Oavsett hur utvecklingen fortlöper och huruvida man når en lämplig metod och sedermera produktifiering, uppger företrädare för Wellspect att man ser stor nytta av de tre genomförda projekten. Företaget har historiskt inte haft något omfattande samarbete med forskare men uppger sig nu ha arbetat upp ett gott samarbete, både i form av personliga och institutionella kontakter samt kunskap kring samarbetsformer, avtal och processer. Projekten uppges ha lett även till andra samarbeten med forskare på Chalmers där man idag gör materialtester på helt andra områden än grafenområdet. En av intervjupersonerna från Wellspect har också blivit adjungerad professor vid Chalmers.

Intervjupersoner vid Wellspect beskriver även att man höggradigt uppskattar SIO Grafens insatser som nätverksbyggare och att man knutit många intressanta kontakter via de samverkansforum som SIPen tillhandahåller. Exempelvis har man genom presentationer vid Swedish Graphene Forum fått kontakt med en forskargrupp som arbetar med grafen inom pappersindustrin och där man gemensamt kunnat identifiera vissa likheter i yt-egenskaper som kan tyda på en produktionsstrategi att utforska gällande antibakteriellt vertikalt grafen inom medicinteknik.

Mervärde och roll i systemet

Sweco ser olika möjliga mervärden i projekten som bedrivits.

På sakfrågenivå kan det finnas potential för stora ekonomiska och mänskliga nyttor samt samhällsnyttor, om det framkommer mekaniska metoder för att stävja bakterietillväxt och motverka problematiken med antibiotikaresistens. (En mekanisk

antibakteriell effekt kan härvidlag också sannolikt vara mer värdefull än en kemisk effekt.) Dessa nyttor beror emellertid inte enbart på själva teknologin i sig utan även på marknadens omfattning; innovationens unicitet och sannolikheten för ett (globalt) genomslag; samt förutsättningar för att ett kommersiellt case ska lyckas.⁵⁷

På systemnivå har samarbeten uppstått mellan företag och akademi, där ett företag som tidigare inte haft kopplingar till akademien nu har tydliga sådana, och där forskargrupper givits möjlighet att bedriva en industrinära och -relevant forskning med realistisk kravspecifikation och inriktning mot produktionsmetoder och kommersialisering. Detta är typiskt sett efterfrågat av forskare inom universitet och högskola.

Arbetet med antibakteriellt vertikalt grafen har också kunnat integreras i ett bredare område inom Chalmers 2d-Tech, gällande att kontrollera grafenflingors orientering rent generellt. Där samarbetar Wellspect med företag inom andra branscher, exempelvis förpackningsindustrin, för att hitta lösningar för att kontrollera orientering, snarare än att nå resultat med avseende på specifika egenskaper.

Slutligen framkommer mervärden utifrån själva programmet SIO Grafen, där nätverksinsatser lett till samarbeten och där företaget Wellspect upplevt ett stort stöd och en positiv inställning till utvecklingsprojekten. Som företag ser man nyttor i att genom den här typen av aktiviteter, samt genom de nya samarbetena med forskare, bli en synligare aktör och en mer attraktiv arbetsgivare inte minst bland studenter på Chalmers

⁵⁷ En tangent för den evolutionsbiologiskt intresserade är huruvida en grafenspikmatta skulle innebära ett selektionstryck för evolutionen av spikmatte-resistenta bakterier. Detta kan inte uteslutas men vi kan notera att den antibakteriella effekten av en spik är mer binär än den antibakteriella effekten av antibiotika, framförallt då det tenderar att förekomma i utspädd form pga. tveksamt bruk i djurhållning och andra sammanhang. Evolutionen bygger på differentierade utfall och vi kan förvänta oss färre sådana i spikmattefallet, eftersom utfallet kan ses som i mindre grad kontinuerligt.

Bilaga B: Fallstudie – Värdekedjor för växande deeptech-företag

Inledning

Deeptech syftar till teknologisk innovation som bygger på grundläggande vetenskapliga och tekniska rön. Dessa teknologier brukar vara nyskapande och svåra att kopiera och kräver ofta betydande kapital och tid för att utvecklas. Bioteknik, artificiell intelligens, blockkedjor, energiteknik, robotik, AR och VR är några exempel. Deeptech-företag kan vara både uppstarts företag och etablerade företag som expanderar sina verksamheter inom nya teknikområden. Eftersom deeptech-företag ofta har höga utvecklingskostnader och långsamma utvecklingscykler krävs det inte sällan långsiktiga och mer riskfyllda investeringar för att driva verksamheterna framåt.

En central aktörsgrupp inom SIO Grafen är leverantörerna av grafen och andra 2D-material. Antalet nya 2D-materialbaserade deeptech-företag växer och företagen med längre historik växer, fördjupar och avgränsar sina respektive erbjudanden. I projekten inom SIO Grafen har företagen kunnat utveckla värdekedjor och samverka med potentiella kunder, leverantörer och forskningsaktörer. De tre projekt som är föremål för denna fallstudie är projektexempel med centralt deltagande av tre deeptech-företag aktiva inom SIO Grafen; Graphmatech, 2D fab och Grafren. Exempelprojekten i fallstudien är följande:

- Grafenoxid - ett nytt smörjmedel i industriella tillämpningar (2015-01467)
- Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material (2021-05101)
- Grafenkamouflage med avancerad vikt och funktionella egenskaper (2021-05108)

Exempelprojekt

Grafenoxid (GO) är en modifierad form av grafen som har syreatomer bundna till ytan. Detta gör materialet mer hydrofilt ("vattenälskande") och ger det en lägre konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga) än ren grafen. GO används bland annat inom elektronik, katalys och materialvetenskap. Det produceras genom oxidering av grafit och det finns potential för kostnadseffektiv produktion av stora volymer. GO har också potential som smörjmedel i industriella tillämpningar⁵⁸ eftersom det har en extremt låg friktion och hög

⁵⁸ Smörjmedel används för att minska friktion och slitage mellan rörliga delar inom industriella tillämpningar. De kan exempelvis vara baserade på olika kemikalier, inklusive mineraloljor, syntetiska kolväten och polymerer.

slitstyrka. Forskning pågår för att undersöka dess användning som smörjmedel i olika applikationer, inklusive bil- och flygmotorer samt maskiner inom industrin.

Grafenoxid - ett nytt smörjmedel i industriella tillämpningar är ett projekt som löpte mellan 2015 och 2017.⁵⁹ Projektparterna var ABB och Uppsala universitet, närmare bestämt institutionen för Kemi, Ångströmlaboratoriet och Biomedicinskt centrum (BMC) samt Institutionen för Teknikvetenskaper (Tribomaterial). Syftet med projektet var att utveckla nya smörjningskoncept baserade på GO för industriella tillämpningar, utifrån forskning som visat att GO drastiskt kan sänka friktionstalet mellan två metallytor även vid högre laster, men mot bakgrund av att grafen vid tidpunkten 2015 fortfarande var för dyrt för många industriella tillämpningar.

Projektet genomfördes i form av två arbetspaket (AP). I AP 1, *Grafenoxid-modifierade smörjfetter och smörjpastor*, utvecklades olika varianter av GO, exempelvis reducerad GO och en gelégrafenoxid. Dessa utvärderades som tillsatser i olika typer av förtjockade fetter, och olika basoljor testades för att optimera dispersionen – blandningen – av GO i fetterna. Man kunde härmed identifiera en ny basolja, kallad olja A, som gav bra dispersion jämfört med standardolja. Varken fetternas nötningsbeteenden, friktion eller kontaktmotstånd förbättrades dock signifikant jämfört med fetter utan tillsatsen, och man konkluderade att "det är tydligt i detta fall att vi inte lyckades med att försöka förbättra den tribologiska prestandan med GO."⁶⁰ Istället framhölls behovet av vidare undersökningar för att förstå funktionen hos grafen i smörjoljor.

I AP 2, *Ag-grafenoxidkompositer för glidande kontaktapplikationer*, var målet att utveckla nya elektriska kontaktmaterial med förbättrade tribologiska egenskaper – det vill säga låg friktion och högt nötningsmotstånd – genom att förstärka silver med GO-flagor. (Silver används ofta i traditionella smörjmedel i industriella tillämpningar.) Man ville i projektet här kombinera tribologiska och elektriska egenskaper, vilka ofta står i motsatsförhållande till varandra.⁶¹

Arbetspaketet renderade ett protokoll för dispersion av GO-flagor i silver (Ag), och GO/Ag-kompositen preparerades med en pulvermetallurgimetod varpå de tribologiska egenskaperna utvärderades. Testerna påvisade ett koncentrationsintervall inom vilket

⁵⁹ Projektet genomfördes inom utlysningen *Förstudieprojekt samt Forsknings- och Innovationsprojekt 2015* och finansierades med 1,58 mkr från Vinnova.

⁶⁰ Tribologi är vetenskapen om ytor i glidande eller rullande kontakt och omfattar friktion, nötning och smörjning.

⁶¹ Tribologiska egenskaper avser materialets förmåga att motstå friktion, nötning och slitage, medan elektriska egenskaper avser materialens förmåga att leda elektrisk ström. Dessa egenskaper kan ofta vara i motsatsförhållande till varandra eftersom de påverkas av olika faktorer. För att minska friktion och slitage i material, såsom smörjmedel eller ytbeläggningar, används ofta tillsatser som kan ha en negativ inverkan på materialets elektriska egenskaper. Tillsatserna kan till exempel hindra elektronerna från att röra sig fritt, vilket minskar materialets elektriska ledningsförmåga. Å andra sidan kan material som har goda elektriska egenskaper, såsom metaller, ha hög friktion och slitage. Som nämnts har GO lägre konduktivitet än ren grafen.

kompositen visade sig ge en ovanligt låg torrfriktionskoefficient⁶² med samma kontaktmotstånd⁶³ som silver. Nötningstakten för kompositen var också lägre än för rent silver. Slutsatsen var att "en kombination av utomordentligt bra tribologiska och elektriska egenskaper faktiskt uppnåddes" enligt projektets rapportering.

ABB:s intresse i grafen grundar sig i tillverkningen av brytare och elektriska kontakter, i hushåll men även i betydligt större skala så som i ställverk. När man bryter kontakter nöts kontaktmaterialen ner med tiden, ett slitage som kan förebyggande med smörjmedel. Detta kräver i sin tur ett aktivt underhållsarbete, varför man inom ABB undersöker möjligheterna att utveckla underhållsfria elektriska kontakter om är självsmörjande. Ett vanligt kontaktmaterial är silver, och med silvergrafenkompisiter får man ett tunt grafenskikt på ytan för att man har blandat i en låg andel grafen; således en självsmörjande yta. När ytan gnuggas bort så finns grafenmaterialet i hela bulken av silverkomposit, vilket gör att ytan aldrig nöts bort, så som är fallet vid en ytbehandling. Ett implementerat underhållsfritt smörjmedel uppges av en intervjuperson inom ABB ha potentialen att reducera behovet av en underhållsorganisation.

Samma år som projektet avslutades, 2017, startades företaget Graphmatech av en av de Uppsalaforskare som varit delaktiga. Graphmatech uppfinnar, utvecklar och säljer grafenbaserade material. I en intervju med företrädare för företaget framkommer att samarbetet med ABB i SIO Grafen-projektet var en bidragande faktor till att man startade Graphmatech, även om företagsstarten inte drevs av de specifika resultaten från *Grafenoxid - ett nytt smörjmedel i industriella tillämpningar*.

Projektet resulterade i en patentansökan och ytterligare utvecklingsinsatser med fokus att identifiera kostnadseffektiva produktionsmetoder. Det framkommer i Swecos intervjumaterial att ABB Power Grids – den del av ABB:s verksamhet som arbetar med högspänningsprodukter – avyttrades till Hitachi i samband med att SIO Grafen-projektet tog slut.⁶⁴ Resultaten övergick därmed från ABB till Hitachi, som fortsätter att arbeta med dem tillsammans med Graphmatech. ABB såg dock potentialen med grafen och har fortsatt att driva ett antal projekt med avseende på självsmörjande skikt och kompositier.

Graphmatech fortsätter utvecklingen av silvergrafen för kontakter och har fortsatt samarbetet med Hitachi. De försöker även att ytterligare utveckla teknologin och öka produktionskapaciteten. De har introducerats för en annan aktör som kan producera i större skala, vilket uppges ha varit en milstolpe, och de har tillverkat ett par hundra kilo och försöker samtidigt skala upp processen för att dispergera (det vill säga finfördelar)

⁶² Friktion mellan fasta föremål kallas ofta torr friktion, medan friktionskrafter mellan vätskor eller gaser kallas viskös friktion.

⁶³ Kontaktmotstånd är motståndet mot strömflöde, på grund av ytförhållanden och andra orsaker, när kontakter berör varandra.

⁶⁴ Hitachi ABB Power Grids heter idag Hitachi Energy.

grafen i metallmatrisen och öka batch-kapaciteten. Arbetet är fortfarande på pilotstadiet, men utvecklas pågående.

Både ABB och Graphmatech är idag involverade i andra stora forskningsprojekt som direkt och indirekt kopplat tillbaka till arbetet som skedde i SIO Grafen-projektet 2015-2017. Inom Graphene Flagship drivs projektet *Circuit breakers spearhead project*, som handlar just om självsmörjande elektriska kontakter och som konceptuellt är en följd av smörjmedelsprojektet. Graphmatech jobbar också tillsammans med RISE med EU-projektet *NoVoc (Eliminating VOC from Battery manufacturing through dry or wet processing)* som bygger vidare på ett annat SIO Grafen-projekt kallat *GraFREE (Grafenförbättrad bindemedelsfri katodformulering för nästa generations litiumjonbatterier)*.

Hållbarhet är en allt viktigare marknadsparameter för små och stora företag. Kunder och investerare söker alltmer efter företag och produkter som tar hänsyn till miljön, samhället och ekonomin genom hela sin värdekedja. Företag som arbetar med hållbarhet kan minska sina kostnader genom att minska sin miljöpåverkan, förbättra arbetsvillkoren och minska risken för framtida rättsliga åtgärder. Detta gör att de kan förbättra sin image, öka sina intäkter och behålla kunderna på längre sikt.

Användningen av vissa limmer leda till utsläpp av farliga kemikalier i luften och marken. Vissa limmer innehåller ämnen som formaldehyd, vilket kan orsaka irritation i ögonen och andningsvägarna och i högre koncentrationer kan orsaka cancer. Andra ämnen som används i limmer kan också orsaka allvarliga hälsoproblem, inklusive skador på centrala nervsystemet och levern. För att minimera dessa risker kan tillverkare använda alternativa limmer som är säkrare för både människor och miljö, som till exempel vattenbaserade limmer, men dessa limmer har ofta sämre egenskaper med avseende på hållfasthet och liknande.

Grafen kan användas som tillsats i limmer för att förbättra limmets styrka, elasticitet och värmebeständighet. Genom att tillsätta grafen i limmet kan man öka dess hållfasthet och elasticitet samtidigt som man minskar dess vikt. Grafen kan också förbättra limmets värmebeständighet genom att fungera som en barriär mot höga temperaturer och förhindra att limmet försvagas eller bryts ned vid höga temperaturer. Ett annat användningsområde för grafen i limmer är som ledare av elektrisk ström. Grafenbaserade limmer kan användas för att fästa elektroniska komponenter på ytor, och fungerar samtidigt som en ledare för att överföra elektrisk ström mellan komponenterna. Inte minst kan biobaserade limmer som förbättras med grafen ge förbättrade egenskaperna, för att dessa mer miljövänliga limmer ska kunna ersätta de fossilbaserade.

Under 2021 finansierades inom SIO Grafen ett förberedelseprojekt med projektparterna grafentillverkaren 2d fab och managementkonsultföretaget Pro&Pro, för att analysera marknadspotentialen för grafenlimmer för aktörerna i värdekedjan. Analysen påvisade en drivkraft hos företagen att använda grafen för att ersätta giftiga fossilbaserade limmer med förnyelsebara stärkelse och cellulusbaserade limmer, exempelvis för limning av träpaneler, och på så sätt stärka sin hållbarhetsprofil. Projektet fördjupade även kunskaperna om användandet av grafen i biobaserade limmer. De resultat som framkom var att blandningen grafen och stärkelsebaserat lim har förbättrade mekaniska egenskaper som möjliggör produktion av wellpapp 30 procent snabbare samt med minskad energiförbrukningen. Projektresultaten indikerade även att limfogen stärks, att limmet torkar snabbare, att mindre lim behövs, och att fukthalten i materialet – kartongen eller pappret – reduceras.

Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material är ett pågående Fol-projekt som löper mellan 2022 och 2024.⁶⁵ Projektet är ett demonstratorprojekt. Målet med projektet är att med grafen utveckla förnyelsebara limmer till förpackningar, sugrör och träpaneler till möbler som verifieras i operativ miljö, med syfte att tillvarata potentialen i att använda grafen i limmer för hållbara material. Demonstratorprojektet drivs av ett brett konsortium bestående av storföretag och akademi kopplat till tillverkande industri och skogsindustri; 2D fab, BIM Kemi, DS Smith, IKEA, SCA, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Tetra Pak.

Projektet ska stärka den svenska värdekedjan för grafen, från produktion av grafen till kommersiella produkter med potential att innehålla grafenlimmer. SLU bedriver forskning på limmer och limsystem och bidrar bland annat för att testa och verifiera egenskaper; IKEA använder fossilbaserat lim i produktionen av träpaneler och söker substitut; SCA tillverkar kraftliner⁶⁶ och sågade trävaror; Tetra Pak utvecklar matförpackningar; BIM Kemi tillverkar lim och additiv för skogsindustrin; DS Smith tillverkar förpackningar och lådor av kraftliner; och Kemind tillverkar tillsatser till pappers- och massaindustrin. Man avser även involvera en europeisk stärkelseslimleverantör.

Målen för projektet är enligt ansökan följande:

- En demonstrator i form av en träpanel limmat med hållbart lim med grafen
- En demonstrator i form av en förpackningslåda limmat med hållbart lim med grafen

⁶⁵ Inom utlysningen *Samverkan kring kommersiella tillämpningar med grafen, 2021* och med 4 mkr i finansiering från Vinnova.

⁶⁶ Kraftliner är en pappersprodukt som framför allt används för det yttre lagret av korrugerade kartonger (wellpapp).

- En demonstrator i form av ett förnyelsebart sugrör med grafenbaserat stärkelsemedel
- Stärkt forskning om grafen för hållbara limmer på SLU
- Ökad kunskap hos deltagande företag om hur grafen kan användas för limning och utveckling av förnyelsebara material.
- En plan för kommersialisering och vidareutveckling av framtagna demonstratorer

Dessa mål avser man uppnå genom fem arbetspaket (AP):

- AP1: Projektledning och kunskapsutbyte, med mål att driva projektet och samarbetet i konsortiet.
- AP2: Demonstrator Hållbara träpaneler, med mål att ta fram en träpanel för möbler limmade med grafenbaserade limmer.
- AP3: Demonstrator Förpackningslåda, med mål att utveckla en förpackningslåda limmad med grafenbaserat stärkelseslim och köra produktionen 30 procent snabbare med 10 procent mindre lim.
- AP4: Demonstrator Hållbara sugrör, med mål att ta fram ett hållbart cellulosabaserat sugrör med grafen.
- AP5: Kommersialisering och utvärdering, med mål att ta fram kandidater för lim för prioriterade demonstratorer.

Swecos intervjumaterial visar att man fortfarande är i ett tidigt skede av projektgenomförandet. Man tar fram nya limmer i laboratorium, med syfte att utvärdera mot befintliga limmer samt förstå påverkan av grafenet. I dagsläget vet man inte vad som ger effekten av grafen i lim, även om det är påvisat i produktionen vid ett italienskt företag och genom resultat i labb, men det framkommer att man har hypoteser. I dagsläget finns vissa resultat utifrån laborietesterna med avseende på mängd av och kvalitet på grafen som behöver tillsättas samt hur det påverkar limmets egenskaper.

Projektet har även omfattat en pilotkörning i maskiner i produktionsmiljö med avseende på wellpapp. Där har man inte sett några effekter, men det framkommer i intervjumaterialet att det är svårt att testa i produktionen eftersom det finns många olika parametrar som kan justeras och eftersom det är låg tillgänglighet till produktionsmaskinerna, som kör dygnet runt och endast kan nyttjas vid produktionsstopp.

Nästa steg i projektet är att testa framtagna limmer i demonstratorform, till exempel genom att (manuellt) framställa papperssugrör medelst grafenlim. De framtagna produkterna kan sedan utvärderas med standardiserade tester.

Ett hinder som framkommit i projektet är godkännande av grafenlimmerna för kontakt med livsmedel. Här uppges SIO Grafen bidra med kontakter och nätverk samt kunskap i en fråga som är komplicerad och sannolikt kräver fleråriga processer med test och validering. En företrädare för 2d fab uppger att korrekt certifiering är avgörande för att öppna upp marknaderna gällande livsmedelsrelaterad förpackningsindustrin. Kraven på godkännande begränsar även redan idag möjligheterna att testa grafenlim i produktionen.

2d fab tillverkar grafen från grafit, vilket möjliggör en storskalig produktion.⁶⁷ Idag har man omkring tio anställda och gott samarbete med universitet och högskola, men befinner sig fortfarande i en uppstartsfas sedan verksamheten accelererade 2020. Av avgörande betydelse för 2d fab är att öppna upp nya marknader, vilket man uppger är svårt då bilden av grafen tenderar att vara polariserad. Vissa är skeptiska till nyttan av grafen, andra är rent av rädda för nanomaterial, och ytterligare andra har överdrivna förväntningar på "supermaterialet" som man tror ska kunna öka prestandan på vilken som helst produkt hundrafaldigt. Mot bakgrund av detta är 2d fab mycket positiva till möjligheten att samarbeta med flera stora företag, i idealfallet för att i förlängningen få dem som kunder, men redan nu för att det ger legitimitet att kunna visa upp sådana samarbeten.

Militärt kamouflage kan ha flera avgörande egenskaper beroende på tillämpning. Exempelvis kan kamouflagematerial behöva vara hållbart för att tåla tuffa förhållanden i fält, och lättviktigt för att inte hindra och begränsa soldater och fordon. Det bör vara enkelt att använda samt att tvätta och underhålla. I mer avancerade utföranden kan kamouflage vara radarabsorbent, vilket innebär att materialet absorberar och dämpar radarsignaler vilket minskar risken för upptäckt. Radarabsorbent kamouflage kan exempelvis bestå av syntetiska polymerer, metallfibrer och andra metalliska material.

Grafen har en mycket hög elektrisk ledningsförmåga samtidigt som det är supertunt och superlätt. I sammanhang där det krävs elektriskt ledande textilier, men där vikt är av vikt, är grafen överlägset traditionella metallkomponenter som dessutom tenderar att vara oböjliga och korrosionskänsliga. Det Linköpingsbaserade företaget Grafren, som utvecklar och tillverkar grafenbaserade produkter, har utvecklat en process för grafenbeläggning av textil bestående av enbart grafen och vatten. Tillsammans med Saab Barracuda, ett företag inom militär maskeringsutrustning, genomförde Grafren 2021 en genomförbarhetsstudier som verifierade att grafenbelagd textil potentiellt kan nyttjas som radarabsorbent.

⁶⁷ Det är dock svårt att separera grafen från grafit vilket ger lägre kvalitet än den mer kostsamma produktionsmetoden, att bygga upp grafen från kemiska processer.

Grafenkamouflage med avancerad vikt och funktionella egenskaper är ett pågående Fol-projekt som löper mellan 2022 och 2025.⁶⁸ Projektet är ett demonstratorprojekt som genomförs av Saab Barracuda, Grafren samt textilföretaget Engtex. Tillsammans avser man bygga en kompletterande värdekedja där fiber- och textilmanufaktur följs av en integration av grafenflagor och materialet sen används i produktion hos Saab innan det når slutanvändaren. Projektets mål är att demonstrera ett fullskaligt kamouflagenät med radardämpande funktion samt undersöka andra materialegenskaper som styrka och flamskydd. Syftet är att åstadkomma ett radarabsorbent camouflage som är lättviktigt och har god prestanda samtidigt som man reducerar koldioxidemissioner och minskar kemikalieanvändandet i produktionen.

Projektet sker i form av fem AP (Swecos översättning från projektansökan):

- *AP1: Teknisk optimering*, med målet att definiera relevanta behovsparametrar.
- *AP2: Optimering av kostnadseffektivitet*, med målet att optimera kvalitet och process för grafentextilen relativt fastställda behovsparametrar.
- *AP3: Småskalig prototyp*, med målet att ta fram en prototyp och validera dess funktionalitet.
- *AP4: Kompletterande karakterisering*, med målet att karakterisera det fungerande materialet och identifiera ytterligare (eventuella) fördelaktiga egenskaper.
- *AP5: Storskalig prototyp/demonstrator*, med målet att framställa ett kamouflagenät i fullskala.

Enligt vad som framkommer i Swecos intervjumaterial är projektet hittills framgångsrikt och man uppges ha uppnått och testat den huvudsakliga funktionaliteten. Det pågående arbetet gäller att säkerställa kompatibilitet med andra material, miljö- och säkerhetsaspekter med mera, samt att fastställa ytterligare egenskaper såsom brandsäkerhet och slitstyrka. Att döma utifrån de uppgifter Sweco inhämtat är projektet rent tekniskt en framgång som kommer rendera goda resultat. De frågetecken som kvarstår gäller framtida kommersialisering och huruvida man kommer hitta en lämplig strategi och prisnivå för grafen-kamouflagenätet.

Från företaget Grafrens perspektiv framkommer att projektet och samarbetet med SAAB Barracuda är en framgång, som kvalitetsstämpel och som argument gentemot investerare. Man menar även att en kommersialiserad produkt kommer att kunna "återskapa förtroendet för grafen" som material, efter den nedgång i popularitet som förelegat sedan den initiala hypen efter Nobelpriset i fysik 2010, eftersom man framhåller kamouflagenätet som potentiellt sett den första produkten där huvudsaklig funktionalitet och värde härrör från grafen. Detta må vara en drivkraft för Grafren men måste sägas gälla likvärdigt för alla Fol-projekt i SIO Grafen-portföljen som syftar till kommersialiserade produkter.

⁶⁸ Inom utlysningen *Samverkan kring kommersiella tillämpningar med grafen, 2021* och med 1 877 000 kr i finansiering från Vinniova.

Mervärde och roll i systemet

Fokus för denna fallstudie i sin helhet är värdekedjor inom deeptech. Forskningsbaserade deeptech-företag kan ha svårt att få sin teknologi tillämpad inom industrin av flera anledningar. Företagen har ofta inte tid eller resurser att testa och implementera nya teknologier, och man saknar vanligen erfarenhet och nätverk inom den bransch eller den marknad där teknologin är tänkt att tillämpas. Ett annat problem är att deeptech-företag ofta behöver mycket kapital och tid för att utveckla och testa sin teknologi innan den kan nå marknaden. Det kan vara svårt att hitta investerare som är villiga att satsa på dessa företag eftersom det är en hög risk för förlust av investeringen.

Rapporten *Förutsättningarna för deeptech i Sverige* (Vinnova & Tillväxtverket 2023) konstaterar att "[f]orskningsintensiva startupföretag med långa utvecklingscykler, så kallade deeptech-företag, spelar en viktig roll för framtidens ekonomi, konkurrenskraft och arbetsmarknad." Rapporten, som härrör från ett regeringsuppdrag att analysera och föreslå förbättringar för förutsättningarna för forskningsintensiva företag att kunna skala upp och växa i Sverige, betonar att deeptech är kapitalkrävande och beroende av spetskompetens samt förknippade med hög risk och en lång tid från forskning till marknad. Man skriver också att det föreligger ett behov av

"ett systemiskt angreppssätt där forskning/akademi, entreprenörsdriven kommersialisering, kompetensförsörjning, och etablerade företag i samspel med varandra bildar ett välanpassat och samverkande ekosystem för deeptech-grundade innovationer."

SIO Grafens aktörsnätverk klustrar i hög grad kring universitet och högskola, ofta med lärosäten som en initieringspunkt men med företag som drivande aktörer. SIPens aktörer härrör rent genealogiskt ofta från (grund-) forskning, och som exemplifieras i utvärderingens andra fallstudie är utmaningen ofta att gå från explorativ idé till kostnadseffektiv fullskaleproduktion och kommersialisering. SIO Grafen har i stora delar haft som inriktning att förena akademisk forskning med industriella problem och behov och nå faktisk industriell tillämpning av grafen. Många aktörer i SIPen är startups och utmaningen handlar inte sällan om att skala upp; den så kallade scale-up-fasen.

SIO Grafens inriktning har varit att satsa på företagen snarare än forskarna, då man identifierat att det som saknats varit värdekedjor och inte idéer. Utlysningssprojekten har ofta handlat om att stödja företag som sitter med möjliga lösningar men utan kunder eller andra aktörskontakter.⁶⁹ Den offentliga finansieringen kan här antas ha underlättat medverkan för andra företag då den sänker trösklarna och den ekonomiska risken i att arbeta med det ofta oprövade materialet grafen. För grafenleverantörerna, som varit med i många olika Fol-projekt inom SIO Grafen, har det inneburit en möjlighet att testa

⁶⁹ För grafenleverantörerna är ofta andra steg i kedjan likvärdigt viktiga, exempelvis företag som arbetar med att få in grafenet i andra material såsom plastkompositer eller textiltibrer.

olika metoder och tekniker i olika tillämpningar för att sedermera landa i en strategi som matchar en faktiskt kundbas.

Utlysningssprojekten bidrar således både till att etablera värdekedjorna ur två perspektiv. Projekten höjer kunskapen om grafenets möjligheter hos användare och kunder och tillåter en utveckling av konkreta tillämpningar över flera steg i leverantörskedjan. Från grafenleverantörernas perspektiv tillåter projekten en utveckling av strategi och optimering av affärsplan i och med ett lärande med avseende på vilken typ av produkter deras grafen bäst lämpar sig för.

I den nämnda Vinnova/TVV-rapporten framhålls bland annat tillgång till marknader, kapital och kompetens som de största utmaningarna för deeptech-företag. De beskrivna projekten exemplifierar hur projektformen kan bidra till att etablera värdekedjor och samverkansformer, som ofta sträcker sig över flera projekt och även i vissa fall leder vidare till internationella samarbeten och EU-finansiering. Även om projektmedlen i sig är ett exempel på kapitaltillförsel av moderat art kan också en beviljad ansökan och samarbeten i projektkonsortier vara kvalitetsparametrar att förevisa för investerare. Här framkommer att man ser SIP-finansieringen som en språngbräda.

SIO Grafen arbetar även parallellt med strukturella problem såsom kompetensförsörjning, vilket indirekt kan gynna deeptech-företagen. Dels driver man det strategiska projektet *2D graduate network*, som syftar till att knyta ihop doktorander och examinerande studenter med varandra och exponera dem för det industriella nätverket. Dels ger man inom ramen för det strategiska standardiseringsprojektet *Svenskt hållbart grafen* möjlighet för examensarbetare att söka medel, vilket ökar möjligheten för företag att ta in en examensarbetare inom grafenområdet. Man ser även själva Fol-projekten som ett direkt sätt att kompetensutveckla samverkansparter, kunder och slutanvändare. Slutligen är Fol-projekten en möjlighet för deeptech-företagen att ta in ny kompetens och betala löner för nyanställda.

De beskrivna exempelprojekten visar på specifika fall av dessa typer av mervärden. *Grafen i hållbara limmer för förnyelsebara material* indikerar en potential att faktiskt nå ut på stora nya marknader, med avseende på förpackningsindustrin. Grafen kan bli relevant för stora företag som ser hållbarhet som en central marknadsparameter, och som vill minska sitt användande av miljöskadliga limmer. För det enskilda företaget 2d fab är själva samarbetet i projektkonsortiet i sig en möjlighet, dels att knyta till sig

viktiga framtida kunder, dels att kunna förevisa samarbeten med kända och välrenommerade aktörer.

Grafenoxid - ett nytt smörjmedel i industriella tillämpningar har lett till internationella fortsättningsprojekt och vidare utveckling och tillämpning för både ABB och Graphmatech. De konkreta projektresultaten har legat till grund för fortsatt samarbete mellan Graphmatech och Hitachi. Projektet visar på den komplicerade värdekedjan där Graphmatech befinner sig tidigt i kedjan och ABB är slutanvändare. Mellan dessa aktörer befinner sig andra leverantörer, vilket gör kravställan i viss mån komplicerad, och innebär ett beroende i flera steg – vilket är mest avgörande för det lilla startup-företaget, men också för ABB som inte har egen materialutveckling som en kärnverksamhet. Här har SIO Grafen-projektet både inneburit en möjlighet till samarbete mellan universitet, startup och storföretagets FoU och startskottet för en mängd samarbeten och utvecklingsprojekt varav två stora internationella projekt som inneburit en indirekt uppväxling av FoU-medlen.

Intervjupersoner i *Grafenkamouflage med avancerad vikt och funktionella egenskaper* framhåller att en kommersialiserad produkt kan bli paradigmatiserande för grafen-materialet i allmänhet. Efter 2010 års Nobelpris i fysik, då Geim och Novoselov prisades, blev grafen oerhört populärt och närmast betraktat som ett mirakelmaterial. De uppblåsta förväntningarna infriades inte och grafen har än idag inte någon vida känd produkt som fungerar som flaggskepp för materialet. Om grafen-kamouflaget blir en kommersialiserad verklighet kan det bli den första produkt där grafen skapar det centrala värdet, vilket skulle kunna öppna upp för ett pånyttfött intresse i materialet. Som nämns i projektbeskrivningen ovan gäller detta alla FoU-projekt som syftar till kommersialisering, och pekar helt enkelt på ett generellt behov för grafen-ekosystemet i sin helhet att frambringa en eller flera flaggskeppsprodukter för att öppna upp marknaden.

Bilaga C: Expertrapport

Carita Kvarnström, Åbo universitet
Markku Sotarauta, enskild konsult/Tammerfors universitet
Monica Schofield, TUTECH Innovation GmbH

Inledning

Den här rapporten baseras på ett möte med representanter för SIO Grafens programkontor och styrelse den 29 augusti 2023, samt dokument om programmet. Dokumenten inkluderar den självvärdering som programmet tagit fram inför utvärderingen, programmets agenda, effektlogik, sexårsutvärderingarna av programmet samt en mindre mängd annat relevant material om programmet. Vi har också tagit del av övergripande dokument om instrumentet Strategiska innovationsprogram.

På mötet gav representanter för programkontoret dels en övergripande presentation av SIO Grafen, dels en presentation med fokus på programmets resultat, effekter och mervärde. Under mötet ställde vi frågor till programmets representanter utifrån presentationerna och de teman som behandlas i rapporten.

Strategi, insatsområde och implementering

- SIO Grafen har varit av stort strategiskt värde för insatsområdet. Programmet är ett lyckat exempel på hur SIP-instrumentet kan användas för ett omoget område. SIO Grafen utgör därigenom en nationell kraftsamling för att stödja och accelerera innovation inom vad som har potential att bli ett nytt svenskt profilområde. Programmets tillkomst möjliggjorde för Sverige att dra nytta av Chalmers utnämning till koordinator för Graphene Flagship.
- SIO Grafens agenda, mål och effektlogik har hela tiden legat i linje med insatsområdets förutsättningar och behov. Programmet har fokuserat brett inom flera områden, däribland energi (generering, omvandling och lagring) som är ett frågeområde med globala implikationer.
- Antalet demonstratorprojekt har under den tredje etappen ökat från 3 till 30 procent av finansieringen vilket indikerar att projektportföljens sammansättning förskjutits mot praktisk tillämpning.
- Programmet har förutom utveckling av tillämpningar även bidragit till utveckling av innovationsekosystemet och utveckling av ramverk och infrastruktur.
Insatser som vi vill framhålla inkluderar följande:
 - a. Standardisering av karakterisering och tillverkning av grafen, vilket är av stor betydelse för att möjliggöra framtagandet av industriella produkter.

- b. Bevakning och kommunikation av framsteg inom den globala grafenforskningen.
- c. Sammanförande av forskarteam inom och mellan lärosäten, forskningsinstitut och företag, genom workshops och informationsmöten – vilket har varit gynnsamt och accelererat innovationsprocesserna.

Effekter för deltagande organisationer

- SIO Grafen har bidragit till existensen av insatsområdet som helhet. Etableringen av Swedish Graphene Forum har varit särskilt viktigt för uppbyggnaden av aktörsnätverket.
- SIO Grafen har bidragit till ett flertal startups inom grafenområdet, samt till att större företag har fått kontakter med lärosäten och institut. Därigenom har programmet varit direkt bidragande till utveckling av produkter och idéer av spjutspetskaraktär.
- Forskare har genom SIO Grafen fått möjlighet att samarbeta med företag och utvecklat sina kunskaper om industriella behov. På motsvarande vis har en kunskapsöverföring skett från forskare till företag.
- Engagemanget från små och medelstora företag (SMF) har varit stort och SIO Grafen har i det avseendet gjort betydande avtryck givet sin begränsade budget jämfört med exempelvis Graphene Flagship. Därigenom har SIO Grafen varit en viktig bro mellan EU och nationella initiativ.
- På ett mer specifikt plan vill vi framhålla följande effekter:
 - Framsteg inom sensorteknologin, med en teknologisk mognad till följd av SIO Grafens utlysningprojekt.
 - Tillämpning av grafen i högfrekvens elektronik, vilket kan ha en potential i Sverige då det inom vissa delområden redan finns en existerande inhemsk värdekedja.
 - Lovande resultat inom området tryckt elektronik, inklusive spinoff-företag.
 - Inom elektronisk kylning och grafenets förmåga att transportera värme har programmet bidragit till bra samarbete mellan forskningsparter, SMF och slutanvändare.

Effekter på systemnivå

- SIO Grafen har lyckats väl med att etablera rätt kategorier och konstellationer av aktörer med spännvidd från forskning till marknad. Att antalet aktörer inom programmet har ökat kontinuerligt under hela den verksamma perioden

indikerar att initiativen och aktiviteterna inom SIO Grafen har varit ändamålsenliga.

- SIO Grafen har byggt upp ett välbalanserat samarbete mellan aktörer kring grafen och andra 2D-material. Programmet har även bidragit till att utvidga systemet genom att underlätta för nya aktörer (startups).
- SIO Grafen har en bred tillämpning och programmet har lyckats väl med att knyta ihop företag från olika branscher. Programmet har vävt in arbetsmiljö- och hälsoaspekter och därigenom även inkluderat offentliga organisationer – en i sammanhanget perifer aktörskategori.
- Programmet har möjliggjort framgångsrik kunskapsöverföring genom ett nära samarbete mellan experter, forskarnätverk (doktorandnätverk), och nätverksträffar med industrin.
- Ännu återstår arbete vad gäller standardisering av grafenmaterialen. Här pågår aktiviteter vid programkontoret och genom enskilda/strategiska projekt. Utan en kontinuerlig och reproducerbar framställning av grafenmaterial är det svårt att locka större företag att ta sig an grafenproducerade produkter, vilket även gäller internationellt. Svenska aktörer ligger i framkant och med ytterligare satsningar finns möjlighet att göra grafenproduktion till ett svenskt styrkeområde.

Mervärde

- Det ekosystem som SIO Grafen bidragit till att skapa kring grafen och andra 2D-material hade sannolikt inte existerat i någon betydande omfattning utan programmets insatser. Eftersom grafenområdet saknat en samlande aktör, exempelvis en branschorganisation, har programmet satt samman en ny samling individer och organisationer som har varit öppna för samarbete.
- SIO Grafen har genom att aktivera en bredd av svenska aktörer på ett bra sätt nyttjat och kompletterat internationella satsningar. Svenska aktörer kan med hjälp av programmet även agera i en internationell kontext genom Graphene Flagship.
- De strategiska projekt som har bedrivits inom bland annat standardisering och optimering hade inte skett utan SIO Grafen, vilket visar på ett direkt mervärde av programmet.
- SIO Grafen har bidragit till en koncentration av främst offentlig men även privat finansiering till området.
- SIO Grafen har även fungerat som en katalysator för intresset för grafen inom industrin, och synliggjort 2D-materialens betydelse. Här har man åstadkommit ett tydligt engagemang särskilt från SMF.

Bidrag till de övergripande effektmålen för instrumentet Strategiska innovationsprogram

Instrumentets övergripande effektmål:

1. Stärkt hållbar tillväxt.
 2. Stärkt konkurrenskraft och ökad export för svenskt näringsliv.
 3. Att göra Sverige till ett attraktivt land att investera och bedriva verksamhet i.
 4. Hållbar samhällsutveckling som tryggar försörjning, välfärd, miljö- och energipolitiska mål.
 5. Skapa förutsättningar för hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar.
- SIO Grafen har en potential att bidra till samtliga effektmål. Grafen är en möjliggörande nyckelteknologi som kan bidra till utveckling och tillväxt inom flera sektorer. Grafen har även potential att leda till mer hållbara lösningar och applikationer och således att leda till **stärkt hållbar tillväxt**. Av samma skäl bidrar programmet till **hållbar samhällsutveckling** och **hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar**.
 - SIO Grafen har bidragit till att grafen är ett svenskt profilområde, och till att bygga upp värdekedjor och värdenätverk som ofta är helt inhemska. Sverige råder idag över grafengruvor,⁷⁰ grafenleverantörer, och grafenanvändare som tillsammans har en potential att bidra till **stärkt konkurrenskraft och ökad export för svenskt näringsliv**.
 - Genom att etablera ett ekosystem kring grafen och andra 2D-material, samt göra insatser för kompetensutveckling och strukturella insatser för standardisering och arbetsmiljö, har SIO Grafen bidragit till att **göra Sverige till ett mer attraktivt land att investera och bedriva verksamhet i**.

Övergripande omdöme

- SIO Grafen är ett välskött program med god strategisk förmåga, god kommunikation och exempel på konkreta resultat. Programmet är ett bra exempel på hur SIP-instrument kan användas transformativt och effektivt för ett framväxande fält. Programaktiviteterna har bidragit till framväxten av ett innovationsekosystem, flera start-ups, och färdiga produkter.
- SIO Grafens styrkor inkluderar:
 - a. Programmet har genom skickligt nätverkande byggt upp inhemska värdenätverk som kan göra Sverige till ett föregångsland samt ge hög resiliens inom ett område som bland annat har militärindustriella implikationer.

⁷⁰ Exempelvis har Mark- och miljödomstolen beviljat miljötillstånd, inklusive bland Natura 2000-tillstånd, för Talga AB:s planerade grafitgruva i Vittangi i Kiruna kommun. I Hälsingland finns även en grafitgruva där Woxna Graphite bryter, för tillverkningen av grafen hos 2D Fab.

- b. SIO Grafen har på ett genomtänkt sätt nyttjat Graphene Flagship som stöd i sitt ekosystem och med en god strategisk användning av sina begränsade resurser uppnått intressanta synergieffekter.
 - c. Programmets FoU-inriktning har givit strategiska inputs vad gäller uppskalning och industriella produktionsmetoder, samt även format de strukturella förutsättningarna genom enskilda projekt inom bland annat standardisering.
 - d. SIO Grafen utmärks av hög flexibilitet, agilt agerande och god omvärldsbevakning, vilket har främjat programmets resultat.
 - e. Programcheferna arbetar redan proaktivt med att utveckla en exitstrategi som adresserar olika scenarier som bygger på det tidigare arbetet stakar ut möjliga framtidsvisioner.
- Programmet har begränsningar men få tydliga svagheter. Det har förfogat över alltför begränsade resurser för att satsa på längre och större projekt, även om det tack vare tillförsel av extra resurser från Vinnova har kunnat möta områdets mognad med en högre andel demonstratorprojekt under etapp tre. En annan svårighet för programmet är bredden av användningsområden för grafen och andra 2D-material. Ur ett innovationsperspektiv blir det då svårt med fokuserad uppskalning. Programmet har en hög medvetenhet om detta.

Rekommendationer

- Fortsätt precisera strategin för framtidens 2D-materialutveckling i Sverige. Utforska möjligheten att ta fram en gemensam meta-agenda eller *position paper* om avancerade material med andra SIPar.
- Fortsätt fördjupa det narrativ som finns kring grafenområdet. Vidareutveckla ett tilltalande narrativ som synliggör det värde grafen/ 2D-material/ avancerade material som profilområde kan tillföra Sverige. Utveckla ett sådant narrativ utifrån en intressentanalys, för anpassning till olika målgrupper (politik, investerare, näringsliv).
- Säkra varaktighet av resultat utifrån SIO Grafens påbörjade arbete gällande standardisering, arbetsmiljö och hållbarhet. Säkerställ ett ramverk för framtiden (Graphene Forum).