



 SIO GRAFEN

Grafen: En svensk roadmap

Kompositer & Ytbeläggningar

L. Dahlen¹, H. Rosén², S.J. Savage¹, S. Charpentier³ and
S. Sörensen¹

¹Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI)

²Konsert Strategy & IP

³Chalmers Industriteknik (CIT)

2017-03-30

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Sammanfattning

Detta projekt har syftat till att utveckla roadmappar för grafenteknologier baserat på aktuella förutsättningar och förväntningar inom svensk industri, samt med fokus på tillämpningar inom ytbeläggningar och kompositer. Metoden som tillämpats är vedertagen och är baserad på intervjuer och en SWOT-analys (styrkor-svagheter-möjligheter-hot). Två roadmappar har utarbetats och sedan jämförts med andra tillgängliga roadmappar, vilka inte fokuserade på svenska förutsättningar, vilka hade en större bredd med fokus på vetenskap såväl som industriella tillämpningar.

Jämförelsen indikerade inte att svensk industri borde ha sämre förutsättningar för att utveckla nya grafenbaserade produkter. Vad man kan se är att svensk industri är mer optimistisk när det gäller den tid som krävs för att utveckla nya produkter, speciellt när det gäller ytbeläggningar, jämfört med utländska aktörer. Det kan dock inte bekräftas att detta beror på högre tekniskt kunnande. Bristen på standardisering, svårigheter kring uppskalning av produktionsprocesserna och det höga råvarumaterialpriset förutses idag vara de största hindren för utvecklingen av nya grafenbaserade produkter. Grafens stora potential inom nya tillämpningar och det starka samarbetsnätverket i Sverige värderas vara faktorer som har den mest positiva påverkan på utvecklingen av nya grafenprodukter.

Det kan dock inte bekräftas att detta beror på högre tekniskt kunnande. Bristen på standardisering, svårigheter kring uppskalning av produktionsprocesserna och det höga råvarumaterialpriset förutses idag vara de största hindren för utvecklingen av nya grafenbaserade produkter. Grafens stora potential inom nya tillämpningar och det starka samarbetsnätverket i Sverige värderas vara faktorer som har den mest positiva påverkan på utvecklingen av nya grafenprodukter.

Nyckelord: grafen, roadmap, ytbeläggningar, kompositer

Summary

This project has developed roadmaps for graphene technologies based on current conditions and the expectations of Swedish industry and with a focus on applications in coatings and composites. The method which was used is well established and is based on interviews and a

strength-weakness-opportunity-threat (SWOT) analysis. Two roadmaps were developed and compared with other available roadmaps, which did not focus on Swedish conditions and which were much broader, with a focus on science as well as industrial applications.

The comparison did not indicate that Swedish industry should have any disadvantage to develop new graphene-based products. What can be seen is that Swedish industry is very optimistic with respect to the time needed to develop new products, in particular regarding coatings, compared to foreign actors. However, it cannot be confirmed that this is due to higher technical knowledge. The lack of standardisation, difficulties in scaling up and the high price of raw material are anticipated to have the most negative impact on the development of new products. The potential of graphene for new applications and the strength of the collaboration network in Sweden have been identified as factors with the most positive impact on the development of new graphene products.

Keywords: graphene, roadmap, coatings, composites

Innehåll:

Sammanfattning	2
Summary	2
Inledning	5
Rapportens upplägg	5
1. Grafen i kompositer och ytbeläggningar	5
1.1 Kompositer	6
1.2 Ytbeläggningar	11
2. Roadmap	15
2.1 Metod	15
2.2 Resultat	16
2.3 Kommentar på metoden	20
3. SWOT-analys	20
3.1 Metod	20
3.2 Resultat	24
4. Slutsatser	26
5. Bilagor	28
5.1 Intervjuerna	28
5.2 TRL-guide	33
5.3 Roadmappar, sammanställda av flera intervjuer	34
5.4 Underlag till roadmap och förutsättningar och hinder	36
5.5 Referenser	38

Inledning

Det finns ett antal publicerade roadmaps (se listan i bilagan, avsnitt 5.5) som behandlar grafen och grafenteknologier. Dessa roadmaps betraktar ämnet utifrån breda områden ur forsknings- och utvecklingsperspektiv, men det finns ingen roadmap som fokuserar på tillämpningar som är viktiga för svensk industri.

Denna första svenska roadmap fokuserar på två av de områden som identifierats vara av störst intresse för svenska aktörer inom (i) fiber- och polymerkompositer och inom (ii) ytbeläggningar.

Med roadmappen skapas en bättre uppfattning om statusen på dagens teknologi och hur utvecklingen kan komma att fortsätta under de kommande åren. Den kartlägger varför grafen är intressant för de svenska företagen och vilka hinder och utmaningar som är viktigast att lösa. Kompositer och ytbeläggningar är viktiga teknikområden i Sverige, både för företag som tillverkar en systemprodukt eller komponenter och för materialleverantörer.

Roadmappens mål är att identifiera vad svenska företag prioriterar inom grafenområdet och förväntningarna inför de kommande 15 åren. Resultaten av roadmappen förväntas också ge värdefull information inför SIO Grafens planerade uppdatering av innovationsagendan under våren 2017 samt information om vilka aktiviteter SIO Grafen bör stödja framöver.

Rapportens upplägg

Rapporten inleds med en översikt över några av de grafentillämpningar som är eller kan bli aktuella inom områdena kompositer och ytbeläggningar.

Rapporten fortsätter med en presentation av två svenska roadmappar, en för kompositer och en för ytbeläggningar.

I nästa avsnitt redovisas resultatet av den genomförda SWOT-analysen, följt av de slutsatser man kan dra av det genomförda arbetet.

Rapporten avslutas med bilagor som inkluderar bakgrundsuppgifter och fördjupningar.

Grafen i kompositer och ytbeläggningar

Grafen, ett material som bara är ett atomlager tjockt, har ett brett spektrum av extraordinära egenskaper. Det leder både värme och elektricitet mycket bra, är ogenomträngligt för vätskor

och gaser, samtidigt som det är både böjbart och starkt. Det unika med ”supermaterialet” grafen är multifunktionaliteten, vilket innebär att samtliga egenskaper kan uppnås samtidigt i ett enda material. Grafen kan produceras genom flera olika metoder¹ som i sin tur ger olika kvaliteter och i viss mån olika egenskaper beroende på tillämpningen.

Tillämpningar för ytbeläggningar och kompositer innehållande grafenbaserad teknologi utgör en stor andel av de tillämpningar som kan ligga närmast marknaden. Jämfört till exempel med tillämpningar inom högfrekvenselektronik och biosensorer där tiden till marknaden är längre. TRL²-nivån för kompositer och ytbeläggningar är högre och många produkter kan redan identifieras. Detta ska dock inte tolkas som att tekniken är mogen, trots att det redan säljs ett antal konsumentprodukter (främst sportutrustning). En uppenbar nackdel är att man konkurrerar med produkter som är etablerade på marknaden, och då måste fördelarna hos en grafenförbättrad produkt vara betydligt fler jämfört med nackdelarna hos den befintliga produkten. Listan här nedanför ska inte betraktas som uttömmande och är bara till för att ge förslag på tänkbara tillämpningar som är särskilt intressanta för svensk industri.

1.1 Kompositer

Det finns en stor mängd olika kompositmaterial, varav de flesta består av kompositer med organiska (det vill säga polymeriska och elastomeriska) matriser. Metallmatriskompositer och kerammatriskompositer produceras och används, men i betydligt mindre volymer inom nischapplikationer.

1.1.1 Polymerkompositer

Det finns ett stort antal polymerkompositer där olika polymerer utgör matrisen. De allra flesta ”plaster” som används idag är kompositer, då de innehåller tillsatser av olika partiklar för att modifiera matrisens styvhet, hållfasthet, brottseghet, tøjbarhet, värme- och elektriska

¹ Mer information om grafen och de metoder man kan använda för att producera grafen för att användas i kompositer och ytbeläggningar finns i Research Intelligence-rapporten publicerad av SIO Grafen i juni 2016 (http://siografen.se/wp-content/uploads/2016/05/ResearchIntelligens_siografen_2016-1.pdf).

² TRL = Technology Readiness Level. Se bilagan i avsnitt 5.2 för en beskrivning

ledningsförmåga eller brandbeständighet. Både termoplast och hårdplast förekommer. Även en del lim (till exempel epoxilim) kan vara en komposit.

Det finns även ett antal fiberförstärkta kompositer, varav de vanligaste är kolfiber- och glasfiberkompositer, vilka används i strukturella element för flygplan (för ving- och flygplanskroppar), inom sportartiklar (racketar, klubbor, stavar och ramar, etc.), båtar och fartyg (skrov och överbyggnad etc.) och inom byggmaterial och infrastruktur (broar, rör, paneler, etc.). Övriga kompositer som troligtvis inte berörs av grafen inkluderar kompositer innehållande naturfiber som hampa-, lin-, och kenaffibrer vilka exempelvis används inom bilindustrin.

Inom detta delområde pågår projektet ”Saintshield DX3-Bulletproof” inom ramen för SIO Grafen.

Kolfiberförstärkta kompositer används oftast i krävande tillämpningar för flygplan, där fibrerna hålls på plats och mekaniska laster överförs genom matrisen som kan vara epoxi eller vinylester. Matrisen utgör cirka 30 volymprocent av materialet och något mindre i viktsprocent. Epoxi är skört och är därför ett relativt dåligt konstruktionsmaterial. En stöt eller ett slag med en relativt låg kraft kan orsaka sprickor i matrisen även om kolfibrerna är relativt oskadda. Sådana sprickor är svåra att upptäcka med dagens icke-förstörande provningsteknik och är väldigt svåra att åtgärda.

Ytterligare ett problem är att matrisen absorberar vatten, vilket leder till sänkt hållfasthet. Detta är särskilt problematiskt om flygplan och helikoptrar flyger i varma och fuktiga så kallade ”hot & wet”-miljöer. Strukturen måste därför överdimensioneras för att kunna användas i de tuffaste av miljöer och detta leder till en högre vikt, högre bränsleförbrukning och en större materialåtgång.

Genom att blanda in grafen- eller grafenoxidflagor i matrisen kan man båda höja brottsegheten och sänka vattenabsorptionen. Eftersom tillämpningar för flygplanssystem kräver en omfattande certifiering kommer en implementering att dröja, men de första forskningsresultaten är lovande.

Ett liknande resonemang kan appliceras på epoxilim. Om grafen används kan man få en högre elektrisk ledningsförmåga. Exempel på tänkbara tillämpningar inkluderar:

- Flygplanssystem (vingar, flygplanskroppar)

- Vindkraftverk
- Radomer

Ett tillämpningsområde som inte ställer lika höga krav på certifiering är sportutrustning såsom tennisracketar, golfklubbor, skidor och cyklar, etc. Här är inte vattenabsorption särskilt besvärande, däremot är hållfastheten och framförallt styvheten viktig. Om grafenflagor blandas in i kompositens matris ökar styvheten, vilket i sin tur kan möjliggöra designförbättringar, exempelvis en omfördelning av vikten eller en högre vridstyvhet. Det finns redan produkter på marknaden, till exempel tennisracketar, cykelhjul och basebollträn.

Till skillnad från fiberförstärkta kompositer, har isotropiska kompositer inga riktningsberoende egenskaper. Oftast används korta fibrer (exempelvis hackad glasfiber) eller partiklar för att modifiera matrisens hållfasthet, styvhet och brandbeständighet, etc. Genom att även inkludera grafen/grafenoxid kan man åstadkomma identiska förbättringar som nämns ovan, det vill säga lägre vattenabsorption, högre styvhet, högre värmeledningsförmåga och i de fall grafen (och inte grafenoxid) används ökar även den elektriska ledningsförmågan. Ytterligare en fördel är att matrisens brandbeständighet förbättras genom att diffusion av lättflyktiga ämnen som produceras hindras när matrisen bryts ner på grund av en förhöjd temperatur. Brinnhastigheten kan avsevärt sänkas, samtidigt som smältning och bildandet av brinnande droppar förhindras.

Polymerer som absorberar vatten och lösningsmedel sväller. Om tillämpningen kräver komponenter med stabila dimensioner är detta en nackdel som ibland kan lösas genom användningen av speciella polymerer med en lägre tendens till absorption. Det kan vara möjligt att i sådana fall använda en billigare polymer innehållande grafen.

- Alla möjliga typer av komponenter som tillverkas genom sprutformning, extrudering, blåsning, (eng. blowing) och gjutning, etc.

En speciell tillämpning där det ställs stora krav på transparens och diffusionstäthet är livsmedelsförpackningar som säljs direkt till konsumenten. Även icke-transparenta polymerer används i stor utsträckning för tråg och liknande emballering. Livsmedlens hållbarhet påverkas om vatten diffunderar ut eller om syrgas eller koldioxid diffunderar in i

förpackningen (därför används skyddsatmosfär i många fall). Genom att blanda in mycket små mängder av grafenoxid i plastfolien höjs dess diffusionstäthet.

- Livsmedelsförpackning (folier och tråg, etc.)

1.1.2 Elastomer

Elastomerer (gummi) används inom tillämpningar som tätning och packningar, friktionsutrustning (gripdon och dylikt), transportband och i däck till olika fordon och transportdon. Elastomerer för de allra flesta industriella tillämpningar innehåller partiklar av kimrök (eng. carbon black) för att öka gummits nötningsbeständighet. Försök pågår med att använda grafen som tillsats (troligtvis tillsammans med kimrök), där fördelarna som nämns inkluderar: högre styvhet (vilket leder till mindre deformation), högre värmeledningsförmåga (vilket leder till lägre arbetstemperatur) och högre punkteringsmotstånd för trycksatta komponenter som däck. Vissa produkter finns redan på marknaden:

- Cykeldäck, bildäck
- Gummipackningar
- Transportband
- Skyddskläder, handskar

1.1.3 Metallkompositer

Metallkompositer används i mindre utsträckning för exempelvis nisch tillämpningar inom elektronik, där det behövs en hög värmeledningsförmåga med en bestämd värmeutvidgningskoefficient som matchar, till exempel kisel. Det finns även tillämpningar för lättmetallkompositer (aluminium och eventuellt magnesium) i optiska tillämpningar, där dimensionell stabilitet är avgörande och i vissa tillämpningar där slitbeständighet i kombination med låg vikt och hög värmeledningsförmåga värderas högt, exempelvis i speciella friktionsprodukter. När det gäller metallkompositer innehållande grafen kan tillämpningar som elektriska ledare vara aktuella, kanske även för högtemperaturbruk. För att fördela grafen i koppar (och eventuellt i aluminium) i den grad som behövs för att nå maximal ledningsförmåga, finns i dag ingen etablerad tillverkningsteknik. Det krävs förmodligen någon form av pulvertechnik, kanske så kallad mekanisk legering (eng. mechanical alloying) följt av konsolidering genom pressning. Valsning eller extrudering skulle kunna vara ett alternativ.

- Högpresterande elektriska ledare, eventuellt för högtemperaturbruk, i motorer och generatorer.

1.1.4 Keramkompositer inklusive cement och betong

Keramkompositer har föreslagits som material för krävande tillämpningar i gasturbiner och i högpresterande lager. Det finns ett fåtal nischprodukter idag och det är möjligt att förstärkning med grafen eller grafenoxidflagor skulle kunna användas för att höja materialets brottstyrka. För vissa tillämpningar kan det vara bra att även öka keramens elektriska ledningsförmåga (till exempel vid avledning av läckström).

Det är troligt att grafen kan bidra till ovannämnda tillämpningar, men det krävs omfattande forskning och utveckling för att utveckla en process (höga temperaturer krävs) som skyddar grafen från oxidering under tillverkningen.

Keramer används som skyddsmaterial i skottsäkra västar och liknande tillämpningar som kräver låg vikt och robusthet. Än så länge har väldigt lite forskning gjorts, men ett fåtal rapporter indikerar att brottsegheten hos kiselnitrid och aluminiumoxid kan höjas avsevärt. Det finns inget direkt samband mellan brottseghet och ballistisk prestanda, men generellt är en hög brottseghet en fördel.

- Skottsäkra västar
- Lager, slitdetaljer
- Högtemperaturkomponenter

Cement och betong kan betraktas som kompositer (innehållande cement, sand, grus och eventuellt övriga tillsatser som polymerer och stålfiber) och det pågår försök att skapa ytterligare funktionaliteter för dessa material genom att tillsätta grafen eller grafenoxid. Det är möjligt att höja hållfastheten och värmeledningen och med tillsättandet av grafen går det även att höja materialets elektriska ledningsförmåga.

Eventuella fördelar utöver de som kommer från en högre hållfasthet inkluderar: lägre temperaturgradienter (till exempel under härdning) som leder till lägre interna spänningar och möjligheten att skydda ett utrymme i en byggnad från elektriskomagnetisk störning.

Det är ibland önskvärt att på avstånd kunna övervaka hur en struktur bibehåller sina egenskaper och funktioner. Detta gäller särskilt viktiga infrastrukturer som broar, dammar, ledningar, kulvertar och byggnader, etc.) men även objekt som fartygsskrov, vilka är stora och svåra eller omöjliga att inspektera manuellt. Tekniken som används idag är diskreta sensorer som mäter strukturens kondition såsom spänning, deformation och korrosion vid en viss punkt. Även om mätpunkten väljs med omsorg är detta dock bara en punktmätning och det krävs många mätpunkter för att göra en tillförlitlig bedömning av hela strukturen.

Det är eventuellt möjligt, genom att blanda in grafen i en struktur (som kan vara av plast eller till exempel cement eller betong), att kunna övervaka hela strukturen genom att övervaka en parameter såsom elektrisk motstånd. Tekniken är tilltalande då man skulle kunna få en tidig förvarning om sprickbildning eller korrosionsskador.

Inom detta delområde pågår projektet ”Grafenförstärkta betongpålar – industrialisering av funktionaliserad grafen i betong” och ”Longterm performance monitoring of concrete structures using a novel graphene-based DURABLE SENSOR” inom ramen för SIO Grafen.

1.2 Ytbeläggningar

Potentiella tillämpningar för grafen finns inom en bred kategori av produkter. Här nedanför finns en lista (utan prioritetsordning).

1.2.1 Korrosionsskyddande beläggningar på metall- och plastytor

Metallen kan exempelvis vara stål, gjutjärn, koppar och aluminium, etc. och de förväntade förbättringarna kan exempelvis vara längre livslängd, lägre kostnad eller en mer miljövänlig teknik. Grafen- eller grafenoxidflagor blandas in i en bindefas och appliceras som målarfärg. Fördelen är att bindefasen förstärks och blir mer robust samt att diffusionshastigheten av syrgas, vatten och övriga små molekyler reduceras.

Att man kan göra ytbeläggningen elektriskt ledande är troligtvis en fördel både då det ger korrosionsskydd (man undviker punktkorrosion) och eventuellt för att avleda oavsiktlig uppladdning (statisk elektricitet). Att en ytbeläggning som innehåller grafen kan få en högre termisk ledningsförmåga är troligtvis inte är någon nackdel i de flesta tillämpningar och är en definitiv fördel för värmeväxlare.

- På metallplåt inom bygg- och infrastruktur, exempelvis tak- och fasadplåt.

- På båt- och fartygsskrov.
- På flygplansdelar (metaller och ickemetaller).
- På metalldelar inom elektronik (lådor etc.).
- På bilkomponenter (underreden, rör, fästelement)
- På värmeväxlare inom transport-, bygg- och energisektorer

Inom detta delområde pågår projektet ”Grafen på fartygsskrov för minskad korrosion och påväxt” och ”Grafenbaserat korrosionsskydd med antifoulingegenskaper för plattvärmväxlare” inom ramen för SIO Grafen.

1.2.2 Diffusionsbarriärer

Det finns uppenbara tillämpningsområden exempelvis för livsmedelsförpackningar och liknande produkter men även nisch tillämpningar inom exempelvis rymdteknik. Grafen- eller grafenoxidflagor blandas in i en bindefas och stryks på pappret eller blandas in i en polymer.

I dag används aluminiumfolie som mellanskikt för att hindra syrgas och/eller koldioxid från att diffundera in i eller ut från livsmedelsförpackningar, som ibland måste vara transparanta. Eventuellt kan man byta ut glasförpackningar mot plast och därmed sänka vikten och därmed transportkostnaderna.

- Papper och kartong (för livsmedel som är känsliga för syrgas och koldioxid såsom juice och mjölk)
- Plast och kartong för mediciner
- Industrieförpackningar för detaljer som ska lagerhållas en längre tid utan oxidation/korrosion
- Plastflaskor för dryck (vatten, juice, öl och vin)
- Plastdetaljer som används inom rymdteknik, för att sänka utgasning av lättflyktiga föroreningar som kan skada optik och elektronik

Inom detta delområde pågår projektet ”Barriärbestrykning av grafen för pappersförpackningar” och ”Novel methods to include graphene as a packaging barrier” inom ramen för SIO Grafen.

1.2.3 Minskning av friktion och värmeutveckling

Det finns mängder av tillämpningar där metalldelar ligger an mot varandra. Även små rörelser och vibrationer kan göra att friktionsvärme och nötning uppstår (eng. fretting).

Slitagepartiklar kan förvärra nötningen. Problemet kan uppstå i så varierande tillämpningar som elektriska brytare/kontakter och fästelement där det i dag används guldplätering respektive kadmium för att undvika problemet. Grafen och grafenoxid appliceras på ytorna genom PVD, CVD³, eller liknande processer. Att grafen har en hög termisk och elektrisk ledningsförmåga är en definitiv fördel.

- Elektriska strömbrytare och kontakter
- Fästelement (brickor, skruv och mutter)

Inom detta delområde pågår projektet ”Nanokolbeläggning”, ”Grafenoxid – ett nytt smörjmedel i industriella tillämpningar” och ”Utveckling, verifiering och validering av grafenmatris för solenergi- och värmedriven värmepump” inom ramen för SIO Grafen.

1.2.4 Biostatiska beläggningar

I många tillämpningar är det av stor vikt att bakterier inte kan föröka sig och eventuellt leda till infektion. Det är en stor fördel att kunna förhindra bakterietillväxt utan att behöva använda bakteriedödande medel som kan leda till tolerans och resistens. Instrument och objekt som ska föras in i kroppen och vara där i timmar, dagar eller veckor, som katetrar och dräneringsslangar, är en återkommande källa för nosokomiala infektioner (infektioner som sprids inom vården). Idag används bakteriedödande beläggningar som silver, vilket har en okänd effekt på vävnaden och på miljön samt eventuellt kan leda till resistenta bakterier.

- Katetrar, dräneringsslangar och liknande tillfälliga implantat
- Sårförband (textil och plast). Inom detta delområde pågår projektet ”Grafenlager för att förhindra kateterrelaterad urinvägsinfektion” inom ramen för SIO Grafen.

³ PVD = Physical vapour deposition, CVD = chemical vapour deposition

1.2.5 Elektriskt ledande ytbeläggningar

I många tillämpningar är det en fördel om en yta kan värmas genom att leda elektrisk ström genom den, utan att det behövs speciella värmeelement, motståndstråd och liknande. Själva beläggningen fungerar som ett värmeelement, med fördelen att värmeutvecklingen sker jämnt (utan hotspots) och om en mindre skada skulle uppstå kan den vid behov lätt repareras. Typiska tillämpningar finns inom flygsektorn, men även inom byggsektorn, istället för motståndstråd som monteras i golvvärmesystem.

Det är en stor fördel om beläggningen kan avleda skadliga elektriska strömmar vid till exempel ett blixtnedslag. Moderna flygplan där stora delar av flygkroppen och vingarna utgörs av kompositer kan lätt bli skadade genom blixtnedslag, och nuvarande lösning är att montera in ett metallnät i strukturen. Denna lösning är besvärlig att reparera om en skada skulle uppstå och är inte vikeffektiv.

- Avisning (flygplan, vindkraftverk)
- Uppvärmning (byggnader, golvvärme)
- Blixtskydd (flygplan, vindkraftverk)

1.2.6 Textilier

Det är idag vanligt att täcka textilier med olika beläggningar för att åstadkomma olika egenskaper som vattenavvisning (hydrofobi), värmeisolering, antibakteriell (bakteriostatisk, bakteriedödande), brandmotstånd och elektrisk ledning. Det finns en mängd tillämpningar inom konfektion, skyddskläder för industriarbetare, så kallade funktionella kläder för utomhusliv och idrott, textilier för möbler och inredning (bilar, tåg, flygplan och offentliga byggnader) och för militära ändamål i till exempel kamouflagesystem.

Genom att belägga textilier med en tunn hinna grafen kan många av de ovannämnda egenskaperna uppnås, och det finns även möjligheter att blanda in grafen (eller grafenoxid) i själva fibern om denna kan spinnas från en konstgjord tråd. Den senare erbjuder möjligheterna att utveckla nya fibrer för användning i säkerhetstillämpningar i västar, handskar och hjälmar vilket i dag utgörs av Kevlar®, Dyneema® och liknande högpresterande fibrer.

- Elektrisk ledning (antistatisk, kamouflage, skyddskläder)

- Värmeisolerande (funktionella kläder och skyddskläder, konfektionskläder, kamouflagekläder)
- Fibrer för personliga skyddsutrustningar som västar, handskar, hjälmar

1.2.7 Transparens och elektrisk ledning

En stor och marknadsnära tillämpning för optiskt transparenta och elektriskt ledande grafenskikt finns inom konsumentelektronik. Alla så kallade pekskärmar använder i dag ett transparent och ledande skikt av indiumtennoxid (ITO) som elektrod för att detektera brukarens pekningar. ITO är inte optimalt då den innehåller indium, en sällsynt och dyrbar metall och skiktet är sprött och lättskadat. Försök görs för att byta ut ITO mot ett nät av silvernanostrådar, men inte ens detta är optimalt om silvret senare måste återvinnas. Grafen med dess bredbandiga optiska transparens, utmärkta ledningsförmåga och extrema elasticitet antas vara idealisk för ändamålet. Stora investeringar görs i Asien för att tillverka stora ytor av grafen, lämpliga för överföring till glas och plastsubstrat för tillämpningar inom bärbar konsumentelektronik, böjbara skärmar och displayer i TV-apparater och datorer.

- Displayer och skärmar
- Pekskaer (bärbar konsumentelektronik)
- Böjbara skärmar

Roadmap

2.1 Metod

Metoden som användes för att utveckla roadmappen bygger på telefonintervjuer med ett flertal företag där vi kände till deras intresse av att utveckla, tillverka eller använda grafen i olika tillämpningar, samt bygger på diskussioner vid en workshop som var öppen för alla.

Intervjumetoden beskrivs närmare i bilaga 5.1.1.

På workshoppen (som hölls den 24 november 2016) deltog cirka 20 personer, varav ett antal av dessa hade blivit intervjuade tidigare. Där presenterades:

- Exempel på grafontillämpningar som är relevanta för svenskt näringsliv

- En sammanställning av intervjuerna och en preliminär roadmap
- SWOT-analysen

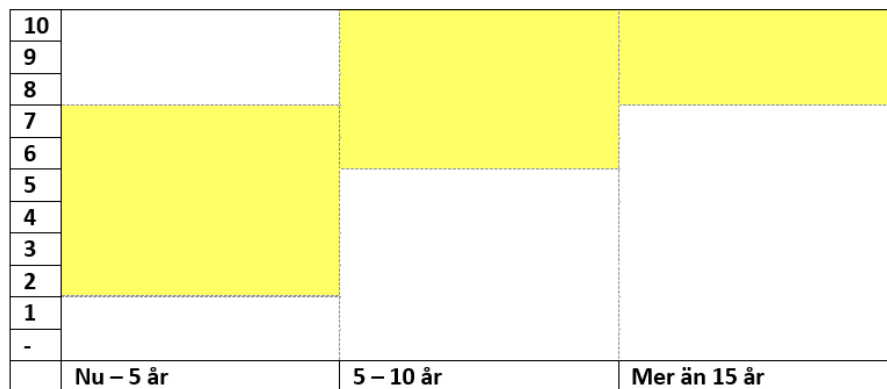
Under workshopen fanns det gott om tid för diskussioner vilka stundtals blev ganska livliga. Samtliga kommentarer antecknades.

Efter workshopen analyserades anteckningarna och rapporten över roadmappen reviderades.

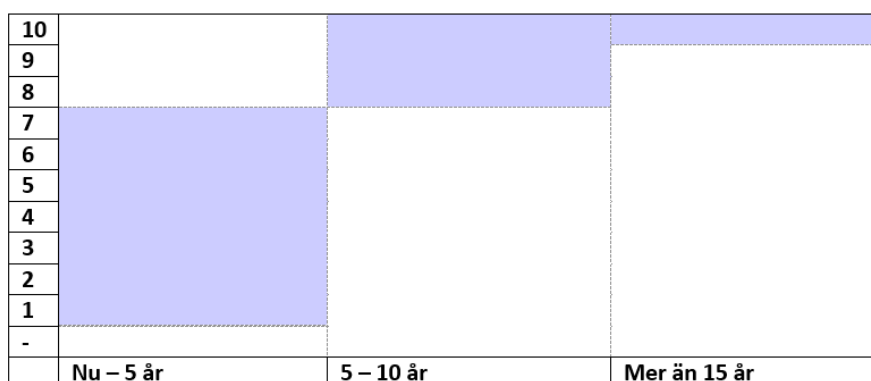
2.2 Resultat

Intervjuerna delades upp i tillämpningar inom kompositområdet respektive ytbeläggningsområdet (åtta inom komposit respektive tio inom ytbeläggning). En intervjuperson hade erfarenheter från båda områdena och denna intervju ligger därför till grund för både komposit och ytbeläggningar. Det gjordes också en uppdelning efter företagets storlek (antalet anställda). En redovisning av denna analys återfinns i bilagan, under avsnitt 5.4.

Intervjupersonerna fick beskriva sitt företags nuvarande grafentillämpningar och ange den tekniska mognadsgraden (TRL) för dessa. De fick därefter uppskatta vilken teknisk mognadsnivå tillämpningarna kommer att ha om fem respektive 15 år. Intervjupersonerna fick själva välja om de skulle beskriva mognadsnivån med hjälp av TRL-skalan eller beskriva den på annat sätt (till exempel att ”det är på forskningsstadiet”). Samtliga svar översattes till TRL-nivåer och ritades in i roadmappen. Eftersom tidsspannen är relativt grova kan man inte dra några slutsatser om när eller hur övergången mellan nivåerna sker utifrån intervjuerna. De båda roadmapparna för komposit respektive ytbeläggningar ses i Figur 1 och Figur 2 här nedanför.



Figur 1: Roadmap för samtliga kompositområden representerat av TRL-nivåer inom tidsintervallen 0-5 år, 5-10 år och mer än 15 år utifrån intervjuresultaten.



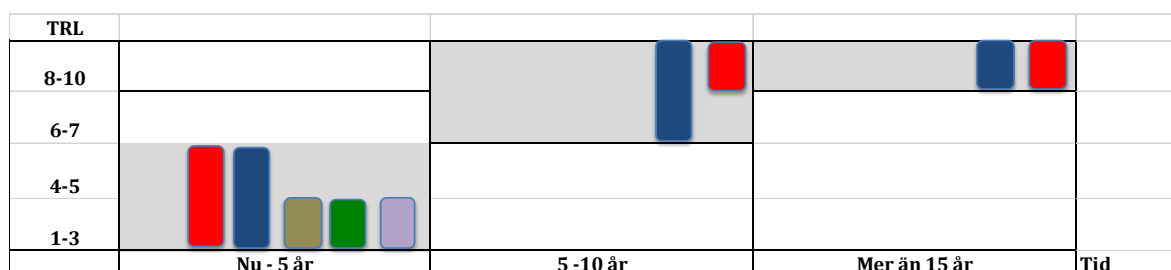
Figur 2: Roadmap för ytbeläggningar representerat av TRL-nivåer inom tidsintervallen 0-5 år, 5-10 år och mer än 15 år utifrån intervjuresultaten

I bilagan, under avsnitt 5.3 återfinns roadmappar som visar respektive intervjupersons bedömning av sitt företags TRL-nivå och en sammanställning över intervjusvaren i några olika skärningar.

Nedanför (i figur 3 och 4) finns en sammanställning över informationen från övriga roadmappar (se bilagan, avsnitt 5.5 för listan), uppdelat som tillämpningar inom ytbeläggningar och kompositer.



Figur 3: Roadmap för kompositer. Grå färg visar intervallet för TRL-nivåer inom alla applikationsområden. De olika applikationsområdena visas i olika färger - blå: polymerkompositer för mekanisk förstärkning, orange: polymerkompositer som utnyttjar elektriskt ledande förmåga, gul: metallkompositer och grön: keramkompositer.



Figur 4: Roadmap för ytbeläggningar. Ljusblå färg visar intervallet för TRL-nivåer inom alla applikationsområden. De olika applikationsområdena visas i olika färger - röd: skyddande beläggningar, mörkblå: minskning av friktion och värmeutveckling, brun: diffusionbarriärer, grön: elektriskt ledande ytbeläggningar och lila: biostatiska beläggningar.

En trend som är tydlig från de svenska roadmapparna är att det förväntas bli en snabb, ibland väldigt snabb mognad, från en låg TRL-nivå till en relativt hög TRL-nivå vilken ibland motsvarar en demonstrator eller en högre nivå inom endast fem år. Man kan inte påstå att detta är omöjligt, men det kan inte förväntas bli en allmän trend. Detta gäller särskilt ytbeläggningar, där en snabbare mognad kan förväntas (jämfört med kompositer) på grund av att det i många fall är mycket lättare att byta ut en befintlig (eller eventuellt obefintlig) ytbeläggning mot en ny och bättre på en befintlig produkt, än att utveckla en ny kompositprodukt där det troligtvis ställs högre krav på mekaniska egenskaper, kanske i säkerhetskritiska tillämpningar.

Ett exempel på en ytbeläggning som snabbt kan tänkas nå en högre TRL-nivå är korrosionsskydd eller antifoulingbeläggningar på båtskrov, eller inom övriga produkter, exempelvis målarfärg som skyddar ett underlag mot en aggressiv miljö.

Det är svårare att förutspå exakt vilka nya tillämpningar för grafen i kompositer som kommer att utvecklas snabbast på grund av att ett flertal ”konkurrerar” om positionen och eftersom det redan finns flera konsumentprodukter på marknaden. Sannolikt kommer nya produkter att följa efter dessa med inriktning på sportartiklar. Ingen av de svenska aktörerna som intervjuades inriktar sig på just denna typ av produkter. Det är tekniskt möjligt att producera båtskrov i grafen-förbättrade kompositer och liknande produkter utan att dra på sig alltför höga kostnader. Ett liknande resonemang kan tillämpas på övriga kompositprodukter av vilka det finns många producenter i Sverige. Vilken produkt som först når marknaden kommer snarare att bero mer på tiden som krävs för att utveckla en ny design eller för att modifiera en befintlig design och implementera den i produktionen, snarare än att utveckla ett nytt grafenbaserat material. Eftersom svenska producenter av ”grafen-grundmaterial” (grafen och grafen-modifierade mono- och polymerer, originalblandningar och liknande) inte har kommit lika långt som materialleverantörerna utanför Sverige, bör/rekommenderas de företag som vill *använda* grafen, snarare än att *producera* grafen, undersöka möjligheterna att åtminstone under en inledande utvecklingsfas köpa in sina råvaror från utlandet.

Man ska ha i åtanke att olika tillämpningar/produkter dels tar olika tid i anspråk för att utveckla och dels kan de ha väldigt olika livslängder. Det sistnämnda är viktigt om en ny produkt ska ersätta en befintlig som har en lång livstid. Innan en ny produkt kommer att köpas in måste man helt enkelt vänta med att byta ut den gamla produkten tills den inte längre är användbar eller tills det är oekonomiskt med fortsatt användning. Produkter som byts relativt ofta återfinns inom bilindustrin där det finns ett flertal svenska underleverantörer. Det framgår inte av denna studie om dessa aktörer är medvetna om möjliga tillämpningar med grafen.

Det är lätt få uppfattningen att mindre aktörer som beslutat sig för att påbörja en produktutveckling kanske underskattar de hinder som kommer att uppstå, medan de som inte har fattat ett sådant beslut överskattar eventuella hinder. Detta bygger troligtvis på bristande erfarenhet av både grafenmaterial och av produktutvecklingsprocessen. Större företag som har tillgång till fler resurser (både personal, kompetens och ekonomiska) däremot, förväntas fatta sina beslut på säkrare grunder. Resonemanget gäller oavsett vilka teknologier man studerar,

men det finns ingen anledning att tro att grafentechnologier undantas från regeln. Tyvärr underrepresenterades större företag i undersökningen, så trenden kan varken bekräftas eller dementeras.

Det som skulle ge mindre aktörer större chanser till framgång är tillgången till kunskaper och en kompetensbank, vilket är just det stöd som SIO Grafen kan ge företag.

Övrigt

Många av de intervjuade uttalar sig positivt om det stöd de fått av SIO Grafen och Vinnova. För vissa företag är det detta stöd som möjliggjort att man kunnat driva utvecklingsprojekt inom grafenområdet. Det förekommer även samarbeten med universitet och högskolor, både i och utanför Sverige.

2.3 Kommentar på metoden

17 intervjuer är ett litet urval och det är svårt att dra några generella slutsatser utifrån det. Utöver detta finns det några möjliga felkällor som kan vara värda att nämna.

- Samtliga sex företag som tackade nej till intervjun eller som inte svarade på förfrågan var företag med fler än 250 anställda, vilket kan innebära att resultaten är mer representativt för mindre företag. Samtidigt är det sannolikt att det är just dessa företag som kan dra mest nytta av denna roadmap.
- Intervjupersonernas tolkning av frågorna – frågorna var relativt öppna och gav utrymme för olika tolkningar. Företagen har dessutom mycket varierande verksamhet, från rena forskningsinstitut till mindre tillverkare – till stora företag med både tillverkning och forskning. Det kan därför vara svårt att svara på hur företagets grafentillämpningar ser ut om 5 eller 15 år. Är det den nivå som företaget själv jobbar på eller är det en tillämpning som man utvecklat och som någon annan nu tagit till en högre mognadsnivå? Svaren visar att det finns olika tolkningar av frågan.

SWOT-analys

3.1 Metod

SWOT-analysen baserades på en allmänt tillgänglig SWOT-metodik, som syftar till att utforska:

- *Styrkor*: Interna faktorer som innebär en fördel jämfört med andra aktörer/alternativ;
- *Svagheter*: Interna faktorer som innebär en nackdel jämfört med andra aktörer/alternativ;
- *Möjligheter*: Externa faktorer som skulle kunna leda till framtida fördelar; och
- *Risker*: Externa faktorer som skulle kunna leda till framtida nackdelar.

Dessa kategorier av faktorer användes för att konstruera fyra scenarier över svensk industris förutsättningar att tillämpa grafen i sin verksamhet.

1. Styrkescenario: Respondenten upplever att det finns inneboende faktorer i den egna organisationen eller i grafen i sig, vilket gör att man har förutsättningar att dra nytta av grafen;
2. Svaghetsscenario: Respondenten upplever att det finns inneboende faktorer i den egna organisationen eller i grafen i sig vilket gör att man saknar förutsättningar att kunna dra nytta av grafen;
3. Möjlighetsscenario: Respondenten upplever att det finns externa faktorer som ger grafen potential att skapa värde för den egna organisationen; och
4. Möjlighetsscenario: Respondenten upplever att det finns externa faktorer som riskerar att hindra potentialen med grafen att kunna skapa värde för den egna organisationen.

Dessa scenarier användes som underlag för intervjufrågorna i intervjustudien. Svaren gick igenom för att hitta möjligheter till klustring i de fall där olika svar bedömdes ha samma innebörd. (Exempelvis klustrades svaren där en respondent uttryckte oro kring vad som skulle kunna upptäckas kring grafens inverkan över tid när det gäller hälsoaspekter och en annan respondent uttryckte att potentiell toxicitet var ett problem, vilket var två svar med samma innebörd). En kvantitativ analys genomfördes sen på de klustrade svaren, och resultaten anonymiserades samt sammanställdes för att diskuteras i en intressent-workshop den 24 november 2016, för att sedan presenteras i denna rapport.

3.1.1 Styrkescenarier

Kompetenser: Vi har tillgång till nödvändiga kompetenser inom GRM (grafens och besläktade material), exempelvis genom:

- Vår egen verksamhet, eller är tillgängligt på arbetsmarknaden;
- Samarbeten med universitet och högskolor; eller

- Samarbeten med institutssektorn.

Materialegenskaper: GRM har just nu egenskaper som gör det lämpligt för vår verksamhet, exempelvis som:

- Bättre substitut till de material vi använder idag; eller
- En möjliggörande teknik som kan förbättra våra processer eller produkter;

Materialtillgång: Vi har tillgång till nödvändiga leverantörer, material, eller utrustning, inom exempelvis:

- Materialtillverkning;
- Materialkaraktärisering eller överföring; eller
- Integration eller systemutveckling.

3.1.2 Svaghetsscenarier

Kompetenser: Vi saknar nödvändiga kompetenser inom GRM (grafen och besläktade material), som behövs för att:

- Utveckla eller tillämpa GRM inom vår verksamhet; eller att
- Identifiera möjligheter och besluta om användningen av GRM i vår verksamhet.

Materialegenskaper: GRM saknar egenskaper som gör det lämpligt för vår verksamhet, exempelvis:

- GRM-egenskaperna är inte relevanta eller möjliggör ingen konkurrensfördel för oss;
- GRM har stora nackdelar i dagsläget som minimerar eller tar bort fördelarna; eller
- GRM saknar tillräcklig mognadsgrad för att tillämpas industriellt.

Materialtillgång: Vi saknar tillgång till nödvändiga leverantörer eller material, och kan därför inte:

- Få tillgång till tillräckliga mängder av material med tillräckligt hög kvalitet för användning i vår verksamhet;
- Lita på kvaliteten i det material vi har tillgång till, eller så är det för svårt att använda i vår verksamhet; eller
- Skaffa kostnadseffektiv tillgång till integrationsmöjligheter.

3.1.3 Möjlighetsscenarier

Marknadserbjudanden: Vi skulle kunna erbjuda nya eller mer konkurrenskraftiga produkter eller tjänster vid implementering av GRM:

- Användning av GRM skulle innebära att vi erbjuder helt nya produkter eller tjänster, till existerande eller nya kunder; genom:
 - Tillgång till marknader som vi idag inte har någon närvaro på;
 - Nya investeringar eller kunder då vi nischer vår profil mot ett annat teknikområde; eller
- Användning av GRM skulle möjliggöra att vi förbättrar eller effektiviserar våra erbjudanden och blir mer konkurrenskraftiga på våra existerande marknader, genom:
 - ‘First-mover advantage’, det vill säga att vi positionerar oss på marknaden före våra konkurrenter;
 - Vi kan skapa ‘lock-in’ hos kunder som blir beroende av tillgången till våra unika lösningar eller kompetenser.

3.1.4 Riskscenarier

Materialegenskaper: Det visar sig aldrig vara möjligt att förverkliga potentialen i GRM för våra användningsområden då:

- GRM når aldrig tillräcklig “Technology Readiness Level (TRL)” (teknisk mognadsgrad)
- GRM når aldrig tillräcklig “Manufacturing Readiness Level (MRL)” (tillverkningsmognadsgrad)
- GRM når aldrig tillräcklig “Commercial Readiness Level (CRL)” (kommersiell mognadsgrad)

För sent marknadsinträde: Det visar sig aldrig vara möjligt att implementera konkurrenskraftiga GRM-lösningar, eftersom:

- Substitut utvecklas som överträffar GRM;
- Andra aktörer blir marknadsledande och knyter till sig nödvändiga leverantörer; eller
- IP (intellectual property)-landskapet (immateriella rättigheter) domineras av tidigare utvecklare, och det blir svårt för den egna organisationen att ta sig ut på marknaden.

3.2 Resultat

Den kvantitativa analysen av renskrivna svar identifierade följande datapunkter:

Styrkor	39
Svagheter	39
Möjligheter	17
Risker	34

Ur intervjuerna kunde flera tydliga teman utläsas, vilka handlade om styrkor, svagheter, möjligheter och risker. De svar som förekom mest frekvent visas här nedanför. Våra resultat stämmer överens med analysen som gjordes i Graphene Flagship's nya roadmap. Styrkan i det nationella nätverket och samarbete är något som inte kommer ut så tydligt på EU-nivå.

Resultat – Styrkor

Styrkor	Antal svar, kompositer och ytbeläggningar
Materialet har lämpliga egenskaper för kärnverksamheten	7
Samverkan med Chalmers	6
Sitter på kompetenser inom existerande bransch	4
Samverkan med SIO Grafen	3
Sitter på nödvändiga kompetenser	3

Resultat – Svagheter

Styrkor	Antal svar, kompositer och ytbeläggningar
Standarder saknas	6

Högt materialpris	5
Svårhanterat/svårproducerat	5
Varierande kvalitet	3

Resultat – Möjligheter

Styrkor	Antal svar, kompositer och ytbeläggningar
Möjligheter till nya produkter/egenskaper (till ex. lättvikt, barriärsegenskaper, multifunktionalitet)	8
Ersättning av existerande lösning	3

Resultat – Risker

Styrkor	Antal svar, kompositer och ytbeläggningar
Svårt att skala upp	5
Oklart patentläge	5
Osäkerhet kring toxicitet/miljöpåverkan	4
Svårt att garantera kvalitet	4
Saknas underleverantörer	4
Fortsatt högt pris	3
Livscykel okänd långsiktig hållbarhet och risker vid skrotning	3

Den kvantitativa analysen och diskussionen i workshopen visade en stor enighet kring den största svagheten med grafen vid industriell tillämpning: att än så länge är grafen inte tillgängligt till ett tillräckligt lågt pris och i en tillräckligt hög kvalitet. Utöver detta presenterades oklarheter kring toxicitet, skrotning och återvinning som framtida risker, särskilt för bolag med verksamhet inom kompositer och med storskalig produktion. Endast en av de tillfrågade aktörerna kände att de hade en tillräcklig patentportfölj för att kunna hävda sig mot andra aktörer på marknaden. Det kan noteras att institutsrepresentanterna uttryckte mindre oro för potentiella hot än de från industrin, då man inte riskerade att göra samma investeringar som en industripart.

Vad gäller styrkor såg många aktörer att de har möjlighet att använda sina nuvarande starka marknadspositioner till att även framöver kunna konkurrera framgångsrikt. Resonemanget som uttrycktes var att med tydliga kundkanaler och nätverk för produkter utan grafen kan man lätt hantera övergången och implementering av grafen. Man såg också många möjligheter att utveckla nya funktioner eller produkter, med fokus på lätt vikt, termisk och elektrisk ledning, samt barriäregenskaper. Samverkan med akademien, särskilt med Chalmers och SIO Grafen, lyftes fram om och om igen som en styrka, vilket delvis får antas var ett resultat av urvalet av intervjuade organisationer, men vilket även reflekterade det bidrag som samarbetena mellan akademi och industri tillför i tidiga utvecklingsskeden.

4. Slutsatser

Inom området ytbeläggningar visade de svenska aktörerna en förväntan på en snabb ökning av TRL-nivåerna för grafentillämpningar under kommande år och på att svenska produkter med grafenytbeläggningar kommer att nå marknaden inom 5 år. Detta korresponderar väl med slutsatserna från den europeiska kartläggningen. Detta beror förmodligen delvis på att det mer handlar om en utveckling av befintliga produkter än om helt nya produkter och delvis på en förväntan att material som beläggs inte skall påverka adhesion och funktion i någon större utsträckning. Gradvisa förbättringar av produkter, som förlitar sig på redan befintliga nätverk och värdekedjor, kommer att underlätta utvecklingen på kortare sikt.

Inom kompositområdet är svaren inte lika tydliga kring vilka produkter eller marknadssegment som har kortast tid till marknaden. Europeiska tillverkare har redan fått ut

ett flertal sportutrustningar innehållande grafen på marknaden, men denna industribransch är inte dominant i Sverige. Det är ändå troligt med gradvisa förbättringar där grafen ersätter ett annat material i en befintlig produkt, snarare än att helt nya produkter når marknaden inom ett kortare tidsperspektiv. Detta stämmer bra överens med förväntningarna på den europeiska marknaden.

Det är lätt att få uppfattningen att mindre aktörer som beslutat sig för att påbörja en produktutveckling kanske inte har en helt realistisk bedömning av de svårigheter som ligger framför dem. Däremot kan mindre företag anpassa sig och sina produkter enklare och snabbare, trots att de saknar viktig finansiering som däremot större företag har. Den fortsatta tillgången på kort- och långsiktig finansiering från SIO Grafen och Vinnova kommer säkert att bidra till att stödja utvecklingen av produkter baserade på grafen.

Analysen visade också att användarna i slutet av leverantörskedjan identifierade bristen på hög kvalitet och billigt grafen som de största svagheterna och riskerna. Däremot förväntas en ökad efterfrågan göra att leverantörerna tvingas optimera sina processer och priset skulle då sjunka. När det gäller möjligheter och styrkor är Sverige särskilt väl lämpat för att stödja utvecklingen av produkter baserade på grafen. Delvis för att samverkan ses som stark och som en mycket viktig del i utvecklingsprocesserna generellt i Sverige, med en väletablerad struktur för att stödja innovation med ekonomiskt stöd från bland annat SIO Grafen och Vinnova, men också för att grundläggande akademiska kunskaper är tillgängliga.

Hur snabbt ökningen av TRL-nivåer till slut kommer att ske, beror bland annat på tillgången på grafen, framtida regler och nödvändiga certifieringar. Hälsofrågor är viktiga och de marknader som ännu inte utsatts för restriktioner kommer att vara först med att få ut grafenprodukter.

Ytterligare studier behövs för att besvara frågan ”hur kommer vi dit” och för att försöka identifiera viktiga steg som möjliggör ökningen av TRL-nivåer, samt vad som kan hindra ökningen. En svaghet i denna studie är antalet aktörer som vi haft möjlighet att intervjua. Underlaget av företag som ville delta ger inte möjlighet till statistiskt underbyggda resultat.

Generellt stämmer de svenska förväntningarna ganska väl in på mönstren från den europeiska analysen. Skillnaden är framförallt att svenska materialleverantörer av grafen, funktionaliserad grafen och originalblandningar inte nått lika långt som i andra länder. På kort

sikt betyder det att svenska företag bör fundera på att köpa grafenmaterial av utländska materialleverantörer.

5. Bilagor

5.1 Intervjuerna

5.1.1 Metod

Den svenska roadmappen för grafentillämpningar bygger på 17 intervjuer med företag som har ett intresse av att utveckla, tillverka eller använda grafen i olika tillämpningar inom komposit- eller ytbeläggningsområdena. Intervjuerna var semistrukturerade och genomfördes per telefon. Varje intervju tog cirka en timme. Vid intervjuerna togs anteckningar, inga inspelningar gjordes. Samtliga intervjuade företag har en anknytning till SIO Grafenprojekt. Intentionen var att genomföra 20 intervjuer. I en första omgång gick förfrågan om deltagande ut till 23 företag. Sex av dessa svarade inte eller tackade nej till intervjuer. Kvar var sedan 16 företag, varav ett av dessa ställde upp på två intervjuer (med anställda från olika avdelningar).

Intervjufrågorna var uppdelade på två områden:

1. Frågor kring företagets intresse av grafen i dag, vilka projekt man eventuellt är engagerad i och vilken teknisk mognadsnivå dessa projekt har. Vidare ställdes frågor kring hur intervjupersonerna bedömde att företagets grafentillämpningar och dess tekniska mognadsgrad kommer att se ut om fem respektive 15 år samt vad som krävs för att företaget ska nå dit (underlag för roadmappen).
2. Frågor om styrkor, svagheter, möjligheter och risker (SWOT-analys)

Den fullständiga intervjuguiden återfinns i bilagan, i avsnitt 5.1.2.

Samtliga intervjuade har svarat på villkor att deras identitet inte avslöjas och att deras svar anonymiseras, för att kunna respektera kommersiell sekretess.

5.1.2 Intervjufrågor

Vilken bransch/vilka branscher verkar ert företag inom?

På vilket sätt är företaget i dag intresserat av/intressant för grafentillämpningar?

Inom vilket område – kompositer eller ytbeläggningar (annat)?

Hur ser ert företags grafentillämpningar ut i dag?

- Vilken teknisk mognadsgrad har de?

Har ert företag tillämpningar inom andra nano/mikro-material (till exempel nanorör, kimrök eller kiseldioxidpulver)

Om 5 år?

- Hur kommer man tekniskt att använda/vilken teknisk mognadsgrad tror du att grafentillämpningarna kommer att ha?
- Vad krävs för att ert företag ska nå dit?
- Vill ert företag nå dit?
- Behöver ert företag göra stora investeringar?
- Finns det några ytterligare villkor som måste vara uppfyllda för att detta ska kunna ske?

Om 15 år?

- Vilken teknisk mognadsgrad tror du att grafentillämpningarna kommer att ha?
- Vad krävs för att ert företag ska nå dit?
- Har ert företag gjort en exit då? På vilket sätt?
- Behöver ert företag göra ytterligare investeringar?
- Finns det några villkor som måste vara uppfyllda för att detta ska kunna ske?

SWOT

Styrkor

Jämfört med mer traditionella material, vilka styrkor har grafen som gör det lämpligt för ert företags tillämpningar inom komposit/ytbehandling?

Vilka styrkor har ert företag när det gäller grafentillämpningar?

- Vilka tidigare erfarenheter/kompetenser/infrastrukturer har ni som möjliggör en framgångsrik implementering av grafen inom ovanstående applikationsområden?
- Vilka fördelar har ni gentemot era närmaste konkurrenter vad gäller användningen av grafen inom ovanstående applikationsområden?
- Hur stödjer det svenska industriella/akademiska ekosystemet er för att framgångsrikt kunna implementera grafen inom ovanstående applikationsområden?
- Hur nära är ni i dag att använda/implementera grafen i er verksamhet?

Svagheter

Ser du några nackdelar/svagheter med grafen?

Vilka svagheter har ert företag när det gäller grafentillämpningarna?

- Vilka förutsättningar upplever ni att ni saknar för att framgångsrikt kunna implementera grafen inom ovanstående applikationsområden?
 - Kompetenser?
 - Resurser?
 - Tillgång till material?
 - Etc.?
 - Vilka förutsättningar saknas i det svenska industriella/akademiska ekosystemet?
 - Finns det tillräckliga standarder för kvalitetskontroll? Om inte, vad saknas mest?

Möjligheter

Vilka möjligheter ser du om ert företag skulle utnyttja grafentillämpningarna?

- Vilka andra material/metoder skulle ni kunna ersätta med grafen inom ovanstående applikationsområden? Vilka fördelar skulle grafen kunna innebära?
- Vilka konkurrensfördelar skulle ni kunna uppnå med en framgångsrik implementering av grafen inom ovanstående applikationsområden gentemot andra aktörer?
- Hur ser ni att er verksamhet skulle utvecklas med en framgångsrik implementering av grafen inom ovanstående applikationsområden?
 - Nya/förbättrade produkter/tjänster?
 - Nya marknadsområden?
 - Nya samarbeten?
 - Annat?
- Hur värdefullt bedömer ni att det skulle vara för er att framgångsrikt implementera grafen inom ovanstående applikationsområden?
 - Förbättrad konkurrenskraft?
 - Nya kunder?
 - Ökad lönsamhet?
- Vilka huvudsakliga nyttor av grafen kan ni se inom ovanstående applikationsområden?
 - Hur stora skulle dessa nyttor vara?
 - Hur står sig dessa nyttor gentemot andra tänkbara material?
 - Hur lång tid skulle det ta er för att börja realisera dessa nyttor?

Risker

Ser du några risker för ert företag med att satsa på grafentechnologin?

- Ekonomiska risker?

- Tekniska risker?
- Marknadsmässiga risker (konkurrens och så vidare)?
- Risker för hälsa och miljö?

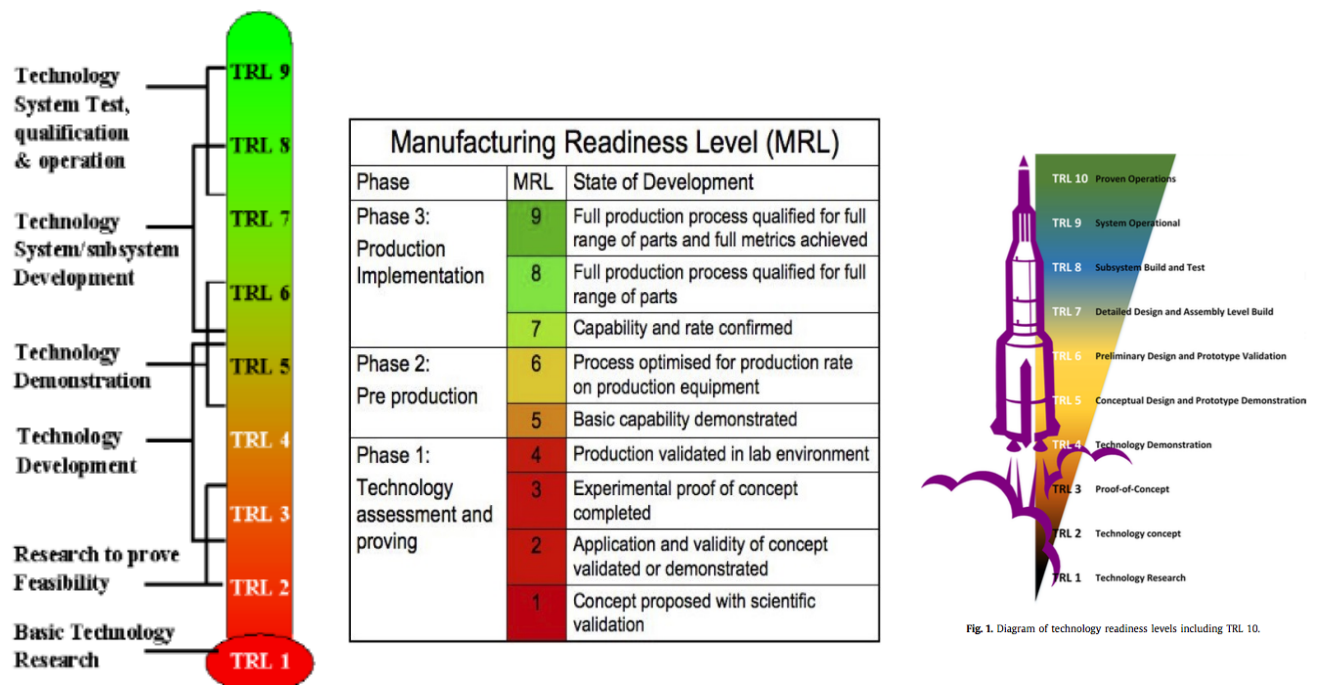
Vad ser ni som huvudsakliga konkurrenter/hinder för en framgångsrik användning av grafen inom ovanstående applikationsområden?

- Om ni stöter på konkurrens, hur stora är riskerna att ni inte kan implementera grafen inom ovanstående applikationsområden?
- Hur stora är riskerna för er om det visar sig att grafen inte kan leva upp till de förväntningar ni har/inte kan produceras tillräckligt bra och billigt?
 - Hur mycket skulle ni behöva investera för att kunna börja arbeta med grafen?
 - Hur stor del av er verksamhet skulle påverkas?

Övriga synpunkter?

5.2 TRL-guide

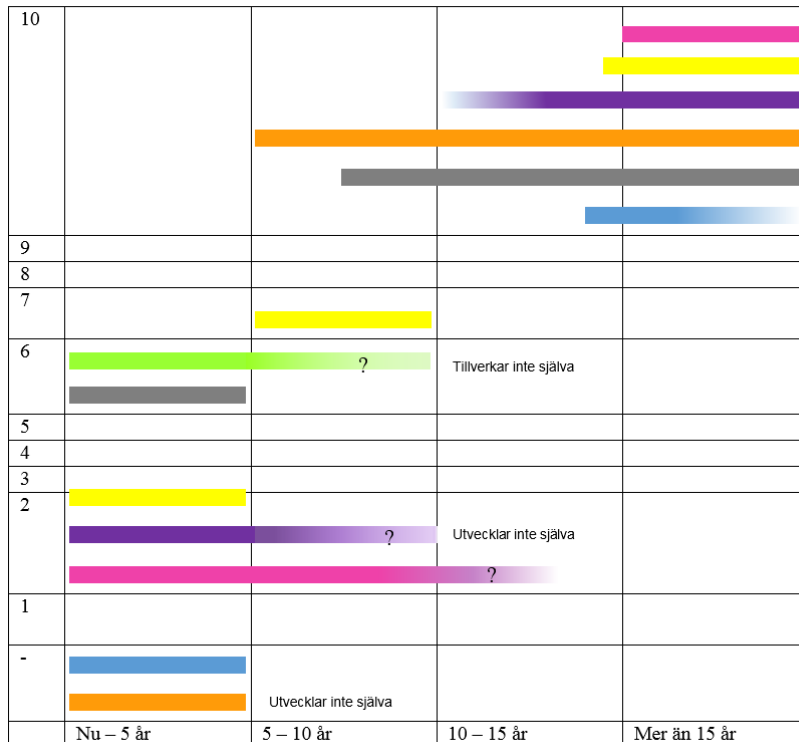
I denna rapport används begreppet TRL (eng. technology readiness level) som ett ungefärligt mått på teknikens mognadsgrad. Vanligtvis används TRL-skalan som börjar på 1 (fundamental princip) och ökar till 9 (utvecklat och testat, klart att tas i bruk). Se figur 5 nedanför. I de fall där produkten redan finns på marknaden läggs även nivå 10 till, vilket motsvarar att produkten finns på marknaden och faktiskt fungerar. På motsvarande sätt används begreppet MRL (manufacturing readiness level), det vill säga att det finns en tillverkningskapacitet.



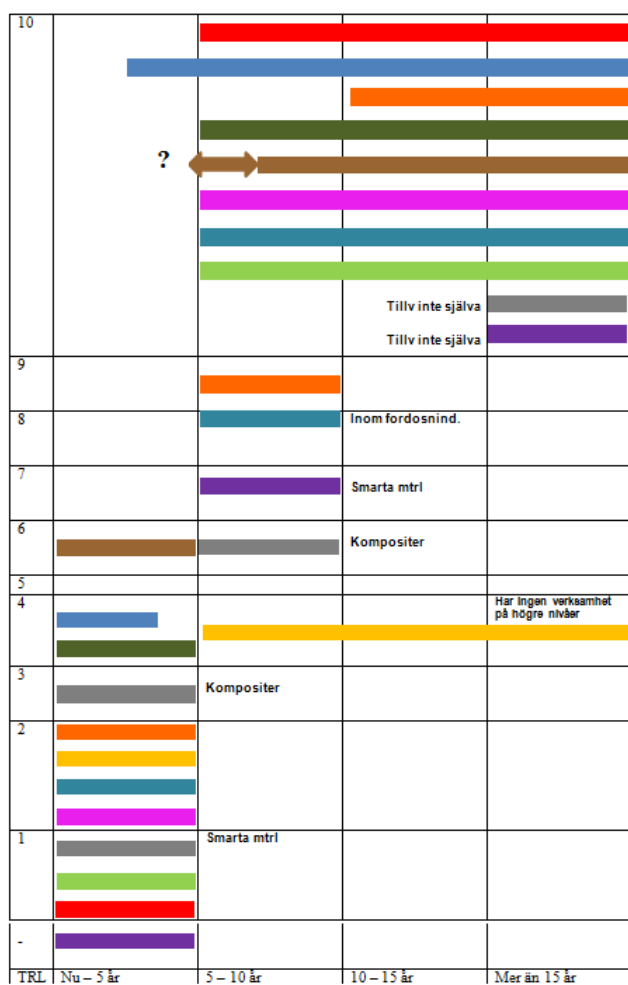
Figur 5: TRL 1-9 (vänster) och MRL (mitten) TRL1-10 (höger)

5.3 Roadmappar, sammanställda från flera intervjuer

5.3.1 Roadmappar redovisade för samtliga kompositer och ytbeläggningar

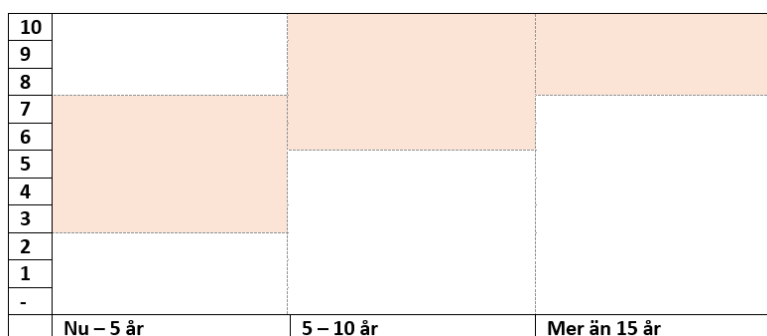


Roadmap för kompositer. Varje färgad stapel symboliserar respektive intervjuades uppskattning om sitt företags TRL-nivå idag, om 5 år och om 15 år. Figuren visar inte när och hur övergången mellan nivåerna sker.

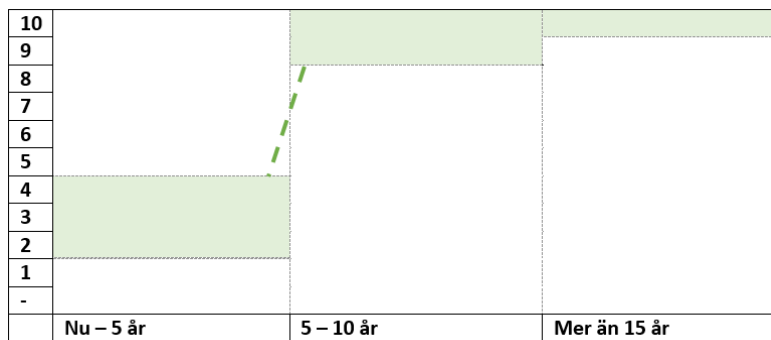


Roadmap för samtliga ytbeläggningar. Varje färgad stapel symboliserar respektive intervjuades uppskattning om sitt företags TRL-nivå idag, om 5 år och om 15 år. Figuren visar inte när och hur övergången mellan nivåerna sker.

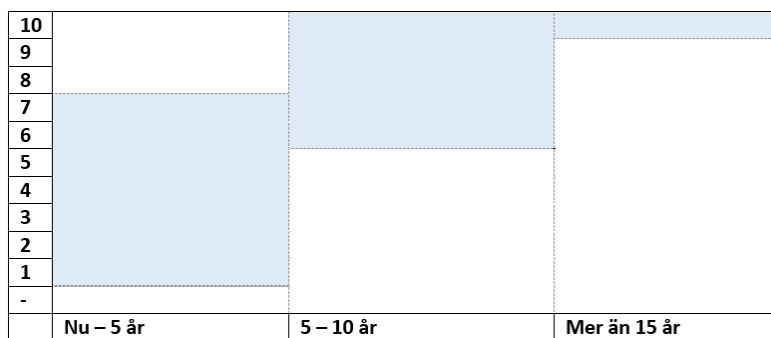
5.3.2 Roadmappar redovisade per antal anställda



Roadmap för samtliga intervjuobjekt med 1-49 anställda



Roadmap för samtliga intervjuobjekt med 50-249 anställda



Roadmap för samtliga med fler än 250 anställda

5.4 Underlag till roadmap och förutsättningar och hinder

	Samtliga kompositier	Samtliga ytbeläggningar	Samtliga
Antal intervjuer	3 tillverkning, 2 forskning, 3 tillverkning och forskning/utveckling	4 forskning, 5 tillverkning och forskning/utveckling	17
Läget			
I dag	TRL 2-7	TRL 1-7	TRL 1-7
Om 5 år	TRL 6-10	TRL 8-10	TRL 6-10
Om 15 år	TRL 8-10	TRL 10	TRL 8-10
Förutsättningar och hinder			
Forskningsfinansiering	2	5	7
Problem med tillverkning	2	5	7
Priset på grafen	4	4	8
Grafen håller inte vad det lovar	4	5	8
Tillgång på grafen	2	0	2
Tillgång på kompetens	4	1	5
Okunskap om hälsa o miljö	4	5	9
Stora investeringar	2	3	5
Otillräckliga standarder	4	2	10
Testning o verifiering	3	2	5
Tillgång på underlev.	2	1	3
Någon annan hinner före/Kopiering	3	5	8
Lågt intresse från kunderna	3	1	4

Sammanställning av samtliga intervjuobjekt, sorterade på kompositier och ytbeläggningar

Antal anställda	1-49	50-249	>250	Samtliga
Antal intervjuer	7	3	7	17
Läget				
I dag	TRL 3-7	TRL 2-4	TRL 1-7	TRL 1-7
Om 5 år	TRL 6-10	TRL 9-10	TRL 6-10	TRL 4-10
Om 15 år	TRL 8-10	TRL 10	TRL 10	TRL 8-10
Förutsättningar och hinder				
Forskningsfinansiering	3	1	3	7
Problem med tillverkning	2	1	4	7
Priset på grafen	3	1	4	8
Grafen håller inte vad det lovar	5	1	2	8
Tillgång på grafen	1		1	2
Tillgång på kompetens	3	1	1	5
Okunskap om hälsa o miljö	5	0	4	9
Stora investeringar	1	1	3	5
Otillräckliga standarder	5	1	4	10
Testning o verifiering	1	1	3	5
Tillgång på <u>underlev.</u>			3	3
Någon annan hinner före/Kopiering	1	2	5	8
Lågt intresse från kunderna	2	2	0	4

Sammanställning av samtliga intervjuobjekt, sorterade på antal anställda

Antal anställda	1 – 49	50 – 249	> 250	Samtliga komposit
Antal intervjuer och typ av företag	3 tillverkning, 1 forskningsinstitut	1 forskningsinstitut	3 tillverkning och forskning/utveckling	3 tillverkning, 2 forskningsinstitut, 3 tillverkning och forskning/utveckling
Läget				
I dag	TRL 3-7	TRL 2-3 Har inget projekt i dag	TRL 2-6 1 har Inget projekt i dag	TRL 2-7
Om 5 år	TRL 6-10 (serietillverkning)	?	TRL 6-9(10?)	TRL 6-10
Om 15 år	TRL 8-10 (<u>serietillverkning av</u> ytterligare produkter)	?	TRL 10 (serietillverkning)	TRL 8-10
Förutsättningar och hinder				
Forskningsfinansiering	1		1	2
Problem med tillverkning	1		1	2
Priset på grafen	1	1	2	4
Grafen håller inte vad det lovar	2	1	1	4
Tillgång på grafen	1		1	2
Tillgång på kompetens	3	1	1	4
Okunskap om hälsa o miljö	3		1	4
Stora investeringar	1		1	2
Otillräckliga standarder	3	1	2	6
Testning o verifiering	1	1	1	3
Tillgång på <u>underlev.</u>			2	2
Någon annan hinner före/Kopiering	1		2	3
Lågt intresse från kunderna	2	1		3

Sammanställning av komposit, sorterade på antal anställda

Antal anställda	1-49	50-249	>250	Samtliga ytbeläggningar
Antal intervjuer och typ av företag	2 forskning, 1 forskning/utveckling och tillverkning i liten skala	2 forskningsinstitut, 1 tillverkning och forskning/utveckling	1 forskningsinstitut, 3 tillverkning och forskning/utveckling	4 forskning, 5 tillverkning och forskning/utveckling
Läget				
I dag	TRL 3-5	TRL 2-4	TRL 1-7	TRL 1-7
Om 5 år	TRL 10 (serietillverkning). För fordon: TRL 7-8	TRL 9-10	TRL 8-10	TRL 4-10
Om 15 år	TRL 10. Ev. ytterligare produkter	TRL 10. Forskning kring nya produkter	TRL 10	TRL 10
Förutsättningar och hinder				
Forskningsfinansiering	2	1	2	5
Problem med tillverkning	1	1	3	5
Priset på grafen	2		2	4
Grafen håller inte vad det lovar	3		1	4
Tillgång på grafen				
Tillgång på kompetens			1	
Okunskap om hälsa o miljö	1	1	3	5
Stora investeringar		1	2	3
Otillräckliga standarder	2		2	4
Testning o verifiering			2	2
Tillgång på underlev.			1	1
Någon annan hinner före/Kopiering		2	3	5
Lågt intresse från kunderna		1		1

Sammanställning av ytbeläggningar, sorterade på antal anställda

5.5 Referenser

- A roadmap for graphene. K. S. Novoselov, V. I. Fal'ko, L. Colombo, P. R. Gellert, M. G. Schwab & K. Kim. Nature 490, (2012) 192–200. doi:10.1038/nature11458
- Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. A.C. Ferrari et al (ytterligare 63 författare). Nanoscale 7 (2015) 4598-4810 doi: 10.1039/C4NR01600A
- En pågående roadmap inom Graphene Flagship-projektet (<http://graphene-flagship.eu/>) som ännu inte är offentliggjord (2015)
- IDTechEX: graphene Markets, Technologies and Opportunities 2014-2024 (<http://www.idtechex.com/research/reports/graphene-2d-materials-and-carbon-nanotubes-markets-technologies-and-opportunities-2016-2026-000465.asp>)
- Malaysia National Graphene Action Plan 2020 (2016) (http://www.nanomalaysia.com.my/img/ngap/NGAP_2020_Booklet.pdf)