



**FFI** Forsvarets  
forskningsinstitutt

22/00076

**FFI-RAPPORT**

# **Additiv tilvirkning mot 2045**

– trender og implikasjoner for Forsvaret

Michael Mayer



# **Additiv tilvirkning mot 2045 – trender og implikasjoner for Forsvaret**

Michael Mayer

---

**Emneord**

Additiv tilvirkning  
Materialteknologi  
Teknologi  
Forsvarsindustri  
Framtidsforskning

**FFI-rapport**

22/00076

**Prosjektnummer**

1640

**Elektronisk ISBN**

978-82-464-3392-9

**Engelsk tittel**

Additive production towards 2045 – Trends and implications for the Norwegian Armed Forces

**Godkjennerne**

Torgeir Mørkved, *forskningsleder*  
Hanne Bjørk, *forskningsdirektør*

*Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.*

**Opphavsrett**

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

---

---

## Sammen drag

Additiv tilvirkning – bedre kjent som «additive manufacturing» (AM) eller «3D-printing» – har i løpet av de siste tjue år vist seg å være en teknologi med et stort potensial til å påvirke industri- og produksjonsvirksomhet. Additiv tilvirkning kan forstås som et paraplybegrep for mange ulike teknikker som produserer objekter lagvis basert på en tredimensjonal skann og digitale plantegninger. Mange av teknikkene har modnet. Prosessene har blitt videreutviklet og raffinert, samtidig som egenskapene til sluttproduktene har blitt mer konsistente og forutsigbare. Samspill (eller konvergens) mellom additiv tilvirkning og andre teknologiområder – blant annet kunstig intelligens, bioteknologi og virtuell og utvidet virkelighet – kan by på nye muligheter innen AM mot 2045. Nye typer materialer og prosesser utviklet av additiv tilvirkning inkluderer sammenblanding av metaller, produksjon av biologiske og menneskelige vev og organer, og AM-produksjon av karbon-nanorør. Noen applikasjoner er avhengige av AM-teknikker for å kunne realisere gevinstene i fremtidig produksjon.

Forsvarsindustrien benytter allerede additive tilvirkningsteknikker for produksjon av visse deler der kompleksiteten kan bygges inn i AM-design og produksjon. Kompliserte deler, som med tradisjonelle produksjonsteknikker krever mye etterbehandling og montering, kan ofte produseres raskere og rimeligere med additiv tilvirkning. Industriaktører bruker i dag AM for spesialtilpasset delproduksjon og hurtig prototyp utvikling. I fremtiden kan store gevinster realiseres ved bruk av additiv tilvirkning dersom noen praktiske utfordringer løses, inkludert sertifiseringsprosesser for AM-produserte deler, teknikker for å sørge for pålitelig og forutsigbar kvalitetssikring, og nye forretningsmodeller basert på digitale plantegninger for AM-produksjon. Forsvaret kan utnytte additiv tilvirkning for blant annet å forbedre logistikk-løsninger gjennom produksjon av reservedeler på skip eller i felt. Dette vil ha både operasjonelle effekter gjennom en redusert belastning på forsyningslinjer og økt operasjonell og taktisk fleksibilitet. Forsvaret kan oppnå økt effektivisering og en styrket beredskap gjennom evnen til å produsere reservedeler med additiv tilvirkning.

Denne rapporten er et resultat av en serie med tre anonyme spørreundersøkelser som ble gjennomført i løpet av våren 2020. Deltagerne ble spurt om dagens bruk av teknologien og forskningsfrontene, prognosene mot 2045 og utfordringene som forhindrer videreutvikling og adopsjon av AM i norsk industri. For å ferdigstille denne rapporten ble svarene fra spørreundersøkelsene kombinert med en gjennomgang av skriftlige kilder som fagartikler, offentlige rapporter, nyhetsartikler, og industri- og tenketankrapporter.

---

---

## Summary

Additive manufacturing or «3D printing» has throughout the past several decades developed into a technology with significant potential to impact industry and production chains. The term additive manufacturing (AM) is a more generic term for a group of techniques that largely produce objects incrementally through a layering technique based on three-dimensional digital blueprints. Many of the techniques have matured. The processes have evolved and been refined, while the characteristics of the products have become more consistent and predictable. The interaction (or convergence) between AM and other technology fields – including artificial intelligence, biotechnology, and virtual and augmented reality – offers new possibilities within additive manufacturing looking ahead to 2045. New types of materials and processes developed through AM include the blending of certain metals, the production of organic and human tissue and organs, and AM production of carbon nanotubes. Some applications are dependent on additive manufacturing techniques to reap the gains of these new processes in future production.

The defense industry leverages additive manufacturing techniques for production of certain components where the complexity can be integrated into AM design and production. Complex parts that would require some post-production or assembly using traditional manufacturing methods can often be produced more quickly and more cheaply with additive production techniques. Industry today uses AM in areas such as specialized component production and rapid prototyping. Significant gains can be realized through additive production if certain practical challenges are addressed, including certification procedures for AM produced components, techniques for reliable and predictable quality control, and new business models based on digital blueprints and file sharing for additive production. The Norwegian Armed Forces can leverage the benefits of additive production to (among other things) improve logistic solutions through the production of reserve parts either aboard ships or in the field. This would have operational effects through a reduced reliance on supply lines and an increased operational and tactical flexibility. The Armed Forces can increase efficiency and improve readiness through an ability to produce reserve parts using additive manufacturing.

This report is based in part on a series of three anonymous questionnaires conducted during the spring of 2020. Participants were asked about the current uses of the technology and current research frontiers, prognosis towards 2045, and the challenges that hinder further development and adoption of AM within Norwegian industry. The preparation of this report included the answers from these questionnaires, combined with a review of written sources such as academic articles, official reports, news articles, and industry and think tank reports.

---

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>3</b>
<b>Summary</b>	<b>4</b>
<b>Forord</b>	<b>6</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Om additiv tilvirkning</b>	<b>8</b>
<b>3 Trender innen additiv tilvirkning</b>	<b>12</b>
3.1 Mekaniske egenskaper og design	13
3.2 Konvergens med AI og AR	14
3.3 Bioprinting	15
3.4 Utviklingene mot 2045	16
<b>4 Additiv tilvirkning og det fremtidige operasjonsmiljøet</b>	<b>18</b>
<b>5 Forsvarsindustri og additiv tilvirkning</b>	<b>20</b>
5.1 Muligheter	22
5.2 Utfordringer	23
5.3 Norsk industri og additiv tilvirkning	24
<b>6 Additiv tilvirkning i Forsvaret</b>	<b>25</b>
<b>7 Konklusjoner</b>	<b>29</b>
<b>A Vedlegg</b>	<b>31</b>
A.1 FFI spørreundersøkelse 1 (mars 2020)	31
A.2 FFI spørreundersøkelse 2 (april 2020)	34
A.3 Ekstern Spørreundersøkelse (mai 2020)	39

---

---

## Forord

I 2019 opprettet Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) et prosjekt som har som formål å analysere hvordan fremvoksende teknologier kan påvirke fremtidige militære operasjoner (med forkortelsen TEKNO). En viktig del av arbeidet dreier seg om å samle fagkunnskap om relevante teknologier fra FFIs forskere og andre norske fagmiljøer. I forbindelse med dette gjennomførte TEKNO-prosjektet i løpet av våren 2020 flere spørreundersøkelser internt på FFI med ansatte som til daglig jobber med additiv tilvirkning. Spørreundersøkelsene ble gjennomført i to runder og deltagerne forble helt anonyme for å legge til rette for både åpenhet og provokative svar. Prosessen baserer seg delvis på «Delphi-metoden», utviklet av den amerikanske tenketanken RAND Corp., som går ut på at anonyme spørreskjemaer eller diskusjonsrunder gjennomføres i flere omganger i søken på konsensus blant en gruppe eksperter. Med tanke på tidsbruk ble ikke den fulle versjonen av Delphi-metoden vurdert som en mulighet, og kun to runder med spørreundersøkelser ble gjennomført av hensyn til tid.

Spørsmålene i første spørreundersøkelse var for det meste overordnede om fagfeltet og den forventede fremtidige utviklingen. Svarene ble samlet inn, analysert og deretter brukt som et grunnlag til å formulere nye spørsmål til neste runde. Det var nødvendig å lene seg på fagspesifikk bakgrunns litteratur for å analysere svarene fra undersøkelsen og, i enkelte tilfeller, for å utforme gode spørsmål. I noen tilfeller ble forslag til spørsmål fra deltagerne brukt i den andre runden. Et tredje engelskspråklig spørreskjema ble sendt til en gruppe eksperter fra flere fagmiljø rundt omkring i Norge. Denne spørreundersøkelsen ble utformet basert på erfaringene fra de tidligere rundene og brukte mange av spørsmålene fra begge de interne rundene.

Deltagelsen var begrenset i begge grupper, med fem FFI deltagere og syv i den eksterne gruppen. Deltagerne svarte kun på spørsmålene fra spørreundersøkelsene. Fordi undersøkelsene var langt fra statistisk representativt, bør de heller forstås som et slags anonymt ekspertpanel. Forfatteren har oversikt over individene som deltok i spørreundersøkelsene, men svarene var helt anonyme med ingen måte å koble individene til enkelt responser. Det bør også nevnes at forskningsmetodikken ble påvirket av covid-19-pandemien i Norge, og ble gjennomført uten de innledende intervjuene eller avsluttende workshop-aktivitetene som opprinnelig var planlagt. For å skape et mer komplett bilde og gi nødvendig kontekst for denne rapporten, ble data fra spørreundersøkelsene knyttet sammen med informasjon hentet fra sekundærkilder, blant annet akademiske artikler, tankesmierapporter, og diverse medieoppslag.

Rapportens innhold og vinkling er ikke nødvendigvis representativ for de enkelte deltagernes meninger, og gjenspeiler heller ikke de enkeltes svar på spørreundersøkelsene. I flere av svarene var det naturlig nok ulike meninger som derfor ikke lar seg oppsummeres på en sammenfallende måte. Likevel har det blitt gjort et oppriktig forsøk på å fange hovedstrømninger blant svarene og kartlegge de mest vesentlige uenighetene. Sitater fra spørreundersøkelsene har vi valgt å gjengi i deltagernes opprinnelig formuleringer, og det finnes dermed noen engelske sitater i rapporten.

Dette arbeidet ville ikke ha vært mulig uten den generøse dugnadsånden til alle som deltok. Mange takk til alle sammen. Denne rapporten er kun et ledd i en større satsning til å forstå de mulige implikasjonene av fremvoksende teknologi for militære operasjoner. Videre arbeid som å kartlegge teknologiske trender og de fremtidige utviklingene innen andre fagfelt ved bruk av en lignende metodikk vil publiseres fortløpende.



---

---

# 1 Innledning

Additiv tilvirkning – bedre kjent som «additive manufacturing» (AM) eller «3D-printing» – har i løpet av de siste tjue år vist seg å være en teknologi med et stort potensial til å påvirke industri og produksjonsvirksomhet. Additiv tilvirkning kan forstås som et paraplybegrep for mange ulike teknikker som produserer objekter lagvis basert på en tredimensjonal skann og digitale plantegninger. Tidligere var dette en nisjeteknikk med begrensede applikasjoner, men fremgang i design, teknikker og materialvitenskap har utvidet mulighetsrommet for AM-teknologi betraktelig. Likevel har dette blitt en utbredt produksjonsmetode, særlig i applikasjoner som krever produksjon av spesialtilpassede deler eller komplekse deler som er kostbare eller tidskrevende å lage med tradisjonelle metoder. Additiv tilvirkning synes å være en teknologi som allerede er tilstrekkelig moden for utvidelse og videreutvikling over de neste to tiårene.

Det er et vedvarende behov for å få en kunnskapsbasert forståelse av teknologitrender og mulige bruksområder for å være i stand til å ta langsiktige og strategiske beslutninger om styrkestrukturer, anskaffelsesprosesser og logistikk-løsninger. I tillegg er det viktig å overvåke teknologiske trender for å kunne vurdere hvorvidt en bestemt teknologi kan utgjøre en trussel dersom den er brukt av aktører med fiendtlige hensikter. Slike vurderinger om fremtidige utviklinger er utfordrende, og bærer med seg en god del analytiske og metodologiske svakheter. Fremtidsanalyser har ikke som mål å predikere nøyaktig, men heller å utforske mulighetsrom gitt nåværende utviklinger.

Når det gjelder teknologitrender med implikasjoner for militære operasjoner blir analysen enda mer kompleks. I tillegg til usikkerhet rundt hvordan selve teknologien vil utvikle seg er det ytterligere usikkerhetsmomenter: hvilke aktører kan ha tilgang til teknologien, hvorvidt de er i stand til å utnytte teknologiens potensial, og det operasjonelle miljøet som setter strategiske, taktiske, og samfunnsmessige rammer rundt det hele. Med såpass mange variabler vil grunnleggende fagkunnskap stå sentralt som mest utslagsgivende. Selv blant fageksperter er det stor variasjon i oppfattelsen av fremtidige trender, men uenigheten kan i seg selv være et viktig signal.

For additiv tilvirkning er konturene av fremtidsutviklingene litt enklere å se fordi teknikkene er nokså etablerte, mens trendene heller gjelder nye applikasjoner og bruksområder innen forsvarsindustri. Dette kan dreie seg om blant annet forenklet produksjon av komplekse deler til et våpensystem, tilvirkning av deler til eldre systemer som har gått ut av produksjon, eller muligheten for feltproduksjon av reservedeler under en pågående operasjon. Additiv tilvirkning kan øke ytelse og redusere vekt, kostnad og produksjonstid av rakettmotorer, radarsystemer eller ubemannede fartøy. Gjennom en form for additiv tilvirkning som kalles «bio-printing» kan enten menneskelige vev eller andre biologiske materialer lages. Gjennom samspill med andre teknologiområder som kunstig intelligens eller blandet virkelighet vil AM-teknologi benyttes i designprosessen for å skape nye produkter som integrerer materialer på banebrytende måter. Implikasjoner både for Forsvaret og forsvarsindustrien kan være omfattende.

---

---

## 2 Om additiv tilvirkning

Det finnes flere forskjellige typer tilvirkninger for å lage produkter, blant annet kutting, sveising, liming, eller støping.<sup>1</sup> Fremfor å starte med en større masse der materialet fjernes for å få den ønskede formen, så lager additive tilvirkningsprosesser et objekt ved å tilføre material lagvis. Prosessen begynner med en tredimensjonal digital modell av objektet som skal lages, skapt enten digitalt eller basert på en tredimensjonal skann av en eksisterende objekt. Deretter benyttes CAD-programvare (computer-aided design) for å forandre dataen fra den tredimensjonale modellen til todimensjonale mønstre som skal «skrives» lag for lag.

For selve skrivingen er det nødvendig med en plattform eller overflate å bygge på, og ofte en form for støttestruktur som holder objektet på plass dersom formen er slik at den ikke står stabilt alene. Skrivingen foregår lagvis og med justeringer etter hvert lag for å få til riktig posisjonering for neste lag. Når objektet er ferdig er det vanligvis behov for noe etterbehandling, enten det er å fjerne støttestrukturen eller mer omfattende prosedyrer som påføring av varme, kjemikalier, eller fysisk ettermaskinering.

Teknikker for additiv tilvirkning kan spores tilbake til 1960-tallet, da et amerikansk institutt eksperimenterte med dannelsen av solide objekter ved bruk av flere laserstråler. I 1980 publiserte den japanske forskeren Hideo Kodama flere forskningsartikler som beskrev noe som senere har blitt kjent som stereolitografi: bruk av en enkel laserstråle på en lyssensitiv substans som herdes gjennom en prosess kalt fotopolymerisasjon. Det var imidlertid amerikanske Charles Hull som registrerte patentet til stereolitografi i 1984 og to år senere opprettet selskapet 3D Systems sammen med Raymond Freed. Selskapet utviklet seg og i 1987 begynte de å selge verdens første additiv tilvirkningssystemer, SLA-1 (Stereolithography Apparatus).<sup>2</sup>

I løpet av årene har det dukket opp mange ulike teknikker og kommersielle navn på additive tilvirkningsprosesser, som har resultert i en uoversiktlig og forvirrende suppe av navn og begrep. Som et forsøk på å få klarhet i dette, har American Society for Testing and Materials (ASTM) etablert en typologi for additiv tilvirkning. I dag eksisterer det syv hovedkategorier, men det er også mye variasjon innenfor hver kategori.

*VAT-polymerisasjon* eller stereolithography bruker en flytende plastmasse i et kar (eller «vat» på engelsk) som herdes gjennom en polymerisasjonsprosess med et lys – eksempelvis ultrafiolett (UV) eller «near-infrared» (NIR) – fokusert over et svært begrenset området om gangen. Sluttproduktet kan få en findetaljert overflate og kan produseres relativt raskt og skaleres for å

---

<sup>1</sup> Bakgrunnsinformasjon om additiv tilvirkningsprosesser er hovedsakelig basert på Cassidy Silbernagel, «Additive Manufacturing 101» *Canada Manufacturers and Exporters*, 21. februar 2018; Stephen Hummel og F. John Burpo, *Small groups, big weapons: The nexus of emerging technologies and weapons of mass destruction* (West Point: United States Military Academy, april 2020).

<sup>2</sup> Elizabeth Matias og Bharat Rao, «[3D Printing: On its historical evolution and the implications for business](#)», konferanse paper til Portland International Center for Management and Engineering, august 2015.

---

---

lage større objekter. De materielle egenskapene til plasten som benyttes her er imidlertid ikke like stabil, sterk eller slitesterk som andre materialer eller metoder.

I *Powder Bed Fusion* brukes et tynt lag med pulver på byggeplattformen som varmes opp med for eksempel en laserstråle som delvis smelter pulveret slik at det bindes sammen lagvis. Flere ulike typer plast, metaller og keramikk kan skrives ved hjelp av denne metoden, og sluttproduktets egenskaper ligner det opprinnelige materialet. Produkter kan bygges relativt raskt, mye fordi det brukes få mekaniske deler i prosessen, som dyser. Teknikken har begrensninger i at kun én type materiale kan benyttes for hvert produkt, samt at overflatene i de ferdige produktene ofte er ujevne, og derfor trenger etterbehandling før bruk.

*Binder Jetting* ble utviklet ved Massachusetts Institute of Technology (MIT) i 1989. Teknikken ble opprinnelig kalt «3D printing», og ble etter hvert synonymt med additiv tilvirkning for øvrig, noe som fortsatt skaper forvirring. Prosessen ligner vanlig todimensjonal skriving og bruker de samme skriverhodene som en vanlig blekkskriver. Et tynt lag med pulver spres over byggeplattformen og et bindemiddel påføres med skriverhodet som reagerer kjemisk med pulveret. Når et lag skrives ferdig flyttes byggeplattformen litt, og et nytt lag påføres. Materialene brukt i binder jetting er vanligvis billige, og gjør produksjon rimelig. Skrivingen gjennomføres raskt, kan skaleres, og det er ingen behov for strukturer som støtter objektet under produksjon. Produktene som skrives med denne teknikken kan være relativt svake og trenger vanligvis etterbehandling for å øke styrken.

*Material Jetting*-teknikken ligner *binder jetting* på den måten at begge teknikker bruker et blekkskriver-skriverhode, men *material jetting* skriver med materialet som utgjør sluttproduktet fremfor et bindemiddel. Materialet er lagt dråpe etter dråpe på en kontrollert og presis måte. En vesentlig fordel med denne teknikken, fremfor *binder jetting*, er at flere skriverhoder kan jobbe sammen, noe som muliggjør skriving av objekter som krever flere materialer. Overflatekvaliteten er forholdsvis høy med denne teknikken på grunn av presisjonsnivået i plasseringen av materialet. Ulempene er at denne teknikken tar noe lengre tid enn andre, og at ett av de eventuelt flere skriverhodene må skrive på en støttestruktur.

*Sheet Lamination* benytter plater av et materiale ( gjerne metal eller papir i rull) som festes eller limes sammen på byggeoverflaten. Etter at hvert nytt lag er limt på, brukes det enten laser eller kniv rundt objektets form for å fjerne overflødig materiale. Det finnes mange forskjellige underkategorier og materialer som kan benyttes i denne teknikken, men en felles karakteristikk er at det ikke er behov for støttestrukturer, da objektet som skrives ut kan stå i ro uten støtte. En annen fordel med teknikken er at andre komponenter kan legges inn mellom material lagene – som f.eks. ledninger eller sensorer. Teknikken er mindre fleksibel enn andre, og mye overflødig materiell går til spille under prosessen.

*Material Extrusion* presser oppvarmet materiell gjennom en dyse og påfører dette lagvis på bygge-overflaten. Teknikken ble oppfunnet av Scott Crump i 1988 etter at han brukte et stearinlys og en limpistol til å lage et leketøy til barnet sitt. I dag benytter de fleste «desktop 3D-skrivere» denne teknikken, ikke minst skrivere fra Crumps gigantselskap Stratasys. Denne additive

---

---

tilvirkningsprosessen er relativt enkel, og lett å modifisere. Mange forskjellige materialer – særlig ulike typer plast – fungerer godt med denne teknikken. Sluttproduktene har en stor grad av strukturell stabilitet, selv om de har anisotropiske egenskaper, hvilket vil si at de er sterkere langs noen akser enn andre. Dette må tas i betraktning under designprosessen og med tanke på sluttproduktets bruksområder.

*Directed Energy Deposition* har sine røtter i tredimensjonal sveising. Selv om teknikkene har utviklet seg betydelig, er mye av grunnkonseptet det samme. Byggematerialet blir rettet mot en kraftig varmekilde, som en laser eller sveiselampe, enten ved å blåse pulver, mate inn ståltråd, eller introdusere gass som reagerer med varmekilden og endrer formen på materialet, for å skape objektet. Pulverbaserte metoder åpner for fleksible løsninger som blant annet gjør at forskjellige metaller kan blandes i samme objekt. Noen av disse teknikkene er ikke avhengig av tyngdekraft og kan anvendes i verdensrommet. Mange teknikker innen *directed energy deposition* krever lenger byggetid og de grove overflatene vil ha behov for etterbehandling.

#### *Hybride teknikker og 4D-skriving*

I tillegg til disse syv hovedkategoriene er det også mulig å kombinere AM med mer tradisjonell subtraktiv maskineringsteknologi, noe som gjerne kalles hybrid tilvirkning. Man kan for eksempel kombinere *direct energy deposition* med en datamaskinstyrt CNC-maskin (computer numerical control). Dette gir muligheter for å redusere materialbruk og produksjonstid, samtidig som teknikkene kan utfylle hver andre og redusere de enkelte teknikkenes ulemper for å optimalisere byggeprosessen.<sup>3</sup> En annen videreutvikling av additiv tilvirkning er såkalte fire-dimensjonal (4D) skriving, der et objekt produsert med AM-metoder inkorporerer materialer som reagerer på en eller annen form for ekstern stimulus – enten det er temperatur, væske, lys, strøm, eller magnetisme. Teknikken kan blant annet brukes til å produsere et flatpakket produkt som bretter seg selv til en fire-dimensjonal eske når den legges i vann. Andre bruksområder kan være vannrør som skrives ut med et materiale i ledd- og skjøteområder som ekspanderer ved eksponering for væske og dermed forsegler rørsystemet. Et annet eksempel kan være et objekt laget av en myk silikon-polymer og etanol. Når objektet tilføres strøm blir polymeren varm fra strømmotstanden og etanolen fordampes slik at gassen ekspanderer objektets volum. Slike smarte designløsninger som kombinerer additiv tilvirkning og materialegenskaper kan føre til nye muligheter for produkter og skreddersydde løsninger.<sup>4</sup>

---

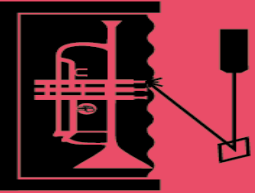
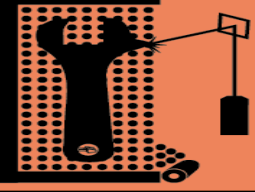


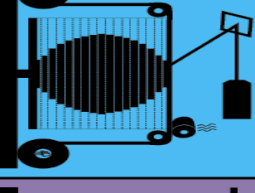
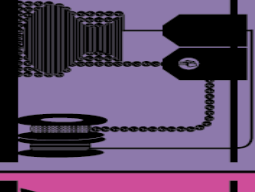
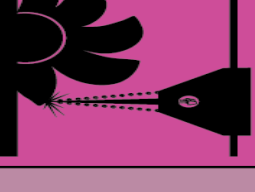

<sup>3</sup> Se for eksempel Anders Steensen, «[Hybrid: -En ny måte å tenke produksjon på](#)» *Teknisk ukeblad*, 13. desember 2010.

<sup>4</sup> Zhizhou Zhang, Kahraman G. Demir og Grace X. Gu, «Developments in 4D-printing: a review of current smart materials, technologies and applications» *International Journal of Smart and Nano Materials* vol. 10:3 (2019): 205-224).



# 7 Families of Additive Manufacturing

According to ISO/ASTM52900-15 (formerly ASTM F2792)

 <p><b>VAT PHOTOPOLYMERIZATION</b></p>	 <p><b>POWDER BED FUSION (PBF)</b></p>	 <p><b>BINDER JETTING</b></p>	 <p><b>MATERIAL JETTING</b></p>	 <p><b>SHEET LAMINATION</b></p>	 <p><b>MATERIAL EXTRUSION</b></p>	 <p><b>DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DED)</b></p>	 <p><b>HYBRID</b></p>
<p><b>Alternative Names:</b> SLA™ - Stereolithography Apparatus DLP™ - Digital Light Processing 3SP™ - Scan, Spin, and Sintering Processes CLP™ - Continuous Liquid Interface Production</p>	<p><b>Alternative Names:</b> SLS™ - Selective Laser Sintering, DMLS™, Direct Metal Laser Sintering, SLM™ - Selective Laser Melting, EBM™ - Electron Beam Melting SFS™ - Selective Heat Sintering MJF™ - Multi-Jet Fusion</p>	<p><b>Alternative Names:</b> 3DP™ - 3D Printing EJ™ - Electrojet Voxeljet</p>	<p><b>Alternative Names:</b> Polyjet™ 3PP™ - Smooth Overures Printing MMJ™ - Multi-Jet Modeling Project™</p>	<p><b>Alternative Names:</b> LOM - Laminated Object Manufacture SOL - Selective Deposition Lamination UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing</p>	<p><b>Alternative Names:</b> FFF - Fused Filament Fabrication FDM™ - Fused Deposition Modeling</p>	<p><b>Alternative Names:</b> LMD - Laser Metal Deposition LENS™ - Laser Engineered Net Shaping</p>	<p><b>Alternative Names:</b> AMBT™ - Assisted Hybrid Manufacturing Technologies</p>
<p><b>Description:</b> A vat of liquid photopolymer resin is cured through selective exposure to light (via a laser or projector) which then induces polymerization and converts the exposed areas to a solid part.</p>	<p><b>Description:</b> Powdered materials is selectively consolidated by melting it together using a heat source such as a laser or electron beam. The powder surrounding the consolidated part acts as support material for overhanging features.</p>	<p><b>Description:</b> Liquid bonding agents are selectively applied onto thin layers of powdered material to build up parts layer by layer. The binder includes organic and inorganic materials. Metal or ceramic powdered parts are typically fired in a furnace after they are printed.</p>	<p><b>Description:</b> Droplets of material are deposited layer by layer to make parts. Common variables include: firing a photurable resin and curing it with UV light, as well as jetting thermally molten materials that then solidify in ambient temperatures.</p>	<p><b>Description:</b> Sheet of material are stacked and laminated together to form an object. The lamination method can be adhesive or chemical (paper/plastic). Ultrasonic welding or brazing (metals). Unneeded regions are cut away by layer and removed after the object is built.</p>	<p><b>Description:</b> Material is extruded through a nozzle or orifice in tracks or beads, which are then combined into multi-layer models. Common variables include heated thermoplastic extrusion (similar to a hot glue gun) and syringe dispensing.</p>	<p><b>Description:</b> Powder or wire is fed into a melt pool which has been generated on the surface of the part where it adheres to the underlying part or layers by using an energy source such as a laser or electron beam. This is essentially a form of automated build-up welding.</p>	<p><b>Description:</b> Laser metal deposition (a form of DED) is combined with CNC machining, which allows additive manufacturing and subtractive machining to be performed in a single machine so that parts can utilize the strengths of both processes.</p>
<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High level of accuracy and complexity</li> <li>• Smooth surface finish</li> <li>• Accommodates large build sizes</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High level of complexity</li> <li>• Powder acts as support material</li> <li>• Wide range of materials</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allows for full color printing</li> <li>• High productivity</li> <li>• Uses a wide range of materials</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High level of accuracy</li> <li>• Allows for full color parts</li> <li>• Enables multiple materials in a single part</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High volumetric build rates</li> <li>• Relatively low cost (non-metals)</li> <li>• Allows for combinations of metal foils, including embedding components</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexpensive and economical</li> <li>• Allows for multiple colors</li> <li>• Can be used in an office environment</li> <li>• Fairly low good structural properties</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Not limited by direction or size</li> <li>• Effective for repairs and adding features</li> <li>• Multiple materials in a single part</li> <li>• Highest single-point deposition rates</li> </ul>	<p><b>Strengths:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Smooth surface finish AND High Productivity</li> <li>• Geometrical and material freedom of DED</li> <li>• Automated in-process support removal, finishing, and inspection</li> </ul>
<p><b>Typical Materials</b> UV-Curable Photopolymer Resins</p>	<p><b>Typical Materials</b> Plastics, Metal and Ceramic Powders, and Sand</p>	<p><b>Typical Materials</b> Powdered Plastic, Metal, Ceramics, Glass, and Sand</p>	<p><b>Typical Materials</b> Photopolymer, Polymers, Waxes</p>	<p><b>Typical Materials</b> Paper, Plastic Sheets, and Metal Foils/Tapes</p>	<p><b>Typical Materials</b> Thermoplastic Filaments and Powders (FFF), Liquids, and Stripes (Syringe Type)</p>	<p><b>Typical Materials</b> Metal Wire and Powder, with Ceramics</p>	<p><b>Typical Materials</b> Metal Powder and Wire, with Ceramics</p>

Created and designed by Hybrid Manufacturing Technologies. Copyright 2015-2018. For more information go to [www.hybridmfg.com](http://www.hybridmfg.com)

AMBT™ and the AMBT logo are registered trademarks of Hybrid Manufacturing Technologies

---

### 3 Trender innen additiv tilvirkning

I spørreundersøkelsen ble forskerne i Norge spurt om dagens situasjon og hvor forskningsfrontene befinner seg, samt hva som anses som «*cutting-edge*» innen additiv tilvirkning. Hovedinntrykket er at feltet er stort, særlig i USA, Tyskland, Storbritannia, Belgia, Frankrike og Italia. Kommersialiseringen anses å ha slått inn for fullt for omtrent 20 år siden. En deltager svarte kort og konsist at det fantes mange AM-initiativer som var lite koordinerte. En annen fastslo at teknologien «har passert stadiet hvor det har vært en eksperimentell produksjonsmetode» som «i mange sammenhenger er utnyttet som en produksjonsmetode på lik linje med andre produksjonsmetoder». Ifølge en annen deltager har AM og elektronikk opplevd en merkbar modningsprosess: «AM of electronics is maturing rapidly ... there is a lot of good research on integrated circuits and printing of self-sensing materials, both composites and metals.» Flere deltagere nevnte at én lovende retning er bruk av ulike metaller i metoden *Directed Energy Deposition*, som rustfritt stål, aluminium, eller titan.

Resultatet av fremgangen i AM er tydelig: Produkter laget med additive produksjonsteknikker har nå blitt hverdagslige. Masseproduksjon av enkle plastdeler er fortsatt rimeligere og raskere med tradisjonelle tilvirkningsmetoder, men AM har noen fordeler med å kunne tilpasse hvert objekt som lages uten å måtte bytte utstyr eller verktøy på produksjonslinjen. I tillegg er det lettvis å kombinere flere materialer sammen til et produkt som tidligere måtte produseres hver for seg og deretter settes sammen. Et enkelt eksempel er solbriller: Med AM kan den stivere plasten i rammene og den mykere gummi-plasten rundt ørene produseres i samme «utskrift». <sup>5</sup> I produkter som høreapparater, der plasten må tilpasses brukerens øre, gjorde industrien en dramatisk helomvending i løpet av kun et par år (2006–2008) til å være nærmest 100 % basert på additiv produksjon. <sup>6</sup>

Komplekse mekaniske deler er også godt egnet for additiv tilvirkning, særlig når den interne strukturen kan tilpasses bruksområdet. GE Aviations produksjon av drivstoffdyser til jetmotorer erstattet 20 deler som tidligere måtte sveises sammen til én enkel AM-produsert del, og dermed forkortet produksjonstid og reduserte objektets vekt med 25 prosent. <sup>7</sup> AM-skrivere har økt i størrelse og hurtighet slik at de kan anvendes på nye bruksområder. Flere selskaper bruker nå additiv tilvirkning for å bygge rakettmotorer, blant annet det amerikanske firmaet Relativity, som har en av verdens største AM-skrivere. Tre AM-produserte deler utgjør hoveddelen av motoren og erstatter 3000 deler som før måtte settes sammen. Selskapet vil etter hvert kunne produsere rakettmotorer der omtrent 95 % blir laget med AM-prosesser. <sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> Richard D'Aveni, «The 3D printing revolution», *Harvard Business Review*, mai 2015.

<sup>6</sup> Caroline Freund, Alen Mulabdic og Michele Ruta, *Is 3D printing a threat to global trade? The trade effects you didn't hear about: Policy research working paper 9024*, World Bank Group, september 2019.

<sup>7</sup> GE Aviation, «[New manufacturing milestone: 30.000 additive fuel nozzles](#)», 4. oktober 2018.

<sup>8</sup> Matthew Greenwood, «[3D-printed rocket maker gets its own launch site](#)», *Engineering.com*, 12. februar 2019.

---

---

### 3.1 Mekaniske egenskaper og design

Produksjonsmetoder påvirker de fysiske egenskapene til ethvert sluttprodukt, og AM er intet unntak. Dette er særlig relevant fordi noen typer additive tilvirkningsprosesser bygger objekter ved påføring av mange lag materiell, som skaper spesielle egenskaper. Anisotropi er en slik egenskap, som betyr at et objekt eller materiale har ulike egenskaper i ulike retninger. Dette begrepet dukket opp flere ganger i løpet av undersøkelsene. En deltager kommenterte at inngående kunnskap om et materials egenskaper er særdeles viktig siden produkter laget med additiv tilvirkning «er ikke isotropisk av natur» og noen ganger er «sterkt anisotropiske». Dette er ikke en særskilt ulempe med AM gitt at mange andre materialer brukt i industri har lignende egenskaper. Dette må likevel tas hensyn til i designprosessen.<sup>9</sup> Produkter laget med AM har tross alt blitt brukt i mange ulike applikasjoner, inkludert rakettdeler.

Hvorvidt AM-produserte deler er like robuste og slitesterke som mer tradisjonelle produksjonsmetoder var derfor en påstand i undersøkelsen som skapte reaksjoner. En deltager skrev at «det stemmer sikkert at en støpt del har bedre mekaniske egenskaper enn en identisk printet del. AM som produksjonsmetode kommer mer til sin rett når delene designes spesielt for å bli produsert på denne måten .... AM er ikke en konkurrent til konvensjonelle produksjonsmetoder, men er et tillegg.» En annen deltager observerte at hardhet og strekkstyrke «er etter min oppfatning ikke noe dårligere ved metalldele fremstilt av AM», men at duktilitet og bruddforlengelse «er derimot ofte lavere og AM resulterer ofte i «sprøere» deler.» Flere var enig i at etterbehandling ofte kan forbedre produksjonsresultatet, men her ble tidsmomentet løftet fram som en faktor: «Etter-bearbeiding kan være hensiktsmessig, men det er uansett en balanse mellom akseptabel kvalitet og tid. Av og til er det viktigere å få en komponent raskt enn at den er av ypperste kvalitet.»

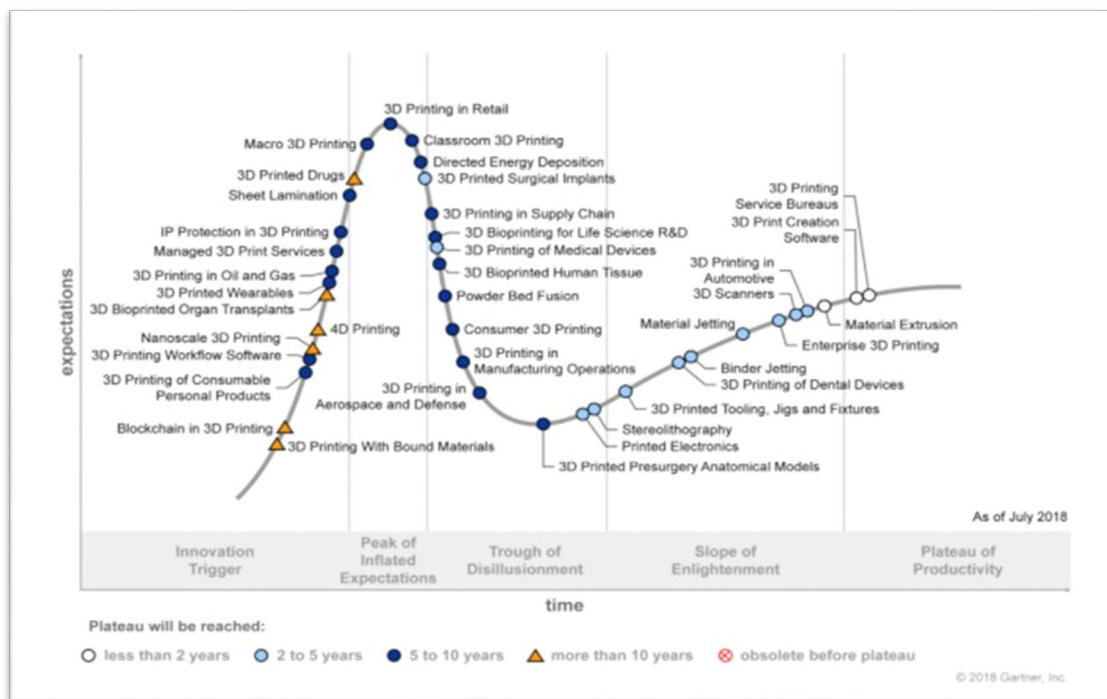
Mange av utfordringene med additiv tilvirkning vil kunne løses gjennom innovative designkonsepter som er skreddersydd til AM-teknologi. Ifølge en deltager er nøkkelen til AMs videre utvikling at designere og ingeniører må «learn to ‘think AM’ and how to use it efficiently, when and how to use it, how to design products that exploit the benefits of AM, how to integrate AM in industrial production, [and] to have statistically determined material property data for different AM processes.»

Det er lett å få et inntrykk av at objekter produsert med additiv tilvirkning kan brukes nesten rett fra skriveren. Selv om dette kan være tilfelle for visse deler som skal settes inn i et større og mer komplekst produkt, er det sjelden at AM-teknikker skaper produkter uten behov for noe form for etterbehandling. Utfordringene til dette dreier seg ofte om følger av AM som *metode* fremfor hvordan produktet designes. En deltager mente at utfordringen lå i forutsigbarhet i forbindelse med styrkeberegninger og anisotropisk oppførsel i materialet. En annen minnet om at «det vil alltid forekomme noe forvrengning som følge av termiske spenninger. Dette påvirker globale

---

<sup>9</sup> Et forskningsmiljø i Norge med stor aktivitet innen additiv tilvirkning er SINTEF. En artikkel om dette ble publisert av SINTEF forskere i 2018. Se Even W. Hovig et.al. «Determination of anisotropic mechanical properties for materials processed by laser powder bed fusion» *Advances in Materials Science and Engineering* (2018).

posisjonstoleranser og vil ofte kreve ettermaskinering». Når det i tillegg gjelder metall, vil «man aldri komme i mål uten noen form for etterbehandling da den fremstilte delen er sveiset fast til et substrat».



Figur 3.1: [Gartner](#) «hype»-kurve fra juli 2018 som viser den antatte statusen til ulike teknologifeltene tilknyttet additiv tilvirkning.

### 3.2 Konvergens med AI og AR

Samspill mellom flere teknologiområder som skaper nye dynamikker kalles gjerne konvergens. Konvergens mellom additiv tilvirkning og kunstig intelligens (AI) skaper allerede nå interessante muligheter. Blant utfordringene i AM er nettopp disse forvrengningene fra termiske spenninger nevnt ovenfor. Kunstig intelligens kan brukes til å lære fra tidligere produksjonsfeil, slik at man kan tilpasse design og modelleringsverktøy, og dermed unngå feilproduksjon. Samtidig er AI et nyttig verktøy i selve designprosessen for å optimalisere produktets egenskaper f.eks. med tanke på å kunne håndtere belastninger. Noen forskere har oppdaget at AI-støttet designverktøy har gjort småjusteringer på eksisterende produktdesign som virker lite intuitivt sett med menneskelige øyner, men viser seg å være mer effektive.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Miles O'Brian, «[How 3D printing is spurring revolutionary advances in manufacturing and design](#)», *PBS NewsHour*, 21. mars 2018.



---

---

En annen spennende utvikling er integrasjon av AM med utvidet virkelighet, også kjent som «augmented reality» eller AR. Ved bruk av spesialtilpasset CAD-programvare (computer-aided design) kan brukeren med AR briller se produktet som skapes digitalt og foreta justeringer til designet underveis mens AM-skriveren – i dette tilfelle en type *Material Extrusion* skriver – bygger objektet. Prosessen blir langt mer interaktiv og designet kan sees og oppleves tredimensjonalt under byggeprosessen.<sup>11</sup> For ufaglærte blir det enklere å lage avanserte produkter med hjelp av AR, og ingeniører vil kunne lage enda mer komplekse prototyper.

### 3.3 Bioprinting

Additive tilvirkningsteknikker kan også brukes til å lage menneskelig vev og organer. Prosessen er nærmest identisk til skriving med andre materialer, men det brukes et «bio-blekk» som kombinerer celler og andre organiske materialer. Ofte kan pasientens egne levende celler brukes i «bio-blekket» for å øke sannsynligheten for at kroppen aksepterer det nye vevet. Noen av de mest sannsynlige applikasjoner inkluderer ben, hudvev og blodårer.<sup>12</sup> Et amerikansk universitet har gjennomført vellykkede eksperimenter med å trykke hudceller direkte i et brannsårl etter at en dataskann har kartlagt sårets størrelse og dybde. Levende blodårer kan konstrueres ved å printe rør med biomaterialer sammen med blodårecellene som da kan fungere som en slags støttestruktur frem til de levende blodårecellene klarer å organisere seg og vokse på en selvstendig måte. Siden mikrostrukturene i mange organer har mer kompleksitet enn kun kombinasjonen av cellene og fasongen, er det fortsatt en utfordring å kunne skape velfungerende organer gjennom AM-prosesser.

I et slående eksempel på konvergens mellom additiv tilvirkning, dataprosessering og syntetisk biologi, har forskere ved Massachusetts Institute of Technology skapt en 3D-printet struktur med levende organismer integrert på overflaten som kan styres av avanserte algoritmer. En AM-produsert resin-struktur kombineres med kjemikalier som leder elektriske signaler til et lag med levende organismer – i forsøkene blir det brukt genetisk modifisert E.coli-bakterier – som da blir sprayet direkte på strukturen. Organismene kan for eksempel respondere på miljøstimuli som lys eller varme, mens algoritmer styrer de kjemiske egenskapene i materialet som påvirker mønstre til organismene. Helt konkret har forskerne utviklet en maske som kan tilpasses en individs genetisk sammensetning og kan tilføre kjemiske stoffer eller medisin direkte på kroppen.<sup>13</sup>

Alle deltagere var enten helt eller delvis enig i at teknologien kom til å gjøre det mulig for «artificially grown or 3D printed human body parts for use in transplants to heal injured personnel or to upgrade humans.» En deltager kommenterte at «building human tissue and simple body parts will keep on developing, but it is a very long term development before we will be able to build functional organs that are reliable and safe to put into a human body. Perhaps more like 40 years

---

<sup>11</sup> Huaishu Peng, et. al. «RoMA: Interactive fabrication with augmented reality and a robotic 3D printer», paper presentert ved *ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 21-26. april 2018, Montreal Canada.

<sup>12</sup> Sahas Dahal, «[What is 3D bioprinting explained](#)» *Medium*, 29. februar 2016.

<sup>13</sup> David Chandler, «[Printing objects that can incorporate living organisms](#)» MIT News, 23. januar 2020.

---

---

rather than 25 years ... Skin tissue, blood vessels, a new nose or ear, parts of joints, etc. may be closer.»

### 3.4 Utviklingene mot 2045

Ifølge de fleste ekspertene som deltok i undersøkelsen kommer AM til å ha en langt mer fremtredende rolle i fremtiden. Noen få mente at additive tilvirkning i 2045 vil dreie seg om «nische-produksjon» men med flere materialer, mens majoriteten så en mer dramatisk utvikling. En deltager skrev at «In 25 years it will not be possible to remain competitive in any field without solid knowledge and expertise in the entire value chain for AM» mens en annen kommenterte at AM innen samme tidsrammen kan bli «the mainstream manufacturing method.» Flere deltagere så for seg at skrivere ville øke både i størrelse og hurtighet. En annen var entusiastisk over muligheten for å kunne styre hvordan mikrostrukturen skulle bli i et produkt, og hvordan designegenskapene til komponenter ville kunne skreddersys i fremtiden, men påpekte at det gjenstår mye forskning før en slik tilnærming vil kunne anvendes.

Blant utviklingene innen materialvitenskap er anvendelsen av karbon-nanorør (carbon nanotubes eller CNT), et material med unike egenskaper. Som SINTEF beskriver:

Karbon-nanorør er, som navnet sier, nanometer-tykke rør som er laget av rent, uorganisk (krystallinsk) karbon. Dette er ikke organisk karbon som f.eks. i cellulosefibere, for organisk materiale inneholder også hydrogen og oksygen. Nanorør likner mer på grafitt. Grafitt er et naturlig mineral som er bygget opp av tynne lag som ligger oppå hverandre i stabler. Et slikt grafittlag kalles grafén, og er bare ett karbonatom tykt. Atomstrukturen i ett slikt lag likner mønsteret i en bikube med sekskanter i et regelmessig mønster. Dette gjør at overflaten på nanorørene blir svært stor. Hvis man ruller et slikt grafittflak får man et karbon-nanorør.<sup>14</sup>

Karbon-nanorør er blant annet ekstremt sterke, har lav vekt, og god elektrisk ledningsevne. Forskere har eksperimentert med å bruke additiv tilvirkning – blant annet pulver-baserte metoder – for å produsere materialer og objekter forsterket med CNT integrert i byggematerialet.<sup>15</sup> Dette muliggjør komplekse deler med stor styrke og ledningsevne, men skapt i en form som kan lettere integreres i en maskin eller plattform. Karbon-nanorør kan på sikt bidra til neste generasjons dataprosessering. Dersom silikon har nådd fysiske grenser for effektivitet og størrelse i jakten etter økende prosessingskraft, ser forskere på muligheten for å bruke CNT for å lage en ny type databrikke.<sup>16</sup>

Selv-helbredende polymer er et annet materiale under utvikling. Forskere i USA var på jakt etter et materiale som kunne benyttes av AM for komponenter til ubemannede systemer, og oppdaget

---

<sup>14</sup> SINTEF nettsiden, «[Nanorør tiltrekker seg forurensende stoffer](#)».

<sup>15</sup> Gnanasekaran, K. et. al. «3D printing of CNT- and graphene-based conductive polymer nanocomposites by fused deposition modeling», *Applied Materials Today* 9 (2017) ss. 21–28.

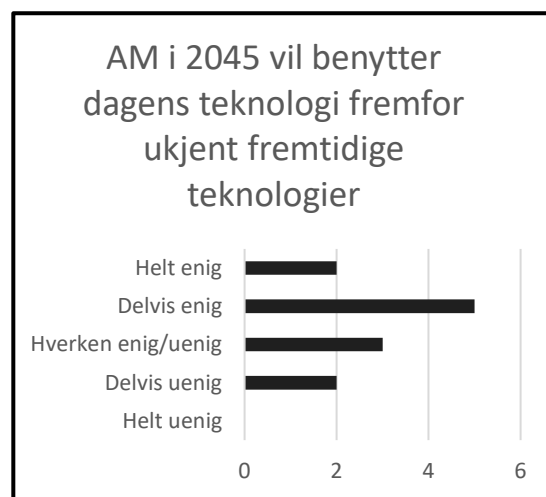
<sup>16</sup> Maria Temming, «[A chip made with carbon nanotubes, not silicon, marks a computing milestone](#)», *ScienceNews*, 28. august 2019.

---

---

noen unike egenskaper som sendte forskning i en annen retning. Materialet de jobbet med så ut til å kunne utnytte en dynamisk molekylær struktur til å skifte form fra en myk gummi til en hard plast flere ganger. På sikt er det tiltenkt at materialet vil ha en slags «hukommelse», slik at det kan på egen hånd returneres til en opprinnelig «husket» form – noe som kunne muliggjør blant annet autonome krigsskadereparasjoner.<sup>17</sup>

Ifølge en deltager nærmer teknologien innenfor additiv tilvirkning seg et punkt «where we can't push the physics in metal AM at the same rate as the past ten years». Den største utviklingen innen additiv tilvirkning vil heller dreie seg om hvordan vi samhandler med teknologien, og samspill med andre teknologier. I løpet av kort tid vil det være vanlig med programvarer som kan simulere hele prosessen fra skriving til etterbehandling, og foreta småjusteringer i sanntid underveis for å redusere behov for ettermaskinering og sløsing med materialer.<sup>18</sup> En annen utvikling er selvduplisering av AM-maskiner – det vil si at en AM-skriver kan produsere alle sine egne deler, og dermed lage en ny AM skriver. Når skrivere kan spres på denne måten vil tilgang til råmaterialer, datafilene og energi utgjøre de eneste begrensningene til lokal produksjon. Dette kan være problematisk for aktører som ønsker å produsere ulovlige og farlige produkter som eksplosiver eller våpen, siden eierskapsregistrering av selve skriveren kan være et viktig ledd i attribusjonsprosessen.<sup>19</sup>



For å forstå den fremtidige utviklingen innen additiv tilvirkning er det interessant å vite om mesteparten av den underbyggende teknologien allerede eksisterer i dag, eller om det vil oppstå nye teknologier som er helt ukjente i dag. Deltagerne var delte i sine meninger om dette, men de fleste satser på at utviklingene innen AM mot 2045 vil benytte seg av kjente teknologier. Additiv tilvirkning har modnet såpass mye at videreutviklingen og perfektioneringen av eksisterende teknikker og materialer, i kombinasjon med utvidelsen av applikasjoner og bruksområder, vil kunne føre til stor fremgang i feltet.

---

<sup>17</sup> U.S. Army CCDC Army Research Laboratory Public Affairs, «[Army researchers explore self-healing materials](#)», *US Army* nettsiden, 17. august 2020.

<sup>18</sup> Elizabeth Montalbano, «[Machine learning for smarter 3D printing](#)», *Design News*, 9. mars 2020.

<sup>19</sup> Trevor Johnston, Troy D. Smith og J. Luke Irwin, *Additive Manufacturing in 2040* (Santa Monica: RAND Corporation, 2018), s. 14.

---

---

## 4 Additiv tilvirkning og det fremtidige operasjonsmiljøet

Fremmarsjen av additiv tilvirkning kan ha merkbare følger for den politiske, militære, sosiale, og økonomiske konteksten som setter føringer for hvordan det norske Forsvaret gjennomfører militære operasjoner i fremtiden – det som gjerne kalles *det fremtidige operasjonsmiljøet*. Noen fremtidsanalyser beskriver relativt store forandringer for industri- og transportsektorer på grunn av additiv tilvirkning. Med AM-skrivere i lokalmiljøene kan det bli både lettere og billigere å lage deler lokalt fremfor å få dem tilsendt. Skrivere kan fungere som en mini-fabrikk for mer komplekse deler, noe som vil redusere behov for ufaglært arbeidskraft. Selv om de mest dramatiske spådommene for AMs innvirkning på globale produksjons- og forsyningslinjer ikke realiseres, er det likevel sannsynlig at additiv tilvirkning vil ha betydningsfulle konsekvenser for sikkerhetspolitikk.

En amerikansk jusstudent skapte overskrifter i 2013 da han demonstrerte hvordan han hadde skrevet ut en fungerende 9mm håndvåpen med en Stratasys 3D-skriver. Av de 16 delene av den såkalte «Liberator»-modellen var 15 skrevet med AM-teknikken og kun tennstempleet var metall. Det ble fort en rettslig prosess over den digitale filen med bygge-instruksjoner – kunne nedlastningen av filen betraktes som yringsfrihet eller ulovlig våpensalg? Planene ble lastet ned over 100.000 ganger før det amerikanske rettsvesenet stanset fildelingen. Siden har digitale filer med AM-instruksjoner for å produsere mange forskjellige våpentyper havnet på nettet, inkludert større modeller som AR-15- og AK-47-geværer. Ammunisjon kan også skrives med AM.<sup>20</sup> Noen plastvåpen klarer kun et begrenset antall avfyringer og kan være direkte farlig for brukeren dersom uegnede råmaterialer benyttes. Langt mer robuste våpen kan produseres av metall, blant annet *Solid Concepts* sin kopi av en Colt 1911 håndvåpen produsert via Direct Metal Laser Sintering (en form for *powder bed fusion*). Delene ble etterbehandlet for å gjøre våpenet funksjonelt, og har ifølge selskapet blitt avfyrt over 4000 ganger.<sup>21</sup> Likevel er slike maskiner svært kostbare og prosessen krever betydelig fagkunnskap.

Ulovlig våpensalg har aldri vært et hinder for kriminelle eller andre ikke-statlige aktører. Det er derfor lite sannsynlig at additiv tilvirkning vil ha en merkbar effekt på antall våpen i sirkulasjon. Likevel kan det være fordelaktig for slike grupper at våpen kan produseres uten identifiserbare spor som for eksempel et serienummer. Additiv tilvirkning kan muligens brukes til å lage modifikasjoner av eksisterende masseproduserte våpen for å øke effektiviteten eller avfyringskapasitet.<sup>22</sup> Håndvåpen kun laget av plast byr på andre sikkerhetsutfordringer selv om kun noen få skudd kan løses. Israelske journalister lastet ned og lagde «Liberator»-håndvåpenet

---

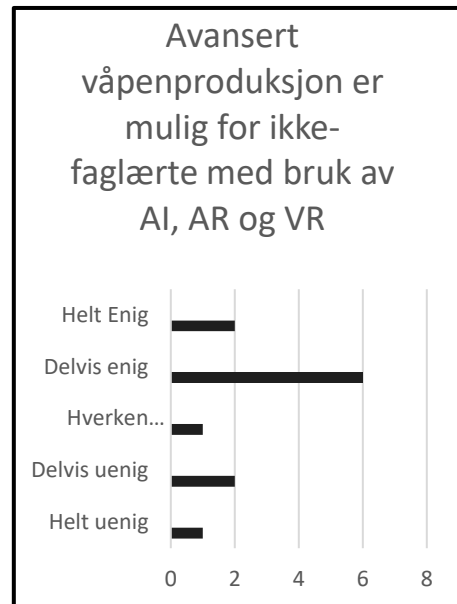
<sup>20</sup> Marco Fey, *3D printing and international security: PRIF report no. 144* (Frankfurt: Peace Research Institute Frankfurt, 2017).

<sup>21</sup> N.R. Jenzen-Jones, «Small arms and additive manufacturing: An assessment of 3D-printed firearms, components, and accessories» i *Behind the curve: New technologies, new control challenges* (Benjamin King og Glenn McDonald, red.), Geneva. Small Arms Survey, februar 2015.

<sup>22</sup> Andy Greenberg, «[The FBI says 'Boogaloo' extremists bought 3D-printed machine gun parts](#)» *Wired*, 4. nov 2020.

i 2013 og klarte å smugle den (uladet) inn i Knesset i to separate tilfeller.<sup>23</sup> Forskning pågår i flere land innen AM-produksjon av energetiske (det vil si eksplosive) materialer.<sup>24</sup> Hverdaglige objekter som sjakkbrikker kan lages slik at de vil forårsake en eksplosjon når koblet sammen med en detonator.<sup>25</sup>

Additiv tilvirkning kan også bidra til å forverre trusselen fra masseødeleggelsesvåpen gjennom produksjon av utstyr, kontrollerte materialer og våpen, eller produksjon av leveransemidler som droner. Utstyr som benyttes i laboratorium til produksjon av biologiske våpen eller sentrifugene til anrikning av uran kan produseres uten at de vanlige import-eksport-varslingsmekanismene utløses.<sup>26</sup> Additiv tilvirkning kan svekke multinasjonale ikke-spredningsregimer eller folkerettslige verktøy som økonomiske sanksjoner designet for å hindre import av spesifikke varer. Iran tok imot en ny Airbus A321 i januar 2017. Dette utgjorde det første nye flyet som hadde blitt importert i landet på over 20 år, på grunn av økonomiske sanksjoner. Dersom lokale produsenter kan lage AM-produserte reservedeler vil slike sanksjoner ha mindre betydning i fremtiden.<sup>27</sup>



Dersom en ikke-statlige aktør allerede har skaffet eller laget biologiske eller kjemiske våpen, kan det være behov for et leveringsmiddel som er større enn kommersielt tilgjengelige «quadcopter»-droner. Med fremtidige AM-teknikker kan det være relativt ukomplisert å lage skroget og andre komponenter til en større drone.<sup>28</sup> FFI-forsker Morten Hansbø har kommentert at «Flere av våre potensielle og nåværende motstandere har en offensiv holdning til ny teknologi. De bryr seg lite om regulering, lovverk eller skikk og bruk. Vi står potensielt overfor en ‘Do it yourself war’ eller ‘Maker Warfare’, der det er vanskelig å vite hva vi vil møte.»<sup>29</sup>

Andre teknologier kan muligens benyttes av ikke-statlige aktører uten fagkunnskap. De fleste AM-eksperter som deltok i undersøkelsen var enten helt eller delvis enig i påstanden «AM-produksjon vil i fremtiden kunne kombineres med kunstig intelligens, AR eller VR for å gjøre

<sup>23</sup> Fey, *3D printing and international security*.

<sup>24</sup> Michael Petch, «[UK defense agency plans to 3D print high explosives](#)», *3D Printing Industry*, 16. mars 2020.

<sup>25</sup> Bryce C. Tappan og Patrick R. Bowden, «[The disruptive potential of advanced energetics](#)» kapittel 14 i Zachary S. Davis, m.fl. (red) *Strategic latency unleashed: The role of technology in a revisionist global order and the implications for special operations forces* (Lawrence Livermore National Lab, 2021), s. 204-5.

<sup>26</sup> Christopher Daase, Grant Christopher, Ferenc Dalnoki-Veress, Miles Pomper, and Robert Shaw: «[WMD capabilities enabled by additive manufacturing](#)» NDS Report 1908, Negotiation Design and Strategy (NDS) 2019, Jupiter, FL / Monterey, CA, s. 58.

<sup>27</sup> Johnston, Smith og Irwin, *Additive Manufacturing in 2040*.

<sup>28</sup> Fey 2017, Hummel og Burpo 2020, Kolja Brockmann, «[Advances in 3D printing technology: Increasing biological weapon proliferation risks?](#)» WritePeace blog, *Stockholm Peace Research Institute*, 29. juli 2019.

<sup>29</sup> Forsvarets forskningsinstitutt, «[Robotkrigen kommer. enten vi vil det eller ei](#)» 28. juni 2018.

---

---

avansert våpenproduksjon tilgjengelig for aktører med begrenset teknisk kunnskap».<sup>30</sup> Flere uttrykte likevel skepsis til dette og kommenterte blant annet at «jeg tror ikke det vil være mulig å komme helt unna at man bør ha en viss teknisk forståelse for å kunne produsere funksjonelle og gode produkter» og at vi ikke burde «overdrive betydning av kunstig intelligens. Avanserte våpenproduksjon vil kreve betydelig teknisk kunnskap også i fremtiden». En annen deltager skrev at «Skills that have been necessary for present technologies will become obsolete by the development of new tools and technologies. Throughout history, people have predicted that the new technology would remove all need for skills and competence, [but] the new tools and technologies have always required their own set of new skills and education to be used efficiently.» En deltager kommenterte et lignende spørsmål ved å skrive «Om noen hadde gitt min mor et CAD-program og en 3D-printer ville det ikke ha skjedd så mye .... det kreves kunnskap om materialer og hvordan ulike printere printer deler med ulike egenskaper. Men generelt er det mulig å si at AM gjør det lettere for mange å produsere mange ting, også våpen og droner.»

## 5 Forsvarsindustri og additiv tilvirkning

Med mange avanserte materialer, lange utviklingstider og komplekse produkter, er forsvarsindustrien en god kandidat til å dra nytte av additiv tilvirkning. I tradisjonell fabrikkasjon øker kostnadene i takt med objektets kompleksitet, men dette er slett ikke tilfelle med AM-teknologi. Når datafilene er på plass er ikke komplekse deler mer tids- eller kostnadskrevende, og dermed får produsenten kompleksiteten «gratis». Forsvarsindustrier kan benytte seg av de samme fordelene av AM som sivile produsenter. Deler kan *konsolideres*, og additive tilvirkningsprosesser kan ofte kombinere mange deler som tidligere måtte settes sammen manuelt. Disse kan nå lages som én enkel del, noe som sparer byggetid og vekt. Produsenter kan forandre objektets *topografi* – det vil si at formen, strukturen og materialsammensetning kan justeres og optimaliseres på en helt annen måte. En annen fordel er *reduksjon i spesialiserte verktøy* som må brukes for ulike komponenter. Verktøykravene på samlebandet kan reduseres når AM-skrivere kan lage mange forskjellige typer komponenter. Kombinasjon av 3D-skriving og robotikk i fabrikkene gjør at en bedrift kan omstille produksjon på kort varsel uten mye «re-tooling».

Evnen til å kunne lage større objekter med AM-metoder kan føre til store tids- og kostnadsbesparelser, særlig når prosessen krever mange komponenter. Ved integrering av AM tidlig i designprosessen kunne GE Aviation utnytte nye materialegenskaper for å redusere vekt

---

<sup>30</sup> Det er selvfølgelig viktig å påpeke at begrepet «avanserte våpenteknologi» forble udefinert og deltagerne sto fritt til å tolke dette som de ville.

---

---

og øke ytelsen til den GE9X-jetmotoren gjennom bruk av 300 AM-produserte deler.<sup>31</sup> Flere andre vellykkede prosjekter har demonstrert verdien av en slik tilnærming. Laboratoriet ved Oak Ridge i USA brukte AM for å lage skroget til en 10 meter lang ubåt basert på en innsettingsfarkost brukt av amerikanske spesialstyrker. Ved bruk av maskinen «Big Area Additive Manufacturing» (eller BAAM) ble produksjonskostnaden av undervannsfarkosten, som er tiltenkt en «optionally manned» UUV-rolle, redusert med nesten 90 %, og produksjonstiden kortet ned til kun fire uker. Ingeniørene undersøker nå hvorvidt den samme typen maskin kan brukes til å fabrikere skrog, vinger og andre deler til kampfly, inkludert deler med integrerte ledninger og antenner.<sup>32</sup>

Forskningsaktivitet foregår også innen bruk av additiv tilvirkning for energetiske materialer, blant annet for å lage fast drivstoff til missiler. En typisk rakettmotor benytter en metallsyylinder der drivstoffet er støpt med et sylindrisk hull i midten. Dette hullet fungerer som et forbrenningskammer når raketten antennes. Drivstoffet brenner langs hele lengden av kammeret for å kunne produsere størst mulig skyvekraft, og denne strukturen gir også mange muligheter for å justere skyvekraftprofilen. Forbrenningens intensitet kan justeres i produksjonsfasen ved å støpe drivstoffet innerst mot forbrenningskammeret i en bestemt geometrisk form, for eksempel en stjerne. Dette gjør at «tuppene» til stjernen utgjør en større forbrenningsoverflate, og dermed bidrar til økt intensitet og hastighet på rakettmotoren ved antenning. Etter hvert vil forbrenningen utjevne den støpte stjerneformen til fordel for en mer jevn sylinder, og ytelsen forblir deretter konstant.<sup>33</sup>

Dersom additiv tilvirkning kunne benyttes i utforming av drivstoffet, vil sammensetningen av forskjellige typer kjemiske stoffer kunne blandes i ulike lag for å skreddersy forbrenning på en mer eksakt måte under hele flyvningen. Med en mer effektiv bruk av drivstoffet kan den totale drivstoffmengden økes betraktelig.<sup>34</sup> Arbeidet har vært utfordrende. Det fleste AM-metoder dreier seg om høye temperaturer og smelting eller brenning av bygge massen, noe som er lite hensiktsmessig for eksplosiver. Det er i tillegg utfordrende siden den krystallinske karakteren hos de fleste eksplosivstoffer gjør at dysehodet lett kan tettes, med mindre partikkelstørrelsesfordelingen av krystallene er justert riktig.

Noen forsøk har benyttet *Material Extrusion*-teknikken *Fused Deposition Modelling* (FDM), og har gjennomført vellykkede tester, men forbrenningen er fortsatt langt under optimalt.<sup>35</sup> På sikt kan nye kjemiske formler for fast rakettdrivstoff utvikles for en slik applikasjon, men grunnforskningen på dette er per i dag lite moden. Annen forskning har lyktes med å produsere hverdagslige objekter som sjakkbrikker laget av energetiske materialer som vil være særdeles

---

<sup>31</sup> Nick Hall, «[GE builds the world's largest jet engine with 3D printing](#)», *3D printing industry*, 25. april 2016; Annas Essop, «[Boeing 777X: GE9X engines with 300 3D printed parts powers largest twin-engine jetliner in first flight](#)», 28. januar 2020.

<sup>32</sup> D'Aveni, «[The 3D printing revolution](#)»; US Navy, «Press release: FY17 Department of the Navy additive manufacturing print-a-thon - Optionally manned technology demonstrator».

<sup>33</sup> Keith Button, «[3D printed rocket fuel](#)», *Aerospace America*, april 2019.

<sup>34</sup> *ibid.*

<sup>35</sup> Mitchell McFarland og Else Antunes, «[Small-scale static fire tests of 3D printing hybrid rocket fuel grains produced from different materials](#)», *Aerospace*, juli 2019.

---

---

antennelig i kombinasjon med en detonator.<sup>36</sup> Bruk av additiv tilvirkning for andre mindre eksplosive materialer, som tennkjede, kan være nærliggende, særlig for ammunisjon eller granater.<sup>37</sup> Et multinasjonalt forskningsprosjekt i regi av European Defence Agency (EDA), Additive Manufacturing Techniques for Energetic Materials (AMTEM), koordinerer grunnforskning og bidrar til utviklingen av nye typer drivstoff og stridshoder, samt tryggere, raskere og mer effektive teknikker for våpenproduksjon.

## 5.1 Muligheter

Prototyp utvikling med AM-teknologi vil bidra til et hurtig utviklingsløp for innovasjon og design, med et mye lavere behov for investeringer. Det å kunne produsere en ny komponent uten kostbare forandringer i fabrikkering utstyr kan ha gunstige effekter på design- og utviklingsprosesser. Når justeringer av datafilene – og muligens nye råmaterialer som føres inn i maskinen – er det eneste som kreves for å produsere flere ulike prototyper, er det større sannsynlighet at ulike varianter av samme komponent testes før den endelige beslutningen tas. Når design-teamene får mer frihet til å akseptere større risiko og de integrerer mer innovative design på prototypnivå, kan sluttresultatet komme nærmere et optimalt utfall fremfor et tids- og økonomidrevet kompromiss mellom design, testing og produksjon. Dette er verdifullt selv om produksjonen/fabrikkeringen skal foregå med tradisjonelle produksjonsmetoder. En logistikkoffiser i USA fortalte at «Even if your final part is going to be machined, you can print it in plastic five times to make sure it's got the correct geometries, the right tolerances, the correct interfaces, and then machine the final one.»<sup>38</sup>

I løpet av de neste to tiårene vil forsvarsindustriene kunne oppleve synergier mellom AM-teknologi og globale anskaffelsesbehov. Dersom trendene innen autonomi og ubemannede flyvende systemer vedvarer, vil det være behov for store mengder små og mellomstore UAV-er som kan brukes enten som sensorer eller effektorer på slagmarken. Etter flere tiår med et fokus på færre avanserte og svært komplekse våpenplattformer, kan større mengder autonome systemer brukes til å overvelde motstanderens forsvar. Dette vil kreve produksjonslinjer som kombinerer avanserte materialer og integrerte designegenskaper på måter der AM-teknikker har store fordeler. Stratasy har utviklet en mellomstor UAV med et vingespenn på tre meter og som benytter en jetmotor som gir en toppfart av ca. 240 km/t. Rundt 80 % av dronen var produsert med AM-metoder, noe som halverte tiden fra utvikling til ferdigprodukt. Som Stratasy påpeker, gir AM-fabrikkering en «cost-effective development of a customized – or mission-specific vehicle – without the cost constraints of low-volume production.»<sup>39</sup>

Spesialtilpassede produkter vil bli vanligere ettersom AM-metoder blir mer utbredte, særlig med produkter og komponenter som ikke kan lages ved tradisjonelle produksjonsmetoder. Et annet eksempel på dette er overvåkingsdronen LINE EW UAS utviklet ved FFI. Dronen fanger blant

---

<sup>36</sup> Bryce C. Tappan og Patrick R. Bowden, «The disruptive potential of advanced energetics», s. 205.

<sup>37</sup> Diskusjoner med FFI ansatte, høst 2020.

<sup>38</sup> Amanda M. Schrand, «Additive manufacturing: From form to function», *Strategic Studies Quarterly*, høst 2016.

<sup>39</sup> Davide Sher, «[Largest, fastest 3D printed drone carries Aurora flight science to new heights](#)» 9. november 2015, *3DPrinting Industry* nettside.



---

---

annet opp radarsignaler i det elektromagnetiske spekteret, og ved å produsere skroget med AM-teknologi, kan antennen integreres direkte i UAV-ens strukturer.<sup>40</sup> Snart vil det bli fullt mulig å integrere sensorelektronikk direkte i andre strukturer, enten det er skroget til en UAV eller uniformen til en soldat. Et annet eksempel på en komponent som utnytter produksjonsmulighetene additiv tilvirkning gir, er «Packool»-prosjektet ved *European Defense Agency* (EDA), som utvikler en unik type kjøleplate for maritim radar som er svært kompakt og effektiv.<sup>41</sup>

## 5.2 utfordringer

Ifølge deltagerne i spørreundersøkelsen finnes det flere områder som bør videreutvikles for å utnytte mulighetene som additiv tilvirkning tilbyr. Kunnskapen om materialene som brukes i dag til AM-produksjon, og de som kan brukes fremover, må forbedres, særlig i tilfeller der flere materialer skal blandes sammen eller skrives i samme komponent. En deltager mente at en av nøklene for videreutviklingen av AM er «kunnskap om materialer og inngående kunnskap om hvor godt materialet binder sammen». En annen viktig brikke er felles standarder for produksjon og sertifisering av AM-produserte komponenter. En deltager skrev at «standarder er noe av det viktigste som må på plass [av de underbyggende teknologier som blir mest avgjørende for utviklingen av AM], uten standarder må det gjøres tester på nesten hver eneste del og det kommer til bli svært kostbart. Dette jobbes det med, men det vil ta tid.»

I 2019 drøftet konsultantselskapet Deloitte noen mulige forklaringer for den tilsynelatende stagnasjonen i adopsjon av additive tilvirkningsteknikker. Sammen med bedre materialkunnskap og sertifiseringsprosesser, pekte rapportens forfattere også på utfordringer med å tilpasse eksisterende produksjonslinjer til å utnytte AM, samt effektive måter å håndtere behov for postproduksjonsbehandling. Fordelaktig anvendelse av additiv tilvirkning kan ofte innebære en total omorganisering og redesign av produksjonslinjer. I tillegg identifiserte Deloitte noen digitale utfordringer. Mange bedrifter har systemer for å spore kategorier av deler som produseres, men ikke individuelle deler – noe som ville vært nødvendig for å utnytte evnen til å lage skreddersydde produkter på samme rullebånd. Etablering av en såkalt «digital tråd» som inneholder informasjon om enkelte deler gjennom en hel livssyklus vil kunne bidra til å øke kunnskap om hvordan objekter laget med additiv tilvirkning presterer over tid.<sup>42</sup>

Datasikkerhet er et nærliggende aspekt ved additiv tilvirkning. Når flere komponenter eller strukturer lages med AM-maskiner er det en risiko at disse maskinene og prosessene utsettes for målrettede cyber- eller IKT-angrep. En deltager skrev at «frykten for [at] noen skal ha endret på strukturen i det som skal produseres slik at delen ikke lenger har de egenskapene den var tiltenkt å ha er noe som kan bli fatalt.» En motstander kan forandre informasjonen i datafilene for å justere

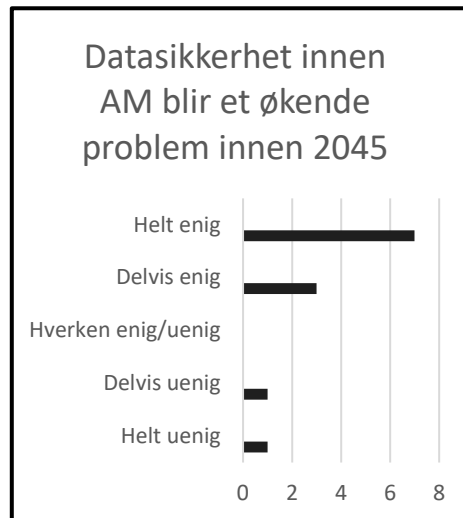
---

<sup>40</sup> Eirik Skjelbreid Grimstvedt, et. al., *LINE EW-UAS: an experimental unmanned system for coastal surveillance using ESM technology*. FFI-Rapport 15/02442 (Kjeller: Forsvarets forskningsinstitutt, 2015).

<sup>41</sup> Data fra spørreundersøkelsene og European Defence Agency, [CAPTECH Components Summary](#).

<sup>42</sup> Harald Proff og Andreas Staffen, [Challenges of additive manufacturing: Why companies don't use Additive Manufacturing in serial production](#). Deloitte, 2019.

byggeprosessen og introdusere svakheter som er vanskelige å oppdage. Temperaturen på materialet som skrives kan også justeres for å svekke komponenten. En motstander kan også stjele datafilene for å lage egne komponenter eller systemer for operasjonell bruk, eller for å lære å beskytte seg mot den typen kapabilitet komponenten har.<sup>43</sup> Norske eksperter var stort sett enige at dette var en alvorlig bekymring, men noen få mente gode løsninger ville komme innen 2045. En potensiell løsning for dette kan være bruk av blokkjede-teknologi som etablerer en sikker digital fil. I 2020 inngikk det norske selskapet Fieldmade en avtale med et blokkjede-firma for å skape nettopp den «digitale tråd»-sporbarheten beskrevet i Deloitte-rapporten for immaterielle rettigheter og datafilsikkerhet.<sup>44</sup>



### 5.3 Norsk industri og additiv tilvirkning

Til tross for store framskritt innen additiv tilvirkning har norske AM-eksperter blandede inntrykk av hvordan industri – og særlig forsvarsindustri – i Norge har innovert på dette feltet. De fleste var enig eller delvis enig i at norsk industri er godt posisjonert til å utnytte utviklingene innenfor AM når det gjelder produksjonsdesign (8 av 12), hurtig produksjon av prototyper for testing og produktutvikling (10 av 12), og utvikling av nye produkter med AM som ikke er mulig med tradisjonell fabrikasjon (9 av 12). Ekspertene hadde mindre tiltro til hvorvidt norsk industri vil klare å effektivisere produksjonslinjene ved bruk av AM-teknologi. En deltager kommenterte at «unfortunately, the Norwegian companies are not aboard on any developments that involve AM. It is definitely not zero activity, but compared to other industrial countries the gap is still huge.» En annen hadde dette å si:

Norwegian industry is far behind in practice to all comparable countries in the understanding and adaptation of AM technology. This is a great threat to Norway's possibilities to be competitive in modern manufacturing technology. As major Norwegian industries such as oil and gas are looking for suppliers with AM capability to produce spare parts and new AM designs, they can rarely find suppliers with the required capabilities in Norway....Norwegian industry is structured in a way that makes it well positioned to benefit from AM if they would learn how to use it efficiently.

<sup>43</sup> Merideth Rutland Bauer, «[Why the military needs to take 3-D printer cybersecurity seriously](#)», *Fifth Domain* nettside, 20. mars 2018.

<sup>44</sup> Gina Manassero, «[Data Gumbo deployed for 3D printing supply chain and logistics across energy, defense and aerospace with Fieldmade](#)», press release, *BusinessWire*, 22. september 2020.

---

---

Det er likevel tegn på innovasjon av additiv tilvirkningsteknologi innen norsk industri. I august 2020 gjennomførte det norske energiselskapet Equinor en vellykket prøveflyvning av et ubemannet helikopter fra fastlands-Norge ut til en oljeplattform i Nordsjøen. Målet var å frakte en reservedel som hadde blitt laget med additive tilvirkningsmetoder. Equinors pressemelding sier følgende:

At vi valgte en 3D-printet del til vår første dronefrakt offshore var helt naturlig. 3D-printing er en annen hurtig voksende teknologi som vil transformere måten vi jobber på. Delen som ble fraktet var en dieseldyseholder – en kritisk komponent i livbåtene på Troll A. Delen har gått ut av produksjon og er vanskelig å få tak i. Derfor ble delen re-designet og modellert i 3D før en avansert metall-3D printer laget en replika i en hardfør, industriell legering, Inconel 718.<sup>45</sup>

I tillegg ble den norske industribedriften Norsk Titanium den første til å få godkjenning fra det amerikanske luftfartstilsynet (FAA) for å produsere strukturelle flydeler. I 2017 fikk bedriften sertifisering til å lage titanbraketter til et Boeing passasjerfly og har siden fått lignende godkjenninger til å bruke sine AM-produserte deler i andre applikasjoner innen luftfart.<sup>46</sup>

## 6 Additiv tilvirkning i Forsvaret

Det forskes i flere land på spesifikke applikasjoner for additiv tilvirkning innen Forsvarets forsyningskjede. Dette inkluderer blant annet spesialtilpassede utstyr og løsninger for reservedeler. Utvikling og produksjon av spesialtilpassede produkter til Forsvaret er et åpenbart gunstig bruksområde for AM-teknologi. Dette er særlig relevant for utstyr og komponenter som må tilpasses norske forhold og behov, noe som gjør produktene mindre relevante for andre aktører. Kostnadene for å utvikle slike produkter er lite økonomisk bærekraftig for kommersielle aktører, da de betjener et begrenset marked og har generelt lave produksjonstall. Dersom additive tilvirkningsmetoder reduserer tids- og kostnadsfaktorer i produktutvikling, vil norske bedrifter ha en farbar økonomisk modell for særnorsk produksjon. Det finnes flere gode eksempler på dette fra FFI, inkludert utstyr laget spesifikt til norske spesialstyrker. Produksjonen av den tidligere nevnte LINE EK UAS er et annet eksempel.

---

<sup>45</sup> Equinor nettside «[Equinor har gjennomført verdens første logistikkoperasjon med drone til en offshore installasjon](#)», 28. august 2020.

<sup>46</sup> Norsk Titanium, «[Norsk Titanium receives Airbus contract for qualification and production](#)», 18. juni 2019.

---

---

Lagring av store mengder reservedeler er kostbart og lite effektivt, men er likevel et uunngåelig aspekt ved Forsvarets logistikk. Et digitalt varelager som skriver ut deler når behovet melder seg kan spare tid, lagringsplass og penger. Gjennom AM har Forsvaret muligheten til å oppnå økt effektivisering i logistikk-kjeden. Et digitalt varelager med «on-demand» produksjon av deler med additiv tilvirkning vil kunne redusere avhengighet av utenlandske leverandører, noe som kan gi strategiske gevinster gjennom økt beredskap. En rapport fra det amerikanske forsvaret slår fast at AM kan «transform maintenance operations and supply chains, increase logistics resiliency, and improve self-sustainment and readiness for the military services.»<sup>47</sup>

Behov for reservedeler til eldre våpensystemer er et annet felt hvor AM kan bidra. En bekymring ved anskaffelsen av utstyr og våpensystemer er fremtidig tilgang på reservedeler, noe som kan bli utfordrende dersom produksjonslinjer stenges ned. I USA er dette tilfelle med flere flytyper, inkludert B-52 Stratofortress. Reservedeler til denne modellen har ikke blitt produsert på flere tiår, men tredimensjonal skanning og «reverse-engineering» av komponenter gjør det mulig å kunne produsere de nødvendige delene.<sup>48</sup> Et nyere men lignende eksempel er kampflyet F-22, der produksjon ble avsluttet i 2012. Lockheed Martin benyttet *Powder Bed Fusion*-metoden med titanpulver til å produsere en permanent løsning for en aluminium-brakett som viste seg å være sårbar for korrosjon.<sup>49</sup> Evnen til å kunne produsere reservedeler forsterker logistikkapparatet, og kan også gi beslutningstagere økt fleksibilitet i anskaffelsesprosesser når fremtidig tilgang til deler ikke behøver å veie like tungt.

En annen gevinst av additiv tilvirkning for Forsvaret er produksjonen av reservedeler i felt. Det å ha en AM-kapabilitet utplassert med norske styrker gir en dobbelgevinst. Dersom soldatene har ideer for nye produkter eller modifiseringer til eksisterende systemer, kan en prototype lages i løpet av kort tid for testing og evaluering. Denne lavterskel-tilnærmingen øker sannsynligheten for å finne gode løsninger og å videreutvikle mer effektive våpensystemer. Andre fordeler ved å ha en operativ AM-kapabilitet utplassert med norske styrker, er reduksjon i antall reservedeler som må tas med på oppdrag, og økt kampkraft når hurtig vedlikehold og reparasjon i felt reduserer antall timer kampenhetene må klare seg uten utstyr. Ved bruk av ubemannede flyvende systemer – som Equinors leveranse av en AM-produsert reservedel til en oljeplattform – kan reservedeler transporteres uten risiko for personell. Den økte friheten fra etablerte forsyningslinjer i en krisesituasjon kan gi større manøvreringsmulighet, og taktiske og operasjonelle fordeler.

Den amerikanske hæren etablerte en av de første mobile AM-verkstedene gjennom sitt «Rapid Equipping Force» initiativ. Den kontainerbasert løsningen med 3D printer, CNC-fresemaskin, og andre verktøy ble utplassert i Afghanistan i 2011. Blant suksesshistoriene var en hjuldeksel til MRAP-kjøretøyet (Mine Resistant Ambush Protected), som regelmessig fikk problemer med dekkenes luftventiler. Etter at teamet hadde brukt flere prototyper for å beskytte ventilene, fant de på et deksel som kunne settes på hjulene på en lettvinnt måte. De fikk produsert et tilstrekkelige

---

<sup>47</sup> Justin Doubleday, «[New Pentagon policy to accelerate use of 3D printing amid fresh cyber concerns](#)», *Federal News Network*, 15. juli 2021.

<sup>48</sup> Schrand, «Additive manufacturing: From form to function».

<sup>49</sup> Kyle Mizokami, «F-22 stealth fighter receives first new 3D-printed part», *Popular Mechanics*, 22. januar 2019.

---

---

antall enheter som kunne fungere som en midlertidig løsning, før en permanent komponent kunne fabrikeres.<sup>50</sup>

Et lignende system ble testet av FFI under øvelsen *Cold Response* i 2016. I løpet av to uker ble 32 prototyper utviklet fra det kontainerbaserte verkstedet, og verdien av en slik kapabilitet ble tydelig demonstrert og dokumentert i en FFI-rapport fra 2016.<sup>51</sup> Likevel avdekket erfaringene fra øvelsen noen utfordringer som må løses før omfattende bruk av AM-teknologi i felt blir aktuelt. Den norske bedriften Fieldmade AS har videreutviklet et konsept med støtte fra FFI. Den mobile kontainerløsningen la føringer på materialvalget, og *Material Extrusion*-teknikken *FDM* ble valgt fremfor metallpulver siden «slike maskiner er gjerne vesentlig større i volum enn *FDM*-maskiner. Dessuten er håndtering av pulveret problematisk i mobile operasjoner.»<sup>52</sup> At metall-basert AM også krever mye strøm og at selve pulveret er tungt betyr at denne formen for additiv tilvirkning vil fortsatt kreve noe logistikkstøtte og ikke nødvendigvis kan plasseres lengst fram med styrkene på den samme måten som polymerbasert produksjon.<sup>53</sup>

Deltagerne i spørreundersøkelsen vurderte dette som en av utfordringene med AM-teknologi i felt. En deltager ramset opp en smørbrødtype av utfordringer: «krav til temperatur, luftfuktighet, eksplosjonsfare ved håndtering av fint pulver/støv (støvbrann), krav til renhet, størrelser, vekt og krav til kalibrering og opprettholde produksjonstoleranser og nøyaktighet etter flytting.» Dette begrenser feltproduksjon til plastbaserte komponenter, noe som begrenser hva slags reservedeler som kan lages. Når bedre og tryggere teknikker for transportering, oppbevaring og håndtering av metallpulver utvikles, vil noen av disse negative aspektene forsvinne.

Flere understreket nødvendigheten av et strengt kontrollert arbeidsmiljø med tanke på temperatur, fuktighet, oksidering, og muligens UV-eksponering. En annen påpekte at identiske maskiner på forskjellige lokasjoner ofte krever ulike produksjonsparametere for å få identiske fabrikeringsresultater. En uventet utfordring som dukket opp under *Cold Response* var strømbrudd: «under øvelsen ble det opplevd flere strømavbrudd. Et strømavbrudd avbryter produksjonen i 3D printer, og komponenten som produseres må som regel kastes. I tillegg er det tidskrevende å gjøre maskinen klar for produksjon når strømmen kommer tilbake.»<sup>54</sup>

En løsning hvor man plasserer AM-produksjonen på et skip har blitt testet av amerikanerne, blant annet i initiativet «Print the Fleet». Selv om nettopp strømavbrudd sannsynligvis er mindre problematisk til havs, finnes det en rekke andre utfordringer på toppen av de som ble avdekket under øvelsen. Ifølge deltagerne i undersøkelsen anses AM til sjøs å være en reel mulighet. En deltager skrev «etter min oppfatning egner AM seg godt på sjøen», men mange av de samme

---

<sup>50</sup> Adam Asclipiadis, «[Rapid Equipping Force uses 3D printing on the frontline](#)» US Army nettside, 9. juli 2014.

<sup>51</sup> Joakim Flathagen et.al, *Additiv produksjon av prototyper og reservedeler i felt, FFI-rapport 16/01008* (Kjeller: Forsvarets Forskningsinstitutt), 2016.

<sup>52</sup> Flathagen et. al, *Additiv produksjon*, s. 9.

<sup>53</sup> Lawrence E. Bronisz og Dominic S. Peterson, «Additive adversaries: Enabling and supporting the warfighter with additive manufacturing» kapittel 12 Zachary S. Davis, m.fl. (red) *Strategic latency unleashed: The role of technology in a revisionist global order and the implications for special operations forces* (Lawrence Livermore National Lab, 2021), s. 174.

<sup>54</sup> Flathagen et. al, *Additiv produksjon*, s. 25.

---

---

negative aspektene nevnt tidligere må likevel løses. Andre unike utfordringer for AM på havet var hvorvidt salt og fuktighet i luftet, fartøyets konstant bevegelse i sjøen, og vibrasjoner og sjokk under produksjon kunne påvirke resultater.<sup>55</sup> Øverst på listen var imidlertid brannsikkerhet, noe som er særdeles viktig på et skip. En deltager bemerket at:

Fokus på brannsikkerhet om bord i marinefartøy er stort og det vil være vesentlig å imøtekomme dette. De diskusjonene jeg har vært involvert i rundt dette temaet har vært preget av manglende kunnskap fra begge sider (vi som jobber med AM vet for lite om sjøfart og de som jobber med sjøfart vet for lite om AM). Den umiddelbare reaksjonen fra Marinen var at det var uaktuelt gitt faren for eksplosjoner forbundet med AM som benytter pulver. Men med mer kunnskap om hvilke krav som stilles og hvorfor, ser jeg ikke bort ifra at dette er mulig å få til.

Ifølge Vidar Brevik fra Sjøforsvaret har FDM maskiner blitt utplassert i enkelte overflatefartøy for produksjon av deler og unike skreddersydde løsninger om bord på skipene. Inntrykket er at dette har fungert bra, selv med bevegelsene som hører til med et fartøy til sjøs. Brevik ser en lys fremtid også for metall-AM på skip, gitt at andre typer farlige stoffer allerede finnes om bord og håndteres på en tilfredsstillende måte. Reservedeler kan lages med tilstrekkelig kvalitet og robusthet, slik at skipene kan håndtere reparasjoner som tidligere ville krevd logistikkstøtte. Hovedutfordring når det gjelder AM i Sjøforsvaret handler ikke om teknologien, men jussen. Ved å installere en reservedel som er produsert ved bruk av AM om bord på fartøyet, vil reklamasjonsretten fra produsentene kunne opphøre.<sup>56</sup>

Uansett hvor reservedeler produseres – enten ut i feltet, til havs eller på en militærbase i Norge – finnes det juridiske utfordringer forbundet med immaterielle rettigheter som må håndteres. Ideelt sett vil Forsvaret bygge ut og opprettholde et digitalt varelager av datafilene til reservedeler og komponenter som kunne produseres med AM-metoder. Under øvelsen Cold Response var dette en begrensning:

Selv om reservedelproduksjon med additiv tilvirkning utvilsomt har et betydelig potensiale i fremtidens forsyningskjede for Forsvaret, var det i utgangspunktet ikke lagt opp til produksjon av reelle reservedeler under øvelsen. Dette var primært fordi reservedelproduksjon i felt krever at man har tilgang på en designfil som beskriver den angitte delen. Forsvaret har per i dag igjen elektronisk reservedeldatabase med tilhørende designfiler. En slik løsning vil dessuten kreve at man har rettigheter til å produsere kopier lokalt, enten i form av fri bruk eller ved lisensiering. Dette er langt mer en juridisk utfordring enn en teknisk utfordring, hvor det kan trekkes analogier til tilsvarende problemstillinger innen kopiering av tekst, musikk, og film.<sup>57</sup>

---

<sup>55</sup> Noen testforsøk gjennomført av FFI i 2018 kan tyde på at noen typer AM er mindre påvirket av høyere lufttemperaturer, lav fuktighet eller støv. Se Tom Thorvaldsen, Torbjørn Olsen og Bernt Brønmo Johnsen, *Characterization of in-field additively manufactured polymer composites*. FFI rapport 18/00586 (Kjeller, FFI, 2018).

<sup>56</sup> Vidar Brevik, «A bottom-up approach to adopt additive manufacturing in the Norwegian Navy», presentasjon ved konferansen Additive Manufacturing for Military Applications (AMMA), Lillestrøm Norge, 9. november 2021.

<sup>57</sup> Flathagen et. al, *Additiv produksjon*, s. 18.

---

---

Deltagerne i spørreundersøkelsen bekreftet denne problemstillingen, men flere mente den rettslige utviklingen innen AM var såpass dramatisk at en løsning sikkert ville tvinge seg fram. En deltager skrev at «the landscape of IPR is already being disrupted», mens en annen mente at i fremtiden kunne AM-«copying [...] be problematic, although unique products could be expensive to replicate.» En siste deltager spådde en vanskelig tid fremover for IPR, men på sikt ville prosessparameterne og materialegenskapene (som er vanskelig å gjenskape eller «reverse engineer») være hovedfokus for rettslig beskyttelse, fremfor objektets geometri (som er lettere å kopiere).

Dersom additiv tilvirkning blir fremtredende for feltproduksjon av reservedeler blant Norges allierte i NATO, kan interoperabilitet bli en utfordring. I mange tilfeller blir det neppe et behov for at hvert medlemsland bidrar med hver sin AM-felthenhet, men det innebærer at alliansen utarbeider en felles digital reservedeldatabase for alle alliertes kampsystemer. Det vil bli avgjørende å utvikle felles standarder, parametere og sertifiseringer for å sørge for at alle har tillit til byggekvaliteten av feltprodusert AM. Dette kan i tillegg bli problematisk med tanke på beskyttet informasjon som enkelte stater, eller deres respektive forsvarsindustrier, ikke nødvendigvis ønske å dele. Slike detaljer må løses for at AM skal kunne videreutvikles fra et eksperimentelt nivå til å være en fullkommen operativ kapabilitet.

## 7 Konklusjoner

Basert på spørreundersøkelsene og sekundærlitteraturen er det tydelig at additiv tilvirkning kommer til å ha en betydelig innvirkning på fremtidens produksjonskjeder og forsvarsvirksomhet. Gitt at AM er en felles betegnelse for et variert sett av teknikker og teknologier, er det likevel vanskelig å gjøre for mange fellesobservasjoner uten å presisere hvilke AM-teknikker som omtales. Det som kan konkluderes er at AM-prosesser vil kunne redusere produksjonstid og spare kostnader i fabrikking av komplekse deler der kompleksitet kan integreres i AM-designet. Noen additiv tilvirkningsmetoder kan produsere komponenter som er like robuste som tradisjonelle massefabrikkeringsmetoder, mens andre må brukes i spesialtilpassede situasjoner og bruksområder. I mange tilfeller vil AM legge til rette for mer lokal produksjon av enkelte varer, men med vedvarende lave transportkostnader vil masseproduksjon trolig beholde et kostnadmessig fortrinn.

Forsvaret kan høste en rekke fordeler fra videreutvikling av AM-teknologiene. Dette kan inkludere hurtigere prototypefabrikking og produktutvikling, kortere utviklingstid fra bestilling til ferdigprodukt, og lavere produksjonskostnader for komplekse komponenter. Norsk forsvarsindustri og Forsvaret kan begge nyte godt av additive tilvirkningsprosesser, særlig når det gjelder spesialtilpasset utstyr for norske forhold, der lave produksjonstall vanligvis ville krevde høyere enhetspriser. Forsvaret har så vidt begynt å undersøke bruk av additiv tilvirkning i forsyningskjeden, hvor store gevinster kan realiseres. Mye arbeid gjenstår med tanke på tekniske

---

løsninger, sikkerhetsmessige utfordringer og juridiske spørsmål. En fellesnevner for både Forsvaret og forsvarsindustrien er evnen til å tenke annerledes. De største fordelene med AM-produksjon ser ut til å kunne realiseres når design og produksjon løsrives fra tradisjonelle tankemåter. Ved «å tenke AM» helt fra begynnelsen kan produktdesign og fabrikking utnytte fordelene med denne teknologien i løpet av de neste to tiårene. Dersom de kulturelle, organisatoriske, og ikke minst rettslige utfordringene løses, står teknologien klar til å levere robuste produkter i en rekke applikasjoner.



---

---

## A Vedlegg

### A.1 FFI spørreundersøkelse 1 (mars 2020)

#### i1 – Bakgrunnsinfo

For å samle kompetansen som allerede finnes på FFI, setter TEKNO i gang med en forskningsaktivitet basert på Delphi-metoden – det vil si en utvidet og anonym spørreskjema-metodikk. Hensikten er å sanke mest mulig faglig kunnskap med minst mulig tidsinvestering for hver deltager. Vi i TEKNO prosjektet ønsker å få innspill fra de ulike fagmiljøene hos FFI angående de fremtidige utsiktene (henholdsvis mot 2035 og 2045) til noen utvalgte teknologier.

Vi forventer ikke å treffe helt nøyaktig med våre fremtidsanalyser, men ønsker å si noe fornuftig om fremtidige trender og behov. I utgangspunktet sikter vi mot fagfelt som anses å ha et stort potensial for å påvirke fremtidens slagmark, f.eks. autonomi/kunstig intelligens, sensorteknologi, elektronisk krigføring, cyberkapabiliteter, hypersoniske missiler, additiv produksjon, og satellitt/romkapabiliteter. For å lese mer om TEKNO prosjekt, se FFI notat «Methodologies for technology forecasting: A framework for the TEKNO project» (mars 2020).

#### i2 - Info 2

Fremgangsmåte: Denne undersøkelsen inneholder mellom fem og ti spørsmål som gjerne inkluderer noen påstander/antagelser om fremtidig utvikling innenfor fagfeltet. Vi ber deltagerne svare med et kort avsnitt til hvert spørsmål/påstand. Til slutt vil deltagerne bli bedt om (1) å oppgi en god artikkel/rapport som omhandler fremtidig utvikling innenfor sitt fagfelt og (2) oppgi mulige individer utenfor FFI som kunne være aktuelle for å delta i en fremtidig ekstern undersøkelsesrunde. Svarene samles inn, oppsummeres og sendes ut igjen til deltagerne etter noen få dager, der de bes om å kommentere på de oppdaterte svarene/påstandene. Etter konklusjonen av runde to, samles alle deltagerne til et felles møte for å diskutere spørreundersøkelsens resultater og diskutere hvordan fremtidige militære operasjoner kan bli påvirket av den teknologiske utviklingen. Konklusjoner fra NATTS undersøkelse og møtet samles i et kort notat som sendes til alle deltagerne. Dette danner grunnlaget for TEKNOs videre analyse.<sup>58</sup>

Tidsbruk: Tidsbruk for hver deltager vil være ca. 20 minutter per spørreskjemarunde. I tillegg kommer et avsluttende møte med en times varighet.

---

<sup>58</sup> Her refereres det til NATTS undersøkelsen. Dette var det opprinnelige navnet på spørreundersøkelsesserien – Norwegian Anonymous Technology Trends Survey. Etter den første runden ble navnet forenklet og NATTS forkortelsen ble forkastet.

---

---

**q1 - Forskningsfronten**

Hvordan ville du beskrive forskningsfronten til additiv produksjon (AM) i dag?

**q2 - Fremtidig teknologi 1**

AM i fremtiden (innen 2045) vil hovedsakelig benytte teknologi som allerede finnes, men som ikke er moden nok per i dag fremfor nye og hittil ukjente teknologier.

Enig  Delvis Enig  Uenig

**q3 - Fremtidig teknologi 2**

I hvilke sammenhenger og på hvilken måte tror du AM vil spille en rolle i Forsvaret frem mot 2045?

**q4 - Underbyggende tekno**

Hvilke underbyggende teknologier vil bli mest avgjørende for utviklingen av AM eller å nå de målene som beskrevet i forrige svar?

**q5 - Mottiltak**

Hvilke teknologier eller teknikker kan representere sannsynlige trusler mot AM innen 2045?

**q6 - NATO ModularShips**

Påstand:

Novel materials and manufacturing will enable the building of modular ships from 3D or 4D printed materials, thereby reducing costs and increasing operational flexibility.

Enig  Delvis Enig  Uenig

**q7 - NATO1 humanparts**

Påstand:

Novel materials and manufacturing techniques will give the ability to use artificially grown or 3D printed human body parts for use for transplants to heal injured personnel or to upgrade humans.

Enig  Delvis Enig  Uenig

**q8 - FutureOperEnviron1**

Påstand:

Additive manufacturing, computer-aided design, and millions of industrial robots will dislocate

---

---

significant portions of the global supply chain. Virtually anyone in the world with access to a computer system and three-dimensional printer will be able to "print" anything from drones to weapons.

- Beskrivelsen er sannsynlig
- Deler av beskrivelsen er sannsynlig
- Beskrivelsen er usannsynlig

**q9 - FutureOperEnviron2**

Kommenter litt mer utfyllende om situasjonsbeskrivelsen og ditt svar:

**q10 - ForslagSpørsmål**

Foreslå et spørsmål om fremtidig AM som hadde vært nyttig å inkludere i denne undersøkelsen:

**q11 - Literaturforslag**

Kan du anbefale en rapport eller artikkel som du mener gir en god beskrivelse av teknologiens fremtidig utvikling?

**q12 - Deltagerforslag**

Kan du foreslå noen andre norske fageksperter på feltet (utenfor FFI) som kunne være aktuelt for en fremtidig NATTS runde?

---

---

## A.2 FFI spørreundersøkelse 2 (april 2020)

### i1 – TEKNOintro

For å samle kompetansen som allerede finnes på FFI, setter TEKNO i gang med en forskningsaktivitet basert på Delphi-metoden – det vil si en utvidet og anonym spørreskjema-metodikk. Hensikten er å sanke mest mulig faglig kunnskap med minst mulig tidsinvestering for hver deltager. Vi i TEKNO prosjektet ønsker å få innspill fra de ulike fagmiljøene hos FFI angående de fremtidige utsiktene til noen utvalgte teknologier.

Vi forventer ikke å treffe helt nøyaktig med våre fremtidsanalyser, men ønsker å si noe fornuftig om fremtidige trender og behov. I utgangspunktet sikter vi mot fagfelt som anses å ha et stort potensial for å påvirke fremtidens slagmark, f.eks. autonomi/kunstig intelligens, sensortechnologi, elektronisk krigføring, cyberkapabiliteter, hypersoniske missiler, additiv produksjon, og satellitt/romkapabiliteter.

### q0 - Samtykke

Tusen takk for at du ønsker å delta i runde 2 av TEKNOs undersøkelse om additiv produksjon. Denne runden er beregnet til å ta mellom 20-30 minutter og er helt anonym. Svarene kan bli brukt som en del av grunnlaget i TEKNOs arbeid og direkte sitater fra undersøkelsene kan bli brukt i fremtidige notater/rapporter.

- Jeg forstår og vil bli med. Kjør på!
- Jeg har ikke lyst til å delta

### i2 - Dobbelsjekk

Vil du virkelig avslutte?

### q1 - KvalitetProduksjon

Teknologiske fremskritt og økt materialkunnskap vil løse vanlige utfordringer med AM produserte deler til forsvarssystemer innen 2045.

- Helt enig
- Delvis enig
- Hverken enig/uenig
- Delvis uenig
- Helt uenig

### q2 - AmKritiskeDeler

Er det noen vedvarende negative egenskaper ved AM produserte deler som egentlig ikke kan løses helt?

---

---

### q2a - InferiorAMpartsPåstand

Påstand:

In terms of tensile strength and hardness, researchers have found that AM printed-as-fabricated condition parts are proving to be significantly inferior to those made with conventional materials. However, the post-secondary process (heat treatment, electropolishing, etc.) makes for a greater resilience in the printed parts and improvement in the mechanical properties of the material.

- Helt enig
- Delvis enig
- Hverken enig/uenig
- Delvis uenig
- Helt uenig

### q2b - Kommentar3DinferiorPartsOpen

Legg gjerne til kommentarer eller videre forklaringer:

### q3 - KlarforBruk

Hva er de største utfordringene til at AM klarer å produsere komplekse "klar-for-bruk" produkter uten behov for ettermaskinering? Dreier det seg om begrensninger til produksjonsteknikker ved AM eller produktdesign eller begge deler?

### q4 - FeltUtfordringer

Hva er noen av de praktiske utfordringene som må løses før AM kan brukes i feltet av for eksempel spesialstyrker (e.g. transport/håndtering av råmaterialer som pulver/filament/rods, opprettholding av produksjonskvalitet, størrelse/vekt/flyttbarhet av utstyr)?

### q5 - AMtilSjøs

Hvilke metoder/tilpasninger (for eksempel Direct Energy Deposition) egner seg best for bruk på norske marinefartøy? Hva slags utfordringer kan AM møte til sjøs?

### q6 - InfoSikkerhet

Informasjonssikkerhet innen AM blir et økende problem mot 2045. Integriteten av datafiler og digitale deler blir særdeles viktig.

- Helt enig
- Delvis enig
- Hverken enig/uenig
- Delvis uenig
- Helt uenig

---

---

**q7 - MakerWarAI/VR/AR**

AM produksjon i fremtiden vil kunne kombineres med kunstig intelligens, AR eller VR for å gjøre avansert våpenproduksjon tilgjengelig for aktører med begrenset teknisk kunnskap.

- Helt enig
- Delvis enig
- Hverken enig/uenig
- Delvis uenig
- Helt uenig

**q8 - TruslerKomm**

Legg gjerne til kommentarer eller videre forklaringer:

**q9 - NATOinterop**

Dersom AM blir mer fremtredende i allierte militære operasjoner kommer interoperabilitet til å være en utfordring med tanke på felles digitale databaser, produksjonsteknikker og tillit til andre staters standarder.

- Helt enig
- Delvis enig
- Hverken enig/uenig
- Delvis uenig
- Helt uenig

**q10 - UtdypInfoSikkNATOInterop**

Legg gjerne til kommentarer eller videre forklaringer:

**q11 - NyeProdukterVåpen**

Hva slags produkter kan være mulig å produsere med AM innen 2045 som ikke er mulig med dagens tradisjonelle fabrikkteknikker?

**g12 - NorskIndustriGRID**

Norsk forsvarsindustri er godt posisjonert til å utnytte utviklingene innenfor AM, særlig med tanke på:

	Utvikling av produksjonsdesign, der en enkel AM produsert del kan erstatte flere deler som tidligere krevde montering	Utnyttelse av AM til å lage hurtige prototyper for testing og produktutvikling	Bruk av AM for å skape nye produkter som ikke kunne produseres med tradisjonelle metoder	Effektivisering av produksjonslinjene ved bruk av AM
Helt enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hverken enig/uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Helt uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### q13 - KommentNorskIndustri

Legg gjerne til kommentarer eller videre forklaringer:

### g14 – NorgeAM

Norge bør...

	Bli flinkere til å utnytte nye teknologier som AM i Forsvaret.	Utarbeide en nasjonal strategi for AM som innlemmer bl. a. Forsvaret, forskningsinstituttene og forsvarsindustri.	Erkjenne at AM blir stadig mer relevant for materiellanskaffelse og logistikk innen forsvarssektor.
Helt enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hverken enig/uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Helt uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

---

### q15 - UtdypInfoNorgeAM

Legg gjerne til kommentarer eller videre forklaringer:

### g16 - MetaSurvey

Hjelp oss til å bli bedre:

	Jeg brukte ikke mer enn 20-30 minutter på undersøkelsen	Jeg mener denne undersøkelsen var verdt å bruke tid på	Studier om fremtidige teknologiske trender er ofte verdifulle	Jeg er villig til å delta i en lignende undersøkelse i fremtiden	Jeg er villig til å delta i en workshop om AM og samspill med andre teknologiske trender
Helt enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis enig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hverken enig/ uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Delvis uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Helt uenig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### q17 - AvsluttKomm

Noen avsluttende kommentarer eller forslag til andre deltagere til en fremtidig undersøkelse?



---

---

### A.3 Ekstern Spørreundersøkelse (mai 2020)

#### i1 IntroText

Thank you for participating in this TEKNO survey. The project seeks to gain a better understanding of emerging technological trends that are like to impact the future Norwegian defence and security landscape. Topics of interest include autonomy, artificial intelligence, sensor technology, cyber capabilities, satellite technologies, and additive manufacturing. We do not expect to be completely accurate in our analyses of future trends, but will generate useful insights that can provide a foundation for decisionmaking in the present and prepare policymakers for the future.

By using an anonymous questionnaire, we hope to encourage open, honest and bold predictions and opinions. This methodology is intended to gather as much insight into specific themes as possible, but with the least amount of effort and time investment from each participant. We will create a memorandum summarizing the results of the survey, which will be sent to each participant (after all, it will be interesting to see how your peers have answered). To learn more about the TEKNO project and its methodology, see the FFI memo "Methodologies for technology forecasting: A framework for the TEKNO project" (April 2020).

#### q0 - Consent

This survey will take approximately 30-40 minutes to complete and is completely anonymous. The answers given here will be used in combination with other survey results and secondary sources in a future report on technological trends. Some of the answers may be used (either partially or in their entirety) in future TEKNO reports to illustrate or summarize points of view on a particular topic.

- I understand and wish to participate. Let's go!
- I do not wish to participate

#### q1a - ResearchFrontier

In your opinion, what is considered "cutting edge" in additive manufacturing (AM) today (techniques, materials, size/speed of equipment, etc)? Where are the research frontiers?

#### q1b - UnresolvedChallenges

Are there any persistent challenges that may simply be inherent to AM and cannot be fully resolved (for example, issues with anisotropy)?

---

---

**q2a - InferiorPartsClaim**

In terms of tensile strength and hardness, researchers have found that AM printed-as-fabricated condition parts are proving to be significantly inferior to those made with conventional materials. However, the post-secondary process (heat treatment, electropolishing, etc) makes for a greater resilience in the printed parts and improvements in the mechanical properties of the material.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q2b - InferiorPartsComment**

Please elaborate or comment here:

**q3a - FutureAM2045**

Looking forward 25 years, how do you see the future of AM?

**q3b - FutureAMNewTech**

AM by the year 2045 will leverage technologies and processes that exist today but perhaps are not yet fully mature, as opposed to utilizing completely new and as-yet unknown technologies.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q4 - Ready4useAM**

What are the most significant challenges to producing complex "ready-to-use" products (beyond, for example, printed electronic circuitry) that do not require post-production machining or processing? Are there any limitations to AM production techniques or product designs in this regard?

**q4b - FieldShipUse**

What practical challenges limit the use of AM anywhere in the field or aboard ships (e.g. transport or handling of raw materials such as powders/filament, maintaining quality control parameters, size/weight/mobility of equipment)?

---

---

**q5 - InfoSecurity**

Information/data security and the integrity of data files in AM will be an acute challenge by 2045.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q6 - MakerWarAI/VR/AR**

AM production in the near future can be coupled with artificial intelligence, augmented reality and/or virtual reality so that advanced production techniques will be accessible to actors with limited technical knowledge or background.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q7 - MakerWarComment**

Please elaborate or comment here:

**q8 - NewProducts**

One advantage of AM is the ability to produce single parts that replace multiple parts requiring assembly/joining. What types of products might be possible to produce using AM by 2045 that are currently not feasible with traditional manufacturing techniques?

**q9 - NATOhumanparts**

Novel materials and manufacturing will give the ability to use artificially grown or 3D printed human body parts for use in transplants to heal injured personnel or to upgrade humans.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q10 - TRADOC Social Econ Disrupt**

Additive manufacturing, computer-aided design, and millions of industrial robots will dislocate significant portions of the global supply chain. Virtually anyone in the world with access to a computer system and a 3D printer will be able to "print" anything from drones to weapons.

- Completely agree
- Somewhat agree
- Neither agree nor disagree
- Somewhat disagree
- Completely disagree

**q11 - Social Econ Consq Open**

What might be the economic, social or political consequences of AM (both nationally and globally) by 2045?

**q33 - IPOpen**

How will intellectual property rights issues affect AM over the next two decades?

**g12 - Nor Industry Grid**

Norwegian industry is well positioned to leverage developments in additive manufacturing, especially with regard to....

	Developing production designs and processes that use AM advantageously	Using AM for rapid prototyping for testing and product development	Using AM techniques to create new products unable to be produced with traditional manufacturing processes	Increasing the effectiveness of production using AM processes and techniques
Completely agree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Somewhat agree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Neither agree nor disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Somewhat disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completely disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

---

**q13 - NorIndustryComment**

Please elaborate or comment here:

**g16 - MetaSurvey**

Help us improve this survey:

	I used about 30-40 minutes on the questionnaire	I believe this survey was worth the time investment	Studies of future technological trends are often useful	I am willing to participate in a similar survey again	I am willing to participate in a workshop about AM and convergence with other technological trends
Completely agree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Somewhat agree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Neither agree nor disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Somewhat disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Completely disagree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**q17 - ConcludComm**

Please add any final thoughts or comments here. If you have any suggestions regarding questions for a future questionnaire, feel free to list them below. Perhaps you know of colleagues that might be willing to participate in a future edition of this survey - please feel free to list their names and contact information here. Thank you for your assistance!

## Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan, med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

## FFIs formål

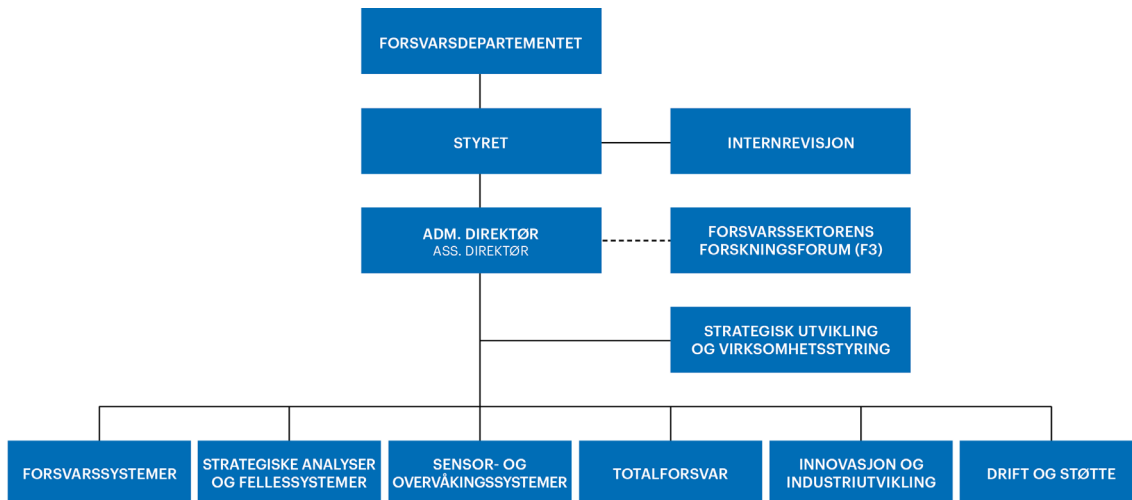
Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

## FFIs visjon

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

## FFIs verdier

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.



Forsvarets forskningsinstitutt  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Besøksadresse:  
Instituttveien 20  
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00  
Telefaks: 63 80 71 15  
Epost: [post@ffi.no](mailto:post@ffi.no)

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)  
P.O. Box 25  
NO-2027 Kjeller

Office address:  
Instituttveien 20  
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00  
Telefax: +47 63 80 71 15  
Email: [post@ffi.no](mailto:post@ffi.no)