



Bacheloroppgave

SCM600 Logistikk

**Kartlegging av behov for additiv produksjon i Blue
Maritime Klyngen i Møre og Romsdal**

Tobias Tynning Wolfe, Morten friele Grung

Totalt antall sider inkludert forsiden: 58

Molde, 19.05.2022



Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§16 og 36.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert, jf. høgskolens regler og konsekvenser for fusk og plagiat	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Personvern

Personopplysningsloven

Forskningsprosjekt som innebærer behandling av personopplysninger iht.

Personopplysningsloven skal meldes til Norsk senter for forskningsdata, NSD, for vurdering.

Har oppgaven vært vurdert av NSD?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer: 587673

- Hvis nei:

Jeg/vi erklærer at oppgaven ikke omfattes av Personopplysningsloven:

Helseforskningsloven

Dersom prosjektet faller inn under Helseforskningsloven, skal det også søkes om forhåndsgodkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, REK, i din region.

Har oppgaven vært til behandling hos REK?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Kristina Kjersem

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Høgskolen i Molde en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Dato: 19.05.2022

Innhold

1.0	Forord	2
2.0	Introduksjon	3
3.0	Formål	5
4.0	Bakgrunn for valg av tema	5
5.0	Problemstilling	7
5.1	Forskningsspørsmål	7
6.0	Situasjonen og mulighetene i den maritime sektoren i dag	8
7.0	Nye regler baner vei for additiv produksjon	10
8.0	Hva betyr additiv produksjon for verdikjeden	11
8.1	Additiv produksjons positive innvirkning på forsyningskjeden	12
8.2	Additiv produksjons negative innvirkninger på forsyningskjeden	15
9.0	Additiv produksjon historisk perspektiv	17
9.1	Introduksjonen av ikke-SL-systemer	18
9.2	Introduksjon av lavpris 3D-skrivere	19
9.3	Ny-generasjons printere/skrivere	19
9.4	Fra 2013 til 2015	20
10.0	Ulike additiv produksjonsteknologier	21
10.1	Vat Photopolymerization - SL, DLP, CDLP.....	21
10.2	Metal Powder Bed Fusion - SLS, SLM, DLMS, MJF, EBM	24
10.3	Plastic Powder Bed Fusion	26
10.4	Material extrusion - FDM	27
10.5	Material Jetting - DOD, NPJ.....	27
10.6	Binder Jetting	29
10.7	Sheet Lamination - LOM, SL, CBAM, SLCOM.....	30
10.8	Direct Energy Deposition - DED, LENS, WAAM, EBAM	32
11.0	Bruken av additiv produksjon	33
11.1	Materialvalg	37
12.0	Metode og data	37
12.1	Gjennomgang av intervju	39
13.0	Resultater	41
14.0	Diskusjon og analyse	50
15.0	Konklusjon	51
16.0	Referanser	52

1.0 Forord

Denne oppgaven er skrevet vårsemesteret 2022, som siste del av vår bachelorgrad i Logistikk og Supply Chain Management. Temaet i oppgaven omhandler kartlegging av behov for additiv produksjon i Blue Maritime klyngen ved bruk av intervjuer og statistikk.

Vi vil benytte anledningen til å takke for vår veileder Kristina Kjersem for gode råd og hjelp underveis i prosessen. Vi ønsker også å takke alle selskapene i klyngen som har tatt seg tid til å bli intervjuet, og som har lært oss masse.

Det har vært veldig lærerikt å gjøre denne oppgaven, og vår tidlige interesse for additiv produksjon har til slutt gitt oss muligheten til å kartlegge behovet for additiv produksjon. En teknologi som er i startfasen, og som har en spennende framtid.

2.0 Introduksjon

3D-printing, i kombinasjon med internett, robotikk og åpen kildekode-programvare, vil resultere i en ny industriell revolusjon med dyptgripende implikasjoner de kommende årene for nasjonale økonomier, forretningsmodeller og utdanning. 3D-produksjon er en prosess som bruker digitale arbeidstegninger for å produsere tredimensjonale produkter og deler. Det er også referert til som additiv produksjon (Dumitru, 2015).

Additiv produksjon er en teknologi som fortsatt er i sin tidlige begynnelse som representerer et lite segment av produksjon. Det er allerede blitt implementert i forskjellige sektorer som medisin, luft- og romfart, bilindustrien i tillegg til privat produksjon. Additiv produksjon har potensialet til å endre måten produkter blir laget og distribuert på radikalt. Fremveksten av ny digital industriell teknologi, kjent som Industry 4.0, er en ny innovativ måte som gjør det mulig å samle og analysere data på tvers av maskiner, noe som muliggjør raskere, mer fleksible og mer effektive prosesser for å produsere varer av høy kvalitet til reduserte kostnader.

Avansert digital teknologi er allerede brukt i produksjon, men Industry 4.0 vil endre dagens produksjon. Det vil føre til større effektivisering og endre tradisjonelle produksjonsforhold mellom leverandører, produsenter og kunder, samt også mellom mennesker og maskin. I denne undersøkelsen vil det bli sett på bruken og eventuelt behovet for additiv produksjon i et relativt nytt segment; maritim industri.

Hvorfor Blue Maritime i Møre og Romsdal:

Vi skal ta for oss Blue Maritime klyngen i Møre og Romsdal, og da er det viktig å se på hva som er grunnen til at vi har valgt akkurat denne klyngen. På klyngen sine hjemmesider skriver de om sine mål for klyngen, hvor noen av målene er:

- Contribute to make 'the blue' Norway's new growth industry.
- Seize and exploit new 'blue' opportunities through high innovation rate.
- Be the leading hub of 'blue' knowledge and innovation.
- Be the most attractive cluster for establishing 'blue' operations.

De skriver også på nettsiden: «Den norske maritime klyngen er verdensledende innen design, konstruksjon, utstyr og drift av avanserte offshorefartøy for den globale olje- og gassindustrien.» (Blue Maritime Cluster, 2022).

I juni 2021 lanserte Blue Maritime Cluster sin nye strategi mot 2030. Ambisjonen i strategien er at klyngen skal bli verdens første utslippsfrie maritime klynge, som skal designe, bygge, utruste og drifte fremtidens nullutslipps-fartøy. Det er et uttalt mål at aktørene vil markere seg globalt med den mest ambisiøse strategien noensinne (Innovasjon Norge, 2021).

Klyngeprosjektet sitt hovedmål er å styrke klyngens globale konkurransekraft gjennom å forsterke de mekanismer som fører til ny kunnskap, kompetanseheving, innovasjon og vertskapsattraktivitet. Blue Maritime Cluster fikk status som Global Centre of Expertise (GCE) i 2016, og fikk i 2021 fornyet sin såkalte Gold Label. Klyngen administreres av innovasjonsselskapet ÅKP i Ålesund (Innovasjon Norge, 2021).

Da vi skulle velge hvor vi skulle kartlegge behov for additiv produksjon var det viktig for oss at vi så på en gruppe bedrifter som er framtidsrettet og opptatt av å ta i bruk ny teknologi. Etter samtale med bedriften Ivaldi og forslag fra de om å se på Blue Maritime klyngen i Møre og Romsdal, fant vi ut at det er en verdensledende klynge som er opptatt av innovasjon og teknologi. Klyngen er stor, med mange bedrifter som driver med ulike teknologier. Nettopp derfor har vi valgt å kartlegge behov for additiv produksjon i Blue Maritime klyngen i Møre og Romsdal, fordi klyngen er nytenkende og åpen for å ta i bruk ny teknologi. Det ville da være spennende å se på om de bruker additiv produksjon, hvor det ikke brukes, og hvor det kan brukes. Vi vil også se på hvorfor de bruker additiv produksjon, og hvorfor ikke.

Hvorfor klynge:

Klynger øker produktiviteten til bedrifter, driver retning og innovasjonstakt, og stimulerer til dannelse av nye virksomheter. Et viktig premiss i klynge-litteraturen er at geografisk nærhet tilrettelegger til læring, kunnskapsutvikling og innovasjon innenfor klyngen gjennom samarbeid, hyppig ansikt-til-ansikt kontakt mellom

bedrifter, og delt kultur og historie. (Asheim og Gertler 2005) Altså er forutsetningen for å være nytenkende og innovativ i en klynge større enn i en enkel bedrift, og det er på grunnlag av dette vi har valgt å kartlegge i en klynge (Hammervoll et.al.,2014).

3.0 Formål

Formålet med oppgaven er å finne ut om bedriftene i Blue Maritime klyngen har behov for additiv produksjon eller ikke. Vi ønsker å finne ut hvor de eventuelt har behov for det i sin bedrift, hvor det ikke er nødvendig eller i det hele tatt mulig. Bedriftene vi undersøker er i hovedsak i samme bransje, men de er ulike på flere måter. Ved å intervju flere ulike bedrifter vil vi oppnå en bred forståelse av hvordan additiv produksjon kan innføres, hvor det allerede brukes, og hvor det ikke er behov.

4.0 Bakgrunn for valg av tema

Da vi skulle velge tema for oppgaven ønsket vi først og fremst å skrive om noe nytt og innovativt som andre kan lese og bli motivert av. Gjennom studiet har vi skrevet mange oppgaver som omhandler flaskehalsen i forsyningskjeden. Da koronapandemien kom i 2019, skrev vi en oppgave om containerkrisen i Asia, som hadde store konsekvenser for havnen i Miami og resten av verden.

Mangel på containere er vanlig i forsyningskjeden og shipping-virksomhet, men denne krisen derimot ble hovedsakelig forårsaket av koronapandemien. De største eksemplene på dette så vi i de amerikanske regionene. Covid-19 forstyrret ikke bare strømmen av varer, men også tilbakekomsten av tomme containere til Asia, som ikke kunne sendes tilbake dit grunnet koronarestriksjoner. I tillegg til det faktum at Asia produserer mer enn de importerer gjorde at det ble en verdensomspennende mangel på containere. I begynnelsen av pandemien var ikke USA merkelig påvirket av pandemien. Dette førte til at havnen hadde

overbemanning fordi at produksjonen i Asia var veldig redusert. Dette førte igjen til arbeidsledighet, og mangel på varer i USA. Så ble det en motsatt virkning rundt juni 2020, hvor viruset har spredt seg i USA og resten av verden. Dette førte til underbemanning i Los Angeles havn, samt resten av USA. Lasteskip lå i kø utenfor havnen for å laste av containere.

Samtidig som verden går gjennom sjokket av en pandemi, kom nyheten om at verdens største cargoskip, Ever Given, hadde gått på grunn i Suezkanalen. Blokaden varte i 6 dager. Dette førte til enormt stor skade for forsyningskjeden, tatt i betraktning at Suezkanalen er en av verdens travleste kanaler for skipsfarts. Dette skapte en betydelig stor trafikkork, og det er beregnet at anslagsvis 450 fartøy stanset i- eller fra hver ende av kanalen i påvente av transitt.

Alt dette hadde en dominoeffekt nedover i forsyningskjeden, og forstyrret den globale handelen på alle mulige måter, som igjen skaper konsekvenser for privatpersoner. Vi syntes det var interessant å se at en forsyningskjede kan være så sårbar, og på mange måter lite tilpasningsdyktig. Med en del kunnskap om additiv produksjon fra før, og en interesse for teknologien, tok vi et møte med bedriften Ivaldi. Ivaldi er en bedrift som bruker additiv produksjon til å spare kostnader, tid og karbonavtrykk for tungindustrien. Vi fant ut at additiv produksjon kan være med på å løse slike situasjoner. Vi ønsket derfor å se på hva additiv produksjon potensielt kan gjøre for forsyningskjeder. Det er på bakgrunn av interesse og nysgjerrighet rundt nytenkende teknologi, og lysten til å løse problemer vi har valgt dette temaet.

5.0 Problemstilling

Tidlig i prosessen var vi i møte med Ivaldi, en bedrift som hjelper tungindustrien med overgangen til Industry 4.0. Som et nystartet norsk firma mente de det var for lite kunnskap om additiv produksjon og generelt for lite bruk i norsk produksjon. Vi bestemte oss derfor for å se nærmere på hvorfor industrien i Norge ligger bak andre. Det ble da foreslått at vi kunne kartlegge behov for additiv produksjon, og se nærmere på bedriftene i Blue maritime klyngen. Derav vår oppgave «Kartlegging av additiv produksjon i Blue Maritime klyngen», med problemstillingen **“Er additiv produksjon passende for den maritime sektoren i Norge?”**

5.1 Forskningsspørsmål

Vi skal kunne svare på problemstillingen i oppgaven vår ved å kartlegge behov for additiv produksjon i Blue Maritime klyngen. For å besvare og underbygge problemstillingen på en god måte har vi utarbeidet noen forskningsspørsmål:

- Hva er fordelene med additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?
- Hva er ulempene med additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?
- Hva er faktorene som er avgjørende for implementering av additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?

Ved å svare på disse spørsmålene, sammen med å kartlegge behov gjennom intervju, vil vi kunne svare på problemstillingen vår.

6.0 Situasjonen og mulighetene i den maritime sektoren i dag

Additive produksjonsteknologier gjør stadige fremskritt. Bil og romfartsindustrien har dratt nytte av additiv produksjon i en årrekke, mye fordi at vektreduksjon er nøkkelen til å maksimere drivstoffeffektiviteten, og minimere karbonutslipp. På den andre siden har den maritime sektoren først nylig begynt å utforske mulighetene som additiv produksjon gir. Det er to hovedinteressefelt:

- å etablere en lokal infrastruktur for distribusjon av 3D-printede reservedeler i større havner for å akselerere levering.
- Utnytte de unike egenskapene til additiv produksjonsteknologi for å lage deler som ingen annen produksjonsprosess kan produsere (Junghans, Govindaraj, 2022).

En hub er en nettbasert produksjonsplattform som tilbyr bedrifter on-demand tilgang til et globalt nettverk av produksjonspartnere. Ved å etablere et nettverk av hub's vil man kunne møte etterspørsel av reservedeler mye raskere. Enklere forklart vil dette si en 3D-printer som er lokalisert på et område som er gunstig for en gruppe bedrifter i et gitt område. Dette vil gjøre at bedrifter slipper fysiske varelagre. Istedenfor er designet av produktet lagret i et skybasert digitalt lager. Dette vil også være kostnadseffektivt. Når bedriften sender en bestillingsordre vil den best egnede hub'en starte produksjon nærmest umiddelbart ved å bruke en 3D-printer, og optimalt sett sendes produktet til bedriften i løpet av få dager.

For å etablere en lokal infrastruktur av hub's må det en bedrift med kapital som er villig til å satse på 3D-printing. Gjerne da en bedrift med mye kunnskap om additiv produksjon. Dette vil være lurt for bedrifter som ønsker å bruke additiv produksjon, men ikke ønsker å kjøpe printere selv. Nettopp fordi at printere er veldig kostbare, og man slipper da den store etableringskostnaden. Man vil da som bedrift kun betale for 3D-printing når man faktisk produserer noe. Ulempen med å ikke ha en egen printer blir da at prisen for å produsere vil bli høyere, og man kan heller ikke printe akkurat når man vil.

Som nevnt tidligere er ikke vektreduksjon det viktigste når det gjelder den maritime sektoren. Men det additive produksjon kan gjøre er å forandre produktstruktur og design, for å redusere antall deler som må til for å lage en vare. Et eksempel på dette kan vi se fra romfart industrien:

GE Aviation produserte sitt første additivt produserte drivstoffdyse i 2015. Siden den gang har mer enn 60.000 drivstoffdyser blitt produsert, noe som har redusert lagerbeholdningen for den delen med 95 %, og reduserte kostnadene på komponenten med 30 %.



Figur 1. Resultater og fordeler (GE Additive, 2020):

- 20-til-1 del reduksjon
- 25 % vektreduksjon, noe som resulterer i redusert drivstofforbruk over flyets levetid
- 95 % lagerreduksjon
- 30 % kostnadseffektivisering
- 5 ganger mer holdbar

Med andre ord, utvikling av nye produkter ved bruk av additiv produksjon kan redusere bruk av materialer og ressurser, samt redusere vekt, redusere kostnader, redusere lager, og øke holdbarhet.

7.0 Nye regler baner vei for additiv produksjon

Ettersom skipsbyggingsindustrien i økende grad oppdager fordelene med additiv produksjon, jobber DNV tett med industripartnere for å ytterligere utvide utvalget av 3D-printede produkter, og bevise deres sikkerhet og funksjonalitet. Nylige prosjekter illustrerer kraften til additiv produksjon.

Det er flere faktorer som skiller den maritime industrien fra romfart- og bilsektoren. I den maritime industrien involveres det komponenter som er store og tunge, og sikkerheten til liv og eiendom til sjøs avhenger av et annet sett med kriterier. Som klassifikasjonsselskap må DNV sikre at prosessene, materialene og utstyret som brukes til å produsere kritiske skips komponenter oppfyller gjeldende klassifiseringskrav. Dette gjør at når en ny produksjonsteknologi tas i bruk, må det defineres hensiktsmessige standarder og regler som man kan teste mot (Junghans, Govindaraj, 2022).

DNV begynte å utforske potensialet til additiv produksjon for den maritime industrien i 2016. Siden da har det blitt dannet en rekke felles industriprosjekter for å bygge kunnskap og konstant dialog med industriens interessenter, for å lære om behovene til denne industrien og dens leverandører. Dette har resultert i et rammeverk av nye regler og retningslinjer, som danner grunnlaget for DNVs kvalifiserings-, sertifiserings-, verifiserings- og klasse godkjennings aktiviteter (Junghans, Govindaraj, 2022).

DNV har lagt ned et arbeid på dette feltet hvor fokus har vært på metalliske deler, men arbeidet vil inkludere ikke-metalliske materialer fra 2022. I 2018 utstedte DNV det første "Additive Manufacturing Approval of Manufacturing-sertifikatet" til Thyssenkrupp Marine Systems, og ga "Thyssenkrupp TechCenter Additive Manufacturing" status som en DNV-godkjent leverandør for maritime og generelle industrielle applikasjoner (Junghans, Govindaraj, 2022).

Det trengs ytterligere godkjenninger fra andre produsenter, samt kvalifikasjoner av deler levert til den maritime industrien. Denne prosessen er allerede satt i gang.

Produsent kvalifikasjoner kreves for klassifiserte komponenter. Uten disse godkjenningene har ikke skip lov til å installere additiv produserte komponenter eller reservedeler som er kritisk for sikkerheten. Dette fordi at de er svært viktige for sikkerheten og funksjonaliteten til et skip og en maritim eller offshore struktur (Junghans, Govindaraj, 2022).

Etter hvert som industrien oppdager fordelene med additiv produksjon sammenlignet med støpning og smiing, med tanke på bedre kontroll av kvalitet, en mer konsistent intern struktur, innovative former og kortere leveringstider, har det dukket opp en rekke unike prosjekter. For eksempel har DNV utstedt en bekreftelses erklæring for en skipspropell med en diameter på to meter, laget i en Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)-prosess av SY Metal i Sør-Korea. WAAM-prosessen er dobbelt så raskt som konvensjonell støpning, og gir en løsning for å unngå flaskehalser i forsyningskjeden. Dessuten er WAAM-trykte deler generelt preget av høyere styrke på grunn av en mer regelmessig mikrostruktur sammenlignet med støpegods, hvor mikrostruktur varierer fra overflaten til kjernen. Selv om utmattelsestesten av prototypen ennå ikke er utført, er dette et første skritt mot å løse et problem som ikke er uvanlig- å bytte ut en skipspropell på kort varsel etter at den har gått tapt på sjøen (Junghans, Govindaraj, 2022).

8.0 Hva betyr additiv produksjon for verdikjeden

For å kunne kartlegge behov for additiv produksjon må vi se på additiv produksjons innvirkning på forsyningskjeden. Vi vil derfor se på ulike fordeler og ulemper med additiv produksjon i forsyningskjeden.

Den utbredte bruken av additiv produksjon som produksjonsmetode innen ulike bransjer har lettet fremgangen fra en metode for kun prototyping, til en levedyktig produksjonspraksis som har evnen til å bli brukt i ulike felt. Alt fra luft- og romfart, forsvar, medisin og optisk industri. For å implementere additiv produksjon må både teknologiske aspekter og driftsaspekter tas i betraktning. Bruken av additiv produksjon kan være en god tilrettelegger for insourcing av produksjoner som for tiden er outsourcet til lavkostland. Med insourcing mener vi at bedriftene heller kan

produsere selv, istedenfor outsourcet, altså produsert hos en annen leverandør et annet sted i verden. Dette vil forandre logistikk, og gjøre frakt veien mye kortere. Mens upassende bruk, mangel på kunnskap og mangel på etterspørsel kan gjøre at kostnadene ved materialer og kapitalinvesteringer kan føre til alvorlige økonomiske problemer (Ashourpour, Zanoni 2015). Faktorer som logistikk, transport og nærhet til hver av aktørene i kjeden, dvs. leverandører, produsenter, distributører, forhandlere og kunder er noen av det mest avgjørende når man studerer supply chain management (SCM)/ forsyningskjedestyring. Med fremveksten av additiv produksjon og dens spredning, og ved bruk innenfor ulike bransjer introduseres ny dynamikk i kjeden. Derfor er disse faktorene i SCM utsatt for endring og utvikling i sine respektive former.

8.1 Additiv produksjons positive innvirkning på forsyningskjeden

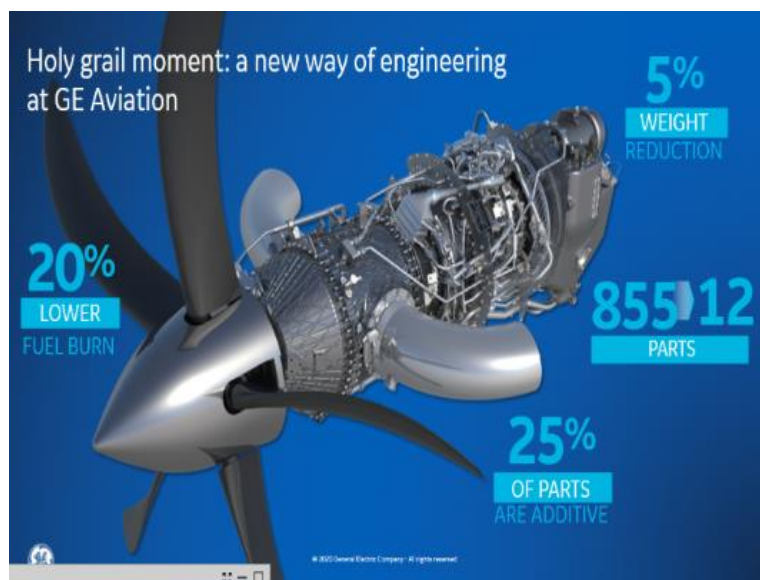
En forsyningskjede er et sett med partnere som samarbeider med hverandre for å oppfylle kundenes krav om et produkt eller en tjeneste. Samarbeidet deres kan være i en direkte eller indirekte form, og dermed er det utsatt for flere variabler og usikkerheter. Å drive en forsyningskjede inkluderer også koordinering og samarbeid med kanalpartnere, som leverandører, mellommenn, tredjeparts tjenesteleverandører og kunder. Det er visse egenskaper innen additiv produksjonsteknologi som gjør den helt nyskapende, spesielt med hensyn på SCM. Noen av disse funksjonene er egenskaper som inkluderer (Holmstrom et.al., 2010):

- Små produksjonspartier er gjennomførbare og økonomiske.
- Mulighet for raske designendringer og designtilpasning
- Lar produktet optimaliseres for funksjon (for eksempel optimaliserte kjølekanaler).
- Tillater økonomiske tilpassede produkter (batch of one)
- Mulighet for å redusere svinn og avfall.
- Potensial for enklere forsyningskjeder; kortere ledetider, lavere varelager.

Disse funksjonene gir ikke bare additiv produksjon et nyansert produksjons utseende, men de understreker enda et annet viktig aspekt ved additiv produksjon, dvs. bærekraft.

Bærekraft og design

Evnen til å produsere lettere produkter og redusere det totale antallet deler, blir muliggjort gjennom geometrisk kompliserte design. Dette er spesielt gunstig i noen sensitive bransjer, som for eksempel luftfart. Ved bruk av additiv produksjon reduseres behovet for store mengder materiale og høy materialeffektivitet sammenlignet med tradisjonelle prosesser. "On-demand" produksjon av reservedeler, samt miljøfordeler som lavt karbonavtrykk er noen av de viktigste bærekraftige relevante egenskapene til additiv produksjon.



Figur 2: Nye egenskaper for motorer (GE Additive, 2020).

I dag trengs det mye energi for moderne produksjon, som igjen produserer massivt avfall og utslipp. Det er behov for å få ned dette utslippsnivået og reversere prosessen med klimaendringer. På flere måter er additiv produksjon betydelig mer bærekraftig enn konvensjonelle produksjonsmetoder og mer gunstig for atmosfæren og jorden. Derfor, for å maksimere vår kollektive miljøpåvirkning internasjonalt, er additiv produksjonsbaserte industrier godt posisjonert for å fremme bærekraft. Prinsippene for bærekraft brukes til å minimere, gjenbruke og resirkulere (Javaid et al., 2021).

Ved additiv produksjon er det mulig å integrere mange komponenter i et en-delt element. Denne integrasjonen vil også forenkle hele produksjonsprosessen ved å eliminere nedstrøms montering og redusere materialmengden. Dette vil gjøre at lagrings behovet blir mindre, fordi at det er færre elementer. Valg av produkter påvirker industriens bærekraft direkte (Javaid et al., 2021).

Additiv produksjon frigjør designere fra menneskelige produksjonsbegrensninger som eksisterer i konvensjonelle metoder. Teknologien gjør dem i stand til å inkludere og opprettholde evne og miljøpåvirkning på de tidlige stadiene av design. Dette konseptet kommer fra (De-sign For Sustainable Additive Manufacturing (DFSAM)) (Lindermann et.al., 2012).

Ved additiv produksjon kan designere utforske forskjellige materialer gjennom generativ design og bestemme hva som kan fungere best for materialet og designet. Det forenkler også design og konstruksjonsprosessen ved å bruke sky simulering (Javaid et.al., 2021).

Kostnadseffektivitet

Additiv produksjon er karakterisert ved å lage deler uten å bruke hjelpemidler inkludert inventar, verktøy og kjølevæsker. Samtidig blir det ikke nødvendig å prioritere små produsenter i forhold til nærhet. Dette gjør at man kan bygge deler uten å måtte lokalisere i et fjerntliggende land som har fordeler på kostnads relaterte faktorer. Med andre ord, den fysiske avstanden eller nærheten mellom ulike elementer i kjeden vil ha mindre betydning, og man vil kunne lokalisere produksjon eller bedriften hvor det er ønskelig. Dette i tillegg til høy fleksibilitet i additiv produksjon som følge av nesten null maskinoppsett, verktøy og støpeform gjør stordriftsfordeler til et overflødig problem. Additiv produksjon skaper mulighet for å produsere en og en del, på en økonomisk måte:

I konvensjonelle stordriftsfordeler reduseres kostnaden per enhet ved å redusere virkningen av faste kostnader. Dette er et direkte resultat av å produsere i store volum, så den faste kostnaden er forholdsmessig til hele produksjonslinjen. Men med additiv produksjonsteknologi er det ingen kostbare oppsett, og derfor blir produksjon av små batcher økonomisk. Denne produksjons fleksibiliteten gir

mulighet for tilpasning basert på kundenes krav og eliminerer problemer knyttet til linje balansering og produksjons flaskehals (Ashourpour, Zanoni, 2015).

8.2 Additiv produksjons negative innvirkninger på forsyningskjeden

De nåværende vanlige egenskapene og problemene til SCM er hovedsakelig knyttet til begrensningene som er pålagt av den omfattende bruken av masseproduksjon i industrien. Til tross for all optimismen angående additiv produksjon, er det fortsatt store utfordringer som må overvinnes før teknologien virkelig kan få en vid spredning i forhold til infiltrering.

Mangel på designkunnskap:

Det er fortsatt et betydelig verdensomspennende kompetansegap når det kommer til produktdesign for additiv produksjon. For å klare å fange teknologiens fulle potensial må man tenke annerledes i forhold til hvordan produkter er designet, fordi teknologien skaper rom for design-frihet (Bechtel et.al., 2020).

Høye produksjonskostnader:

Dette er den store barrieren for mer utbredt bruk av additiv produksjon. Selv om additiv produksjon unngår de høye kostnadene i forhold til verktøy, og kostnader i tradisjonelle prosesser (som f.eks prøveteststøpning), har disse fordelene en tendens til å falme raskt. Ved bruk av mer tradisjonelle produksjonsteknologier oppnår man økonomisk gevinst i forhold til høyt volum, denne fordelene forsvinner ved bruk av additiv produksjon. Additiv produksjon med metaller blir ofte mye dyrere enn tradisjonelle metoder på grunn av flere sammenhengende faktorer: høye materialkostnader, sakte oppbyggings-hastigheter og lange bearbeidings tider som gir høyt energiforbruk. Det er også høye etterbehandlings-kostnader. Disse blir ofte undervurdert (Bechtel et.al., 2020).

Begrenset cybersikkerhet og IP (spesifikasjon for inntrengningsbeskyttelse)

-beskyttelse:

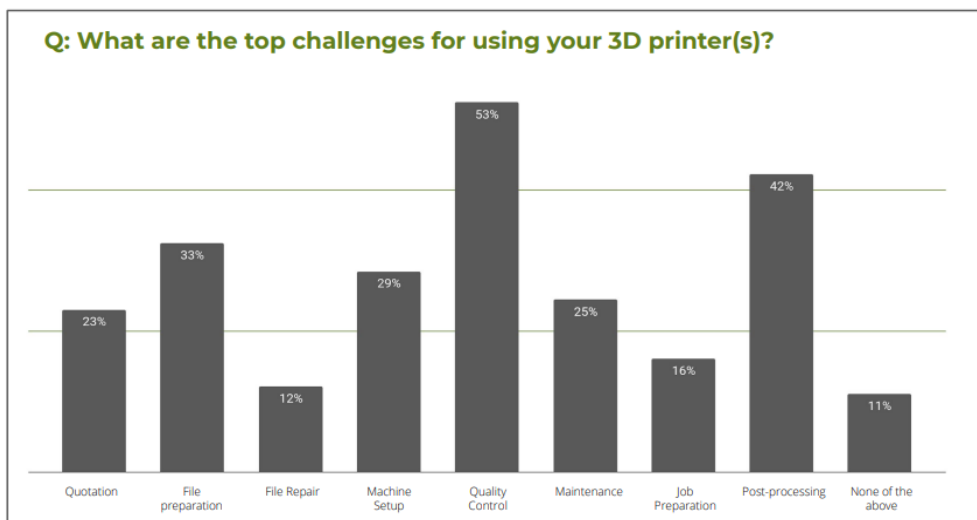
Nåværende generasjons additive produksjon er sårbar for to spesielt viktige sikkerhetsproblemer. Den første er beskyttelsen av originale design, inkludert identifikasjon av deler, spesielt hvis deler er designet på måter som gjør det mulig å etterlignes etter at produktet selges. Den andre er beskyttelse av data fra cyberangrep, risikoen for disse er økt med økt tetthet av integrasjon med leverandører og kunder (Bechtel et.al., 2020).

Begrenset produksjonsskala:

Grunnet at de fleste nåværende additiv produksjonsprintere er laget for prototyping snarere enn serieproduksjon, blir masseproduksjon vanskelig å oppnå. Den neste generasjonen printere må fortsette å redusere produksjonskostnader. Samtidig må det legges til nødvendige evner for å støtte industriell produksjon, som stabilitets sikkerhet, kvalitetskontroll, raskere omstillinger, større pålitelighet, og enklere vedlikehold og reparasjon (Bechtel et.al., 2020).

Hva er de største utfordringene ved å bruke 3D-printere i 2021?

Med en økning av bruken av additiv produksjon er fortsatt kvalitetskontroll og etterbehandling viktige utfordringer for industrien. Bedrifter som bruker additiv produksjon for mer krevende prosjekter, forventer mer konsistens og mer repeterbare deler i forhold til kvalitet. Selv når industrielle teknologier blir mer raffinert blir behovet for skalerbar etterbehandling fortsatt en reell utfordring (Gaget, 2021). Dette ser vi også på diagrammet under hvor det undersøkes hva som er de største utfordringene ved å bruke 3D-printere i 2021.



Figur 3: utfordringer ved bruk av additiv produksjon (Gaget, 2021).

Det er altså mange fordeler for forsyningskjeden ved bruk av additiv produksjon, som raskere leveringstider og reduksjon av svinn. Men det er også ulemper, som høye etableringskostnader og begrenset produksjonsskala. Det vil da være interessant å se på det vil være kostnadseffektivt for den maritime industrien å bruke additiv produksjon, og om teknologien passer til produksjon av produktene som den maritime industrien produserer. Vil det være gunstig for bedrifter i Blue Maritime klyngen å kjøpe egne printere, eller vil det være mer gunstig at en annen bedrift kommer inn og etablerer hub's i nærheten av bedriftene?

9.0 Additiv produksjon historisk perspektiv

Vi vil se på additiv produksjons historie og utvikling, fra start på 80-tallet til i dag. Vi vil se på ulike teknologier som har blitt utviklet i løpet av årene og hvilke selskaper som har vært involvert. Vi vil ikke gå inn på søksmål og konflikter mellom ulike selskaper, fordi at dette ikke er relevant i vår oppgave.

Det første forsøket på å lage solide objekter ved bruk av fotopolymer ved hjelp av laser fant sted på slutten av 1960-tallet ved Battelle Memorial Institute.

Fotopolymer-harpiksen som ble brukt i prosessen var oppfunnet på 1950-tallet av DuPont (Wohlers, Gornet, 2016).

Den kommersielle bruken av additiv produksjon dukket først opp i 1987 med stereolithography (SL) fra 3D Systems, som er et beta test-system, var den første kommersielt tilgjengelige additiv produksjons maskinen i verden og var forløperen til SLA 250-maskinen. (SLA står for StereoLithography Apparatus.) (Wohlers, Gornet, 2016).

I 1988 samarbeidet 3D Systems og Ciba-Geigy om SL-materialers utvikling og kommersialiserte førstegenerasjons akrylat harpikser. DuPonts Somos stereolithography maskin og materialer ble utviklet samme år. Loctite gikk også inn i SL-harpiks virksomheten på slutten av 1980-tallet, men forble i bransjen bare til 1993 (Wohlers, Gornet, 2016).

Etter at 3D Systems kommersialiserte SL i USA, kommersialiserte Japans NTT Data CMET og Sony/D-MEC versjoner av stereolithography i 1988 og 1989. NTT Data CMET (nå en del av Teijin Seiki, et datterselskap av Nabtesco) kalte systemet Solid Object Ultraviolet Plotter (SOUP), mens Sony/D-MEC (nå D-MEC) kalte produktet Solid Creation System (SCS). Sony sluttet å produsere SL-systemer for D-MEC i 2007. I 1988 introduserte Asahi Denka Kogyo den første epoksyharpiksen for CMET SL maskin. Året etter begynte Japan Synthetic Rubber (nå JSR Corp.) og DSM Desotech å tilby harpikser til Sony/D-MEC-maskinene (Wohlers, Gornet, 2016).

9.1 Introduksjonen av ikke-SL-systemer

I 1991 ble tre AM-teknologier kommersialisert, Fused Deposition Modeling (FDM) fra Stratasys, solid ground curing (SGC) fra Cubital, og laminated object manufacturing (LOM) fra Helisys Inc (Wohlers, Gornet, 2016).

I 1993 kommersialiserte selskapet Soligen "direct shell production casting" (DSPC). Massachusetts Institute of Technology (MIT) oppfant og tok patent på prosessen som Soligen brukte. Selskapet la ned virksomheten i januar 2006. Samme år introduserte Denken et SL-system. Denkens SL-system var et av de første som passet på en benk og ble introdusert til lavpris, sammenlignet med andre SL-systemer som var på markedet (Wohlers, Gornet, 2016).

1994 var et år med mange nye introduksjoner av additive-produksjonssystem. ModelMaker fra Solidscape (den gang kalt Sanders Prototype) ble tilgjengelig, det samme gjorde nye systemer fra japanske og europeiske selskaper. Et av de nye japanske systemene var en liten stereolithography maskin fra Meiko rettet hovedsakelig mot produsentene av smykker. (Meiko avsluttet sin SL-virksomhet i 2006.) I mellomtiden har Kira Corp kommersialisert Japans første ikke-stereolithography system. Denne ble kalt Solid Sentrum. Kira refererte Solid Center som den første 3D-skriveren av vanlig papir (Wohlers, Gornet, 2016).

Også i 1994 introduserte Fockele & Schwarze (F&S) fra Tyskland en stereolithography maskin, men på begrenset basis. Det tyske selskapet EOS

kommersialiserte en maskin kalt EOSINT basert på lasersintring teknologi samme år. Japanske Ushio (nå kalt Unirapid Inc.) solgte sine første stereolithography maskiner i 1995 (Wohlers, Gornet 2016).

9.2 Introduksjon av lavpris 3D-skrivere

I 1996 introduserte Stratasys Genisys-maskinen, som brukte en ekstruderingsprosess lik FDM, men basert på teknologi utviklet på IBMs Watson Research Center. Etter åtte år med salg av stereolithography systemer, solgte 3D Systems sin første 3D-skriver i 1996 (Wohlers, Gornet, 2016).

9.3 Ny-generasjons printere/skrivere

April 2000 var en måned full av introduksjoner av ny teknologi. Objekt Geometries of Israel annonserte Quadra, en 3D-blekkskriver. Sanders Prototype (nå Solidscape) introduserte "PatternMaster" (Wohlers, Gornet, 2016).

Precision Optical Manufacturing (POM) annonserte direkte metall deponering (DMD). POM begynte systemsalg tidlig i 2002 og fortsetter å tilby DMD som en tjeneste. Z Corp. introduserte sin Z402C maskin, verdens første kommersielt tilgjengelige flerfarge 3D-skriver (Wohlers, Gornet, 2016).

Fra tidlig 2000-tallet til 2008 skjer det mye innen utvikling av additiv produksjon. På EuroMold 2004 introduserte EOS EOSINT P 385, et plastmateriale system som er kapabel til å bruke tynnere lag enn det som var mulig med forgjengeren, "EOSINT P 380". I april 2005 avduket 3D Systems Sinterstation Pro. I januar 2006 signerte Stratasys en avtale med Arcam om å være eksklusiv distributør i Nord-Amerika for elektronstråle smelting (EBM) systemer. I mellomtiden senket Stratasys prisen på Dimension BST og SST-maskiner fra \$24.900 og \$29.900, til \$18.900 og \$24.900. I mars 2007 introduserte Z Corp "ZPrinter 450", den første 3D-printeren i farger som klarte å bryte prispunktet på \$40.000. I mai 2008

introduserte EOS i Tyskland sin PrimePart DC for plast-lasersintring og Stainless PH1 for direkte metall lasersintrings plattformer (Wohlers, Gornet, 2016).

I januar 2009 møttes 70 personer fra hele verden ved ASTM Internasjonalt hovedkvarter nær Philadelphia, Pennsylvania for å etablere ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Komitéen ble opprettet for å produsere standarder for testing, prosesser, materialer, design (inkludert filformater) og terminologi. Den samme måneden introduserte Dimension 3D Printing Group of Stratasys uPrint en personlig skriver for \$14.900 (Wohlers, Gornet, 2016).

I januar 2010 signerte Stratasys og HP en avtale for Stratasys produserer en eksklusiv serie med HP-merkede 3D-skrivere. Også i januar annonserte Stratasys den nye uPrint Plus, som tilbyr en litt større bygge volum sammenlignet med uPrint. Også inkludert er "smart-support", som reduserer bruken av støttemateriale med opptil 40 %. Den samme måneden lanserte Optomec sitt Aerosol Jet Display Lab System for berøringsskjermer og applikasjoner ved hjelp av direkte-skrivings teknologi (Wohlers, Gornet, 2016).

9.4 Fra 2013 til 2015

Veksten i markedet for 3D-utskrift og additiv produksjon fortsatte med oppkjøp fra de store utstyrsprodusentene. Også investeringsmiljøet viste en ekstraordinær appetitt på additiv produksjons relaterte selskaper og teknologi. Denne interessen har førte til en rekke av børsintroduksjoner, og ytterligere aksjeemisjoner. Voxeljet, Materialise, og SLM Solutions annonserte eller fullførte børsnoteringer. 3D Printing Fund LLC ble avduket som det første aksjefondet dedikert til 3D-printing. Interessen var også tydelig med ankomsten av mange nye 3D-printe relaterte arrangementer og betydelig økt oppmøte på etablerte konferanser (Wohlers, Gornet, 2016).

Utløpet av patenter for kritisk smeltet avsetnings modellering (FDM) førte til eksplosjonen av material ekstruderings-baserte maskiner med lave priser. Å holde tritt med det økende antallet leverandører av stasjonære ekstruderings-baserte skrivere som er tilgjengelige var nesten umulig. Nye produsenter og maskiner

fortsetter oppstå på nettsteder som f.eks som Kickstarter, Indiegogo og eBay (Wohlers, Gornet, 2016).

Oppkjøpene fortsatte fra mai 2014 til mars 2015, men med redusert rate sammenlignet med tidligere år. Aksje-vurderingene ble også i betydelige negative endringer i denne perioden. Fra slutten av mars 2015, hadde 3D Systems og Stratasys opplevd en nedgang i verdsettelsen av omtrent 50 % fra toppene i løpet av denne tidsperioden. ExOne og Voxeljet opplevde en nedgang på rundt 70 % fra toppene over samme tidsperiode. men Metall additiv produksjonssektoren fortsatte å være veldig sterk, med metallpulver produsenter som har problemer med å holde tritt med etterspørselen. Selskaper i et bredt spekter av industrisegmenter retter seg mot metall additiv produksjon (Wohlers, Gornet, 2016).

Det har skjedd mye i utviklingen innen additiv produksjon fra 80-tallet til 2015. Fra SLA-1 som var den første kommersielt tilgjengelige AM-maskinen i verden til at metall AM-sektoren tar over etterspørselen i 2015. Utvikling av nye maskiner og teknologier for ulike materialer, reduksjoner i pris på maskiner og materialer og etablering av komite for å opprettholde standarder. Vi vil nå gå over til å se på hvilke ulike teknologier som finnes og brukes innen additiv produksjon i dag.

10.0 Ulike additiv produksjonsteknologier

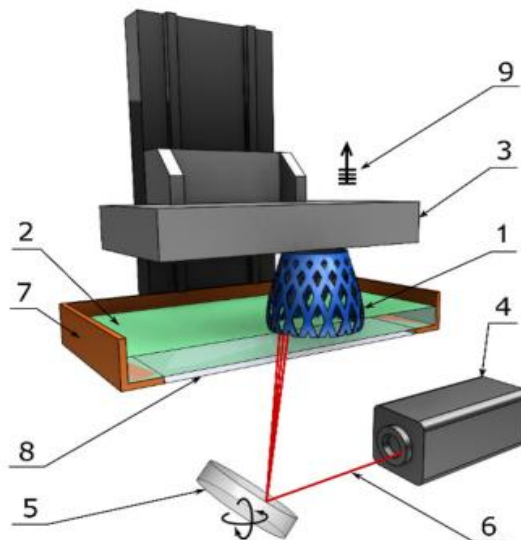
Ifølge ISO og APMS standardene, finnes per i dag åtte godkjente teknologier innen additiv produksjon.

10.1 Vat Photopolymerization - SL, DLP, CDLP

Photopolymerization (fotopolymering) prosessen går ut på at flytende, strålingsherdbar harpikser og fotopolymer ligger i et kar reagerer på stråling fra enten laser eller ultrafiolette (UV) bølgelengder, samt noen synlige bølgelengder. Ved bestråling dannes kjeder av polymer eller tverrbindinger slik materialene blir solid harpiks. Denne reaksjonen kalles for fotopolymering som ofte er veldig

kompleks og involverer mange kjemiske grunnstoffer. Fotopolymering ble utviklet i slutten av 1960-tallet, men ble først brukt kommersielt i 1986, da Charles Hull eksperimenterte med strålingsherdbart materiale ved å eksponere det for en laser, lik en i en laserprinter. Med dette fant han ut at det kunne bli produsert solide polymer mønstre ved å herde et lag over det forrige. Dette ble starten av stereolithography (SL) metoden som er en av tre teknikker i fotopolymering. (Gibson et.al., 2010).

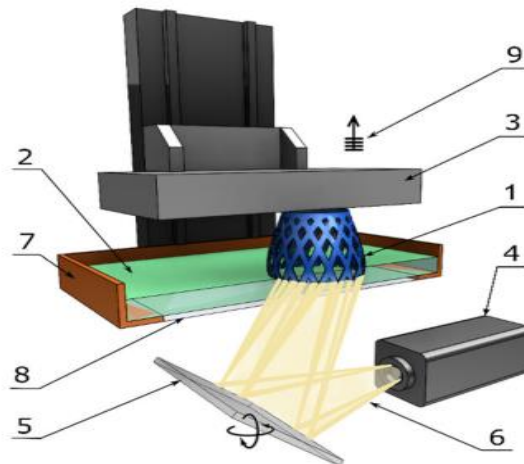
Stereolithography: Går ut på at en konsentrert stråle av UV-lys eller laser blir fokusert på overflaten av et kar fylt med flytende fotopolymer. Strålen eller laseren skaper hvert lag av det ønskede 3D objektet ved hjelp av kryssbinding eller nedbryting av polymer (Pagac et.al., 2021).



Figur 4. Komponentene av en typisk SL maskin: 1-printet del, 2-flytende harpiks, 3- byggeplattform, 4- UV-laser kilde, 5- XY reflekterende speil, 6- laserstråle, 7- kar/holder, 8- vindu, 9- lag-for-lag justerer (3DS, 2022).

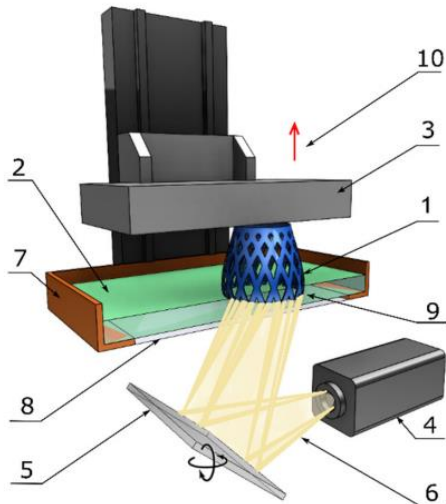
- **Digital Light Processing (DLP):** Denne prosessen er mye lik prosessen i SL utenom måten materialet blir herdet på. I stedet for et speil som reflekterer laser strålen brukes det en projektor som lyser digitalt lys. Denne prosessen er mer effektiv ettersom strålene treffer alle overflater av lagene som printes. Siden DLP teknologien bruker digitalt lys fra en projektor og

hvert lag blir pikselert avhenger nøyaktigheten og kvaliteten på objektet stort på projektorens oppløsning (Pagac et.al., 2021).



Figur 5. Komponentene av en typisk DLP maskin: 1-printet del, 2-flytende harpiks, 3- byggeplattform, 4- lyskilde, 5- digital projektor, 6- laserstråle, 7- kar/beholder, 8- vindu, 9- lag-for-lag justerer (3DS, 2022).

- **Continuous Liquid Interface Production (CLIP):** Denne metoden er en innovasjon skapt basert på DLP teknologien. I motsetning til SL og DLP teknologiene, bruker CLIP en digital projektor med en lysemitterende diode og et oksygen-gjennomtrengelig vindu istedenfor et vanlig glass vindu. Det oksygen-gjennomtrengelige vinduet skaper korridorer på tykkelsen med et menneskehår hvor flytende harpiks kan strømme gjennom grensesnittet til den printede delen og vinduet. Det uherdede gjennomstrømningen av harpiks øker oppløsningen på det printede objektet betydelig, samtidig som det minsker risikoen for printerens å gjøre feil. CLIP maskiner er designet for konstante bevegelser på byggeplattformen, dette vil tillate uforstyrret prototype printing til hastigheter på flere hundre millimetre i timen (Pagac et.al., 2021).

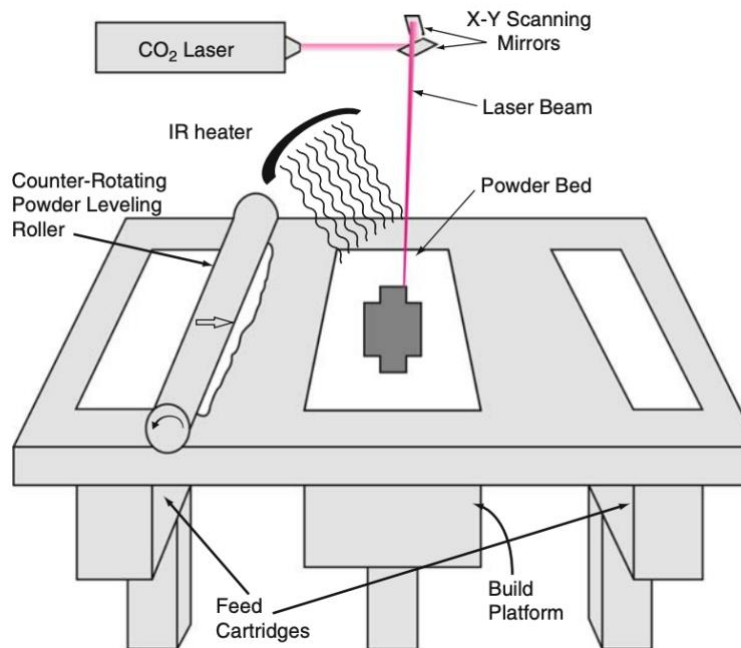


Figur 6. Komponentene av en typisk DLP maskin: 1-printet del, 2-flytende harpiks, 3- byggeplattform, 4- lyskilde, 5- digital projektor, 6- laserstråle, 7- kar/holder, 8- vindu, 9- lag-for-lag justerer (3DS, 2022).

10.2 Metal Powder Bed Fusion - SLS, SLM, DLMS, MJF,

EBM

- Powder bed fusion (PBF) er en av de første AM prosessene som først ble kommersialisert. På slutten av 1980-tallet hos Universitetet i Texas utviklet de Selective Laser Sintering (SLS) som er den første kommersialiserte PBS prosessen tatt i bruk. PBS blir brukt i forskjellige industrier som romfart, bil, medisinsk, robotisering, arkitektur og for privat konsum forbruk. Denne teknikken gjør det mulig å produsere et stort utvalg av geometrisk komplekse produkter ved å bruke en varmekilde, hovedsakelig laser- eller elektronstråler, for å smelte sammen pulver artikler lag for lag som til slutt danner en solid del. PBF har en stor designfrihet produsenter kan dra nytte av i tillegg til at det er mulig for flere levedyktige teknologier og materialer (Gibson et.al., 2010).



Figur 7. Powder Bed Fusion prosess (Engineeringproductdesign.com, 2021).

- Selective Laser Sintering (SLS)** Denne metoden bruker lasere til å smelte sammen tynne lag med pulver (vanligvis ~0.1 mm tykt) som har blitt spredt utover byggeplattformen ved hjelp av en motroterende rulle som utjevner pulveret. Delen som blir printet er plassert i et lukket kammer fylt med nitrogen-gass for å minimere oksidasjon og nedbrytning av det pulveriserte materialet. Pulveret holdes ved en temperatur like under smeltepunktet til det pulveriserte materialet. Infrarøde varmeovner er plassert over byggeplattformen for å forvarme objektet som blir produsert. Dette blir gjort for å minimere bruken av laser og å forhindre vridning av delen pga. ujevn termisk ekspansjon og sammentrekning. Når objektet er forvarmet og passende lag med pulver er dannet sender laseren en fokusert stråle som smelter sammen materialet og danner et lag på objektet. Videre senkes plattformen og prosessen gjentar seg til objektet er ferdig printet (Gibson et.al.,2010).
- Solid-State Sintering (SSS)** I denne metoden oppnås det faste bindinger mellom pulvermaterialene ved å varme pulveret til en temperatur lavere enn smeltepunktet, men over halvparten av smeltepunktet. Før sintring prosessen starter, blir pulveret komprimert for å redusere porer og øke

tettheten, deretter igangsettes herdingen av objektet ved bestråling fra laser (Natarajan, 2021).

- **Liquid-Phase Sintering (LPS)** LPS bruker en blanding av materialer som smelter under lav temperatur og materialer som smelter under høy temperatur. Materialet som smelter under lav temperatur brukes som en binding, og materialet som smelter under høy temperatur fungerer som konstruktorens strukturelle kjerne. Når det blir bestrålt fra laser, smelter bindingen seg inn i det strukturelle materialet, som resulterer i høy tetthet og nye korn blir produsert på objektet (Natarajan, 2021).
- **Selective Laser Melting (SLM)**, også kalt **Direct Metal Laser Sintering (DMLS)**: Det er de samme tekniske prinsippene som gjelder for produksjonen av SLM og DMLS deler. Teknikkene er eksklusivt for å produsere deler laget i metall fra pulverisert materiale. SLM smelter pulveret slik at metallkomponenter som kan brukes til å lage lette og sterke deler (Natarajan, 2021).

10.3 Plastic Powder Bed Fusion

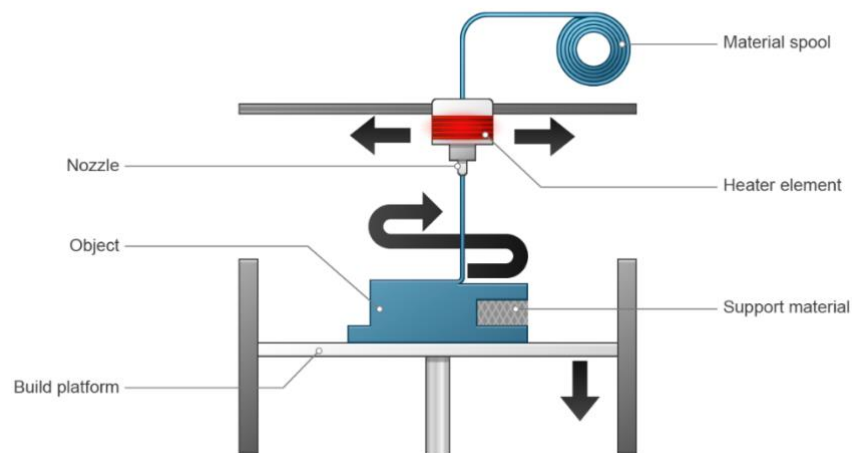
Plastic powder bed fusion fungerer på samme vis som metal powder based fusion, men denne teknikken bruker kun plastikk som materiale.

- **Selective Laser Sintering (SLS)** Denne metoden bruker lasere til å smelte sammen tynne lag med pulver (vanligvis ~0.1 mm tykt) som har blitt spredt utover byggeplattformen ved hjelp av en motroterende rulle som utjevner pulveret. Delen som blir printet er plassert i et lukket kammer fylt med nitrogengass for å minimere oksidasjon og nedbrytning av det pulveriserte materialet. Pulveret holdes ved en temperatur like under smeltepunktet til det pulveriserte materialet. Infrarøde varmeovner er plassert over byggeplattformen for å forvarme objektet som blir produsert. Dette blir gjort for å minimere bruken av laser og å forhindre vridning av delen pga. ujevn termisk ekspansjon og sammentrekning. Når objektet er forvarmet og passende lag med pulver er dannet sender lasereren en fokusert stråle som smelter sammen materialet og danner et lag på objektet. Videre senkes

plattformen og prosessen gjentar seg til objektet er ferdig printet (Gibson et.al., 2010).

10.4 Material extrusion - FDM

Fused Deposition Modeling eller FDM er en lagvis additiv produksjon prosess som bruker termoplastiske materialer for å produsere lavt volum, prototyper eller sluttbrukerdeler. Denne teknologien er kjent for å produsere svært nøyaktige detaljer og har en høy styrke i forhold til vekt ratio. FDM bygges lagvis på en bygge plattform, tynne tråder av termoplastisk materialer blir brukt til å skape hvert tverrsnitt av objektet. Tråden blir presset gjennom oppvarmede dyser og bygges så ut fra mønsteret på objektet, mens bygge plattformen beveger seg ned for hvert lag. FDM ble først patentert i 1989 og videre kommersialisert i 1991. Det blir nå brukt i industrier som bil, luftfart, medisinsk og kommersielt (Varotsis, Simon, 2022).



Figur 8. Extrusion prosess (3DS, 2022).

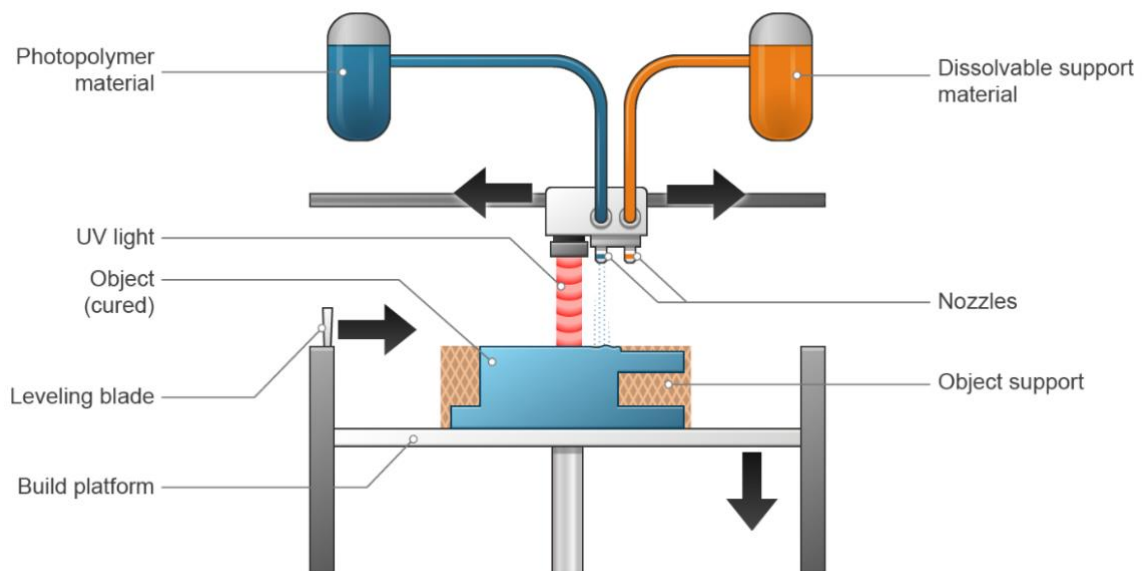
10.5 Material Jetting - DOD, NPJ

I denne teknikken brukes det enten fotopolymer, metall eller voks som herdes under bestråling fra UV-lys eller varme (likt som stereolithography) for å lagvis bygge objektet. Ved denne teknologien er det mulig å tilføre ulike materialer i

samme print. Dette gjøres ved at det er to forskjellige beholdere, hvor den ene beholderen er for materialet som objektet skal bygges av, og den andre er for materialet som skal støtte objektet under produksjon, for å så fjernes etterpå. Fra disse beholderne pumpes det mange små dråper til printer hodet som videre fordeler det nødvendige materialet til ulike dyser, som direkte blir utsatt for UV-lys eller varme slik de herdes når de treffer bygge plattformen (Varotsis, 2022).

I denne teknikken blir flytende harpiks oppvarmet til grader mellom 30-60 celsius for å oppnå nødvendig viskositet til printing. Videre reiser printerhodet over bygge plattformen og hundrevis av små dråper fotopolymer blir tilført til det ønskelige mønster. UV-lys/varmekilden er festet til printerhodet og herder materialet som skaper det første laget til objektet. Etter det første laget er fullført, beveger plattformen seg ned ett hakk og prosessen fortsetter til objektet er fullført (Varotsis, 2022).

I motsetning til de fleste andre 3D-printing teknologiene har material jetting flere beholdere med flytende materiale som mates til printerhodet. Dette gjør det mulig å printe ulike materialer, få flere fargekombinasjoner og ha støtte strukturer på delen. Støttestrukturen må fjernes når objektet er ferdig (Varotsis, 2022).

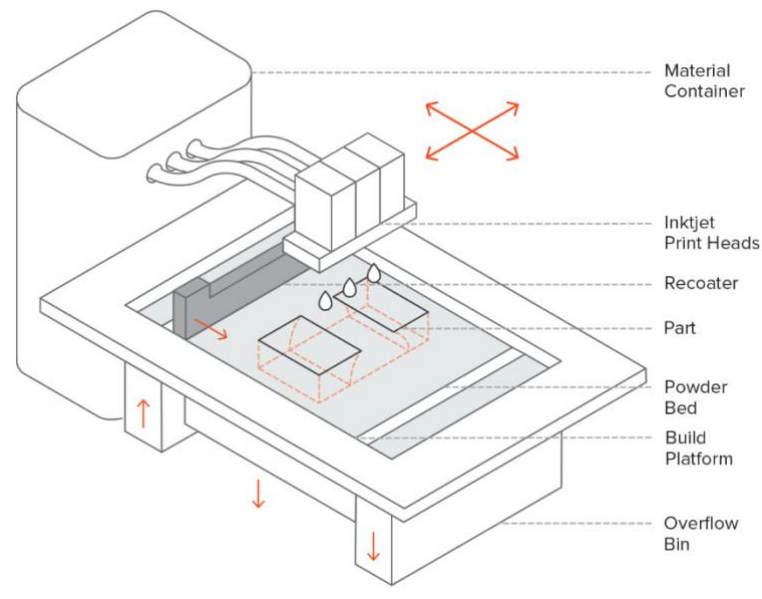


Figur 9. Illustrasjon av material jetting prosess (Varotsis, 2022).

- **Drop On Demand (DOD)** Drop on demand teknikken går ut på at det kun tilføres små dråper med materiale når det er nødvendig og ikke kontinuerlig. Den består av to beholdere, en for bygge- og en for støttemateriale. Støttematerialet oppløses i et flytende bad som gir en fin, høypresisjon voksmodell. Pga. DODs evne til å printe viskøs væske, brukes teknologien kun for å printe voksbaserte deler (Engineeringproductdesign, 2020).
- **NanoParticle Jetting (NPJ)** NPJ teknologien er en teknologi som muliggjør produksjonen av høykvalitetsmetaller- og keramiske til samme produksjonsdel. Produksjonsmetoden for NPJ og DOD utføres nesten på samme måte. Begge metodene har to beholdere, en for bygge- og en for støttemateriale. NPJ sprøyter tusenvis av små dråper med nanopartikler, som blir tilfeldig fordelt ut på byggeplattformen for å tillate naturlig pakning og tetthet. Under ekstremt høye temperaturer på rundt 300 grader celsius, fordamper væsken og etterlater den printede delen (Dilberoglu et.al., 2017).

10.6 Binder Jetting

Binder jetting (BJ) ble først utviklet hos MIT University i 1993. I 1996 fikk firmaet, ExOne Company, en eksklusiv patent for bruk av teknologien. To år senere lanserer firmaet markedets første kommersielle binder jet 3D-printer for metall. Begrepet "Tredimensjonal Printing" ble varemerket av forskergruppen fra MIT University. Som et resultat refererte begrepet "3D-printing" opprinnelig fra BJ prosessen, før det fikk et bredere begrep som refererer til alle additive produksjonsprosessene (Exone.com, 2018).

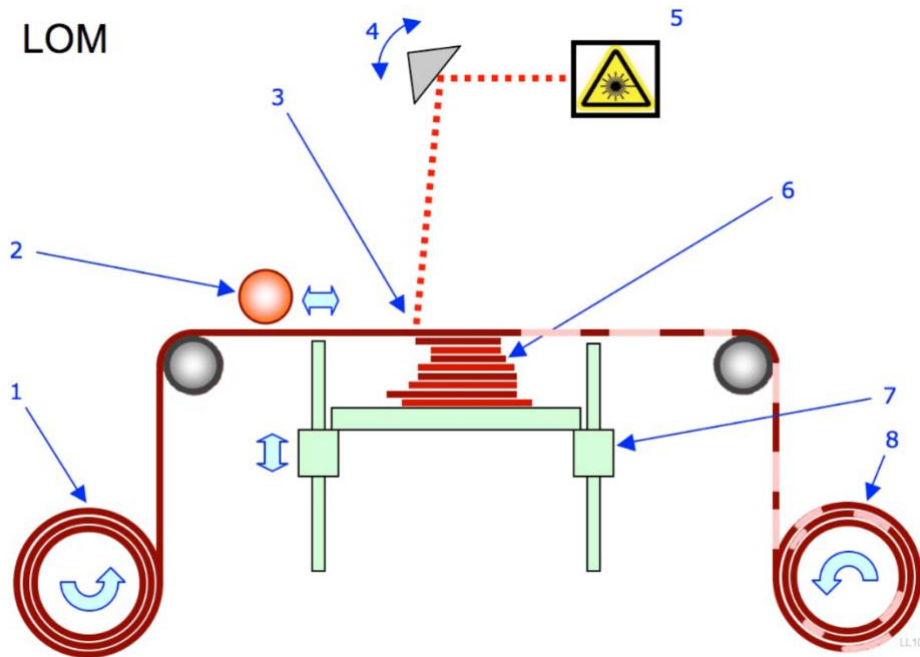


Figur 10: Illustrasjon av binder jetting prosess (facfox, 2021).

Prosessen går ut på at et printerhode beveger seg over et lag med pulverisert materiale som tilfører små bindedråper og skaper et lag. Når et lag er fullført senkes byggeplattformen og et nytt pulver blir spredt over det første laget. Prosessen repeteres til objektet er ferdig. Etter printing må objektet videre prosesseres før den kan brukes. Alt av pulver må støvsuges vekk før objektet kan infiltreres av det ønskelige stoffet av keramikk eller metall som deretter må sintres i en ovn. En annen sluttprosess kan være å plassere beholderen med objektet og pulveret i en ovn for å herde objektet. Teknikkene brukt i BJ kan ofte sammenlignes med PBF, men BJ har fordelen av å ikke tilføre ekstern varme under utformingen av objektet (Ziaee, Crane, 2019).

10.7 Sheet Lamination - LOM, SL, CBAM, SLCOM

Sheet lamination (SL) eller Laminated object manufacturing (LOM) ble utviklet av firmaet Helisys Inc. i 1991, og brukes til å lage prototyper for medisin, arkitektur og underholdning. Det er hovedsakelig mest brukt som prototype modeller fordi materialet er relativt billig og kan produsere 1:1 størrelse.



Figur 11: 1. Supplering av materiale, 2. opphetet ruller, 3. Laserstråle, 4. Skannende prisme, 5. Laserkilde, 6. objektets lag, 7. lag-for-lag justerer, 8. Restmateriale (Hisour, 2018).

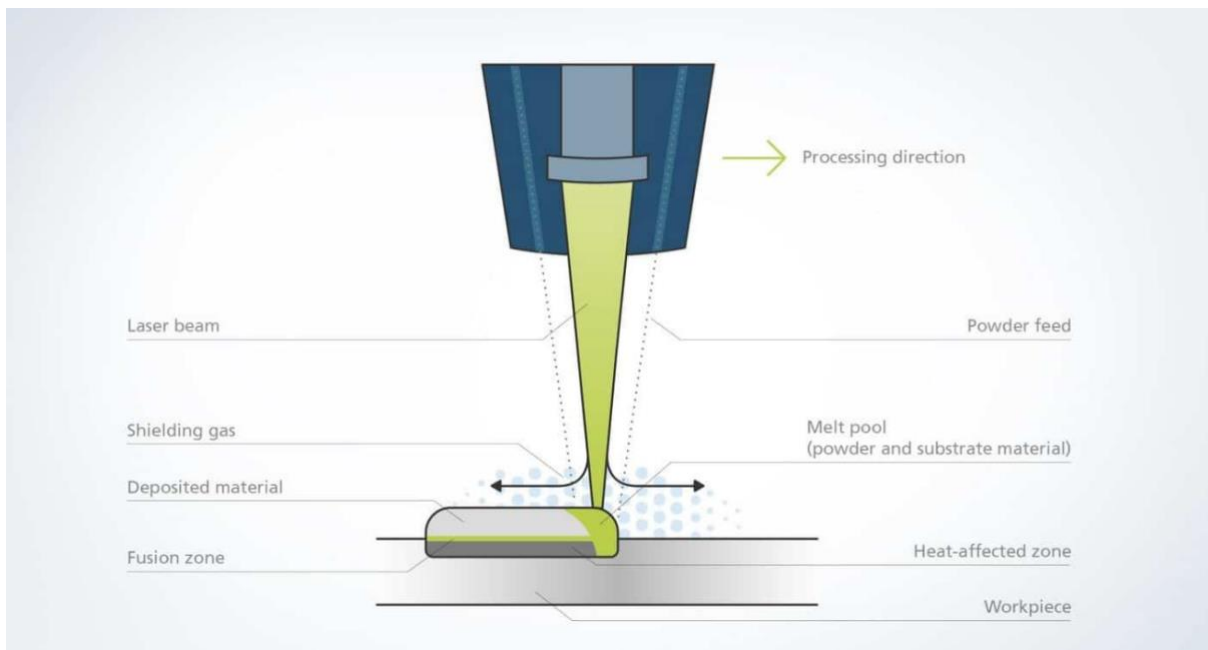
Først blir et tynt lag med materiale matet frem av rulleren. Det tynne laget blir kuttet av laseren i objektets ønskelige. Det resterende uberørte laget blir videre matet og ender opp som svinn. Videre mater rulleren et nytt lag med materiale når bygge plattformen har senket seg et nivå og prosessen repeteres til objektet er ferdig (Gibson et.al., 2020).

- **Composite Based Additive Manufacturing (CBAM)** Her blir tynne lag av karbon- eller fiberglass matet til plattformen, hvor en termisk væske blir tilført via. et printerhode. Videre mates delen og et pulver av termisk polymer blir tilført som limes sammen hvor væsken er blitt lagt. Det resterende pulveret blir støvsugd vekk og prosessen repeteres til objektet er ferdig. Når objektet er ferdig, må det komprimeres og varmes opp til smeltepunktet av polymeret. Partiklene smelter sammen lagene til en solid del. Resultatet må gjennom sandblåsing for å få vekk overflødig pulver (Objects, 2022).
- **Selective Lamination Composite Object Manufacturing (SLMCOM)** Er den nyeste metoden for SL. Teknikken lager gjenstander fra vevde ark av

kompositt. Arkene er impregnert med en termoplastisk harpiks og selektivt laminert sammen i ønsket form (Objects, 2022).

10.8 Direct Energy Deposition - DED, LENS, WAAM, EBAM

Direct energy deposition (DED) ble utviklet i 1995 av Sandia National Laboratories under navnet LENS (Laser Engineering Net Shape), og ble videre kommersialisert av Optomec Design Company. DED brukes allerede i industrier som luftfart, forsvar, olje og gass og maritim industri. DED kan produsere de største delene innenfor additiv produksjon og delene kan varmebehandles, maskineres eller etterbehandles på enhver vanlig måte.

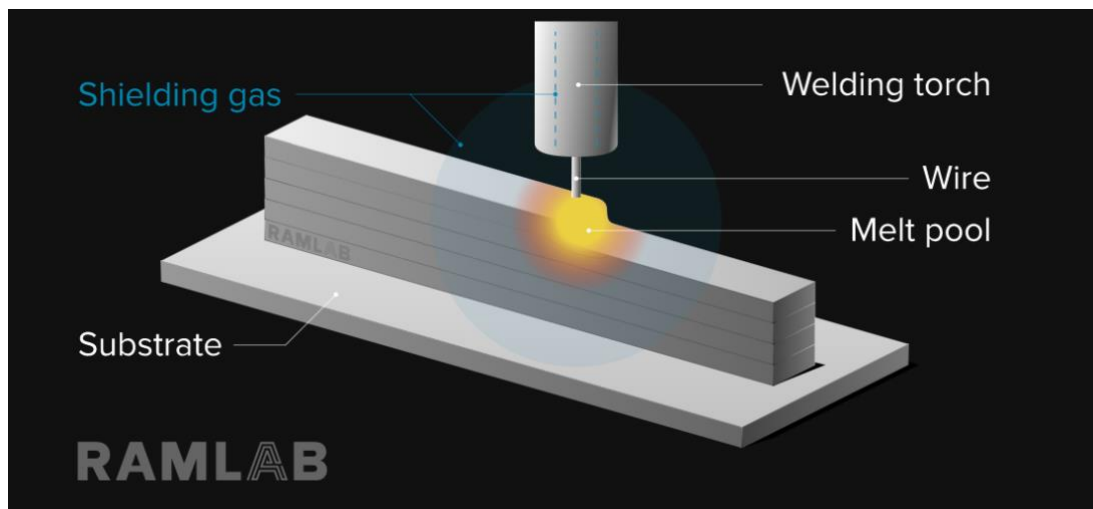


Figur 12: Illustrasjon av Direct Energy Deposition (engineeringproductdesign, 2022).

Direct energy deposition (DED) eller laser engineering net shape (LENS), fungerer ved å tilføre materiale på en base/underlag eller en komponent som repareres gjennom en dyse. Materialet som mates til munnstykket kommer i enten pulver- eller trådform. Mens pulveret eller tråden blir tilført, smelter en varmekilde fra laser eller elektronisk stråle (EBAM) materialet og tilfører det i et smeltet basseng. Dette

gjentas lag-for-lag til lagene har solidifisert og objektet er ferdig produsert eller reparert (Gibson et.al., 2010).

- **Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)** ble først patentert i 1920 og er kanskje den eldste, men minst omtalte versjonen av additiv produksjon. Ved å bruke tråd som råstoff har den grunnleggende prosessen blitt brukt til å utføre reparasjoner på skadde eller slitte komponenter. Produksjonsmetoden for WAAM er den samme som DED bortsett fra at WAAM mater råstoff med tråd (Gibson et.al., 2010).



Figur 13. Illustrasjon av Wire Arc Additive Manufacturing (Ramlab, 2022).

11.0 Bruken av additiv produksjon

I 2021-utgaven av The State of 3D Printing var det mer enn 1900 respondenter, for å bygge en sterk analyse av 3D-printing industrien. Med 3D-printing brukere over hele verden får man presentert et globalt syn på bruken av additiv produksjon, og potensialet til denne teknologien i fremtiden (Gaget, 2021).

Respondentene er hovedsakelig administrerende direktører, forskere eller en del av et FoU-team, hvor 60 % av 3D-printer brukerne har ingeniørbakgrunn. Mens 3D-printing brukes i et bredt spekter av næringene, jobber 20 % av de spurte innen industrivarer. Vi legger også merke til en modning av industrien med 66% av brukerne som har mer enn 3 års erfaring med additiv produksjon. Denne

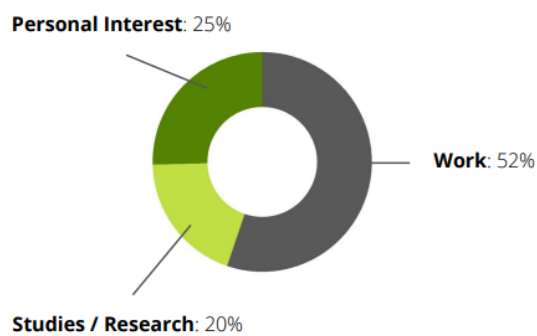
modningen er også merkbart i alderen til respondentene, med mer enn 60 % av brukerne over 35 år (Gaget, 2021).

Geography

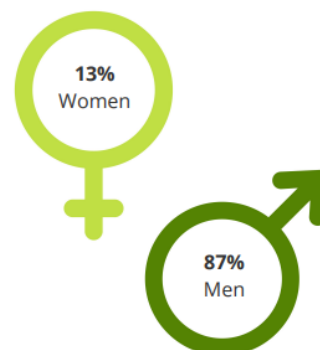


Figur 14. Geografisk fordeling av 3D-printing (Gaget,2021).

Primary context for using 3D printing



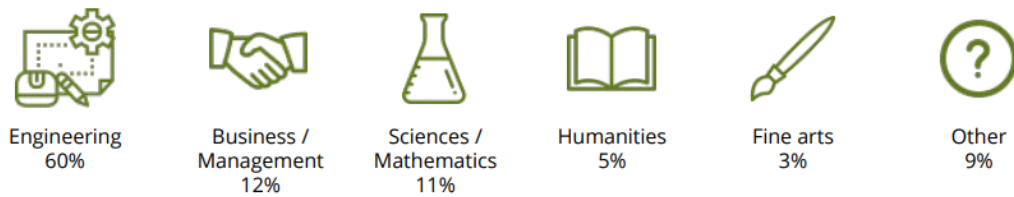
Gender



Figur 15: Kontekst for bruk av additiv produksjon (Gaget,2021)

Vi ser her at 52% av de som bruker 3D-printing bruker det i jobbsammenheng, og at 87% er menn.

Educational Background



Figur 16: Bakgrunn for bruk av additiv produksjon (Gaget,2021).

Som vi ser ovenfor har den største andelen av brukerne ingeniørbakgrunn, på hele 60%.

Industry

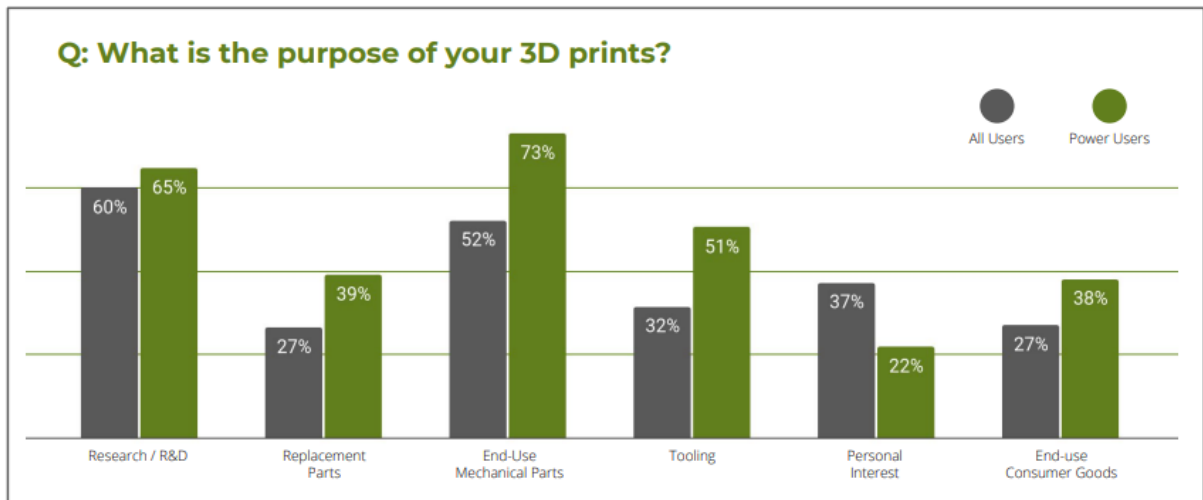


Figur 17: Type industrier som bruker additiv produksjon (Gaget,2021).

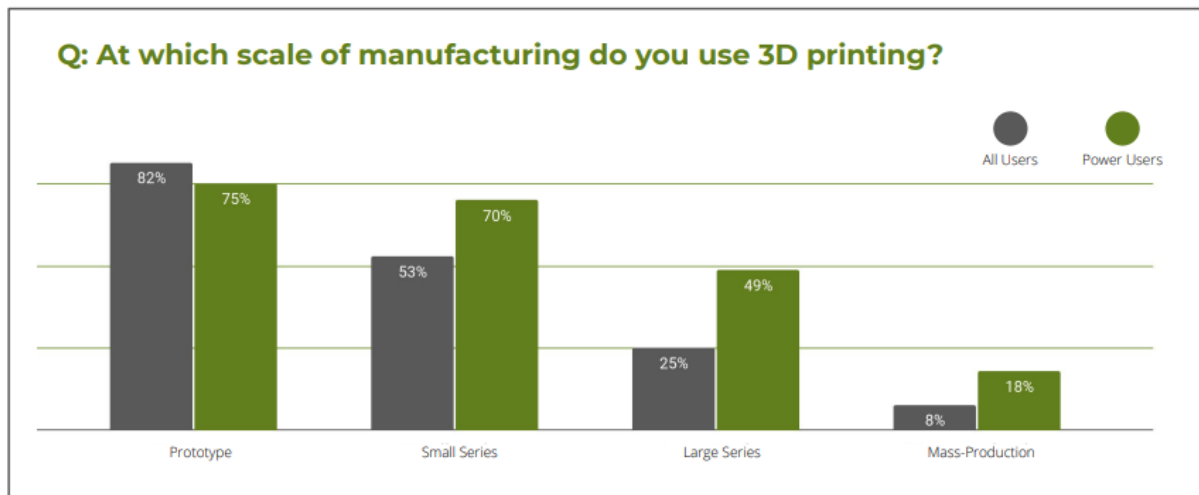
På hvilken industri som bruker 3D-printing er det mer spredt, men på industrivarer har den største andelen på 20%.

Additiv produksjon viser seg igjen å være en reell produksjonsløsning. Additiv produksjon var først og fremst ment for prototyping, men denne teknologien er nå betraktet som et reelt produksjonsverktøy, for superbrukere (brukere av 3D-utskrift i kontekst med betydelige investeringer og erfaring med bruk av teknologien). Skalerbarheten til 3D-printing er mer tydelig, 49 % sier at de bruker det til store serieproduksjoner. 3D-printede deler brukes i økende grad for sluttbruk av mekaniske deler og sluttbruk forbruksvarer. Verktøy er også i ferd med å bli en betydelig bruk av 3D-printing, dette viser mer og mer hvordan additiv produksjon

anses som en pålitelig produksjonsteknologi (Gaget,2021). Dette vises i diagrammet under:



Figur 18: Mål ved bruk av additiv produksjon (Gaget,2021).

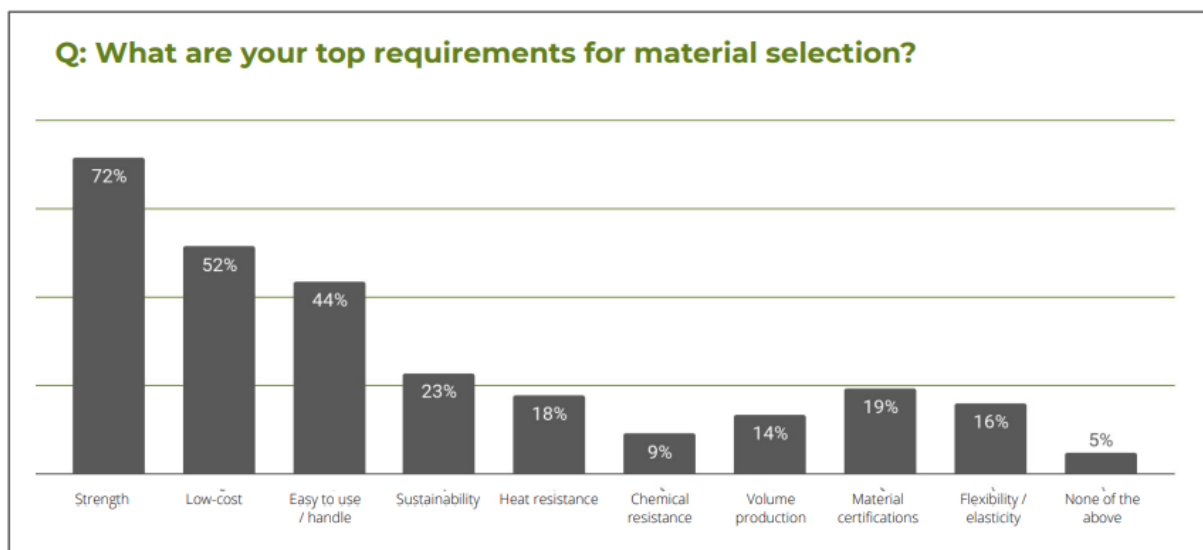


Figur 19: Skala ved bruk av additiv produksjon (Gaget,2021).

På hvilken produksjonsskala respondentene bruker 3D-printing, er det høyest andel på prototyper og færrest på masseproduksjon. Det er en høy andel på små serier, og en ganske høy andel på store serier. At det er en så stor andel på små og store serier er en økende utvikling som har skjedd med årene. Dette kan sees i sammenheng med den teknologisk vekst innen additiv produksjon, og veksten innen kunnskap rundt teknologien.

11.1 Materialvalg

Det er noen prioriteringer når det gjelder materialvalg. Ettersom 3D-printing stadig er mer brukt til krevende industrielle applikasjoner, fremhevet respondentene styrke som den viktigste egenskapen når de velger et produksjonsmateriale. Faktisk er styrke den viktigste materialeegenskapen for 72% av dem. Behovet for lavkost materialer er et krav for 52 % av brukerne av 3D-printing, noe som er i tråd med økningen av skalert produksjon med 3D-printing (Gaget,2021).



Figur 20: Krav for valg av material (Gaget,2021).

12.0 Metode og data

I dette kapittelet vil vi ta for oss forskningsdesignet og metodikken til avhandlingen. Hvilke metoder som brukes for avhandlingen vil avhenge de ulike samfunnsforhold som skal utforskes, og hvilke problemstillinger avhandlingen begir seg ut på.

Valg av metode:

Når det skal skrives en bacheloroppgave er det to forskjellige metoder å velge mellom; kvalitativ og kvantitativ.

Kvalitativ metode bygger på teorier om fortolkning og menneskelig erfaring. Disse metodene omfatter ulike former for systematisk innsamling, bearbeiding og analyse av materiale fra samtaler, observasjoner eller skriftlige tekster. Kvalitative forskningsmetoder er hensiktsmessig hvor det har vært lite forskningsbasert kunnskap (Hovland et.al., 2019).

Kvantitativ metode bygger på analyse og fortolkning av kvantitative data, det vil si tall og statistikk, men disse faktorene er ikke selvforklarende. Derfor skal det være mulig at en antakelse eller hypotese skal kunne avkreftes eller bekreftes.

I denne oppgaven blir det brukt både kvalitativ og kvantitativ metode Vi bruker både kvalitativ og kvantitativ metode i vår oppgave. Ved å samle informasjon gjennom intervjuer og samtaler med mennesker, og bygge analyser og fortolkninger gjennom tall og statistikk.

Siden vår forskning har som mål å kartlegge behovet for additiv produksjon i Møre og Romsdal i den maritime næringen, valgte vi å bruke intervjumetoden for å samle data. Vi vil samle perspektiver fra bedrifter i Møre og Romsdal som allerede har en viss kjennskap til additiv produksjon, for å få en forståelse av hvilket behov de har. De utvalgte målgruppene vi hadde til intervju var dem som drev med produksjonsdelen i sin bedrift. Dette fordi at produksjonsdelen er mest relevant for additiv produksjon.

Høstsemesteret 2021 skrev vi en oppgave i faget International Transport and Distribution om containerkrisen i verden. Denne oppgaven var inspirert av en artikkel skrevet i Finansavisen hvor CEO i Ivaldi ble intervjuet angående situasjonen i havnen i Los Angeles og hvordan Ivaldis teknologi kunne være behjelpelig. Dette var noe vi synes var spennende å se nærmere på.

Vi kontaktet både CEO og Project Key Account Manager og introduserte til dem at vi var veldig inspirert av jobben de gjør. Vi fikk kjapt svar fra begge to som også synes det var kjekt at vi satt pris på jobben deres. Vi hadde løpende kontakt videre på mail hvor vi prøvde finne ut sammen hva vi kunne skrive bacheloroppgaven om. Som et nystartet firma hadde ikke Ivaldi mulighet og personalressurser til å

være like “hands-on” som vi ønsket, men de ville gjerne at vi skulle se på behovet for additiv produksjon i Møre og Romsdal. Dette førte oss til Blue Maritime Cluster.

Da vi skulle skaffe intervjuobjekter for vår oppgave, hadde vi et møte med klyngeleder i Blue Maritime Cluster. Vi forklarte hva oppgaven vår gikk ut på, og hva vi ønsket å finne ut av. Her ble vi møtt med en positivitet, og en lyst til å hjelpe oss. Til å begynne med sendte klyngeleder ut en felles e-post til ulike bedrifter i klyngen som kunne være relevant for vår oppgave. Vi fikk svar fra en god del bedrifter, men ettersom vi ønsket å størst mulig data til funnene våre måtte vi kontakte bedrifter selv.

Vi gikk gjennom alle relevante produksjonsbedrifter fra “participants” på BMC nettsiden. Det ble sendt ut over 30 forskjellige forespørsler til bedrifter. Dessverre var det ikke like lett å få kontakt med enkelte bedrifter via e-post, så vi brukte LinkedIn hvor vi kjøpte Premium abonnement for å kunne komme i personlig kontakt med produksjonsansvarlige eller noen som kunne hjelpe oss komme i kontakt med den rette personen.

Videre måtte vi få godkjenning fra NSD for å gjennomføre intervjuer på lovlig metode. Etter søknaden vår ble godkjent satt vi i gang intervjurunden med de bedrifter som hadde takket ja til å hjelpe oss. Alle intervjuene ble tatt opp og transkribert. I oppgaven bruker vi sitater fra enkelte bedrifter for å bevisse påstander. Vi har også laget statistikk ut fra svarene som ble gitt for å vise en oversikt.

12.1 Gjennomgang av intervju

Vi forberedte 11 spørsmål rettet mot produksjon, lager og anskaffelse for å kunne kartlegge eventuelt hvor bedriftene vil kunne ha behov for additiv produksjon. Det var viktig for oss å stille de riktige spørsmålene så vi brukte god tid på å skreddersy gode nok spørsmål. Vi lærte mer og mer fra hvert intervju vi hadde som ga oss en bedre pekepinn på hvilke spørsmål som kunne bli lagt til i intervjuet.

Alle intervju ble gjennomført via. enten Zoom eller Teams. Dette gjør at begge parter har mulighet til å se hverandre, og man har mulighet til å dele illustrasjoner begge veier.

Intervjuene har foregått på Teams eller Zoom. Dette gjør at begge parter har mulighet til å se hverandre, og man har mulighet til å dele illustrasjoner begge veier. Gjennom svarene har vi lært mye om additiv produksjon, og hvordan det brukes i bedrifter. Vi har også lært om utfordringene rundt additiv produksjon i den maritime industrien. Vi har transkribert alle intervjuer, for å kunne tolke svar og lage statistikk. Mange av svarene til intervjuobjektene har vært lange, og ofte gått utover selve spørsmålet. Dette gjør at vi har lært enda mer. Men statistikken vi kommer med i resultatet, holder seg til våre spørsmål.

13.0 Resultater

Gjennomgang av spørsmål:

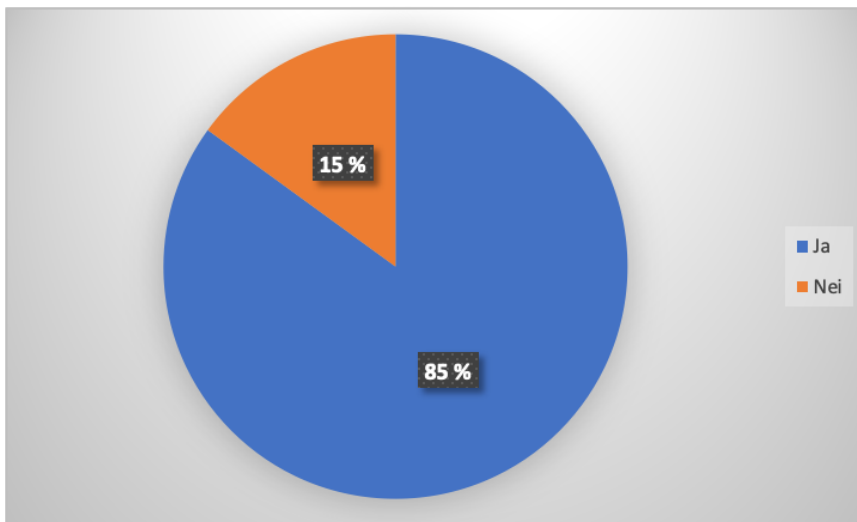
Har du dere kjennskap til additiv produksjon?

100% ja det har de. Det vil si at alle vi har intervjuet er kjent med additiv produksjon og hva teknologien går ut på.

Et eksempel på et svar på dette spørsmål fra en bedrift er:

“Ja vi bruker det til prototype produksjon, men produserer ikke per nå siden det er store deler”

Har dere brukt additiv produksjon i bedriften?



Figur 22: Bedrifter som bruker additiv produksjon

85% av bedriftene har brukt additiv produksjon i sin bedrift. Av de som har brukt additiv produksjon i bedriften har 33% brukt det til sluttbrukerdeler, mens de resterende 67% har kun brukt de produserte produktene som prototyper.

Et eksempel på et svar på dette spørsmål fra en bedrift er:

“Ja det har vi, ved hjelp av underleverandører med god kompetanse”.

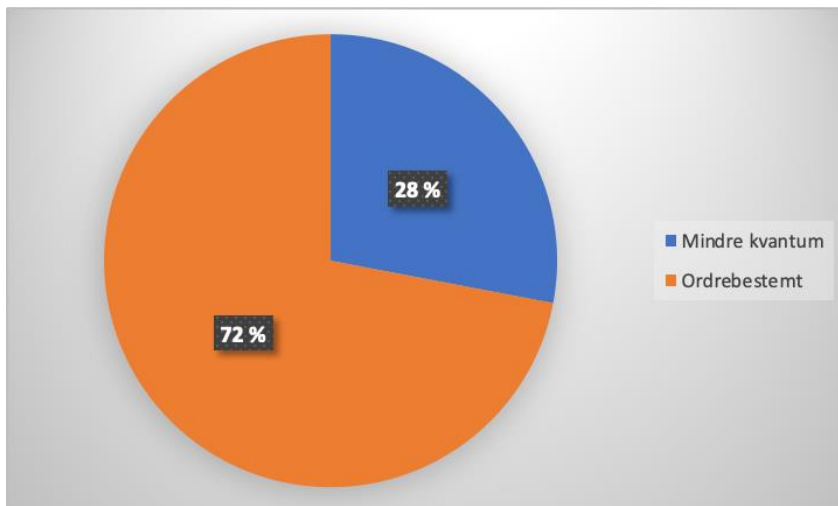
Hvilke typer varer/deler bestiller dere mest av?

100% svarer store metallkomponenter. Maskinerte og støpte metaller er det gjennomgående svaret. Eksempler på dette er store metallplater og akslinger,

Et eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Mye er gråjern altså vanlig støpejern i kvaliteter med en hardhet mellom 400/500. Også er det noe vi kaller seigjern, som er et støpemateriale som har en del andre egenskaper enn vanlig støpejern. Det er litt seigere og gir litt utfordringer med maskinering, også en del stålkomponenter vi bruker en del lagre som vi kjøper inn i stål.”

Bestiller dere som oftest store kvantum, mindre kvantum eller 1 del om gangen?



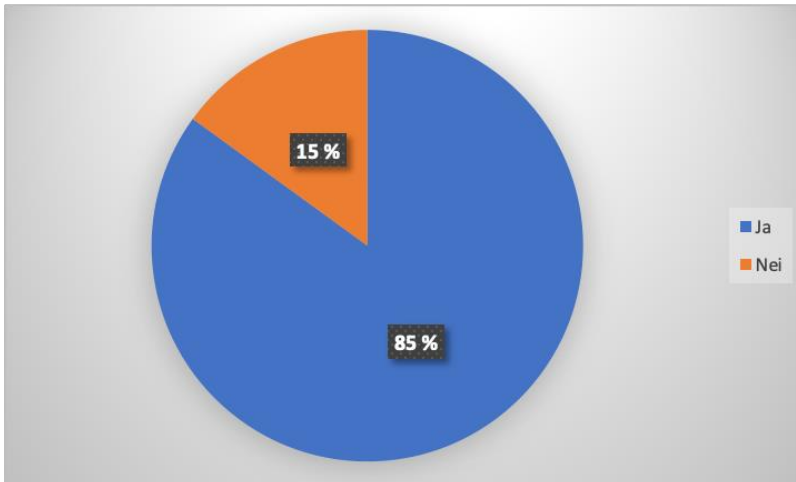
Figur 23: Innkjøp av materialer i bedrifter

28% svarer små kvantum eller en og en del. 72% svarer at det er ordrebestemt og varierende. Ved ordrebestemt er det også da som oftest små kvantum eller en og en del. Unntaket her er store kvantum av mindre deler som brukes veldig ofte, f.eks. skruer og muttere.

Et eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Ikke store kvantum, litt mer en og en eller små kvantum. Vi har ganske mange artikler så det går jevnt og trutt. Jeg tipper en typisk artikkel hos oss går det 20 av i året”.

Har dere behov for nye varer/deler plutselig uten forvarsel fra prognoser og lagerbeholdning?



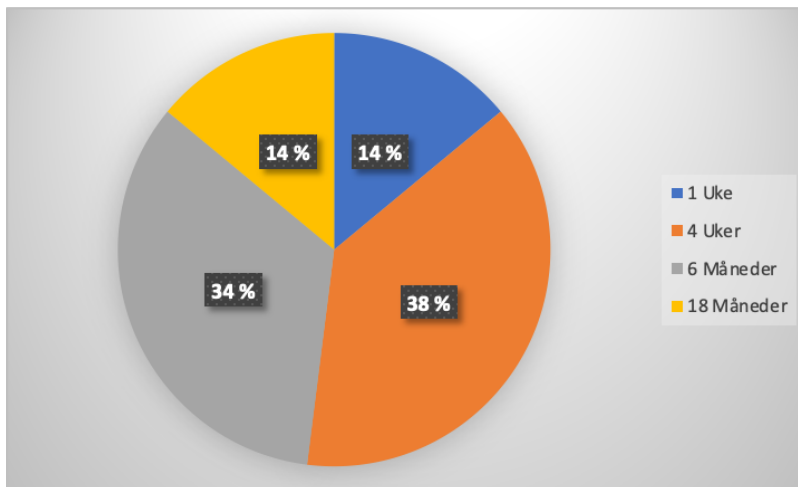
Figur 24: Uplanlagte ordrer for materialer

85% svarer ja på dette. 15% svarer nei eller nesten aldri. For de som svarer ja på dette er svaret ofte basert på at en del f.eks. er defekt og må byttes ut.

Et eksempel på fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Nei, ikke veldig ofte. Vi produserer etter ordre. Det som er med oss er at om produktet er bestilt i dag skal det ikke leveres i morgen, det er rundt ett år eller halvt år pluss. Vi har litt deleproduksjon som kan haste mer, men der har vi lager som skal dekke det”.

Om dere trenger å skifte ut en del plutselig som dere ikke har på lager, hvor lang tid tar det da før denne delen bestilles til den er hos dere?



Figur 25: Bestillingstid

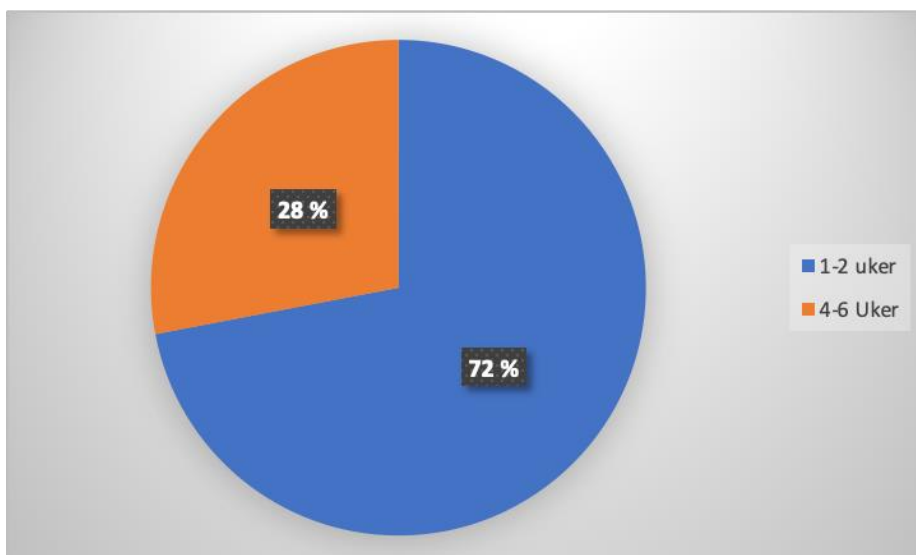
14% svarer at det tar opptil 1 uke, og 48% svarer opptil 4 uker. 34% svarer opptil 6 måneder, og 14% svarer opptil 18 måneder.

Et eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Det er litt forskjellig, små kvantum har vi på lager så det kan vi skaffe. Det finnes firma som har det på lager, men de lever av å ha det på lager så de tar da dobbel pris. Men kunden har gjerne en båt til 7-8 hundre millioner som han får 200.000 i døgnet for, og da er det ikke et problem om delen på lager koster 10.000 eller 20.000 kroner. Da går man på lagerholdere og heller aksepterer en høyere pris”.

Hvor lang tid hadde vært optimalt at denne prosessen tok?

(Fra bestilling til hos dere) 72% svarer at 1 til 2 uker, 28% svarer at 4 til 6 uker hadde vært optimalt for deres bedrift.



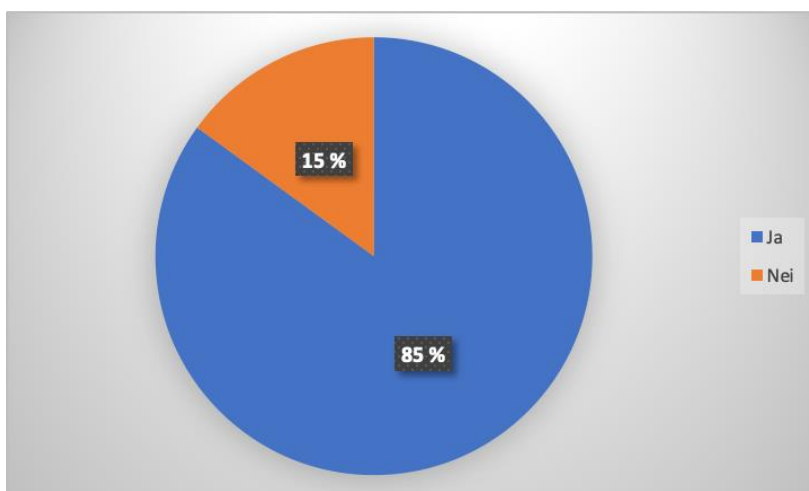
Figur 26: Ventetid på varer

Eksempel på fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Selvfølgelig skulle vi ønske at det tok kortere tid, men vi kan ikke sitte med et enormt varelager heller. Vi må på en måte en balanse hvor vi har nok på lager, men ikke for mye”.

Hvor har dere behov for nye varer/deler?

Der hvor bedriften hovedsakelig er plassert, eller flere steder i verden/Norge? 85% svarer flere steder Norge og i verden, 15% svarer at de har behov der hvor bedriften hovedsakelig er plassert.



Figur 27: Varelevering

Eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Ja vi er global sånn sett. Så det er behov i hele verden. Om båter i Nordsjøen kunne printet sine egne deler der så hadde det selvfølgelig vært gunstig”.

Taper bedriften ofte penger på å vente på varer/deler?

42% ja, det gjør de. 58% svarer nei eller sjeldent. Forklaring på de som svarer nei eller sjeldent er at de bestiller varer etter ordre, og finner alternativ bruk om de ikke brukes til det som egentlig var hensikten.

Eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“Nei det vil jeg ikke si, det er mest kundene våres som taper på det. Men de er innforstått med at vi ikke kan ha alle mulige varer og deler inne på lager til enhver tid. Men ofte kan de kjøre med lavere kapasitet, så det er ikke ofte det er store tap i bildet”.

Ville det vært nyttig for bedriften om varer/deler kunne produseres der hvor dere er?

100% svarer at det hadde vært nyttig for deres bedrift. Noen av bedriften gjør dette i praksis allerede, men ved mer tradisjonell produksjon. Dette for å raskere møte etterspørsel av reservedeler.

Et eksempel på svar fra en bedrift på dette spørsmålet er:

“På en måte ja, men vi ser jo at det er en del utfordringer der med IP-rettigheter, intellektuell eiendom, altså tegninger. Vi ser at det er kinesiske firma som reklamerer for seg selv, med å bruke bilder av våre vinsjer. Altså kopierer. Så det er en utfordring rundt akkurat det der”.

Har dere langtidslagret deler som blir kastet etter hvert?

57% at ja det har de. 43% svarer nei eller sjeldent. De som svarer ja er klar over at dette er noe som skjer ofte, eller noen ganger. De som svarer nei mener at de finner ny bruk til varene, om ikke det var behov der de først var ment til å brukes.

Et eksempel på svar fra en bedrift som svarer nei på dette spørsmålet er:

“Vi kjøper ikke inn ting med mindre vi har en klar formening om at det skal brukes da, vi kaster veldig lite. Da er det mer at kunden har kansellert en ordre f.eks”.

Et eksempel på svar fra en bedrift som svarer ja på dette spørsmålet er:

“Ja. Det er jo dette med at det koster penger å ha deler på lager. Noen ganger har det hendt at vi har kastet deler som vi egentlig ikke burde kastet, fordi vi kunne brukt det seinere. For man driver hele tiden og veier opp, og ser på hva som er for dyrt å ha på lager. Så blir det gjerne at man skroter det, også plutselig skulle man hatt det som en reservedel”.

Additiv produksjons muligheter i den maritime industrien, forklart av bedriftene:

Gjennom samtaler i forbindelse med intervjuene har vi fått mye informasjon om fordelene med additiv produksjon opplevd av bedriftene.

På spørsmål om hvordan de har opplevd å bruke additiv produksjon, svarer en representant av en bedrift:

“Om vi skulle maskinert produktet så ville vi måttet kutte bort en del material. Det vi ser nå er det at vi trenger ikke bruke mer materiale enn det vi har behov for. Det er det som er dette med miljøvennlige tiltak, at vi da bruker mye mindre materiale ved bruk av additiv produksjon. Vi kan da vi redusere vekt, også får vi kanskje prisen ned. Det sies at priser på pulver f.eks. går ned med ca. 20 % per år. Så det som før har vært dyrt blir billigere, prisen på tråd og materialer vi bruker som vi bruker går ned, og etter hvert kan konkurrere i pris. Vi får da produktet billigere ved å bruke additiv produksjon. Ved å lage smarte design så sparer vi penger, en ventil som vi lagde ble faktisk en tredjedel av prisen. Dette når det gjelder å maskinere 3 komponenter med kuler inni og f.eks, så printet vi hele i en. Vi kan printe 30 sånne ventiler samtidig. Man må omstille hjernen sin i forhold til design.”

I samtale med en bedrift tar vi opp vektreduksjon og svinn av materiale, og om de ser for seg muligheter i forhold til additiv produksjon rundt dette. En respondent svarer:

“Det er ofte ikke så aktuelt å tenke i de banene, om vi klarer å slanke produktet 200gr så betyr det ingenting. Det er ofte store tunge maskiner uansett. Men vi kunne nok redusert svinn en del, så der er det et kjempepotensial om man får 3D-printing i metall enkelt nok og billig nok”. Respondenten ser for seg at de største mulighetene ligger i å spare materiale, og minske svinn.

Additiv produksjon sine utfordringer i den maritime industrien, forklart av bedriftene:

Vi ønsker å finne ut hva bedriftene ser på som utfordringer rundt additiv produksjon i den maritime industrien. Derfor stiller vi noen spørsmål angående dette i samtale med bedriftene.

På spørsmål om hva bedriften ser på som utfordringer i forhold til bruk additiv produksjon, svarer en bedrift:

“Vi prøver å fortelle til vår ledelse at dette med 3D-printing er bra for hele businessen. Og at det er mye reservedeler og komponenter vi kan lage til det utstyret vi selger.” Personen vi intervjuer forklarer videre at det krever en del for at ledelsen skal bli overbevist om at additiv produksjon er lønnsomt på flere områder: “Det er veldig spennende med additiv produksjon. Det er skummelt å satse på ny teknologi, men man må bare overbevise med å gjøre et godt arbeid. F.eks. på den avdelingen jeg er på er 3D-printing veldig nytt. Men jeg har troen på at en dag må plutselig alle begynne å se på 3D-printing, og alle må se på nye teknologier fordi at det blir kjempebillig.”

En annen bedrift svarer på hva de ser på som utfordringer rundt additiv produksjon i sin bedrift:

“På en måte ja, men vi ser jo at det er en del utfordringer der med IP-rettigheter, intellektuell eiendom, altså tegninger. Vi ser at det er kinesiske firma som reklamerer for seg selv, med å bruke bilder av våre vinsjer. Altså kopierer. Så det er en utfordring rundt akkurat det der”. Respondenten av denne bedriften forklarer videre at i forhold til kopiering av produkter, så kan dette være et problem utenfor additiv produksjon også. Kopiering kan også forekomme ved bruk av mer tradisjonell produksjon også.

En bedrift som vi intervjuer forklarer at de har mange utfordringer rundt å få levert varer til seg i tide. Vi lurer derfor på om de ser for seg at additiv produksjon kan løse noen av disse utfordringene i deres bedrift. Da svarer de:

“Det er vanskelig å si, men skal vi synse så er det helt klart at om vi kan 3D printe ett rågods som vi har 7 til 8 uker leveringstid på, og kanskje enda lengre. Da kan vi akseptere en høyere pris, men som jeg har forstått det kan man hverken 3D-printe i gråjern eller i seigjern, og det er klart når vi har komponenter som veier 10-12 tonn så skulle jeg likt å sett den printeren”. Respondenten av denne bedriften ser helt klart for seg at størrelse er et reelt problem i forhold til additiv produksjon i den maritime industrien.

14.0 Diskusjon og analyse

Det vi har funnet ut i denne oppgaven er at det er mange fordeler med additiv produksjon. Dette gjelder også for den maritime industrien. Flere bedrifter som vi har snakket med har allerede brukt teknologien og produsert produkter. Gjennom samtaler med de får vi bekreftet at fordelene med additiv produksjon stemmer. Å redusere svinn, redusere vekt, øke effektivitet, og korte både produksjons- og leveringstid fungerer i praksis. Dette har vi fått vite direkte fra bedrifter som bruker additiv produksjon i sin produksjon og har erfaring innen teknologien.

Det som bedriftene i Blue Maritime klyngen ser på som utfordringer rundt additiv produksjon er i hovedsak etableringskostnader og størrelsen på produktene deres. Flere av bedriftene mener at det de produserer er for stort for å bli 3D-printet. Men som vi har funnet ut i vår oppgave, så er det fullt mulig å produsere store deler ved bruk av additiv produksjon. I forhold til etableringskostnader, vil den utfordringen bli løst om en infrastruktur av hub's blir etablert. For at dette skal bli etablert, må noen med kunnskap og kapital se et behov for additiv produksjon. En annen utfordring for bedriftene er hva det koster å produsere ved bruk av additiv produksjon. De forteller oss at de kan produsere produkter billigere ved bruk av tradisjonelle metoder.

Flere av bedriftene ser ikke behovet for additiv produksjon i den maritime industrien, fordi at vekt har lite å si i denne industrien. Men de ser et behov for reparasjoner, reservedeler og kortere leveringstider. I forhold til reparasjoner kan dette løses med for eksempel WAAM. Dette med å kutte svinn er også veldig relevant for alle bedriftene vi har snakket med, og det gjør additiv produksjon på en helt annen måte enn tradisjonelle metoder.

15.0 Konklusjon

- Hva er fordelene med additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?

Fordelene er helt klart reduksjon i produksjonstid og leveringstid. Det er også store fordeler rundt kutting av svinn og antall deler.

- Hva er ulempene med additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?

Ulempene med additiv produksjon i den maritime industrien er etablerings- og produksjonskostnader. Det er også utfordringer knyttet til størrelsen på produktene i industrien.

- Hva er faktorene som er avgjørende for implementering av additiv produksjon i den maritime sektoren i Norge?

For at flere av bedriftene i klyngen skal ta additiv produksjon i bruk, tror vi at det må etableres en infrastruktur av hub's i Norge. Bedrifter som vi har snakket med bruker allerede additiv produksjon, men de bruker da underleverandører med printere og kunnskap om teknologien. Dette fjerner etableringskostnader for bedriftene. Gjennom bruk av underleverandører får de også tilgang på kunnskap de eller ikke har. Bedriftene vi har snakket om har grunnleggende kunnskap om additiv produksjon, men det mangler en del i forhold til design og bruk. Flere av bedriftene vi har snakket med tror ikke at det er mulig å produsere så store produkter som de produserer. Men det har vi sett at er mulig.

Er additiv produksjon passende for den maritime sektoren i Norge?

Som andre tungindustrier passer additiv produksjon fint inn også i den maritime industri. Det er gode muligheter for å nøytralisere bedrifter for lang ventetid for kritiske deler. Dette gjelder spesielt godt for båter som er ute til sjøs om det settes opp hub's i havner. Som i luft- og romfart industrien produseres det store deler til de nødvendige standarder. Dette blir det også gjort for propeller noe som er relevant i forhold til de bedrifter vi har vært i kontakt med. Kjøp av maskiner for enkeltbedrifter er også aktuelt og vil være kostnadseffektiv for bedrifter i det lange løp.

16.0 Referanser

- Additive, GE. 2020. *ge.com*. 08 04. Funnet 04 7, 2022.
<https://www.ge.com/additive/additive-parts>.
- Asheim, Bjørn, og Meric Gertler. 2005. «The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems.» *Vitenskapelig*, 24 01: 29.
- Ashourpour, Milad, og Simeone Zanoni. 2015. «Additive Manufacturing Impacts on Operations Management.» *Vitenskapelig*, 7.
- 3DS. 2022. *make.3dexperience.3ds*. 15 04. Funnet 04 26, 2022.
<https://make.3dexperience.3ds.com/processes/3D-printing>.
- Bechtel, Stephan, Mirko Meisberger, Samuel Klein, Tobias Heib, Steven Quirin, og Hans-Georg Herrmann. 2020. «Estimation of the Adhesion Interface Performance in Aluminum-PLA Joints by Thermographic Monitoring of the Material Extrusion Process.» *Vitenskapelig*, 29 07: 19.
- Cluster, Blue Maritime. 2022. *Blue Maritime Cluster*. 01 01. Funnet 05 02, 2022.
<https://www.blumaritimecluster.no/gce/the-cluster/our-blue-vision/>.
- Dilberoglu, Ugur M, Bahar Gharehpapagh, Ulas Yaman, og Melik Dolen. 2017. «The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0.» *Vitenskapelig*, 18 09: 10.
- Dumitru, Fornea. 2015. *Additive manufacturing*. *Vitenskapelig*,
<https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/additive-manufacturing: European Economic and Social Committee>.
- Engineeringproductdesign. 2020. *engineeringproductdesign*. 17 06. Funnet 05 09, 2022.
<https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/material-jetting/>.
- engineeringproductdesign. 2022. *engineeringproductdesign.com*. 23 02. Funnet 05 09, 2022. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/direct-energy-deposition/>.
- Engineeringproductdesign.com. 2021. *Engineeringproductdesign*. 12 01. Funnet 04 27, 2022. [view-source:https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/powder-bed-fusion/](https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/powder-bed-fusion/).
- Exone.com. 2018. *Exone.com*. 31 05. Funnet 05 09, 2022. <https://www.exone.com/en-US/resources/case-studies/what-is-binder-jetting>.
- facfox. 2021. *facfox.com*. 28 07. Funnet 05 09, 2022.
<https://facfox.com/docs/kb/introduction-to-binder-jetting-3d-printing>.

- Gaget, Lucie. 2021. *The State of 3D Printing Report: 2021*. Årsrapport, Sculpteo.
- Gibson, Ian, David W Rosen, og Brent Stucker. 2010. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer New York.
- Gibson, I, D Rosen, B Stucker, og M Khorasani. 2020. *Additive Manufacturing Technologies*. Springer, Cham.
- Hammervoll, Trond, Lise Lillebrygfjeld Halse, og Per Engleseth. 2014. «The role of clusters in global maritime value.» *Artikkel*, 1 2: 16.
- hisour. 2018. *hisour.com*. 10 07. Funnet 05 09, 2022. <https://www.hisour.com/sheet-lamination-manufacturing-40663/>.
- Holmstrom, Jan, Jouni Partanen, og Walter Walter. 2010. «Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment .» *Vitenskapelig*, 27 7: 11.
- Hovland, Beate Indrebø, Kjersti Bakken, Ola Dale, William Johnsen, Tore Lunde, Patricia Ann Melsom, John-Arne Skolbekken, og Vigdis Møller. 2019. *forskningsetikk*. 23 05. Funnet 02 10, 2022. <https://www.forskningsetikk.no/retningslinjer/med-helse/vurdering-av-kvalitative-forskningsprosjekt-innen-medisin-og-helsefag/>.
- Javaid, Mohd, Ravi Pratap Singh, Rajiv Suman, og Shanay Rab. 2021. «Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability.» *Vitenskapelig*, 09 07: 11.
- Junghans, Eva, og Ramesh Babu Govindaraj. 2022. *dnv.com*. 24 03. Funnet 04 29, 2022. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Additive-Manufacturing-enters-the-maritime-mainstream.html>.
- Lindermann, C, U Jahnke, M Moi, og R Koch. 2012. «Analyzing Product Lifecycle Costs for a Better Understanding of Cost Drivers in Additive Manufacturing.» *Vitenskapelig*, 20 08: 12.
- Natarajan, Jeyaprakash. 2021. *Advances in Additive Manufacturing Processes* . Bentham Science Publishers .
- Norge, Innovasjon. 2021. *Innovasjon Norge*. 22 11. Funnet 04 20, 2022. https://www.innovasjon Norge.no/no/subsites/forside/om_klyngeprogrammet/kart/gce-og-modne-klynger/gce-blue-maritime/?fbclid=IwAR2ctkOW_DuqOtPyBg0NX1YwEsjxo_k2YcWKpbBkVEjHFx3lqh8BNO7c2Ck.

- Objects, Impossible. 2022. *Impossible-objects.com*. 03 05. Funnet 05 09, 2022.
<https://www.impossible-objects.com/cbam-printer>.
- Pagac, Marek, Jiri Hajnys, Quoc-Phu Ma, Lukas Jancar, Jan Jansa, Petr Stefek, og Jakub Mesicek. 2021. «A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing.» *Vitenskapelig*, 17 02: 20.
- ramlab. 2022. *ramlab.com*. 12 04. Funnet 05 09, 2022.
<https://www.ramlab.com/resources/waam-101/>.
- Varotsis, Alkaios Bournias. 2022. *hubs.com*. Funnet 05 09, 2022.
<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/>.
- Varotsis, Alkaios Bournias, og Isaac Simon. 2022. *hubs.com*. Funnet 05 10, 2022.
<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>.
- Wohlers, Terry, og Tim Gornet. 2016. *History of additive manufacturing*. Vitenskapelig, Wohlers.
- Ziaee, Mohsen, og Nathan B Crane. 2019. «Binder jetting: A review of process, materials, and methods.» *Vitenskapelig*, 22 06: 21.