



SINTEF

Additiv tilvirkning for norsk industri

Hvordan din bedrift
kan produsere og
vedlikeholde produkter
med reduserte kostnader,
svinn og materialforbruk.

INNLEDNING

Denne brosjyren er ment for å informere, inspirere og gi leseren en bedre forståelse av fordelene med additiv teknologi og hvilke nye muligheter teknologien gir. Additiv Tilvirkning er en forholdsvis ny og på mange måter revolusjonerende produksjonsmetode, som kan kombineres med og komplimentere konvensjonelle produksjonsprosesser. Metoden kalles også Additiv Produksjon, 3D Printing eller Additive Manufacturing (AM) på engelsk.

Kjernen i AM er at et produkt bygges opp ved å tilføre små mengder materiale. I de vanligste AM metodene for metall, smeltes pulver eller tråd sammen. På denne måten kan man bygge svært kompliserte geometrier, samtidig som man bare bruker det materialet som er nødvendig for å skape ønsket form, prosessen gir derfor lite materialsvinn.

Additiv teknologi åpner opp for muligheter i konstruksjon og design som ikke tidligere har vært mulig. Ved å ta i bruk disse metodene kan man produsere kostnadseffektive produkter som har et mindre miljøavtrykk. I denne brosjyren presenteres noen av de mange fordelene med AM, eksempler på bruksområder og produkter, og tips til deg som ønsker å lære mer om, og komme i gang med å bruke AM.

AM-gruppen ved SINTEF Manufacturing har jobbet med løsninger for industrielle applikasjoner og industrialisering av AM-teknologi siden 2007. Gruppen utgjør den høyeste konsentrasjonen av akkumulert erfaring tilgjengelig for norsk industri.

INNHALDSFORTEGNELSE

2	Innledning	20	Sprøytstøping
4	Fordeler med AM	22	Anbefalinger
10	Passer ditt produkt?	24	Sertifisering
12	En typisk prosesskjede	26	Standarder
14	Støping av komplekse komponenter	28	Kvalifikasjon
18	Produksjon av fullskala propeller	30	Hvordan gå videre
19	Reperasjon av komponenter	31	Kontakt

FORDELER MED ADDITIVE MANUFACTURING (AM)

LAVERE VEKT OG REDUSERTE KOSTNADER

I en materialavvirkende prosess som maskinering er det ønskelig å fjerne minst mulig materiale, mens det i en materialtilførende prosess som AM er mest effektivt å tilføre minst mulig. Når man bare tilfører materiale der hvor det er nødvendig, reduseres materialforbruket og tilvirkningstiden, og man får et produkt med lav vekt. Det kan derfor være mer lønnsomt å benytte kostbare materialer om de er sterkere, slik at det trengs mindre materiale og dermed kortere byggetid. For eksempel er titan mye dyrere enn aluminium, men også mye sterkere. Det har gjort at man kan utvikle et produkt av titan med samme eller bedre ytelse enn det som er laget i aluminium, og det blir dermed spart materiale, byggetid og kostnader.

“

Vegard Brøtan,
forskningsleder
SINTEF

Med AM kan vi minimere materialavfall og materialforbruk. I tillegg muliggjør AM en nedkorting av produksjonskjeder og eliminering av behovet for unike verktøy. Dette gir reduksjon i energiforbruk og kostnader. I kombinasjon med muligheten for å forlenge levetiden gjennom reparasjon og forbedring av produktegenskaper, har dette gjort at AM blir sett på som en sentral teknologi for å realisere en mer bærekraftig produksjon.

FORDELER MED AM

OPTIMALISERT DESIGN FOR ALLE GEOMETRIER

Når man benytter en additiv prosess er produksjonskostnadene stort sett de samme for komplekse og enkle geometrier.

Produksjonen krever ikke noen spesielle verktøy. Komplekse innvendige strukturer er mulig å bygge inn i produktene uten ekstra produksjonskostnad. Kostnadsfri kompleksitet gir økt mulighet for optimalisering av produktets funksjonelle egenskaper.

Man er mer fri til å kundetilpasse og optimalisere designet, da AM gir færre geometribegrensninger enn konvensjonell produksjon. Slik sett kan man f.eks. lage 100 forskjellige deler samtidig, såkalt "mass customization".

FORDELER MED AM

ETT-TRINNS PRODUKSJON

Siden det er kostbesparende å lage komplekse geometrier med AM, er det også mulig å produsere mer sammensatte produkter i én enkelt prosess (funksjonell integrasjon). På den måten kan man drastisk redusere mengden prosessstrinn, mengden verktøy, komponentlogistikk og behovet for montering og sammenføring (for eksempel sveising) av mange forskjellige enkeltdeler.

FORDELER MED AM

REPARASJON OG ØKT LEVETID

Reparasjonen er utført av Nordic Additive Manufacturing (NAM) på Raufoss.

Materiale kan tilføres der man ønsker det, også på eksisterende komponenter. Slitesterke belegg eller overflatedesign som forbedrer ytelsen til et produkt kan tilføres. Materiale kan tilføres for å reparere slitte produkter. På den måten er det mulig å fornye produktet og forlenge levetiden mange ganger.

FORDELER MED AM

MILJØVENNLIG OG BÆREKRAFT

De unike fordelene med AM gjør at prosessen kan være en svært miljøvennlig produksjonsprosess, hvor materialavfall fra prosessen og det generelle materialforbruket reduseres sammenliknet med tradisjonelle produksjonsmetoder. I tillegg muliggjør AM nedkorting av produksjonsprosesser som kan gi reduksjoner i energiforbruk og produksjonskostnader. I kombinasjon med muligheten å forlenge levetiden gjennom reparasjon og forbedring av produktene, har dette gjort at AM blir sett på som en sentral teknologi for å bidra til mer bærekraftige løsninger.

PASSER DITT PRODUKT TIL AM?

FLYTSKJEMA-GUIDE

Få, om noen, produkter som er tegnet for konvensjonell tilvirkning er lønnsomt eller fordelaktig å produsere med AM. Likevel er det stort potensial for å øke verdien av nåværende produkter på en kostnadseffektiv måte. For å identifisere produkter som passer for AM er det viktig å tenke på design for AM. Jo flere av boksene som kan krysses av i listen til høyre, jo større potensial for verdiskapning med AM.

Tilgjengelige metallegeringer som er utprøvd for AM inkluderer: Verktøystål, rustfritt stål, inconel, titan og aluminium.

Se Senvol-databasen for en utvidet oversikt: www.senvol.com/database

“

Prof. Olaf Diegel

Design for additive manufacturing is not a luxury. It is not something you should do, it is something you must do.

EN TYPISK PROSESSKJEDE

EN OVERSIKT

Forberedelser før produksjon

AM er en digital produksjonsmetode som krever en 3D-modell. For produksjon av metalleder finnes flere ulike prosessstyper. PBF er godt egnet for mer komplekse geometrier og tynnere strukturer, mens DED har en raskere byggeprosess og er godt egnet til større og mer massive produkter. Produksjonen utføres helautomatisk, men de fleste installasjoner krever noe manuelt for- og etterarbeid. Forberedelse innebærer vanligvis mating av prosessmateriale, innstilling av utstyr og prosessparametere, og kontroll av oppstart. Etterarbeid betyr fjerning av den ferdige delen, rengjøring, og å stille tilbake utstyr og materialer.

Etterbehandling

Deler som er produsert med AM trenger vanligvis også varmebehandling og maskinering av kritiske overflater før de kan brukes i et ferdig produkt. Som i sveising kan det oppstå indre spenninger, som fjernes med varmebehandling. Har komponenten funksjonsflater med fine toleranser kreves i de fleste fall etter-maskinering. En komponent fremstilt med DED får som regel en overflate som kan minne om en sveis. De fleste overflater trenger etter-maskinering, for å klare toleranser og for rent estetiske grunner.

Hybrid produksjon

Dette er et vanlig begrep i forbindelse med AM. Kort forklart går det ut på å kombinere AM med maskinering. På den måten kan man lage komplekse geometrier, men samtidig minimere kostnaden forbundet med AM. Den mest kostnadseffektive produksjonen kan realiseres ved å kombinere ulike produksjonsprosesser. På markedet finnes både hybride PBF og DED systemer.

Industri case 1

I 2018 ble de første serieproduserte komponentene ved AM tatt i bruk på Norsk sokkel. 29 svanehalser ble installert i brannslukkingssystemet på plattformer i Johan Castberg-feltet.



Forståelsen av kostnadsdrivere i AM gjorde at materialvalget landet på en titanlegering. Totalkostnaden kan ofte reduseres ved å velge et materiale som er raskt å produsere i.



Tradisjonelt består komponenten av fem individuelle deler som sveises sammen. Ved å bruke AM ble dette redusert til en enkelt komponent.



Materialvalg i kombinasjon med godt produktdesign økte flyten gjennom svanehalsen, og den totale vekten ble redusert med 60%.



Ved å benytte AM i stedet for konvensjonell sveising ble risikoen forbundet med hver individuelle sveis eliminert.

STØPING AV KOMPLEKSE KOMPONENTER

INDUSTRICASE 2

Ved støping av komplekse komponenter i aluminium er støpeformen avgjørende for et godt resultat. Ved bruk av AM kan funksjonaliteten til støpeformene økes og den totale kompleksiteten til hele formen reduseres.



SAMMENSTILLING

Støpeformer består gjerne av mange komponenter som sammenstilles i støpemaskinen. Ved å bruke AM kan sammenstillinger av mange formkomponenter reduseres til en enkelt del.

VENTILERING

Ventilering av prosessgass gjøres i dag der det er mulig, og ikke der det nødvendigvis er størst behov. Med AM kan ventilering plasseres der det er mest gunstig.

MINIMERE VEKT

Viktige ting å tenke på med AM av støpeformer er å minimere vekten. Sidekjerner og mindre forminnsatser er gode kandidater for AM.

OVERFLATE

Med AM får man en overflate som kan minne om en sandblåst overflate. Denne kan være gunstig i en støpeform.

DESIGN

Ved riktig design kan formen produseres lettere, med bedre ventilering av prosessgass og med mindre krav til vedlikehold.

PRODUKSJON AV FULLSKALA PROPELLER

INDUSTRICASE 3

Ramlab produserte den første sertifiserte propellen med AM i 2017. Propellen ble produsert med wire-arc additive manufacturing (DED-Arc/M) og har en imponerende diameter på 2 meter.

Overflaten er slipt på en konvensjonell måte, men siden det ikke er behov for stigerør, løpere og gater kan materialforbruket begrenses.

AM baner vei for produksjon av store deler, uten behov for investeringer i formverktøy.

For små serier kan metoden være både kostnadseffektiv og ha et mindre miljøavtrykk sammenlignet med støping.

“

AM baner vei for
produksjon av store
deler uten behov for
investeringer i formverktøy.

REPARASJON AV KOMPONENTER

INDUSTRICASE 4

Les mer om reparasjon med AM på

<https://blogg.sintef.no/vareproduksjon-nb/reparasjon-moderne-teknologi/>

En komponent i metall er ikke laget for å leve evig. Skader og slitasje kan oppstå på utvalgte områder av et produkt, mens resten er uskadet. AM-teknologien er nøkkelen til å reparere skadde deler fremfor å kjøpe nytt.

AM gjør det mulig å deponere materiale kun på de slitte eller ødelagte områdene. Produktet får tilbake sin opprinnelige geometri og funksjon.

Ved å reparere istedenfor å kjøpe nytt gir man produktet en utvidet levetid. Dette er viktig både for å utnytte eksisterende produkter lengre samt at det er et mer miljøvennlig valg.

For at reparasjon skal være kostnadseffektiv bør komponentens verdi på forhånd vurderes opp mot produksjonskostnadene ved AM. Reparasjon eller deponering av slitesterke belegg med AM gjør at en reparert komponent kan fremstå som et nytt produkt. Materialvalg er derfor viktig å evaluere ved en reparasjon.

SPRØYTESTØPING

INDUSTRICASE 5

Det finnes mange eksempler på vellykket bruk av additiv tilvirkning i sprøytestøping. Følgende eksempel fra Plasto i samarbeid med SINTEF viser potensialet.

HØY SLITASJE

Utfordringen var knyttet til høy slitasje på et verktøy på grunn av problemer med ventilering og temperaturkontroll.

INTEGRERT VENTILERING

Ved hjelp av AM ble det bygget integrert ventilering og konforme kjølekanaler som fulgte konturen til verktøyet.

ØKT KJØLING

På grunn av den økte kjølingen med de konforme kjølekanalene kunne et mer slitesterkt materiale brukes.

LEVETID

Levetiden økte fra 30.000 til over 350.000 skudd. I tillegg ble syklustiden og antall produkter produsert med feil redusert.

ANBEFALINGER

TOMMELFINGERREGLER MED AM

PRODUKTDISIGN OG FUNKSJONALITET

Produkter designet for tradisjonelle produksjonsprosesser er sjelden godt egnet for additiv tilvirkning. Redesign for AM er derfor som regel lønnsomt. Den største kostnadsdriveren ved AM er mengden tilført materiale. Det kan derfor være lønnsomt å designe hulrom inne i produktet. Størst fordeler får man imidlertid om hulrommene kan brukes til noe nyttig, for eksempel kanaler for å føre frem trykkluft, hydraulikk, kabler, smøring, skjærevæske, osv. som vist i industricase 5. Ny funksjonalitet kan designes inn i produktet uten at dette fordyrer produksjonen, f.eks ved å inkludere ventileringsprosessgass, som beskrevet i industricase 2. Montasjekostnader kan reduseres ved å produsere produktet i ett trinn, som vist i industricase 1.

MATERIALVALG

Det anbefales å velge materiale basert på hva produktet krever av egenskaper som; styrke, duktilitet, korrosjonsmotstand eller høytemperatur bestandighet. Ved optimalt materialvalg kombinert med design vil en kunne oppnå en betydelig vektreduksjon med AM. En lettvekts-komponent trenger ikke bestå av et lettvekts-material, men vekten kan reduseres gjennom innvendig og utvendig topologioptimalisering.

Materialbaser innen "AM-materialer" er å finne på www.senvol.com/database

KOSTNADSDRIVERE

Kostnadene øker med produktets volum, men det er uavhengig av produktets kompleksitet.

ETTERBEHANDLING

Varmebehandling etter AM er ofte påkrevet. Maskinering er også et krav dersom produktet har funksjonsflater som krever fine toleranser.

BEGRENSNINGER I TEKNOLOGIEN

Dimensjonstoleranser, formtoleranser og overflateruhet er grovere enn man er vant med fra maskinering. Forskjellige prosesser har praktiske begrensninger vedrørende størrelsen på produktene, både på grunn av byggekammerets størrelser og byggehastighet. Metoden krever understøttelse av overhengende flater under bygging, støtten må fjernes etterpå. Metoden er ikke egnet for fremstilling av knivsegger eller andre skarpe vinkler.

HVORDAN VELGE RIKTIG AM TEKNOLOGI?

AM teknologien er delt inn i syv ulike prosesskategorier. Innenfor metall-produserende AM-teknikker benyttes pulver, tråd og tynn-plate som råmaterial. Det finnes flere enkelttrinns og flertrinns-prosesser som alle har funnet sin plass i markedet. Valg av teknologi vil avhenge av produktets størrelse, design og antall som skal produseres. Valg av teknologi bør gjøres i samråd med AM-spesialister.

SERTIFISERING

AV PRODUKSJON OG DELER PRODUSERT MED AM

Krav til sertifisering avhenger av produktets bruksområde og formål. Flere organisasjoner arbeider med å utvikle spesifikasjoner og krav for de forskjellige bruksområdene. På neste side finnes en oversikt.

DNV har utviklet klassifikasjonsveiledninger for godkjenning av AM til bruk i Maritim- og Offshoreindustrien:

- Godkjenning av komponenter produsert med AM (DNVGL-CG-0197)
- Godkjenning av produsenter av AM deler (DNVGL-CP-0267)
- Typegodkjenning av prosessmaterial for AM (DNVGL-CP-0291)

DNV har også utviklet sin egen standard for metall-komponenter fremstilt med AM for olje & gassindustrien:

- DNVGL-ST-B203 Additive manufacturing of metallic parts

Lloyds Register har i samarbeid med TWI (UK) utviklet en service for sertifisering de tilbyr industrien innenfor maritim-, og olje & gass sektorene. Servicen inkluderer:

- Uavhengig, tredjeparts vurdering av prosess-materialene
- Kvalifisering av produksjonsanlegg
- Sertifisering av komponenter

TÜV SÜD har utviklet en omfattende virksomhet rundt AM og tilbyr testing for kvalifikasjon og sertifisering av:

- Prosess-, og produktmateriale
- Produksjonsanlegg

STANDARDER

NASJONALE & INTERNASJONALE

UTVIKLING OG PUBLISERING AV AM STANDARDER

ISO og ASTM Internasjonal har inngått et samarbeid for utvikling og publisering av felles AM-standarder.

Gjennom samarbeid med CEC/CENELEC blir disse også felles europeiske standarder og er derfor gjeldende nasjonale standarder også i Norge.

Standardene er tilgjengelige via Standard Norges hjemmesider:

<https://www.standard.no/>



FOR DEN SOM ØNSKER Å KOMME I GANG MED Å BRUKE AM-TEKNOLOGIEN KAN FØLGENDE STANDARDER VÆRE AV INTERESSE:

- ISO 17296-2:2015 Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock
- ISO/ASTM 52900:2021 Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and principles- Fundamentals and vocabulary”.
- ISO/ASTM 52901:2017 Additive manufacturing — General principles — Requirements for purchased AM parts
- ISO/ASTM 52904:2019 Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications
- ISO/ASTM 52910:2018 Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations
- ISO/ASTM 52911-1:2019 Additive manufacturing — Design — Part 1: Laser-based powder bed fusion of metals
- ISO/ASTM 52911-2:2019 Additive manufacturing — Design — Part 2: Laser-based powder bed fusion of polymers

FINN DIN STANDARD

VEILEDNING FOR SØKING AV AM-STANDARDS PÅ NETT



STANDARD NORGE

Felles standarder som er publisert av CEN/CENELEC blir også publisert av Standard Norge. Titler er oversatt, men teksten er på engelsk.

1. Besøk siden <https://www.standard.no/>
2. Bruk “additiv produksjon” som søkeord

CEN-STANDARDS

Standarder publisert av ISO/TC 261 blir også publisert av CEN/TC 438.

1. Besøk siden <https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:105::RESET>
2. I feltet “Committee”, velg “CEN/TC 438”, skriv dine søkeord i feltet: “keywords”

ISO-STANDARDS

De fleste standarder er utviklet og publisert i fellesskap med ASTM, mens et fåtall er unike for ISO.

1. Besøk siden www.iso.org/search.html?q=&hPP=10&idx=all_en&p=0
2. Skriv dine søkeord + “additive manufacturing”



ASTM-STANDARDS

De fleste er utviklet og publisert i fellesskap med ISO, men flere er også kun publisert av ASTM, spesielt innenfor materialer og “Directed Energy Deposition”.

1. Besøk siden www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=compass&
2. Skriv dine søkeord + “additive manufacturing”

KVALIFIKASJON

AV FAGFOLK FOR AM I INDUSTRIEN

EFW (European Federation for Welding, Joining and Cutting) har utviklet forskjellige program for kvalifikasjon av maskinoperatører og ingeniører som skal jobbe med AM av metal. Disse programmene ligger også til grunn for utviklingen av internasjonale standarder for kvalifikasjonskrav for disse faggruppene. Frem til nå ha man spesifisert program for:

European/International Metal AM Operator:

- Powder Bed Fusion – Laser Beam
- Powder Bed Fusion – Electron Beam
- Directed Energy Deposition – Arc
- Directed Energy Deposition – Laser Beam

European/International Metal AM Process Engineer:

- Powder Bed Fusion – Laser Beam (Electron Beam er under utvikling)
- Directed Energy Deposition – Arc
- Directed Energy Deposition – Laser Beam

European/International Metal AM Designer

- Powder Bed Fusion Processes
- Directed Energy Deposition Processes

European/International Metal AM Coordinator

European/International Metal AM Supervisor



TUV SUD

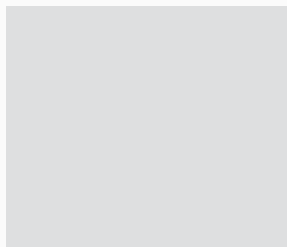
Tilbyr kurs og sertifisering for personer med forskjellige funksjoner innenfor industriell AM som kvalitetsleder, ingeniør og forretningsstrategi.

ASTM AM Centre of Excellence

Tilbyr fortløpende program for sertifisering av fagpersonell med ulike funksjoner innenfor industriell bruk av AM.

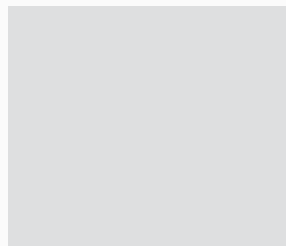
HVORDAN GÅ VIDRE

VÅRT TEAM



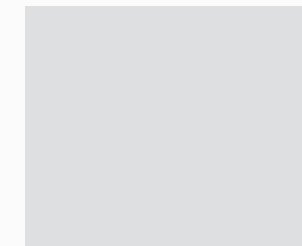
VEGARD BRØTAN

Forskningsleder
Generelle henvendelser
vegard.brotan@sintef.no



KLAS MAGNUS BOIVIE

Seniorforsker
Standardisering og sertifisering
klas.boivie@sintef.no



SIRI MARTHE ARBO

Forsker
Materialteknologi
siri.marthe.arbo@sintef.no

OLAV ÅSEBØ BERG

Seniorforsker
Design for AM og prosessutvikling
olav.asebo@sintef.no

“

Har du en god ide til et produkt som kan egne seg for AM, eller har du noen spørsmål vedrørende teknologien ta gjerne kontakt med oss

Hva AM-gruppen hos SINTEF Manufacturing kan tilby:

- Veiledning rundt AM
- Material- og prosessutvikling
- Forskningspartner i større prosjekter (IPN/KPN/EU)
- Tilbyr ekspertise innen PBF, DED og DfAM kompetanse
- Kostnadsoverslag / Tidsoverslag PBF og DED

KONTAKT

INFORMASJON

SINTEF MANUFACTURING

www.sintef.no/no/manufacturing

ADRESSE	EPOST	TELEFON
Grøndalsvegen 2 Bygning 100 2830 Raufoss	manufacturing@sintef.no	+47 40 00 51 00



SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no