

## Resultatredovisning Forsknings- och Innovationsprojekt (Fol-projekt)

Projekttitel	Diarienummer	Projektledare Organisation	Halvtids redovisning	Slut redovisning
Högpresterande lättviktskomponenter genom additiv tillverkning	2015-05086	Swerea KIMAB	2017-10-11	2018-09-28

Detta dokument är en resultatredovisning för Forsknings- och Innovationsprojekt (Fol-projekt) inom strategiskt innovationsprogram för lättvikt (SIP Lättvikt). Syftet är att säkerställa att projektet följer beviljad projektplan.

### Resultatredovisning

1. Hur har projektresultaten utvecklat lättviktslösningen med avseende på:  
*[max 1 500 tecken per område]*

- a. TRL (teknikmognadsgrad, se [www.lighterarena.se](http://www.lighterarena.se) för förklaringar)  
*Beskriv hur TRL har förändrats från start till projektslut. Motivera.*

I arbetet med topologioptimering har TRL-nivån inte förändrats för teknikområdet men för somliga av de medverkande företagen och dess personal har arbetet inneburit fördjupning som på sikt kan bidra till större teknikmognadsgrad. Samma gäller även för övriga teknikområden i projektet. Företagen beskriver att de bättre har fått upp ögonen för möjligheter och begränsningar och inspirerats att tänka i form av helt nya lösningar som nu är möjligt att tillverka med additiv tillverkning.

För att kunna utnyttja additiv tillverkning krävs en förståelse kring hur tunnväggighet påverkar egenskaper i den tillverkade komponenten. Siemens har genom detta projektet fått tillgång till grundläggande egenskaper i den materialgrupp som kan komma i fråga för att utnyttja tunnväggiga strukturer i påkända turbinkomponenter. Dels har förståelse kring utformning av strukturer för förbättrad värmeövergång etablerats, dels har grundläggande data för att kunna designa dessa komponenter.

Höganäs säljer både 316L och 718 till AM, vilket ger TRL9. Båda produkterna ger en jämn och känd kvalitetsnivå som kan användas till vissa AM produkter. Värdet av projektet är att Höganäs fick en jämförelse med vakuumatomiserat pulver och en benchmark mot produkter som ligger utanför deras normala operationsområde (flyg/rymd). De fick också ett antal resultat som man kan sätta in i ett större sammanhang och dra nytta av (e.g. fuktmätningar). De har lärt sig en del om pulver, men snarare att det ökat motiveringen för att hålla koll på fukthalt i pulver, pulverhantering, etc än att det medfört NYA åtgärder.

TRL start: 2-3 (GKN), 4 (Siemens), 9 (Höganäs)  
TRL slut: 2-3 (GKN), 6 (Siemens), 9 (Höganäs)

b. Viktminskning

*Beskriv på vilket sätt resultaten har givit en viktminskning. Ge konkreta exempel. Ange kvantitativ viktminskning.*

Viktminskning erhålls genom möjligheten att tillverka komplicerade geometrier med additiv tillverkning. I projektet har arbetet med topologioptimering visat på en potential för viktreduktion något under den nivå som utpekats i ansökan. Genom att använda AM kommer vikten att kunna minskas, men valda komponenter för rymdmotorapplikationer är kritiska och är redan designoptimerade. Således kommer topologioptimering minska vikten något, men de stora fördelarna kommer att vara viktminskning hos utgångsmaterialet, tack vare den signifikanta minskningen av skärande bearbetning. Detta gäller för de demonstratorer som har valts i projektet; en ledskena, en turinutloppsmanifold och en värmesköld. Det återstår dock mer detaljerad produktutveckling tills en realiserbar design föreligger och egenskaperna hos material med tunna väggar behöver verifieras ytterligare. För att kunna göra detta på ett tillförlitligt sätt behöver metodiken för provning av mekaniska egenskaper hos tunnväggigt AM-material detta utvecklas.

Genom att kunna utnyttja de tunnväggiga strukturerna erhålls en viktminskning eftersom den effektiva ytan för värmeöverföring ökas i förhållande till traditionell design. Väggtjockleken i aktuell struktur kan tillverkas 50% tunnare. Tyvärr kommer hela denna effekt inte att kunna utnyttjas utan att man genomför en topologioptimering för värmeöverföring och värmeledning. I dagsläget skulle en fullt utnyttjad reduktion av väggtjocklek rendera i att värmeledningen bort från strukturen inte skulle bli tillräcklig. Mycket arbete kvarstår i att optimera strukturer för värmeövergång och värmeledning.

Mer specifikt för ledskenan:

Turbinutloppsledskena, flygmotorapplikation, relativt höga volymer. Idag är ledskenorna fabricerade från plåt och smiden.

AM/PB teknologi ger möjlighet att optimera geometrin map hållfasthetsaspekter vilket ger en viktminskning. Dessa optimerade geometrier skulle vara svåra och kostsamma att realisera med de tillverkningsteknologier som används idag.

Topologioptimeringsverktyg är ej använt i LIGHTCAM för ledskena. Applikationen är redan relativt långt driven mot en optimerad vikt. Topologioptimering internt GKN visar på en viktsreduktionspotential runt 10% vid utnyttjande av den designfrihet AM/PB process kan ge.

Inom LIGHTCAM har ett examensarbete utförts. En ledskena har tillverkats med Additive Manufacturing (AM) och pulverbäddss metoderna (PB) från Arcam där svets/värmekällan är en elektronstråle (EBM). Materialet är Alloy 718 och kombinationen av detta material och EBM är i dagsläget i ett utvecklingsskede. Projektet har därför stor betydelse för såväl Högskolan Väst (HV) som GKN för fortsatt utveckling inom området mot högre mognadsgrader för denna kombination av metod, material och tillämpning.

Ledskenan har tillverkats av HV och utvärdering har utförts inom examensarbetet. Utvärderingen genomfördes med komponenten i "tillverkat tillstånd" och uppdelat i icke-förstörande provning (NDT), metallografisk utvärdering för verifiering av NDT resultat och mikrostrukturell kartläggning. Rapporten för detta arbete finns enligt referens (URN: urn:nbn:se:mdh:diva-35566).

#### Mer specifikt för turbinutloppsmanifold (TOM):

Rymdapplikation. Karakteriseras av låga volymer i serieproduktion, resursintensiv utvecklingsfas, mycket höga tekniska krav. Idag används gjutteknik.

Turbinutloppsmanifolden är redan idag relativt långt driven mot en viktoptimerad design. Det lastfall som ger störst inverkan på dimensionering är inre övertryck vilket visades tydligt med strukturoptimeringen som har genomförts. Optimeringen visade på intressanta nya konstruktionsutföranden. Optimeringsresultaten låg till grund för skapandet av en CAD-modell. Väggtjocklekar uppskattades och justerades med avseende på tillverkning, vikt och lastpåkänning. Därefter utfördes verifieringsberäkningar för att jämföra spänningsnivåer mellan originaldesign och optimerad design. Vissa väntade förbättringsområden identifierades, men i stort såg spänningsnivåerna jämförbara ut med originaldesignen. Den optimerade designen visar en ca 10% lägre vikt än originaldesignen. Dock är fler och mer detaljerade designloopar nödvändiga för att få en produkt som uppfyller alla krav.

#### Mer specifikt för värmeskölden

Värmeskölden har påvisats kunna förbättras funktionsmässigt genom införande av gyroidstrukturer, där dessa utgör ett element för värmeavledning från den heta komponenten (980degC metalltemperatur). Den värmeavledande strukturen i komponenten skulle därmed kunna optimeras och göras lättare med förbättrad prestanda. En viktminskning på 40% är realistisk. Komponentens andra funktioner och del av komponenten som utgör gyroidstrukturen är endast en del. På grund av detta kommer komponentens totala vikt endast att kunna minskas med 10%. Tack vare gyroidstrukturen kommer funktionen hos komponenten att förbättras, så även om viktminskningen inte är stor kommer funktionen att förbättras med avsevärd livslängdsförändring som följd. Målet på kylflödesbesparing kommer att kunna nås, då mycket mer effektiva kylstrukturer kan erhållas. Tyvärr är tillverkningstekniken idag inte tillräckligt produktiv för att kunna nå en kostnadsbesparing. Tillverkningsmetoden

är emellertid kostnadsneutral. Arbete kommer att behövas för att bättre optimera process och material så att en högre produktivitet kan erhållas.

c. Utvecklingstid

*Beskriv på vilket sätt resultaten har givit kortare utvecklingstid. Ge konkreta exempel. Ange kvantitativ tidsbesparing.*

Om tekniken med topologioptimering används i rätt fas av utvecklingen kan tid sparas och beslut om konstruktionen fattas med större insikt i vilka designlösningar som är mest effektiva. Efter topologioptimering behöver komponenten anpassas till additiv tillverkning och en CAD-ritning tas fram, vilket gör att beredningssteget idag är mer manuellt och erfarenhetsbaserat än förutspått och denna process behöver utvecklas för att inte bli en flaskhals. Dock ger sedan möjligheten att snabbt tillverka olika geometrier med additiv tillverkning kortare utvecklingstider och möjligheter till bättre optimering av komponenterna.

Genom additiv tillverkning kan ledtiden från design till maskinprov drastiskt minskas. Fler geometrivarianter kan provas under en kortare tid och möjligheten att snabbare ta fram robusta konstruktioner med bättre prestanda är kraftigt förbättrad. Ledtiden för att med traditionella tekniker ta fram en första detalj är typiskt 1-1,5 år. Med additiv tillverkning kan man minska denna tid till mindre än ett halvår.

Mer specifikt för ledskena:

Potentialen att reducera ledtid vid utveckling för ledskenan ses som stora, exempelvis bedöms ledtid för framtagning av prototyp för utvecklingsprov kunna minskas från 6-8 månader till 1 månad.

Mer specifikt för turbinutloppsmanifold (TOM):

En mycket stor potential för AM/PB teknik ligger i möjlighet att korta ledtid i utvecklingsarbete. Ledtid för framtagning av prototyp för utvecklingsprov bör kunna minskas från runt 12 månader till 1 månad. Att ändra ett verktyg för gjutning har mycket lång ledtid och medföljande kostnad. AM/PB ger stor flexibilitet för sena ändringar, till en mycket lägre kostnad.

d. Tillverkningskostnad

*Beskriv på vilket sätt resultaten har givit en lägre tillverkningskostnad. Ge konkreta exempel. Ange kvantitativa besparingar.*

Beroende på demonstrator har schematiska kostnader räknas fram där man får en mer korrekt viktreducering och därmed även andra potentiella förbättringar det kan medföra. Förutom själva tillverkningskostnaden är även ekonomiska vinsterna med den AM-tillverkade detaljen viktig. Förhoppningen var att framtagningen av en ny pulverkvalitet från Höganäs skulle leda till lägre tillverkningskostnader för AM. Dock har det under projektet visat sig att vakuumsältning i pulvertillverkning kommer att krävas för dessa applikationer, vilket gör att pulverkostnaderna inte kommer att kunna reduceras genom en billigare pulvertillverkningsprocess.

Mer specifikt för ledskenan:

AM/PB process ger också en möjlighet att på ett förhållandevis enkelt och effektivt sätt integrera funktionalitet i form av exempelvis stöd/termiska skydd för rör genomföringar för olja, index och liknande för efterföljande fognings/monteringsoperationer.

Möjlig kostnadsreduktion vid serietillverkning uppskattas till 20%. Osäkerheterna mycket stora då TRL-nivån är låg.

Mer specifikt för turbinutloppsmanifold (TOM):

Möjlighet till kostnadsbesparing i serietillverkning är svårbedömd, till stor del beroende på att omfattningen på efterbearbetning som eventuellt kommer att krävas inte är känd idag. Det finns dessutom flertalet metoder att räkna på tillverkningskostnad för AM.

Stora fördelar förväntas genom införandet av AM genom möjlighet att undvika de restriktioner som gjutning ställer på produkten vilket ger potential till viktminskning och ökad producerbarhet. Ökad producerbarhet kan omsättas i lägre tillverkningskostnader. Kostnad för gjutning är välkänd men beroende på hur man räknar på AM-tillverkning får man olika resultat.

En möjlig kostnadsreduktion vid serietillverkning uppskattas till 20%, möjligen mer. Osäkerheter är stora då uträkningar bygger på en mängd antaganden. Potentialen uppskattas som stor då volymerna är låga.

Mer specifikt för värmeskölden

I ett pågående projekt har Siemens redan sett fördelarna med att tillverka värmesköldsprototyper med additiv tillverkning. Inom ett år kommer inte bara funktionella prototyper utan även hela maskinset av kvalificerade komponenter finnas tillgängliga för installation i kunders maskiner, något som tidigare inte varit möjligt.

## e. Hållbarhetspåverkan i ett livscykelperspektiv

*Beskriv hur resultaten har minskat hållbarhetspåverkan i ett livscykelperspektiv med utgångspunkt från den hållbarhetsanalys som gjordes i början på projektet*

Frågan undersöks i andra parallella Vinnova-projekt t.ex. RecAM och det är ännu för tidigt att kvantifiera. Förhoppningen är att materialbesparingen ska ge minskad miljöpåverkan, liksom att viktminskningen ska reducera energiåtgången i användningen av komponenten. Det är nu möjligt att mha AM tillverka komplexare geometrier som inte har gått att tillverka förut och därmed minska vikten. Med AM minskar behovet av skärande bearbetning och komponenterna kan tillverkas mycket närmare färdiga mått. Därmed minskar mängden kasserat material i form av spånor.

## 2. Implementering av projektresultaten

*Beskriv hur projektresultaten har (eller kommer att) implementeras industriellt. Hur ser implementeringsplanen ut?*

Resultaten har ännu inte implementerats och en strategi för implementering är under utveckling. Både Siemens och GKN använder redan AM in sin produktion och steget till industriell implementering av ovan beskrivna komponenter är därför inte lika stort som för företag utan erfarenhet av AM. Höganäs har genom detta och andra parallella projekt nu fått en tydligare indikation på vilken processväg som krävs för tillverkning av AM-pulver, vilket har lett till strategiska investeringar. Siemens har implementerat resultat från provning av mekaniska egenskaper hos tunnväggiga strukturer för att bättre kunna prediktera livslängd. Resultat från utvärdering av värmeöverföring i gyroidstrukturer visar på att man kommer behöva lägga resurser på att förbättra de verktyg som idag används för optimering.

## 3. Effekter av resultaten – tillväxt, export och konkurrenskraft

*Vad förväntas implementeringen av resultaten innebära för tillväxt, export och konkurrenskraft? Resonera och uppskatta.*

Att implementera additiv tillverkning med hjälp av resultaten i projektet kommer att vara en nödvändighet för bibehållen konkurrenskraft inom företagens branscher. Görts detta tillräckligt snabbt kan det även leda till tillväxt och ökad export.

## 4. Utbildningsmaterial

*Hur har projektet resulterat i material för kompetensutveckling? I vilka former sker kompetensutvecklingen och vem ansvarar för det efter projektets slut?*

Bidrag har redan presenterats på konferenser och fler är planerade. En öppen litteraturstudie har gjorts på nickelbaserad superlegeringar tillverkade med additiv tillverkning, samt 3 olika öppna examensarbeten. Efter projektets slut kommer erfarenheterna kunna användas i framtagning av kursmaterial både inom AM-Arenan och inom LIGHTer, samt i kurser som redan pågår på högskolorna.

## 5. Branschöverskridande samverkan

*Hur har det branschöverskridande samarbetet fungerat och påverkat projektresultaten? Ange om nya branscher har tillkommit under projektet.*

Företagen i projektet kommer från olika branscher och det har därför varit lätt att samverka och dela information och erfarenheter vilket har påverkat projektresultaten positivt.

## 6. Konkreta tekniska resultat

*Vilka resultat har erhållits i form av demonstratorer, tekniker, processer, tjänster etc? Fyll i tabellen nedan.*

Resultat i form av demonstratorer (virtuella, fysiska), tekniker, processer, tjänster etc	Konkreta mål, t ex vikt, kostnad, tid etc.	Förväntad implementering i kommersiella produkter
- Ledskena för applikation i flygmotor	0-10 % viktminskning, 20 % lägre kostnad, ledtid reduktion 6-8mån -> 1mån för framtagning av prototyp för utvecklingsprov.	Inom 5 år för lågpåkänd komponent, inom 10 år för kritiska detaljer, kräver högre nivå processkunande
- Turbinutloppsmanifold för applikation i raketmotor	0-10 % viktminskning, 20% lägre kostnad, ledtidsreduktion 12 mån -> 1 mån för framtagning av prototyp för utvecklingsprov	Inom 10 år efter projektavslut
- Värmsköld för en energiapplikation	10 % lägre kostnad, 30 % luftbesparing	Ca 5 år efter projektavslut
- En ny pulverkvalité från Höganäs	Den vid projektstart tillgängliga pulverkvaliteten (smältning i luft, atomisering i kvävgas) var inte tillräcklig för att uppfylla kraven. Det betyder att kostnadsbesparingsmålet inte direkt kan uppfyllas genom att byta från vakuumsmältning till smältning i luft.	Genom uppköp (HC Starck, klart 2018) har Höganäs skaffat sig tillgång till produktionsutrustning som kan leverera den efterfrågade kvaliteten. Dessutom pågår flera investeringar som berör produkter inom området.

## 7. Måluppfyllnad

Fyll i tabellen nedan

Mål enligt projektplan/ansökan	Måluppfyllelse - halvtid	Måluppfyllelse - slut
2 demonstratorer	3 demonstratorer- arbete med utvärdering pågår	3 demonstratorer- klara
1 ny pulverkvalitet	1 ny pulverkvalitet- utvärdering pågår	1 ny pulverkvalitet utvärderad; jämförelse pulver från vakuumsmältning – oskyddad smältning