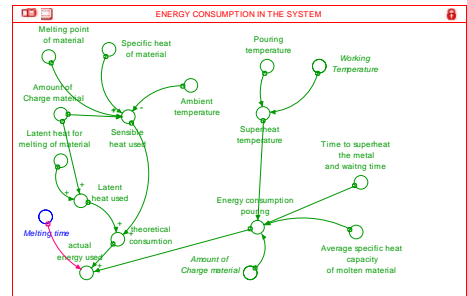
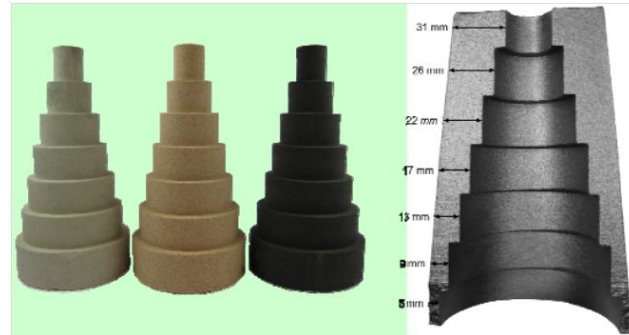
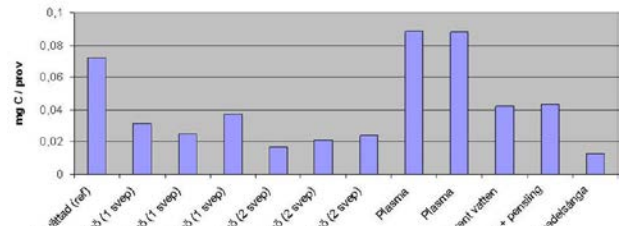


## Publik rapport av projektet Miljövänliga och Energieffektiva Fabriker Vinnovas diariernr 2009-00315



### Projektansvariga

Eva Troell

Peter Nayström

Lars Nyborg

Magnus Widfeldt

Swerea IVF

Swerea Swecast

Chalmers

Swerea IVF (red)

2012-06-05

Delprogram: Hållbar Produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Syfte.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Genomförande och resultat.....</b>	<b>5</b>
4.1 Kretsloppsanpassade härderier.....	5
4.2 Kretsloppsanpassade gjuterier.....	7
4.3 Kretsloppsanpassade maskinverkstäder .....	10
<b>5. Bidrag till FFI-mål.....</b>	<b>14</b>
<b>6. Spridning och publicering.....</b>	<b>14</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	14
6.2 Publikationer .....	15
6.3 Samverkan med andra projekt.....	15
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>16</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>16</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

### *Projektbeskrivning, mål och resultat*

Projektet 'Miljövänliga och Energieffektiva Fabriker' med start 2009 och avslut under 2012, har genomförts inom samverkanssatsningen FFI, Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, med Vinnovas diarienummer 2009-00315. Fokus har varit hållbar produktionsteknik för komponenttillverkning. Tre delprojekt har genomförts:

Delprojekt:

1. Kretsloppsanpassade Härderier
2. Kretsloppsanpassade Gjuterier
3. Kretsloppsanpassade Maskinverkstäder

Delprojektledare:

- Eva Troell, Swerea IVF  
Peter Nayström, Swerea SWECAST  
Lars Nyborg, Chalmers

Projektledare har initialt varit Tero Stjernstoff, då Swerea IVF nu Vinnova, och under genomförandet Magnus Widfeldt, Swerea IVF.

### *Delprojekt 1: Kretsloppsanpassade härderier*

**Mål:** Att minimera användning av energi och förbrukningsvaror som kemikalier och tvättmedel under värmebehandling.

**Resultat:** *Framtagning av nyckeltal* för olika värmebehandlingsprocesser, som visar energianvändning per ton värmebehandlat gods. Ugnens fyllnadsgrad har stor inverkan: Vid sätthårdning blev energianvändningen tre gånger högre med 10 % fyllnadsgrad jämfört med en fullastad ugn. Värmebehandling kräver rena materialytor, och *miljövänlig effektiv tvättning* är en nyckelprocess. Renhet efter tvätt har utvärderats i laboratorium och i anslutning till produktion. Metoder för mätning av föroreningar har kartlagts. *Miljöanpassade rengöringsmetoder* som plasmarengöring, koldioxidnö och ultrarent vatten har utvärderats. Fortsatt forskning behövs om hur ren en yta behöver vara före värmebehandlingen. Kompetensuppbyggnad har skett via Värmebehandlingscentrum och Värmebehandlingsforum.

### *Delprojekt 2: Kretsloppsanpassade gjuterier*

**Mål:** Att reducera eller elimineras mängden restprodukter och avfall som produceras i gjuterier samt mängden som behöver deponeras. Ett exempel är Scantias gjuteri, som i början av projektet omsatte 450 ton sand/dygn varav 40 ton restprodukter/dygn.

**Resultat:** *Intern återanvändning* som ökar recirkulering av sand i gjuterier genom ökad kunskap och bättre metoder för rening. Bentonitbunden råsand med sot har återvunnits för tillverkning av kärnor. Två olika tekniker har provats: Mekanisk återvinning och termisk återvinning. Resultaten visar att båda teknikerna levererar återvunnen sand som lämpar sig för kärntillverkning. Detta bygger på verkliga gjutförsök med bedömning av gjutgodset. Resultat av *extern återvinning* är bl a en handbok för återanvändning av formsand som ut-

fyllnadsmaterial för markområden. Ett särskilt underlag är Volvo Powertrain's mångåriga erfarenhet om tillståndsprocessen och om formsandens egenskaper ur ett miljöperspektiv. Överskottssand har efter tillståndsmyndighetens klartecken använts i rörgravar inom Scania's område med goda resultat. Kunskapspridning har skett främst genom Gjuteriföreningen.

### ***Delprojekt 3: Kretsloppsanpassade maskinverkstäder***

**Mål:** Skapa förutsättningar att implementera miljöanpassade skärvätskor i maskinverkstäder. Ökad kunskap om vätskornas funktionalitet, utvärdering av alternativa behandlingsmetoder och hälsoeffekter samt om restprodukthantering.

**Resultat:** *Miljöanpassade processvätskor/skärvätskor.* Att andas in skärvätskeaerosoler över en viss nivå, kan ge obehag i ögonen, på huden och i andningsorganen. Orsaker kan vara bakterier och endotoxiner på bakteriernas cellväggar. Då skärvätskor kan stå för 12% av företagets tillverkningskostnader, har det både mänskligt och ekonomiskt stor betydelse att recirkulera rena skärvätskor. Kunskap om reningsmetoder är väsentlig, då vissa andra metoder som biocider ev. kan innebära en hälsoeffekt. *Rening genom ozonbehandling* har utvärderats i en prototypanläggning, som ställts till förfogande hos Chalmers av IO Trading,. Skärvätskor från deltagande företag har använts. Ozoneringen har vid försöken visat sig mycket effektiv. Vid borrhänsök i gjutaluminium indikeras att skärvätskans smörjbarhet efter ozonbehandling återställs eller t o m förbättras. Den ozonerade skärvätskan har god korrosionsskyddande förmåga. Ozoneringen påverkar inte maskinbearbetningen.

En teoretisk studie har gjorts om *beslutsstöd för restprodukthantering*, och framtagning av ramverk för forskning, 'Resource Conservative Manufacturing', inklusive strategier för OEM och modeller för minimering av restprodukter. Tillämpade studier om beslutsstöd för reducerad energianvändning har utförts med simuleringsverktygen System Dynamics och Stella, avseende gjutning av cylinderhuvuden resp tillverkning av vevaxlar.

## **2. Bakgrund**

Vid produktion av nya drivlinor till fordon, ställs allt högre krav på att minimera eller eliminera negativa miljöeffekter vid tillverkningen. Fokus är att minimera eller eliminera mängden avfall, uttag av jungfruliga råvaror, energianvändning och hälsopåverkan. Detta projekt "Miljövänliga och energieffektiva fabriker" har haft fokus på gjutning, värmebehandling och bearbetning, tre processer vid komponenttillverkning med stor miljöpåverkan. Projektet har finansierats inom programmet Hållbar produktionsteknik, ingående i samarbetet Fordonsstrategisk Forskning och Innovation – FFI, med Vinnova och fordonsindustrin. Projektet ingår i Komponenttillverkning, och genomfördes under 2009-06 – 2012-03.

### 3. Syfte

En långsiktig färdplan för komponenttillverkning följer den övergripande ”nollvisionen” att helt eliminera miljöbelastningen från produktionen av komponenter till fordonsindustrin. Syftet med detta projekt, ”Energieffektiva och miljövänliga fabriker”, har varit att arbeta i nollvisionens riktning, med tre specifika tillverkningsområden med stora möjligheter att reducera miljöbelastningen genom att ta fram och implementera FoU-resultat.

### 4. Genomförande och resultat

Projektet har genomförts som tre delprojekt med fokus värmebehandling, gjutning och bearbetning, vars genomförande och resultat redovisas i separata avsnitt i det följande.

#### 4.1 Kretsloppsanpassade härderier

Värmebehandling är en process som utförs i slutet av tillverkningskedjan. Den är ofta tidskrävande, och behöver bli mer effektiv, samtidigt som förbrukningen av kemikalier och energi minimeras både ur miljö- och kostnadssynpunkt. Delprojektets fokus har varit:

- Att ta fram nyckeltal för olika värmebehandlingsprocesser. Dessa visar energianvändning per ton värmebehandlat gods. Ugnens fyllnadsgrad har en stor inverkan på nyckeltalets storlek. Vid sätthårdning blev t ex energianvändningen tre gånger högre då fyllnadsgraden var 10 % jämfört med en fullastad ugn
- Metoder för utvärdering av renhet efter tvätt på laboratorier och i anslutning till produktion. Flera laboratorieanpassade metoder, t ex FTIR, är lämpliga att utvärdera vilken typ av förorening ytan har. För att utvärdera mängden av föroreningar skulle IMC och LIF kunna vara lämpliga. Dessa skulle även kunna användas i anslutning till produktionen. Ytterligare forskning och analys krävs för att möjliggöra kalibrering mot värmebehandlingsresultat, dvs hur ren en yta behöver vara före värmebehandlingen
- Att studera möjligheter med miljöanpassade rengöringsmetoder som plasmarengöring, koldioxidnö och ultrarent vatten.

#### *Minskad energianvändning: Nyckeltal*

Energianvändningen för några av de vanligaste värmebehandlingsprocesserna har uppmätts för olika ugnar och olika chargevikter. För den här tillämpningen valdes nyckeltalen MWh/ton gods och MWh/mm sätthårdningsdjup som mest representativa. Vid de mätningar som gjordes inkluderades värmebehandlingsprocesserna; seghårdning, sätthårdning och nitrokarburering. Förvärmning/-oxidering exkluderades, mätningarna började därför vid ca 400 °C. Olika ugnstyper som satsugnar och genommatningsugnar för sätthårdning inkluderades. Mätningar gjordes för olika chargevikter (laster) där ugnens fyllnadsgrad varierade från 10-100 %. Fixturmaterialiet, dvs lastkorgar, ingick i vikten. Bild 1.

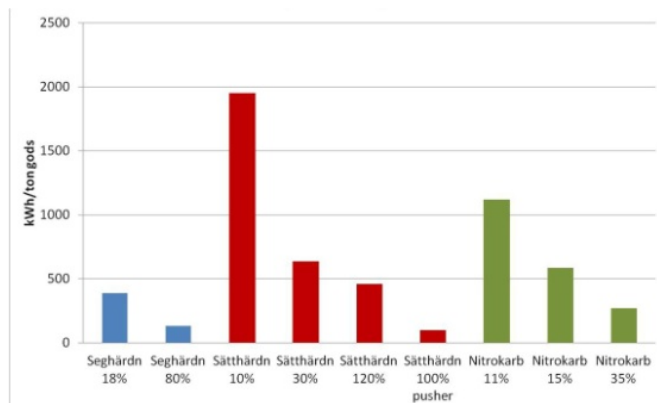


Bild 1 Energianvändningen i kWh/ton vid olika värmebehandlingsprocesser, samt vid olika fyllnadsgrader av ugnarna.

### Minskad kemikalieförbrukning – metoder för utvärdering av renhet

Inom projektet har tvättning före värmebehandling studerats med det långsiktiga målet att minimera kemikalieanvändning i samband med tvätt. Ytbeskaffenheten, inklusive renhet, har stor inverkan på värmebehandlingsresultatet. För att kunna optimera tvättprocessen, både avseende val av kemikalier och metod samt frekvens för att byta bad, krävs kunskap om hur man utvärderar ytornas renhet/föroreningsgrad samt hur man tvättar ytan på bästa sätt. Miljöanpassade rengöringsmetoder kan minska kemikalie- och energianvändningen.

### Metoder att utvärdera renhet av ytor

Arbetsgången har varit:

1. Provprenparering. Kutsar, stål SS2244,  $\varnothing 25 \times 10$  mm, fräses med kommersiell skärvätska (Variocut C462, Hysol 3505)
2. Rengöring med miljöanpassade metoder; plasma, CO<sub>2</sub>-snö och ultrarent vatten
3. Analys med: FTIR, IMC, LIF med syfte att klassificera grad och typ av förorening
4. Nitrokarburering och optisk analys av föreningszonens tjocklek.

Målet var att utvärdera möjligheten att använda mer miljöanpassade tvättmetoder. Begränsningar, möjligheter och behov av fortsatt utveckling har undersökts.

### Resultat av rengöring med miljöanpassade metoder

Traditionell rengöring görs med tvättmedel vid ca 60 °C. Flera bad får passeras. Det slutliga tvättresultatet är starkt beroende av renheten i sista sköljsteget. De miljöanpassade metoder som har utvärderats i projektet är låg-temperatur plasma, ultrarent vatten enligt "Qlean-processen" och CO<sub>2</sub>-snö. Det finns mer traditionella metoder som slutna lösningsmedelssystem med återvinning som skulle kunna vara aktuella. Vid utvärderingen användes plana provkutsar. Nedan ges en sammanfattning av de studerade metoderna:

- **Rengöring med plasma.** Vid utvärderingen konstaterades att metoden är lämplig för att ta bort små mängder av föroreningar, t ex fingeravtryck, men vid dessa försök användes skärvätskerester som förorening och dessa brände fast på ytan

- **Rengöring med CO<sub>2</sub>-snö.** Vid utvärdering gav CO<sub>2</sub>-snö med två svep de renaste ytorna
- **Rengöring med ultrarent vatten.** I denna undersökning påverkades resultatet av en icke optimerad torkprocess för applikationen, vilket medförde viss korrodering av de rengjorda ytorna. En jämförelse med traditionell rengöring har visat att t ex utsläpp av växthusgaser är ca 40 % lägre vid användning av ultrarent vatten.

Intressantast för fortsatta studier är rengöring med CO<sub>2</sub>-snö och ultrarent vatten. Båda metoderna kräver anpassning till komponenternas geometri och till industrialisering. Före implementering av nya metoder krävs också att renhetskraven före olika värmebehandlingsprocesser kan fastställas bättre än idag.

## 4.2 Kretsloppsanpassade gjuterier

Delprojektets mål har varit utveckling av teknik och metoder för förbättrad resurshushållning, samt minimerad miljö- och klimatpåverkan vid framställning av gjutna detaljer. Specifikt fokus har varit *Intern återanvändning* och *Extern återvinning* av gjuterisand.

### *Intern återanvändning av gjuterisand*

Övergripande mål har varit att minska mängden avfall från råsandsgjuterier genom att återanvända överskottssand till kärnproduktion. Idag anses råsand som återanvänt inte vara tillräckligt ren för kärnproduktion. Utförlig rapportering finns i:

1. Från råsand till kärnsand. Gotthardsson, U. Swerea SWECAST 2012-001
2. Lägesrapporter (8 st) från projektet. Nayström, P. Swerea SWECAST

Fyra reningsmetoder har utvärderats med gjuterisand från Arvika, Xylem och Volvo. Sanderna från Arvika och Xylem var "traditionell" råsand. Volvos sand bestod av utseparerad kärnsand, med uppskattningsvis 25 % råsand och 75 % kärnsand. Metoder:

1. Gemco 30: Gemco Sand Cleaner mekanisk rening i batcher. Processtid 30 min.  
Sand från: Arvika, Volvo, Xylem
2. Gemco 60: Gemco Sand Cleaner mekanisk rening i batcher. Processtid 60 min.  
Sand från: Arvika, Volvo, Xylem
3. Richards M: Mekanisk rening, kontinuerligt flöde. 400 kg ca 10–20 min.  
Volvo-sand
4. Richards T: Termisk rening och mekanisk rening. Volvo-sand

Följande egenskaper har utvärderats efter rening av gjuterisanden med metoderna ovan:

### *Kornstorleksfördelning*

Medelkornstorlekens förändring (större, samma, mindre) med de olika metoderna.

### *Mineralsammansättning*

Kvarts, SiO<sub>2</sub> samt fältspat (två typer: albit, NaAlSbOs och mikroklin, KAlSbOs). Mineralsammansättningen hos de olika återvunna sanderna hade hög variation.

## *Kolhalt / glödningsförlust*

Den termiskt återvunna sanden hade klart lägst glödningsförlust eller innehåll av kol, t o m lägre än nysanderna. Det är dock inte självklart att den renaste sanden bäst lämpar sig för tillverkning av kärnor.

## *Genomsläpplighet (permeabilitet)*

Sanderna som återvunnits med Gemcos utrustning hade lägre permeabilitet än nysanderna. Richards mekaniskt och termiskt återvunna sander hade högre permeabilitet än sanderna från Gemco, ungefär som för nysander.

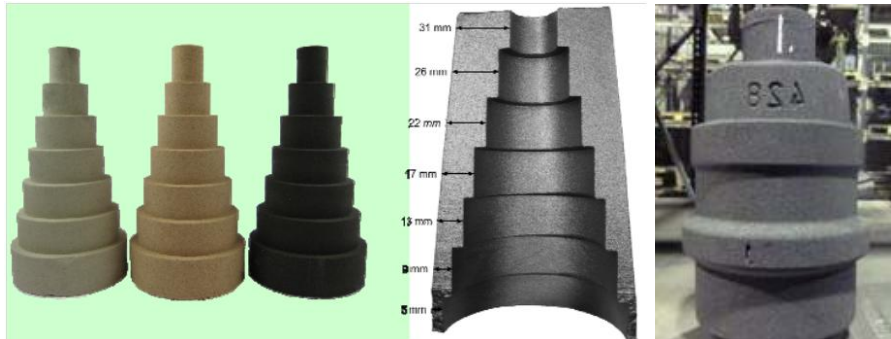
## *Egenskaper hos kärnor*

Gemco-sanderna upplevdes som lättarbetade vid tillverkning av provstavar och kärnor, krävde inte så mycket släppmedel. Den mörka färgen gjorde det svårare att kontrollera förekomsten av kärngrader.

## *Böjbrottgräns*

Med Gemcos teknik verkar böjbrottgränsen ligga i ungefär samma storlek som för den kärnsand som respektive gjuteri normalt använder. Det verkar som böjbrottgränsen ökar med ökande processtid, men samtidigt tycks spridningen också öka.

## *Gjutbarhet med kärnor av återvunnen sand*



*Bild 2 Till vänster stepcone-kärnor och i mitten gjutstycke för gjutförsöket. Till höger produktionskärna tillverkad med återvunnen sand och Cold box- bindemedel. Bilder ur delprojektets lägesrapport 8, Nayström, P.*

Vid utvärderingen av den gemensamma gjutningen på Stepconekärnor konstaterades att det inte förelåg stora skillnader mellan de olika kärnorna. Det fanns inte någon blandning som var markant bättre eller sämre än någon annan.

## *Egenskaper hos kärnor*

Arvika utförde provgjutningar med en av sina kärnor i PU coldbox, med resultat att den återvunna sanden gav nästan lika bra ytor hos den gjutna komponenten.

## *Egenskaper hos stoftet*

Både bentonithalten och kolhalten i stoftet närmast halverades från 30- till 60-minuters körning. Det tidigaste stoftet från varje batch är alltså bäst att recirkulera.

## *Utbyte vid återvinning*

30 min processtid gav 70–75 % återvunnen sand och 25–30 % stoft, och 60 min processtid ca 60 % sand och 40 % stoft. Vid Componentas gjuteri i Weert har visats



att största delen av den avskilda stofffraktionen kan återföras direkt till råsand; en nysandsandel större än 10 % ökar problemen med sprickgrader.

### *Extern återvinning av gjuterisand*

För extern återvinning av gjuterisand som råmaterial i andra tillämpningar, har flera nya möjligheter utvärderats, kunskap ställts samman, kompletterats och rapporterats utifrån:

- Formsand som utfyllnadsmaterial
- Handbok för återanvändning av formsand som fyllningsmaterial
- Initiativ för extern återvinning, med parterna i projektet

### *Formsand som utfyllnadsmaterial*

Rapporten ”Formsand som utfyllnadsmaterial – erfarenheter av formsandens tekniska och miljömässiga egenskaper vid återanvändning vid utfyllnadsområden”, Åberg, Annika, Hifab AB, Swerea SWECAST rapport nr 2012-002, presenterar en utvärdering av tekniska och kemiska egenskaper hos bentonitbunden formsand. Bakgrundsfakta kommer från Volvo Powertrain i Skövde, som recirkulerar formsand internt. En mindre andel lämnar gjuteriet. Att notera är att formsandens kemiska egenskaper är så pass goda, att de har potential att uppfylla Naturvårdsverkets kriterier för Mindre än Ringa Risk vid återanvändning för anläggningsändamål. Det främsta hindret i nuläget är utlakning av salter.

### *Handbok för återanvändning av formsand som fyllningsmaterial*

Referens: ”Handbok – Prövning och bedömning av formsandens tekniska och miljömässiga egenskaper vid återanvändning som fyllningsmaterial”. Åberg, Annika, Hifab AB: Swerea SWECAST rapport nr 2012-003. Handboken vägleder gjuterier att återanvända formsand som fyllnadsmaterial istället för exv deponering. Kunskapen via Volvo Powertrain har fokus på återanvändning av bentonitbunden formsand. Volvos erfarenheter är inte givet allmänt tillämpbara: Bentonithalten varierar mellan olika gjuterier, och olika krav på fyllningskropparnas täthet kan ställas från myndigheterna. Handboken ger vägledning i två fall med 6 % resp 3 % bentonithalt. Återanvändning av formsand som fyllningsmaterial omfattas av anmälningsplikt enligt förordning 1998:899 om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, då föroreningsrisken är mer än ringa. Återanvändning av formsand förmodas alltid behöva föregås av en anmälan till kommunen. En vägledning för anmälan är bilaga till handboken.

### *Initiativ för extern återvinning*

En sammanställning om extern återvinning med goda exempel, bild 3, finns i CD:n ”Gjuterisand – En del i kretsloppssamhället”. Beställes från [swecast@swerea.se](mailto:swecast@swerea.se) Under projektet har 1000 ton formsand levererats till Boliden för försök till användning i smältprocesser. Vid ITT Flygt har en databas för registrering av avfall och restprodukter tagits fram. Att använda gjuterisand i en värmepanna med fluidiserad sandbädd planerades, men då den avsedda sanden riskerade att skada pannan genom blästring avbröts studien.



*Bild 3 Extern återvinning av gjuterisand. T v: Utfyllnad med gjuterisand och kupolugns-slagg från Volvo i Skövde. Mitten: Gjuterisand i rörgravar hos Scania i Södertälje. T h: Utfyllnad med sand från Arvika gjuteri*

### 4.3 Kretsloppsanpassade maskinverkstäder

Målet har varit att skapa förutsättningar för implementering av miljöanpassade skärvätskor i maskinverkstäder genom: Ökad kunskap om vätskornas funktionalitet, utvärdering av alternativa metoder mot bakterier och bakterietillväxt, hälsoeffekter och kunskapsutveckling om restprodukthantering. Se rapporten “Alternative Cutting Fluid Cleaning. Major work performed within the WP “Sustainable Machine Shops” in the FFI project “Sustainable Factories”. E. Tam, L. Nyborg, V. Nayyar, et al. Chalmers, april 2012.

#### *Miljöanpassade processvätskor/skärvätskor*

Skärvätskor används dagligen i tillverkande företag. Att andas in skärvätskeaerosoler över en viss nivå, kan ge obehag i ögonen, på huden och i andningsorganen. Orsakerna kan spåras till bakterier och endotoxiner på bakteriernas cellväggar. Då skärvätskor kan stå för hela 12% av företagets tillverkningskostnader<sup>1</sup>, har recirkulering och återanvändning av rena skärvätskor mycket stor betydelse både mänskligt och ekonomiskt.

#### *Ozonering – princip och utrustning*

Metoder för desinfektion och rening finns, exempelvis med biocider, som i sig eventuellt kan innebära hälsoeffekter. En alternativ teknik för rening genom ozonbehandling har provats och utvärderats, med en prototypanläggning från IO Trading som har förfogats för experiment hos Chalmers, bild 4. Processvätskan som ska ozonbehandlas fylls i en behållare vid maskinen, cirkuleras, behandlas och returneras. Maximal drifttemperatur är 25°C. Ozon (O<sub>3</sub>) är en stark oxidant med mycket kraftig bakteriedödande effekt, ca 3000 gånger snabbare än klor. Ozon är giftigt, och kan orsaka ögonirritation, huvudvärk och andnings-svårigheter. EUs direktiv 2008/50/EC och 2002/03/EC ger tydliga exponeringsgränser för människor över kortare och längre tid. Ozon kan brytas ner och bildar då syre.

1. <sup>1</sup> W.F. Gaughran, S. Burke, P. Phelan, Intelligent manufacturing and environmental sustainability, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 23 (2007) 704-711.



Bild 4 Maskin för ozonering (IO Trading & Teknik Corporation)

### Skärvätskor

Skärvätskor från olika bearbetningsprocesser har levererats. Skärvätskorna betecknas A, B, C, D, E, och var standardvätskor där mikrobiell tillväxt eventuellt hade förekommit.

Tabell 1 Skärvätskornas innehåll av bakterier, endotoxiner och mögel innan ozonering. cfu/ml=colony forming units/ml, antal livskraftiga bakterier/ml, EU/ml=endotoxin units/ml.

Sample	Bacteria (cfu/ml)	Endotoxins (EU/ml)	Mould (cfu/ml)
A1	$9.9 \times 10^3$	1701	< 10
A2	$4.3 \times 10^4$	1097	< 10
B1	< $1.0 \times 10^3$	< 50	< 10
B2	< $1.0 \times 10^3$	< 50	< 10
C1	$5.6 \times 10^6$	3718	30
C2	$1.0 \times 10^7$	2766	30
D1	< 200	742	< 20
D2	< 200	844	< 20
E	$1.2 \times 10^5$	3626	< 10

Bakteriehalter under  $10^3$  cfu/ml indikerar att biocider eller annan mekanism i skärvätskan har god effekt. Värden över  $10^6$  cfu/ml innebär bristfällig kontroll av bakterietillväxten. Av proverna i tabell 3 valdes därför vätskorna C och E att ozonbehandlas, vilket gjordes i apr 2011 och jan 2012, med assistans av IO Trading & Teknik AB, med maskinen i bild 4.

### Försöksresultat av ozonering

Ozoneringen visade sig vara mycket effektiv. Efter 90 min var bakteriehalten under 200 cfu/ml, jämför gränsen 1000 cfu/ml för en effektiv reningsprocess. Ozonbehandlingens inverkan på endotoxinnivån visade inga tydliga effekter. För vätska C indikerades endotoxinökning vid 90 min, som kan bero på att bakterien *staphylococcus species* dör och frigör endotoxiner. För båda skärvätskorna sker viss mögeltillväxt under ozonbehandlingen. Det går dock inte att göra någon hållbar slutsats för denna mekanism.

## Kostnadsuppskattning för ozonering i produktion

Tabell 2 Uppskattning av kostnader för ozonbehandling av 70 l processvätska

Resources	Unit Price	Consumption	Cost (in SEK)
Water	10 SEK/m <sup>3</sup>	0.72 m <sup>3</sup>	7.0
Oxygen	120 SEK/m <sup>3</sup>	0.085 m <sup>3</sup>	10.0
Electricity	0.5 SEK/kWh		
Time	1.5 h	4.2 kWh	2.1
		<b>Total cost (in SEK)</b>	<b>19.0</b>
Volume of the cleaning container	0.07 m <sup>3</sup>	<b>Unit cost (SEK/m<sup>3</sup>)</b>	<b>270.0</b>

En preliminär uppskattning av driftkostnaderna för ozonbehandling har gjorts, tab 2. Kostnadseffektiviteten jämfört med andra metoder är inte klarlagd, men förväntas vara lägre än biocidanvändning. Tidigare försök med en fyra timmars ozonbehandling av innehållet i en 10,0 m<sup>3</sup> behållare reducerade bakterienivån från 10<sup>3</sup> cfu/ml till 10<sup>2</sup> cfu/ml. Då skulle enhetskostnaden för reningen reduceras från 270 SEK/ m<sup>3</sup> till 6 SEK/m<sup>3</sup>.

## Bearbetningsförsök

Bearbetningsförsök har gjorts i form av gängning och borrar i gjutaluminium med skärvätska före och efter ozonering. Mätningar av verktygsslitage, arbetsmaterialets ytintegritet efter bearbetning etc tyder på att skärvätskans smörjande egenskaper efter ozonering återställs eller t o m förbättras, då krafterna går ned vid bearbetningen. Bild 5.

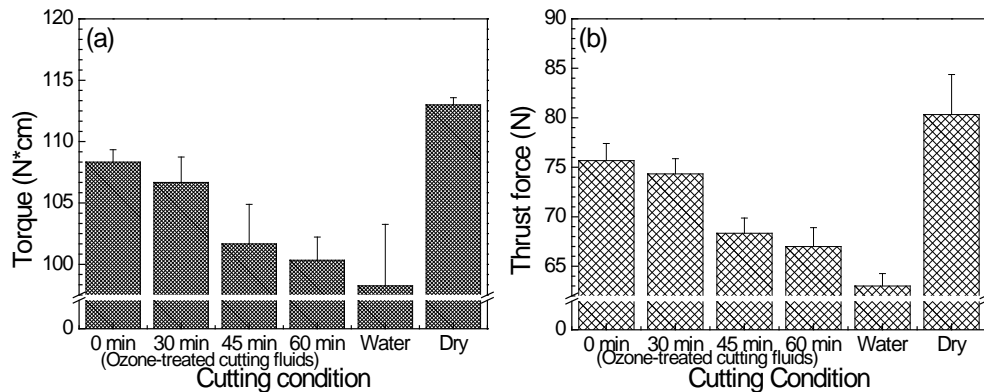


Bild 5 Uppmätta krafter vid borrar i gjutaluminium under olika förhållanden.

## Korrosivitet

För att undersöka om ozonerad skärvätska påverkas vad gäller korrosionsskyddande förmåga och pH-värde, har mätningar med elektrokemisk polarisation genomförts. Polarisationsprov gjordes med rent järn som elektrod, och skärvätskorna som elektrolyter, från -0,70 V till +1,20 V. Resultaten visar, att strömtätheten ökar långsamt vid ökad potential från korrosionspotentialen och avstannar vid relativt låg strömtäthet för ett brett potentialspann mellan ca -0,4 V till +0,8 V, dvs det passiva området för järn. Polarisationskurvorna för testen i de olika skärvätskorna är relativt lika med passivströmtätheter < 10<sup>-4</sup> A/cm<sup>2</sup>, vilket visar att

deras korrosionsskyddande förmåga är någorlunda likvärdig. Den ozonbehandlade skär-  
vätskan uppvisar en snarlik kurva som för den obehandlade. Ozonbehandlingen påverkar  
alltså inte den korrosionsskyddande egenskapen hos skärvätskan i nämnvärd grad.

### Sammanfattande slutsatser

Ozonbehandling har tillämpats på mikrobiellt kontaminerade skärvätskor. Resultaten visar  
att en timmas ozonbehandling kan reducera den mikrobiella nivån signifikant. Nivån av  
GNB-relaterade endotoxiner ökar inte nämnvärt under behandlingstiden. Den ozonbehand-  
lade skärvätskan behåller sina korrosionsskyddande egenskaper och har egenskaper vid  
bearbetning som motsvarar eller är bättre än den obehandlade vätskan. Genom relativt låga  
driftskostnader, är slutsatsen att ozonbehandling totalt sett är en hållbar reningsmetod för  
skärvätskor som är möjlig att implementera i industriell drift.

### Restprodukthantering

En teoretisk studie har utförts om beslutsstöd för restprodukthantering, och framtagning av  
ramverk för forskning, ”Resource Conservative Manufacturing”, inklusive strategier för  
OEM och modeller för minimering av restprodukter. Ref: Asif, F.M.A. (2012) Resource  
Conservative Manufacturing, A new generation of manufacturing, Lic Thesis, KTH Pro-  
duction Engineering, Sverige. <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:441383>

### Fallstudier om energieffektivitet

Två fallstudier har utförts med simuleringsverktygen System Dynamics (SD) och Stella för  
att utvärdera energieffektivitet och erbjuda beslutsstöd för reducerad energianvändning.  
Fokus för ena studien har varit gjutning av cylinderhuvuden och den andra var tillverkning  
av vevaxlar. SD-modellen för energianvändning vid gjutning enligt bild 6.

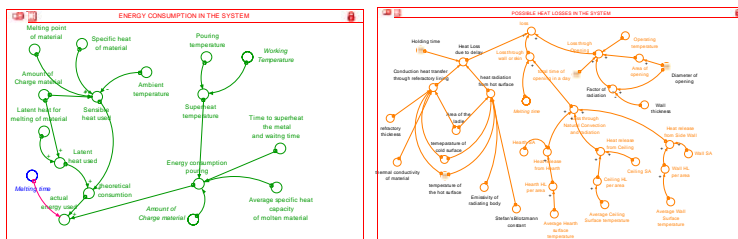


Bild 6 Modell för energikartläggning av smältprocessen i SCANIAs gjuteri.

De viktigaste möjligheterna till minskad energianvändning har identifierats:

- ”Tidsfördröjning mellan färdigsmält material och påbörjad gjutprocess” Besparingspo-  
tentialen är ca 1321200 kJ om väntetiden kan minska från 40 min till 30 min
- ”Temperatur hos restmaterial från gjutformar”. Om gjutformen separeras från cylinder-  
huvudet vid högre temperatur än idag kan mycket energi sparas. Med nuvarande förhål-  
landen kan varje 10° C högre temperatur spara upp till 460800 kJ.

## 5. Bidrag till FFI-mål

Visionen att eliminera miljöbelastningen från produktion av komponenter till fordonsindustrin omfattar också målet att öka konkurrenskraften i fordonsföretagen. Detta är helt i linje med FFIs övergripande mål. Projektets bidrag är:

### WP1 Kretsloppsanpassade härderier

- Minskad energiförbrukning vid värmebehandling för att minska kostnader och utsläpp
- Minskad kemikalieanvändning genom att kunna mäta och bedöma renhet.

### WP2 Kretsloppsanpassade gjuterier

- Att i gjuterier reducera och minimera avfallsmängderna och uttaget av ändliga naturresurser
- Att identifiera möjligheter till återanvändning av restprodukter i samband med gjutning

### WP3 Kretsloppsanpassade maskinverkstäder

- Skapa förutsättningar för implementering av miljöanpassade skärvätskor i maskinverkstäder
- Utvärdera alternativa behandlingsmetoder av skärvätskor som bedöms ha positiv miljöeffekt.

## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

2009-11-04	Föredrag vid processvätskecentrums årsmöte och höstseminarium . Generell kunskapsförmedling via Processvätskecentrum
2009-11	Pressrelease via Swerea, se <a href="http://www.swerea.se/Documents/Pressmeddelanden/2009-11-17%20Pressinformation_Swerea_IVF.pdf">http://www.swerea.se/Documents/Pressmeddelanden/2009-11-17%20Pressinformation_Swerea_IVF.pdf</a> samt <a href="http://www.webfinanser.com/nyheter/176737/miljovanliga-och-energieffektiva-fabriker/">http://www.webfinanser.com/nyheter/176737/miljovanliga-och-energieffektiva-fabriker/</a>
2010-04-22	Föredrag om projektet vid ”Mera FFI – dag” hos Scania.
2010-06-01/02	Föredrag vid klusterkonferens komponenttillverkning i Katrineholm, om projektet som helhet samt i sessioner med Skärande bearbetning, Gjutning, Värmebehandling
2010-06-08	Presentationer av alla delprojekt vid kickoffmöte vid Swerea IVF
2010-10-19	Föredrag om projektet vid Vinnovas FFI-dag vid Tekniska Mässan
2010-11	Artikel om projektet i Teknikföretagen Direkt #5 nov 2010
2011-01-27	Presentation av projektet på VBCs medlemsmöte
2012-02-02	Presentation av projektet på VBCs medlemsmöte
2012-03-08	Presentation av hela projektet, med särskilt fokus värmebehandling på SHTEs (Swedish Heat Treatment Suppliers) medlemsmöte
Löpande	Presentationer vid arbetsmöten i respektive delprojekt, forum etc. Nyhetsbrev 1 – 8 från Kretsloppsanpassade Gjuterier. Seminarium och uppföljande seminarium om principer och metodik för System Dynamics. IIP, KTH.

## 6.2 Publikationer

1. Cleaning prior heat treatment - evaluation of analytical techniques and study of environmental adapted cleaning methods
2. Energieffektivisering av värmebehandlingsprocesser - nyckeltal
3. ”Från råsand till kärnsand”. Gotthardsson, U. Swerea SWECAST 2012-001
4. ”Formsand som utfyllnadsmaterial – erfarenheter av formsandens tekniska och miljömässiga egenskaper vid återanvändning vid utfyllnadsområden”. Åberg, Annika, Hifab AB. Swerea SWECAST rapport nr 2012-002
5. ”Handbok – Prövning och bedömning av formsandens tekniska och miljömässiga egenskaper vid återanvändning som fyllningsmaterial”. Åberg, Annika, Hifab AB: Swerea SWECAST rapport nr 2012-003
6. CD ”Gjuterisand – En del i kretsloppssamhället”, kan beställas från swecast@swerea.se
7. “Alternative Cutting Fluid Cleaning. Major work performed within the WP “Sustainable Machine Shops” in the FFI-project “Sustainable Factories”. Nyborg, L et al. Chalmers, april 2012
8. Asif, F.M.A. (2012) Resource Conservative Manufacturing, A new generation of manufacturing, Licentiate Thesis, KTH Production Engineering, Sverige. Utöver denna är en journalpublikation under granskning, en är under framtagning
9. Artiklar hösten 2012 planeras av Swerea SWECAST och Swerea IVF.

## 6.3 Samverkan med andra projekt

Exemplen på samverkan och/eller utbyte med andra projekt och nätverk är:

### *FFI-projekt*

- DFBB, digital factory building blocks, avseende tidig miljöbedömning av ny utrustning.
- Green production systems.
- FFI förstudie Green and Lean Production Navigator

### *Nätverk*

- Värmebehandlingsforum, Gjuteriföreningen och Skärvätskecentrum
- Nätverk för Energieffektivisering , ENIG (Energieffektivisering I Grupp) <sup>2</sup>

Delprojekt 3 har ett närliggande AFA-projekt hos Sahlgrenska med dialog om synergier.

### *Färdplan KT-klustret*

KT-klustret (komponenttillverkning) inom FFI-programmet hållbar produktionsteknik, driver en långsiktig planering av fortsatt FoU i sin färdplan. Ett av de tre huvudsakliga fokus som KT-klustret beslutat gå vidare med, är miljöanpassad produktionsteknik.

---

<sup>2</sup> Organisationerna bakom ENIG är Swerea SWECAST, Swerea IVF och FSEK (Föreningen Sveriges Regionala Energikontor). Energimyndigheten är en viktig finansör av och samarbetspart inom ENIG.

### Lean och Process

Genom ett ökat antal komponenter i drivlinor och tillverkning med ökad flexibilitet (mindre satsstorlekar, minimerade buffertlager) ställs nya krav på produktionstekniska system eller delsystem, som kan vara dimensionerade för stora serier och hög beläggningsgrad.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet ingår i en långsiktig färdplan för komponenttillverkning inom hållbar produktionsteknik, med en "nollvision" för miljöbelastningen från produktionen. Detta mål kräver uthållig och systematisk FoU och implementering av resultaten. Projektet har i samverkan med komponentklustret bidragit till FFI-ansökan under 2012 kallad "EnviroMan". Ett förslag är att utveckla en FFI-övergripande metodik att kartlägga energianvändning dels i företag o/e leverantörskedja, dels i specifika tillverkningsprocesser, där förbättringar/ optimeringar levererar nya data till det övergripande projektet. En särskild synergimöjlighet är att samverka med projektet ENIG, se <http://www.swerea.se/enig/>

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Ett stort antal företag och forskare har deltagit och bidragit konstruktivt och värdefullt:

1. Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. Institutionen för industriell produktion	2. Chalmers tekniska högskola AB. Institutionen för material- och tillverkningsteknik
3. SWEREA IVF	4. Swerea SWECAST
5. Swerea KIMAB	6. HIFAB AB
7. Sahlgrenska universitetssjukhuset. Arbets- och miljömedicin	8. Volvo Cars
9. Scania CV AB	10. AB Volvo
11. SKF Sverige AB	12. SKF Mekan
13. AGA Gas AB	14. Parker Hannifin
15. Sarlin Furnaces	16. Atlas Copco Secoroc
17. ITT Water and Wastewater	18. Heidelberg Cement Miljö AB
19. Karlskoga Kraftvärmeverk AB ( <i>avbröt sitt deltagande av tekniska skäl</i> )	
<i>Företag tillhörande Fordonskomponentgruppen, FKG</i>	
20. Getrag All Wheel Drive AB	21. Nya Arvika Gjuteri AB
22. Bodycote Värmebehandling	23. Finnveden Powertrain AB