

Slutrapport från projekt EnviroMan

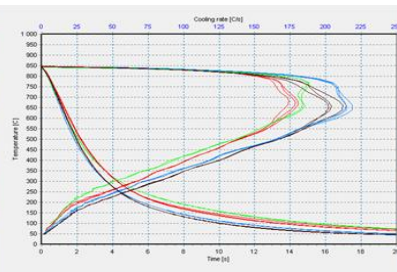
Vinnova diariernr 2012-02171

Miljö- och kretsloppsanpassade tillverkningsprocesser för metalliska material

EnviroMan tar industrin närmare visionen om en hållbar, konkurrenskraftig produktion, med minimerad eller eliminerad nettoanvändning av energi och jungfruliga råvaror.

Effekter och resultat

- Industriella fallstudier för biocidfri processvätskerening vid maskinbearbetning, framgångsrikt genomförda hos SKF med ozonering och hos VCE med UV-ljus
- Kunskap om miljöanpassade processvätskor för härdning och renhet vid härdning
- Kunskap om innovativ hantering och recirkulering av stoft från gjuterier, för kunskapsöverföring och implementering
- Arbetssätt med verktygslåda för energi- och miljöbedömningar
- En IT-struktur för miljö- och energifakta utifrån projekt ENIG, en pilot för FFI Hållbar Produktionsteknik



Projektsvariga

Lars Nyborg

Peter Nayström

Karin Wilson

CHALMERS

Swerea SWECAST

Swerea IVF

Eva Troell

Anna-Karin Jönbrink

Magnus Widfeldt

Swerea IVF

Swerea IVF

Swerea IVF (red)

2015-09-17

Delprogram: Hållbar Produktionsteknik

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 drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

Innehåll

1. Sammanfattning.....	4
2. Executive summary.....	4
3. Bakgrund	6
4. Syfte, frågeställningar och metod.....	6
5. Mål.....	7
6. Resultat och måloppfyllelse	7
6.1 Innovativ rening av processvätskor: Från FoU till industriella resultat.	8
6.1.1 Innovativ miljöanpassad rening av processvätskor: Ultraviolet ljus.....	8
6.1.2 Innovativ miljöanpassad rening av processvätskor: Ozonering	9
6.2 Minskad kemikalieanvändning inom värmebehandling. Rengöring och kylning med polymerkylmedel	10
6.2.1 Rengöring vid värmebehandling	10
6.2.2 Guidelines för produktionsuppföljning av polymerkylmedel	11
6.3 Återvinning av restprodukter från gjuterier	12
6.3.1 Återvinning av bentonitbunden formsand till ny kärnsand	12
6.3.2 Bedömning av urlakning från formsand i utfyllnader	14
6.4 Bedömning av miljö- och energieffekter i fabriker.....	15
6.4.1 Utvecklad syntes av metoder för energi- och miljöbedömningar	16
6.4.2 EnviroMan har gett miljöeffekt i företag	16
6.5 Webbaserad hantering och kommunikation av energidata	17
6.6 Projektledning av EnviroMan	18
6.7 Bidrag till FFI-mål	18
7. Spridning och publicering.....	19
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	19
7.2 Publikationer	20
8. Slutsatser och fortsatt forskning.....	21
9. Deltagande parter och kontaktpersoner	22

1. Sammanfattning

FFIs satsning inom ”Hållbar Produktion”, har inom området miljö formulerat en vision att all produktion är miljöneutral, och har slutna kretslopp för såväl rest- och biprodukter som energi. Det behöver också finnas metoder och tekniker för att ständigt minska mängderna av insatsmaterial, media och energi. Spill i alla dess former bör elimineras.

Med projekt EnviroMan, Miljö- och kretsloppsanpassade tillverkningsprocesser för metalliska material, har flera praktiskt användbara resultat tagits fram i visionens riktning. Detta grundlades i ett tidigare FFI-projekt, där bl a miljöanpassade tillverkningsprocesser framgångsrikt provades i laboratorium. Med EnviroMan har nästa steg tagits, med fallstudier i verklig produktion hos tillverkande företag.

Resultat från EnviroMan omfattar biocidfri rening av processvätskor, miljöanpassad värmebehandling, minimering av restprodukter från gjuterier, och ett fokus på energi- och miljökartläggningar för de olika processerna. EnviroMan har också haft uppgiften att skapa synergi till nätverket ENIG för energieffektivisering. Se delprojektens rapporter i kap 6.

EnviroMan, med Vinnovas diarienumr 2012-02171, har pågått under perioden 2012 – 2015 med 23 parter, med förankring i produktionsklustret Komponenttillverkning. De goda resultaten har tagits fram genom ett nära samarbete mellan forskargrupperna och företagen. Teknikspridning av resultaten från EnviroMan har gjorts löpande, och genomförs med kompletterande aktiviteter under 2015-2016.

2. Executive summary

The project EnviroMan, Environmentally adapted metal manufacturing processes, is part of the FFI Strategic Vehicle Research and Innovation collaboration program Sustainable Production, handled by VINNOVA. Within this program, the project EnviroMan is part of the Swedish Manufacturing R&D Clusters roadmap, area Component Manufacturing. The EnviroMan project lasted from Oct 2012 to Aug 2015, performed by 23 partners from industry and research. A study “before and after” EnviroMan, indicates that the project has created increased understanding on specific topics and also useful results. The project is followed by a technology transfer initiative.

The R&D work had a wide scope, covering innovative and sustainable process fluid cleaning methods, environmentally adapted heat treatment processes, minimized waste products from foundries, and a specific focus on methods for energy and environmental analyses. A summary from the studies and the results from them are:

Innovative and sustainable cleaning of process fluids

Industrial case studies are specifically made on sustainable cleaning of process fluids from bacteria, in one case by the use of ozon at SKF, and in another by the use of UV light at Volvo CE. The results prove, that both methods give effect, but needs to be optimized according to process control, system design and handling routines. The UV light system needs weekly cleaning of the lamps, high quality of both the process fluid

circulation and the process water. The ozon system was used in a process fluid system supporting 7 machines. Ozone is very efficient against bacteria, in this case the (maybe too) large fluid system needed a mix of both biocide and ozon treatment, to deliver good results during the evaluation.

Environmentally adapted heat treatment processes

The overall goal: Reduce or eliminate the use of chemicals related to heat treatment operations. Two specific areas have been studied: Cleaning of surfaces and quenching for reduced environmental impact. The cleaning studies have evaluated different process fluids applied on steel surfaces, which were heat treated and analyzed by advanced methods. The effects of different cleaning operations prior to heat treatment were analysed. A conclusion is, that it seems to be possible to extend the service-life of those washing/cleaning baths. The study according to polymer quenchants resulted in a guide, on how to handle quenchants in workshops. A prestudy using UV light treatment of polymer quenchants were made, as an alternative to biocides. This study needs to be followed by more R&D.

Material recycling of residuals from foundry processes

The major long term focus is to reduce or eliminate waste to landfill, but also to increase internal reuse of sand and fine-grained particles in foundries. Recirculation of bentonite sand generates fine-grained residuals, which has a potential to be used in a number of applications: Added to landfill sand. Landfill sand having 20% fine-grained residuals will result in a leakage-proof combination. Added to foundry sand: Fine-grained residuals can be added into foundry sand from about 20% to 50%, which means a robust and easy to control process. Life cycle analyses are made for different use of the sand. It is very clear, that the best thing from an LCA perspective is to recirculate the foundry sand.

Methods for energy and environmental analyses

Four main methods are used for energy and environmental analyses:

- Life cycle analyses, LCA
- Energy mapping
- Chemical mapping
- System Dynamics

Those methods are applied in the research work and in the case studies performed. LCA are e.g. made for alternative methods to clean process fluids, different pre-cleaning methods before heat treatment and for the handling of foundry sand.

Web based energy data system

A web based system is created based on the ENIG platform for evaluation of energy used in industry, www.enig.se/home ENIG is a Swedish national energy efficiency network, with the objective to create, collect and disseminate information about technique, methods and practices concerning energy efficiency in industry. By the EnviroMan project, the first steps are taken to introduce the ENIG based system to the FFI project portfolio.

3. Bakgrund

I det tidigare FFI-projektet ”Miljövänliga och energieffektiva fabriker”, med FoU inom kretsloppsanpassade härderier, gjuterier samt maskinverkstäder, identifierades behov av att:

- Driva FoU ett steg närmare användning, genom att integrera fallstudier i tillverkande industri under projektiden
- Skapa ökade synergier mellan FoU-områdena
- Utveckla en plattform för energi- och miljökartläggning inom FFI-programmet.

Med dessa utgångspunkter skapades strukturen för projekt EnviroMan, bild 1. Från företag och forskare inom Produktionskluster Komponenttillverkning har 21 + 2 parter deltagit, se kap 9.

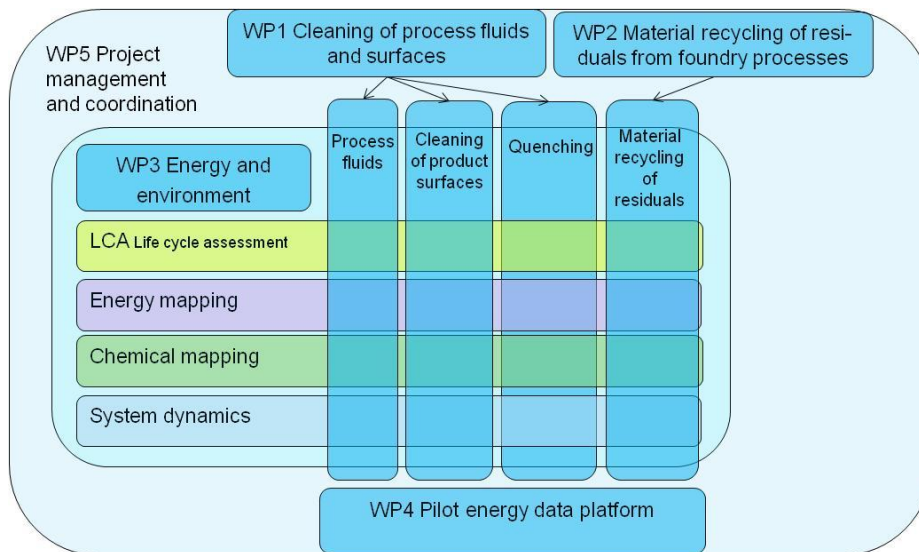


Bild 1: Projektstruktur för EnviroMan med fem arbetspaket WP1 – WP5

Kolumner: Tekniska delprojekt

Rader: Metoder och verktyg för analyser som använts i de tekniska delprojekten

4. Syfte, frågeställningar och metod

Syftet med projekt EnviroMan har varit att ta industrin närmare visionen om en hållbar, konkurrenskraftig produktion, med minimerad eller eliminerad nettoanvändning av energi och jungfruliga råvaror. Frågeställningarna har knutits till:

1. En strategi att hantera och rena processvätskor och ytor.
2. Innovativt hantera restprodukter från gjuterier
3. Metodsamverkan för miljö- och energifakta
4. Stödja långsiktig utveckling av en processvätskelots med resultat från EnviroMan.

FoU-metod inom respektive frågeställning framgår av redovisningen i kap 6. EnviroMan har genomförts med fallstudier integrerade i verklig produktion hos tillverkande företag.

5. Mål

Utifrån syftet att minimera eller eliminera nettoanvändning av energi och jungfruliga råvaror, har projektet formulerat ett antal översiktliga mål i projektansökan, uppdelade i olika teknikområden:

1. En strategi att hantera och rena processvätskor och ytor.
 - Med biocidfri processvätskerening
 - I processkedjan maskinbearbetning, värmebehandling, härdning
2. Innovativt hantera restprodukter från gjuterier
 - Särskilt fokus på att cirkulera stoft i gjuteriprocessen
 - Använda stoft som ingående material i nya tillämpningar
 - Reducera/eliminera risk för arsenikurlakning ur stoft
3. Metodsamverkan för miljö- och energifakta
 - Anpassa och driva energi- och miljöanalyser av fallstudier i projektet
 - Skapa synergi till projekt ENIG och etablera IT-struktur generellt tillämpbar för FFI Hållbar Produktionsteknik
4. Stödja långsiktig utveckling av en processvätskelots med resultat från EnviroMan.

En summering av projektets genomförande och uppnådda resultat, visar att målen var både utmanande och så pass realistiska, att de bibehållits under projektets löptid.

6. Resultat och måluppfyllelse

Projekt EnviroMan har genomförts av forskar- och industrigrupper inom följande områden:

- Innovativ miljöanpassad rening av processvätskor och vägledning vid förändring av processvätskesystem
- Minskad kemikalieanvändning inom värmebehandling samt rengöring och kylning med polymerkylmedel
- Återvinning av restprodukter från gjuterier, särskilt sand och stoft
- Metodsamverkan för energi- och miljöanalyser av FoU och fallstudier
- Webbaserad hantering och kommunikation av energidata

Forskning har kombinerats med industriella fallstudier i företag. Resultaten har under projektiden kommunicerats genom studiebesök i företag där fallstudierna bedrivits, vid FFI-konferenser, vid specifika teknikseminarier etc. En sammanfattning av resultaten från respektive område ges i det följande.

6.1 Innovativ rening av processvätskor: Från FoU till industriella resultat.

Rapporterat av delprojektledare Lars Nyborg, Chalmers samt Eric Tam, Chalmers.

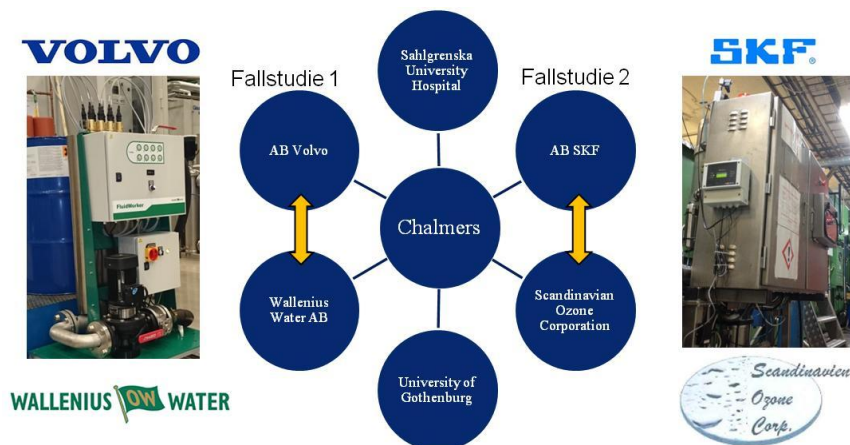


Bild 2. Två industriella fallstudier har genomförts med innovativa reningsmetoder för processvätskor. T v UV-ljus med utrustning från Wallenius Water, hos Volvo CE i Eskilstuna. T h Ozonering med utrustning från Scandinavian Ozone Corporation, hos SKF i Göteborg. Om energi- och miljöanalyser se kap 5.4.

Projekt EnviroMan har tagit utrustning från laboriemiljö till två fallstudier i industriell produktion. Två olika metoder har utförts, bild 2. Båda metoderna ger effekt, men behöver optimeras med noggrann processtyrning och rutiner för hantering av vald utrustning. Båda metoderna kräver att en tillräcklig andel av processvätskan passerar reningsutrustningen, till skillnad från biocider, som sprids i hela vätskesystemet.

6.1.1 Innovativ miljöanpassad rening av processvätskor: Ultraviolett ljus

UV-ljus som bakteriedödande funktion har undersökts, bild 3.

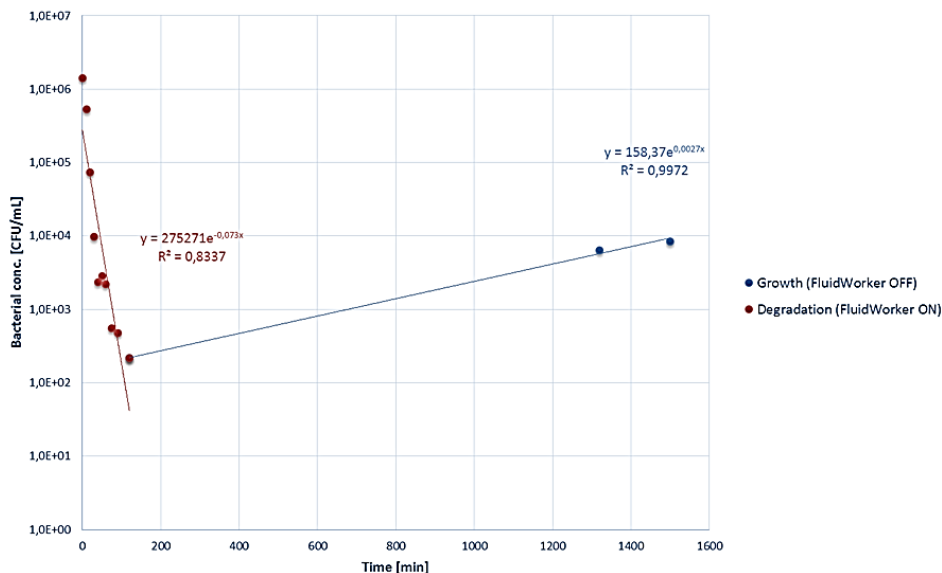


Bild 3:
45 liter kontaminerad semi-syntetisk processvätska från produktion, har renats med UV-ljus i Wallenius Water's laboratorium. Tillräcklig effekt erhöles efter 2h behandling, tiden för bakteriell återväxt var över 20h.

Prov i produktion har genomförts med en komplex slipmaskin, utrustad med en fristående 1.200 l tank för processvätska. Bild 2 t v.

Systemet som använts, FluidWorker 200, har haft 8 UV-lampor, som aktiverats i olika antal under provperioden, för att klargöra lampbehovet. En summering av fallstudien är att UV-ljus fungerar för bakteriell rening av processvätskor. För att nå önskad effekt krävs att följande hanteras:

1. UV-lampornas renhet är kritisk. En reduktion av UV-ljusutbytet med 74% uppmättes pga nedsmutsning. Regelbunden rengöring måste utföras ca en gång per vecka
2. Vattenförsörjningen behöver analyseras, så att vattnet är rent från bakterier
3. Cirkulationen hos processvätskan måste säkerställas. Vätska som blir stillastående passerar inte UV-behandlingen, och bildar källor för bakterietillväxt
4. UV-behandlingen ger nivåer av endotoxin (rester av döda bakterier) i processvätskan som ligger inom acceptabla gränser
5. pH-värdet var stabilt under hela provperioden
6. Korrosionsinhibitor-funktionen har inte påverkats. Alla elektrokemiska parametrar har varit stabila.

6.1.2 Innovativ miljöanpassad rening av processvätskor: Ozonering

Metoden har utvärderats i laboratorium i ett tidigare FFI-projekt med goda resultat. I EnviroMan har ett industriellt prov genomförts, med semisyntetisk processvätska i en tank på 18.000 liter, som försörjer 7 slipmaskiner. Bild 2 t h.

Ett system för ozonering från Scandinavian Ozone Corp har installerats med noggranna säkerhetsrutiner och sensorer för kontinuerlig övervakning. Erfarenheter och resultat är:

1. En optimering av mixad biocidanvändning och ozonering har visat sig vara framgångsrik. Ett skäl kan vara att den valda tankvolymen varit större än lämpligt för ozonmaskinens kapacitet
2. Med en biocidnivå över 400 ppm är processvätskan ren med ozonering i funktion, även om uppehåll görs med ozoneringen
3. Om biocidnivån understiger 400 ppm startar bakterietillväxt, och ozonmaskinen ensam är inte tillräcklig för att rena processvätskan
4. Koncentrationen av endotoxiner har varit acceptabel under hela provperioden
5. Syrgasförsörjning behöver säkras, fallstudiens 20 l flaskor varade i 9-10 h drift
6. pH-värdet var stabilt under hela provperioden
7. Korrosionsinhibitorns funktion har inte påverkats. Alla elektrokemiska parametrar har varit stabila
8. Ozoneringen fungerar bra vid temperaturer under 25° C
9. Inget ozon har kunnat mätas i tankrummet, koncentrationen av ozon var 0 ppm under hela provperioden
10. Formaldehydnivån var konstant under gränsvärdet, men nivån halverades då ozoneringen påbörjades.

6.2 Minskad kemikalieanvändning inom värmebehandling. Rengöring och kylning med polymerkylmedel

Rapporterat av delprojektledare Eva Troell, Swerea IVF.

För minskad kemikalieanvändning i samband med värmebehandling, har rengöring och kylning studerats. Genom funktions- och kvalitetskontroll, samt metoder för att kontrollera kemikaliernas funktion, kan minskad kemikalieanvändning åstadkommas t ex genom ökad livslängd och därmed färre badbyten, med bibehållet värmebehandlingsresultat.

6.2.1 Rengöring vid värmebehandling

Studien av rengöring har fokuserat på restprodukter i form av kemikalier från tillverkningsprocesser: **Skärvätskor**, både oljor och vattenblandbara, **tvättmedel** samt **antiskumtillsats** till tvättbad.

Arbetet genomfördes enligt; *karakterisering av kemikalier på en stålyta* där olika mätmetoder gav ”fingeravtryck” på ingående kemikalier, *utvärdering av ytor efter värmebehandling* där stålkutsar med intorkade kemikalier nitrokarburerades med och utan föroxidering, *karakterisering av tvättade ytor* där stålkutsars ytor utvärderades med valda mätmetoder. Nitrokarburering av tvättade ytor genomfördes.

Samtliga kemikalier gav utslag med ultraviolett fluorescens (UVF). Det finns starka länkar mellan UVF-responsen och mätningar med IMC (ytkolmätning). Fourier transform infrared spektroskopi (FTIR) ger en analys av de kemiska bindningar som finns i kemikalierna, medan glimurladdningsspektroskopi (GDOES) ger en elementanalys av kemikalierna. Bild 4.

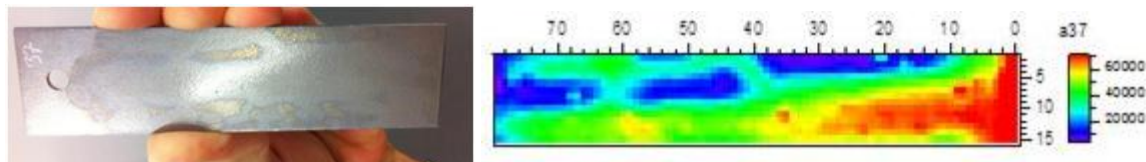


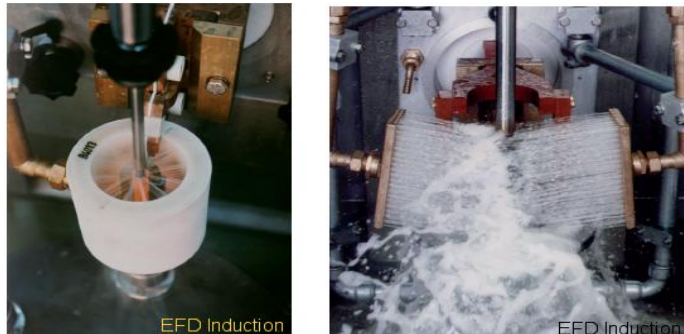
Bild 4. Exempel på UVF-mätningar på stålytan. Bilden till vänster visar analyserat prov.

Slutsatser

1. Att utvärdera kemikaliers inverkan genom påförelse på provkuts, värmebehandling och efterföljande analys fungerar väl. Olika ämnen (P, B, S, Si) i de olika kemikalierna verkar hämmande på bildandet av föreningszonen i nitrokarbureringsprocessen
2. Ämnen i kemikalierna kvarstår efter föroxidering respektive tvätt. Tvätten reducerar dem kraftigt
3. Vid nitrokarburering av tvättade prover nåddes fullgott resultat
4. Vid tvättbadsjustering i industritvätt kunde inga skillnader i renhet påvisas med ytkols- respektive UVF-analys, vilket kan innebära att tvätten var vid god kondition före justering
5. Tvättbaden borde kunna användas längre än idag. För de studerade föroreningarna krävdes låg tvättkraft för ett fullgott resultat. Begränsningen kan dock snarare bli att uppnå ett fullgott visuellt utseende för ytor efter värmebehandling.

6.2.2 Guidelines för produktionsuppföljning av polymerkylmedel

Polymerkylmedel används idag framförallt i samband med induktionshårdning, och sprayas/duschas då på komponenten. Bild 5.



*Bild 5. Kylning med polymerkylmedel
vid induktionshårdning.
Foto: EFD Induction*

Uppföljning av kylmedel som användes i produktion genomfördes. Under en längre period skickades prov från företag med polymerkylmedel till Swerea, som analyserade dessa för bl a kylkurvor, förekomst av partiklar och viskositet. Kylmedel i produktion innehåller bor- och formaldehyd, och behöver därför på sikt ersättas. En screening av polymerkylmedel genomfördes, samt ett åldringstest med upprepade värming och kylning av en borfri variant.

Ett polymerkylmedels kylningskaraktäristik analyseras med kylkurvor enligt ASTM 9950 och ISO 9950 i en bågare med omrörning. För att relatera dessa kylkurvor med den kylförmåga som erhålls i en induktionsdusch, analyserades kylmedlets "Hardening Power", "HP", för kylkurvor enligt standard och i dusch för olika koncentrationer och flöden.

Ett förtest av UV-behandling av polymerkylmedel gjordes av Wallenius Water på två olika polymertyper. Tekniken verkar intressant som ett alternativ till biocider, och för fortsatt arbete för bakteriekontroll av polymerkylmedel.

Guidelines polymerkylmedel:

1. Underhåll och justeringar enligt företagets rutiner: Notera antalet dagar från badbyte, notera tillsats av vatten eller polymerkoncentrat, använd repeterbara metoder för att mäta koncentrationen, bakterier, pH mm
2. Kontroll av kylningskaraktäristik → kylkurvor
3. Jämför och följ upp HP-värde
4. Beräkna indikatorer för bortförd värme t ex kg kylt gods/liter kylmedel
5. Jämför HP-värden med föreslagna kontrollgränser.

Produktionsuppföljningen och efterföljande analys visade att det troligtvis finns utrymme för att polymerbaderna ska kunna användas längre än idag. Genom att ta upp kylkurvor kan polymerkylmedlets kylförmåga följas upp. HP-värdet kan ge riktlinjer för den nedre gränsen i kylförmåga, för att säkerställa hårdheten. För att undvika sprickrisk, som är betydligt mer komplext, krävs ytterligare arbete.

6.3 Återvinning av restprodukter från gjuterier

Rapporterat av delprojektledare Peter Nayström, Swerea SWECAST.

FoU om återvinning av restprodukter från gjuterier har utförts inom två områden genom:

- En omfattande studie av gjuteriernas restprodukter, och potentialen att använda dem som en resurs i samhället. Fokus har lagts på det stoft som bildas vid en framtida rening av bentonitbunden överskottssand
- En studie kring risken för urlakning av oönskade ämnen från gjuterisand, använd för utfyllnadsändamål. Fokus har varit att utvärdera den miljömässiga effekten av att tillsätta järninnehållande stoft och dess effekt på urlakning av arsenik och molybden.

6.3.1 Återvinning av bentonitbunden formsand till ny kärnsand

För närvarande deponeras en betydande mängd av de svenska gjuteriernas bentonitbunden överskottssand. Detta är en resurs som skulle kunna utnyttjas, men kräver då att sanden renas från bentonit, kolhaltigt material och övriga finkorniga partiklar. Inom FFI-projektet ”Hållbara produktionsprocesser” visades att det nu finns teknik tillgänglig att rena sanden mekaniskt, utan någon termisk uppvärmning av sanden¹. Bild 6 och 7.

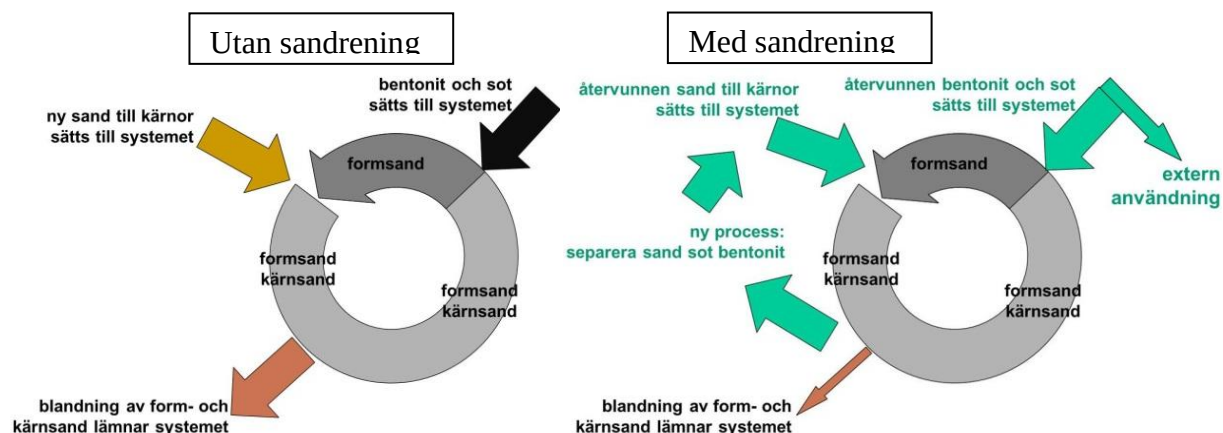


Bild 6. Sandens kretslopp i ett gjuteri före och efter installation av reningsutrustning för överskottssand

I en framtida rening av bentonitbunden sand för återanvändning som ny sand i gjuterier, kommer det att genereras ganska stora stoftmängder. Ur såväl ekonomiskt som miljömässigt hänseende bör detta stoft resursutnyttjas på ett effektivt sätt för motivera sandreningen. En rad olika potentiella användningsområden för stoftet har därför studerats.

Stoft som tillsats i annan sand: En möjlighet är att nyttja stoftet som aktiv tillsats till annan sand (t ex överskottssand från gjuterier), och använda sand med stoft vid

¹ U. Gotthardsson, Från råsand till kärnsand. Swerea SWECAST rapport: 2012-001

utfyllnader inför byggnation av industrilokaler, köpcentra etc. Bild 9. Med 20% inblandning av stoft fås en täthet som är fullt tillräcklig, och som med marginal uppfyller de krav som finns för tätskikt på deponier. En utfyllnad med låg permeabilitet är även positivt med hänsyn till eventuell risk för urlakning av oönskade ämnen från fyllnadsmaterialen.



Bild 7. Exempel på utrustning för mekanisk rening av bentonitbunden gjuterisand (GEMCO) och på den reade sanden.

Stoft i formsand: En ökad stofttillsats har visat sig ytterligare förbättra de geotekniska egenskaperna hos formsand. Upp till 50% stoftinblandning undersöktes med positiva resultat. Det är mycket positivt att processfönstret över möjlig stoftinblandning är såpass stort (20–50%) vilket möjliggör en enkel styrning av tillsatser utan risk för negativa effekter på vare sig hanterbarhet, hållfasthet eller permeabilitet.

Livcykelanalys: För att bedöma den miljömässiga effekten av att rena bentonitbunden överskottssand jämfört med dagens situation, där sanden antingen läggs på deponi eller används som tätskikt vid sluttäckning av deponier, har en livcykelanalys genomförts. Resultatet visar att för samtliga av de studerade parametrarna kommer återvinning av sanden till ny kärnsand att vara det överlägset bästa alternativet. Bild 8.

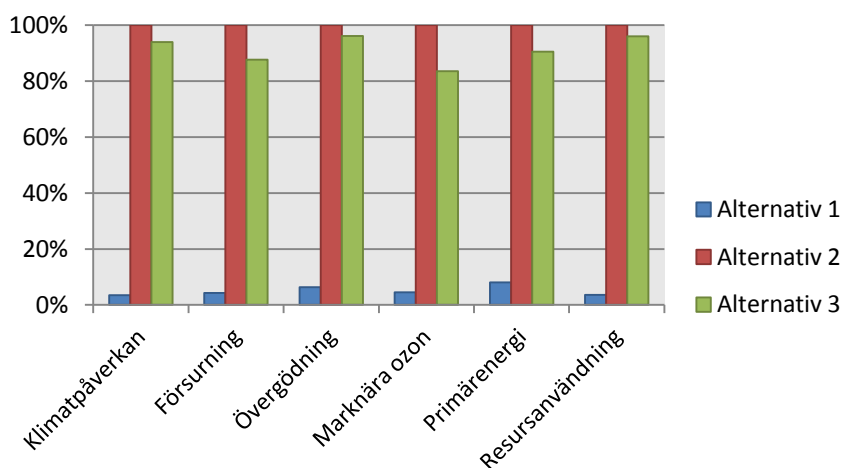


Bild 8.
Livcykelanalys för olika användningsområden för bentonitbunden överskottssand från gjuterier

Alt 1= Rening av överskottssand till ny kärnsand

Alt 2= Deponering av sanden

Alt 3= Användning av sanden som tätskikt på deponier

6.3.2 Bedömning av urlakning från formsand i utfyllnader

Formsanden har provats med ytutlakningsförsök (64 dagar) och kolonnförsök vid L/S 0,1. I det aktuella fallet finns en i processen cirkulerande stoftfraktion som påverkar utlakningspotentialen hos molybden och arsenik. Stoftet innehåller järn som binder en arsenikfraktion som annars riskerar att lakas ut. Stoftet bidrar till en högre utlakning av molybden. Ser man till utlakade mängder i relation till recipienternas bakgrundshalter samt effektkriterier för akvatiska organismer, är det ingen större miljömässig skillnad om stoftet inkluderas eller inte i formsanden. Konflikten mellan högre utlakning av molybden med stoft, kontra högre utlakning av arsenik utan stoft, är tydligast i ett perkolationsstyrt scenario, där formsanden har en högre genomsläpplighet än om formsanden innehåller minst 6% bentonit.

Utifrån befintliga fyllnadsområden samt en 20-årig prognos, där man fyller ut ca 1 ha per år (total utfylld yta ca 40 ha), bedöms belastningen av molybden och arsenik mot recipienterna inte medföra någon större haltpåverkan. Bedömningen har gjorts med det konservativa antagandet att ytutlakningen är konstant över tiden, samt utifrån teoretiska, maximalt utlakade mängder enligt lakförsök och uppmätta dagvattenhalter från gjuteriets formsandsområden. Utlakningen kommer att avta över tiden i takt med att ytorna utarmas. De standardiserade lakförsöken har dock inte pågått tillräckligt länge för att kunna prognosticera detta.



Bild 9. Utfyllnad med bentonitbunden formsand för byggnation av köpcentra.

6.4 Bedömning av miljö- och energieffekter i fabriker

Rapporterat av delprojektledare Anna-Karin Jönbrink, Swerea IVF.

I projekt EnviroMan har särskilt följande metoder och verktyg använts för att göra miljöbedömningar:

- Livscykelanalys (LCA)
- Energikartläggning
- Kemikaliekartläggning
- System Dynamics.

Livscykelanalys (LCA): En teknik för att göra en helhetsbedömning av en produkts miljöpåverkan, som tar hänsyn till alla faser i produktens livscykel, från vaggan till graven. Livscykeln inkluderar utvinning av råvaror, tillverkning av material, komponenter och produkter, transporter, användning och resthantering. Miljöpåverkan inkluderar utsläpp till luft, vatten och mark samt förbrukning av energi- och materialresurser genom hela livscykeln. LCA-fallstudier har gjorts för:

- Alternativa metoder för rening av skärvätskor hos två deltagande företag
- Olika tvättmetoder vid värmebehandling på ett företag
- Hantering av överskottssand från gjuterier
- Uppdatering av en äldre LCA för kylmedel.

I en **kemikaliekartläggning** samlas information in om vilka kemikalier som används i en process, samt i hur stora mängder. Utfloeden och emissioner av kemikalierna identifieras. Säkerhetsdatablad för kemikalierna studeras för att identifiera om kemikalien i sig utgör en risk för hälsa och/eller miljö, samt vilka substanser i kemikalien som är riskklassificerade.

Kemikaliekartläggningar har gjorts inom områdena skärvätskor, kylmedel för härdning och gjuterier. En generell slutsats är att företagen har mycket bra kontroll över vilka kemikalier som används och var, men att det ofta är svårt att veta var i systemen som emissioner sker.

En **energikartläggning** visar hur mycket energi som används inom en verksamhet eller en process, och var den används. Kartläggningen görs genom inventering och mätningar. Energikartläggning gjordes i samband med LCA-fallstudierna, där alternativa metoder för rening av skärvätskor testades, med avgränsning till processen som ingick i fallstudien. Energimätningar har utförts av de aktuella processerna.

System dynamics är ett verktyg där en systemmodell, SDM, skapas för att jämföra olika lösningar, processer eller befintliga system, och identifierar villkor och inställningar för hur dessa kan fungera optimalt. En SDM ger ett bredare perspektiv på processen eller systemet utifrån miljö, produktivitet och kvalitet. En SDM är lämplig för processvätskehantering, som bidrag till att göra förutsägelser om bakterietillväxt, behov av ozonflöde, maskinbearbetbarhet, miljö och hälsa. Baserat på SDM kan bearbetningsprocessen optimeras, processvätskekontroll göras, samt energianvändningen förutses. Genomförda simuleringar visar att en SDM kan användas för både prognos och kontroll.

6.4.1 Utvecklad syntes av metoder för energi- och miljöbedömningar

Metoderna och verktygen ovan har använts var för sig, och i syntes för att identifiera användbara kombinationer. Utgångspunkt för syntesen var fallstudien där ozonbehandling installerats för att rena skärvätska. Syntesen visade att energikartläggning och kemikaliekartläggning är viktiga verktyg för att identifiera delar i processen där förbättringspotential finns. Dessa kartläggningar levererade viktiga indata vid utförande av LCA och system dynamics, som är mer holistiska verktyg för miljö- respektive processanalys.

LCA utfördes på det ursprungliga skärvätskesystemet samt på det system med ozonrening som testades under projektet. Analysen gav en god översikt över den genomsnittliga miljöpåverkan från skärvätskesystemet. En SDM gjordes av de ideala processbetingelserna, för att optimera reningsprocessen utan att försämra egenskaperna för bearbetning hos slipmaskinerna. Utifrån dessa optimerade förhållanden gjordes en ny LCA. Resultat: En optimering av processbetingelserna leder även till minskad miljöpåverkan för hela systemet.

Att kombinera de olika metoderna för miljöbedömning gjorde att specifika miljörisker kunde identifieras genom energi- och kemikaliekartläggningar. Dessutom gav analyser med LCA och SDM en helhetsbild av systemen, genom vilken de viktigaste miljöparametrarna kunde identifieras. Därmed kunde även systemet optimeras ur både miljö- och funktionssynpunkt.

6.4.2 EnviroMan har gett miljöeffekt i företag

En undersökning bland deltagande företag i EnviroMan har gjorts, över hur deltagarnas kunskaps- och medvetenhetsnivå kring miljöfrågor förändrats under projektet. Initialt gjordes en nulägesanalys, där både allmänna frågor kring företaget och miljö ställdes, och mer specifikt kring de aktuella processerna inom EnviroMan.

I slutet av projektet kontaktades företagen åter, för att se vilken förståelse som skapats genom de olika miljöanalyserna inom projektet. Företagen anser att de analyser som har utförts inom WP 3 i många fall ökat förståelsen för miljöfrågorna inom områdena för de olika fallstudierna, men skapar i vissa fall nya frågeställningar. De företag som inte är direkt berörda, exempelvis leverantörer, har också fått en ökad förståelse för kundernas frågeställningar och ökad allmänkunskap kring processerna. Alla företagen är överens om, att projektet har gett användbara resultat.

Utifrån projekt EnviroMan har kommunikation skett med andra projekt inom närliggande områden, bland annat med projektet Memiman.

6.5 Webbaserad hantering och kommunikation av energidata

Rapporterat av delprojektledare Karin Wilson, Swerea IVF.

WP4 har genom projekt ENIGs hemsida, www.enig.se skapat en plattform för spridning av energirelaterade data framtagna i projekt EnviroMan <http://enig.se/projekt/ffi/enviroman/>. Plattformen kommer även att användas för spridning av annan relevant information från projektet. Publika rapporter med resultat kommer att finnas tillgängliga på hemsidan under projekt och FFI EnviroMan. Även efter projekts slut kommer det att vara möjligt att använda ENIGs hemsida för teknikspridning. Bild 10.



Bild 10. Hemsida för ENIG med utvecklad plattform för energianvändning inom FFI.
Här riktad information om EnviroMan

Flera av projektresultaten har gett företagen en ökad förståelse kring bland annat energi-användning inom hela verksamheten men även specifikt för de olika processerna. På hem-sidan finns också allmän information kring energieffektivisering för verksamheter. Via ENIG-hemsidan finns flera typer av verktyg tillgängliga för energieffektivisering inom företag som:

En **databas** för att ta fram olika **energinyckeltal** för den egna verksamheten. Energi-nyckeltal används för att på ett effektivt sätt kunna jämföra företagets energiprestanda. Ett exempel är att jämföra olika verksamheters årliga användning av energi per produktionstimmar per år. Det viktiga med nyckeltal är att de är relevanta för verksamheten och vid en uppföljning ska de kunna beskriva energiarbetet på ett effektivt sätt.

Ett förenklat **energiledningssystem**, Energiledning light (EL) för att minska företagets energikostnader genom ett strukturerat förbättringsarbete. EL kan användas av företag inför certifiering enligt den nu gällande energiledningsstandarden ISO 50001. I de fall företagen inte har resurser till att driva ett certifierat energiledningsarbete, är Energiledning Light ett fullt tillräckligt verktyg få kontroll på och reducera energianvändningen.

6.6 Projektledning av EnviroMan

Rapporterat av projektledaren Magnus Widfeldt, Swerea IVF.

Forskningsarbetet i EnviroMan har koordinerats genom planering på årsbasis och med löpande pulsmöten var tredje vecka. Deltagare i dessa möten har varit delprojektledare och direkt medverkande forskare. **Ledningsgruppen** för projektet har bestått av en namngiven delegat per part, se kap 9. Ordförande har varit Henrik Kloo, AB Volvo. Mötesrutin: Två ordinarie möten per år, ett i samband med fysiska möten för hela projektet och ett telefonmöte. **Alla projektparter** har inbjudits till möte en gång per kalenderår, vid projektmöten som också kombinerats med arbetsmöten i delprojekten, statusrapporter och studiebesök. Bild 11. Under projekttiden har två nya parter knutits till projektet genom ett tilläggsavtal, kap 9.



Bild Studiebesök har genomförts vid projektmöten hos Ragn-Sells och deras enorma deponi i Högbytorp t v, och hos SKF i Göteborg t h, med besök i fabrik, se bild 2.

6.7 Bidrag till FFI-mål

Projektets resultat bidrar till:

- Reducerade nettouttag av råvaror genom ökad cirkulär användning av gjuterisand och stoft
- Minskade transportbehov genom ökad cirkulär användning av råvaror
- Reducerad miljöbelastning genom möjligheter till eliminerad eller minimerad användning av biocider för processvätskerening
- Minskad exponering av processvätskor med biocider, som kan ge positiva hälsoeffekter
- Industriell tillämpning av kunskaper om miljöanpassade metoder för processvätskor vid bearbetning, värmebehandling och rengöring av ytor, samt metoder för rengöring av sand och hur cirkulära sand/stoftflöden kan användas produktivt
- Kartläggningsmetodik för effektivare energianvändning i FFI HPs projektportfölj
- Ökad insikt i forskargrupperna om nya möjligheter att lösa komplexa uppgifter.

7. Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Kunskap och resultat från EnviroMan har löpande presenterats:

För projektparterna: Vid kickoff i Stockholm i jan 2013, vid gemensamma projektmöten med studiebesök hos Ragn-Sells i Högbypörp 2013, hos SKF i Göteborg 2014 och hos VCE i Eskilstuna 2015.

Vid FFI-konferenser: Hela projektet har presenterats under en halvdagssession vid klusterkonferenserna 2014 och 2015, samt vid FFIs programkonferens i nov 2014.

Vid seminarier: Genom processvätskecentrum, värmebehandlingscentrum och kemikaliegruppen. Vid VCE MDH forskningsdagar 2013, vid seminarium om processvätskor 2015.

Genom studiebesök i samband med industriella fallstudier.

Genom utbildningsmaterial: Exempel är resultat från delprojekt värmebehandling som kommer att ingå i Processvätskemodul för FFI-projektet Skärteknisk utbildning 2.

I löpande projektarbete: Genom arbetsmöten i delprojekten och via projektpulsmöten.

Via projektets hemsida: <http://extra.ivf.se/enviroman/>

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Ett kunskapsspridningsprojekt genom Vinnova har initierats i direkt anslutning till EnviroMan
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Kunskapen om processvätskereningen har förutom möjligheter till implementering också visat tydliga behov till avancerad utveckling av processvätskesystemen och optimering med förfinad reglerteknik
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Den innovativa teknik för processvätskerening som utvärderats i projektets fallstudier, vidareutvecklas av åtminstone en leverantör till ökad miljöanpassning
Introduceras på marknaden	X	Kunskapen om cirkulära sandflöden i gjuterier är så pass väl underbyggd att den kan introduceras för användning i gjuterier
Användas i utredningar/ regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	(X)	Kunskap som tagits fram om cirkulära processer för gjuterisand och stoft, kan påverka regelverk och tillstånd

Tabell 1. Kunskaps- och resultatspridning.

Kopplingar till andra projekt och nätverk: Projektet har på olika sätt haft utbyte och samarbete med andra projekt och nätverk, som

- Memiman inom MISTRA. Ref: Kurdve, M. (2014) Kopplingar Memiman med Enviroman.
- ENIG, stöd av Energimyndigheten: Löpande under projektet
- FFI-projekt "Reducing maintenance-related waste", "GPS" Green Production System och "LGPN" Lean and Green Production Navigator.

7.2 Publikationer

Elander, P., Nayström, P. (2015). *Användning av formsand med stofttillsats till anläggningsändamål*, Swerea SWECAST Rapport 2015-008.

Fransson, K. (2015). *Life cycle assessment of two methods for cleaning of process fluids – ozone compared to biocide systems*. Swerea IVF projektrapport 23665-1.

Fransson, K. (2015). *Livscykelanalys av två alternativ för rening av processvätskor – UV-rening jämfört med biocidsystem*. Swerea IVF projektrapport 23665-3

Fransson, K., Wilson, K. (2015). *Livscykelanalys av olika alternativ för använd gjuterisand*, Swerea SWECAST Rapport 2015-009. Swerea IVF projektrapport 23 666.

Fransson, K. (2015). *Kemikaliekartläggning inom Enviromanprojektet*. Swerea IVF projektrapport 23665-4.

Fransson, K., Troell, E. (2015). *Livscykelanalys av kylmedel för härdning*. Swerea IVF projektrapport 23665-2.

Heling, N. (2014). *Environmental assessment of cleaning systems in connection with heat treatment*. Master's thesis within the Industrial Ecology programme, ESA Report No 2014:6, Chalmers University of Technology.

Hildenbrand, J., Fransson, K., Jönsson, C., Nicolescu, M. (2015). "A toolbox for process development in manufacturing – decision support for environmental optimization and assessment." Artikel för publicering.

Jönsson, R. et al (2015). *Påverkan på bärrighet hos torvjord vid inblandning av gjuterisand samt effekt på koldioxidemission ur marken*, Swerea SWECAST Rapport 2015-010 (återpublicering av Slutrapport ver 3 ur: Jönsson, R., Johanna, K., Persson, M., Ryd, E., Svanberg, N., Söderberg, P. (2014). *Självständigt arbete i miljö- och vattenteknik*, nr 33, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet (452 s.))

Kurdve, M. (2014) *Development of Collaborative Green Lean Production Systems*, Doktorsavhandling, Mälardalen University, Sverige

Troell, E., Stormvinter, A. *Slutrapport om minskad kemikalieanvändning inom värmebehandling: Quenching for reduced environmental impact – Polymer quenchants for induction hardening*.

Troell, E., Stormvinter, A., Kristoffersen, H. (2015). "Control of polymer quenchants for increased life time and optimized maintenance." *Planerad artikel till "International Journal of Microstructure and Materials Properties"*.

Troell, E. (2015) Control of polymer quenchants for increased life time and optimized maintenance, in European Conference on Heat Treatment 2015 & 2nd IFHTSE congress on Heat Treatment and Surface Engineering. Venedig, Italien, 20-22 May.

Troell, E., Segerberg, S (2015) Polymerkylmedel – Kvalitetsuppföljning och kylegenskaper, vid SHTE värmebehandlingskonferens. Västerås 22-23 september.

Åberg, A., Lindahl, A., Nayström, P. (2015). *Bedömning av urlakning från formsand i utfyllnader*, Swerea SWECAST Rapport 2015-007.

8. Slutsatser och fortsatt forskning

Projekt EnviroMan har tagit fram resultat från FoU-arbetet inom delområdena för fortsatt teknikspridning och tillämpning i företag. Detta har i slutet av EnviroMan resulterat i en av Vinnova beviljad ansökan om teknikspridning.

Under arbetet i EnviroMan har flera frågeställningar för fortsatt FoU framkommit.

- Minimerad användning av biocider genom optimerad processvätskerening och förbättrade konstruktioner av processvätskesystem i bearbetningsmaskiner. Här ryms frågor som:
 - Noggrannare processtyrning av processvätskesystem
 - Användning av biocidfria processvätskor med specifika krav t ex på pH-nivå
 - Att dimensionera och hantera innovativ utrustning för biocidfri processvätskerening, se kap 6.1
 - Konstruktion av processvätskesystem som säkrar cirkulation av tillräcklig mängd processvätska genom ny reningsutrustning, och som stödjer underhållsarbetet
- Guidelines för polymerkylmedel vid värmebehandling: För att optimera kylbad för lång livslängd och obefintlig sprickbildning i kylda material. Här behövs fortsatt forskning med analyser av sambanden värmning – kylning – detaljgeometri – sprickrisk
- UV-behandling av polymerkylmedel som alternativ till biocider. Ytterligare utvärdering behövs, t ex inverkan av tid, bakterier och polymertyp
- En stor utmaning för gjuterierna i hela Europa är bensen. Ökad kunskap krävs om bildnings-processen av bensen. Behov är gjutförsök, kunskap om forcerad nerbrytning av bensen i gjuterisand och testapparatur. Framgångsrik FoU kan ge svenska gjuterier försprång.

9. Deltagande parter och kontaktpersoner

Part nr	Partner	Kontaktperson
1	(AB Volvo) Volvo Technology AB	Henrik Kloo (ordf)
2	Volvo Personvagnar AB Volvo personvagnar Motor Skövde	Goran Ljustina
3	Scania CV AB TDR R&D	Henriette Boethius
4	Aktiebolaget SKF	Varun Nayyar
5	Scandinavian Ozone Corporation	Ivan Olsen
6	Parker Hannifin AB Manufacturing Sweden	Hossein Ghotbi
7	Leax Group AB	Anders Larsson
8	Bodycote Värmebehandling AB	Solmaz Sevim
9	AGA Aktiebolag	Anders Åström
10	EFD Induction AB	Kristian Berggren
11	Teknoheat AB	Lars Ullmark
12	(Volvo Powertrain AB Division Skövde) Volvo Lastvagnar AB	Johan Ottosson
13	Nya Arvika Gjuteri AB	Rolf Andersson
14	Ragn-Sells Avfallsbehandling AB Åkersberga	Martin Andersson
15	SKF Mekan AB	Jenny Holmberg
16	XYLEM AB	Kent Lindholm
17	Swerea IVF "Projektansvarig"	Magnus Widfeldt
18	Chalmers Tekniska Högskola	Lars Nyborg
19	KTH Kungl Tekn Högskolan	Mihai Nicolescu
20	Swerea KIMAB AB	Jérôme Senaneuch
21	Swerea SWECAST AB	Peter Nayström
22	Wallenius Water AB	Hans Ahlgren
23	GKN Driveline Köping AB	Kim Wallin

Projekt EnviroMan startade med 21 parter. Part nr 1 och nr 12 namnändrades i samband med kontraktsskrivandet, ursprungligt namn inom parentes. Under projektiden har två parter tillkommit, nr 22 Wallenius Water AB samt nr 23 GKN Driveline Köping AB.

