

Utnyttjande av Forsmarks spillvärmevatten

Förstudie

Energi- och klimatgruppen, Länsstyrelsen i Uppsala län



En investering för framtiden



LÄNSSTYRELSENS
MEDDELANDESERIE
2011:12
SAMHÄLLSBYGGNADSENHETEN
ISSN 1400-4712

Omslagsbild: Forsmark med omgivningar, gamla bruket i förgrunden och kärnkraftsverket i bakgrunden. Fotograf: Forsmarks Kraftgrupp AB

Författare: Göran Albjär, Peter Dahlström & Karin Svanäng, Länsstyrelsen i Uppsala län.

Länsstyrelsen i Uppsala län

Hamnesplanaden 3

751 86 Uppsala

Tfn: 018 – 19 50 00 (vxl)

e-post: uppsala@lansstyrelsen.se

www.lansstyrelsen.se/uppsala

Länsstyrelsens Meddelandeserie 2011

ISSN 1400-4712

Tryck: Länsstyrelsens reprocentral

Länsstyrelsens förord

Denna rapport presenterar resultat från länsstyrelsens förstudie om utnyttjandet av Forsmarks spillvärmevatten. Projektet har finansierats av medel från Östhammars kommun, Regionförbundet och Länsstyrelsen samt från ERUF (EU:s strukturfond) i östra Mellansverige. Under våren 2011 har rapporten och dess resultat kommunicerats på Energimyndighetens mässakonferens "Energiutblick" i Göteborg och på seminariet "Vägen till en klimatneutral kommun" i Uppsala. Dessutom har den föredragits för Östhammars kommuns KSAU i april.

Förstudiens övergripande slutsatser är att spillvärmen inte i nuläget har någon användning i ett vidare sammanhang, ex vis som fjärrvärme till mer avlägsna orter, typ Uppsala/Stockholm. Användningen måste ske i närområdet och då noteras i rapporten att Forsmark kommer att vara ett expansivt område för lång tid framåt med åtföljande behov av markresurser för etablering av service- och supportföretag. Ett industriområde i Forsmarks närhet kan med fördel använda värmen från spillvattnet i form av fjärrvärme och redan nu planerar FKA (kärnkraftverket) att omvandla spillvärmen till fjärrvärme för egna och SKB:s behov. En utbyggnad av fjärrvärme till ett framtida industriområde skulle här vara en fullt möjlig påbyggnadsmöjlighet och slutrapporten belyser de samordningsvinster som kan erhållas.

I och med att förstudien nu är slutförd avslutas projektet i denna del och ansvaret för den fortsatta hanteringen av frågan åvilar i första hand Östhammars kommun. Med detta är också kommunledningen helt införstådd och från kommunen har en beredvillighet visats att driva arbetet vidare med inriktning mot att ytterligare klargöra möjligheterna att utnyttja spillvärmevattnet som led i kommunens ordinarie arbete med samhällsplanering och näringslivsutveckling.

Projektledning och rapportskrivande har utförts av Göran Albjär, Peter Dahlström och Karin Svanäng. Projektet har varit spännande och bidragit till att möjligheter har lyfts fram som bör kunna leda till värdefulla resultat framåt i tiden. Från projektledningens sida vill vi tacka alla som medverkat i studiens genomförande för ett mycket gott samarbete!



Leif Byman
Länsråd
Styrgruppens ordförande



Karin Svanäng
Projektledare

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

UTNYTTJANDE AV FORSMARKS SPILLVÄRMEVATTEN	1
0. Vision Forsmark	3
1. Sammanfattning	5
2. Bakgrund.....	6
3. Beskrivning av projektet.....	7
4. Användning av spillvärme i Forsmark	9
Antaganden	10
Resultat.....	11
Jämförelse av priser för fjärrvärme	11
Framtida behov.....	11
Slutsatser och diskussion.....	12
5. Tänkbara användningsområden för spillvärme	13
6. Odling av algbiomassa för biogasproduktion	14
Odlingssystem och produktionsbehov	14
Algodlingens näringsbehov och miljöpåverkan	14
Ekonomiska förutsättningar för odling av alger till biogas	15
Slutsatser och diskussion.....	15
7. Litteratur.....	16
Bilaga 1. Arbetsprocess och ekonomi i projektet	17
Bilaga 2. Förstudie spillvärmeevatten – FKA. Uppdragsutredning. Bjerking AB.....	19
Bilaga 3. Produktion av algbiomassa för biogasframställning vid Forsmarks kärnkraftverk.	27

0. Vision Forsmark

Forsmark i Östhammars kommun håller på att utvecklas till landets ledande energitekniska centrum. Tre kärnreaktorer som ägs av Forsmarks kraftgrupp (FKA) är idag i drift. SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB, har redan ett lager för lågaktivt kärnavfall under jord i Forsmark. SKB har beslutat att anlägga ett nytt underjordslager för långtidsförvaring av utbränt kärnbränsle i anslutning till kraftverket.

Idag arbetar över 1000 personer vid dessa anläggningar. Under revisionsperioder (underhåll av anläggningarna) arbetar ytterligare 1000-1500 personer i Forsmark. Lagret för långtidsförvaring som planeras börja byggas 2016 och kommer under den tioåriga byggtiden att sysselsätta cirka 800 personer. Därefter beräknas 200-300 personer vara sysselsatta vid lagret. Detta betyder att det kommer att finnas mellan 2500 och 3500 personer sysselsatt med olika uppgifter i Forsmark om några år som då blir den i särklass största arbetsplatsen i norra Uppland. Många olika företag från regionen och andra delar av landet kommer att vara involverade i dessa arbeten.

Många besöker Forsmarkanläggningarna redan idag och i framtiden förväntas besöksstrycket öka mycket då slutförvaret är på plats. Det är fråga om turistbesök men också allt fler studiebesök av olika slag. Då slutförvaret är den första anläggningen i sitt slag i världen förväntas intresset av studiebesök bli mycket stort och kommer att medverka till att Uppsala län, Östhammars kommun och Forsmark kommer att få en plats på världskartan. Ett omfattande ombyggnadsprogram avseende kontorslokaler, bostäder för revisionspersonal, idrottshall och andra servicelokaler har beslutats av FKA och skall börja realiseras under 2011. Därtill skall en fjärrvärmeanläggning som utnyttjar en del av de stora mängderna av spillvärmevatten från kraftverket att byggas. Anläggningen skall försörja nya byggnader och kraftverket i sig. Planer finns även på att fjärrvärmeförsörja SKB:s anläggningar på samma sätt. Detta öppnar för att även låta andra verksamheter utnyttja spillvärmen, vilket föreliggande studie tar fasta på.

Med hänsyn till att de första kärnreaktorerna nu börja blir gamla kräver dessa allt tätare och mer omfattande revisioner och på sikt måste de tas ur bruk. Norr om den befintliga anläggningen i Forsmark finns planlagd mark för uppförande av åtminstone en kärnreaktor.

Om en sådan utbyggnad skulle realiseras är det möjligt att man bygger så att man kan leverera högvärdigt varmvatten både till de egna anläggningarna i Forsmark och till det omkringliggande samhället. Det kan då bli aktuellt att åter ta upp frågan om att leverera varmvatten för fjärrvärmeändamål till orter i norra Uppland, Uppsala eller till Stockholmsområdet. Detta skulle kunna kombineras med utbyggnad av annan infrastruktur såsom vägar och järnvägar som det finns behov av i Roslagen, exempelvis utbyggnad av motorväg från Norrtälje norr ut mot Östhammar.

Mycket talar för att den expansion som kan förutses i Forsmark i sig kommer att dra till sig företag som vill etablera sig i kommunen och vissa fall i nära anslutning till anläggningarna i Forsmark. Det finns redan idag behov av ett industriområde i närheten av anläggningarna för serviceföretag till de olika verksamheterna och till personalen liksom för verksamheter som vill utnyttja den spillvärme som idag släpps ut från verken och som planeras omvandlas till fjärrvärme.

Studier pågår av hur alger som utnyttjar spillvärmen för snabb tillväxt skulle kunna utnyttjas för biogasframställning. Visar dessa undersökningar på positiva resultat skulle det vara realistiskt att undersöka om den biogasanläggning som skall lokaliseras till Östhammars kommun borde placeras i Forsmark. Långt framskjutna planer finns på att bygga en vindkraftpark runt den sk Biotestsjön i Forsmark. Planer finns även på att komplettera

anläggningarna i Forsmark med storskaliga solcellsanläggningar. Realiseras de planer som här beskrivits inom energiområdet så utvecklas Forsmark till ett energicentrum med stor bredd och som kan kopplas samman med forskning och utveckling vid universitet och forskningsinstitutioner samt näringslivet i Uppsala och Stockholmsregionen. Arbeta pågår idag med att bygga upp utbildningar som är anpassade till det behov av personal som kan förutses inom energiområdet.

Utbyggnaden i Forsmark kommer att ställa krav på utbyggnad av infrastruktur, bostäder och privat och offentlig service i Östhammars kommun och i angränsande kommuner. Enligt det regionala utvecklingsprogrammet, Uppländsk Drivkraft, har Uppsala län goda förutsättningar för att klara den framtida energi- och klimatomställningen tack vare en stor samlad kunskap och kompetens inom miljö- och energiteknikområdet. Regionförbundet i Uppsala län informerar särskilt om SKB:s slutförvar och om den utveckling som förväntas runt den kommande anläggningen i Forsmark, för ytterligare detaljer se: www.regionuppsala.se.

Föreliggande projekt, som har utrett Forsmarks spillvärmeevatten, stämmer väl överens med det regionala utvecklingsprogrammet som pekar på energieffektiviseringar, regionala satsningar på biogas och stimulans till branscher inom exempelvis energi/miljö. Det regionala utvecklingsprogrammet pekar även ut vikten av mötesplatser för kunskapsutbyte mellan offentliga och privata aktörer, universitet och näringsliv och starka nätverk för hållbar utveckling. Kommunerna spelar också en viktig roll genom sina möjligheter att påverka omställningen i länet genom översikts- och områdesplanering, detaljplaner, bygglov, miljökonsekvensbeskrivningar, miljöprogram samt genom miljötillsyn och kommunala energiplaner.

1. Sammanfattning

I projektet har utretts hur man kan använda spillvärmevattnet från reaktor 1, 2 och 3 vid Forsmarks kärnkraftsverk och ev. kommande reaktorer har inte tagit i beaktande. Det är mycket troligt att spillvärmen kommer att hanteras på ett annat sätt i nybyggda reaktorer. Projektet har utrett möjliga verksamheter i närområdet runt Forsmarksverket och inte utrett användning för andra orter inom kommunen eller på längre avstånd från verket. Denna avgränsning har gjorts då andra utredningar visat på att transport av spillvärmen över längre avstånd ej är ekonomiskt lönsamt. Projektet har fokuserat på hur spillvärmevattnet kan bli praktiskt användbart, till vilket pris samt för vilka verksamheter på ett tänkt industriområde nära verket. Projektet ger några förslag på tänkbara användningsområden för spillvärme samt beskriver hur odling av alger till biogasframställning kan vara ett möjligt spår för framtida förnyelsebar energiproduktion.

Den tekniska utredningen med kostnadsbedömning avser beräkningar för utnyttjande av Forsmarks spillvärmevatten med ledningsdragningar till ett framtida industriområde på 45 ha. På industriområdet kan företag och verksamheter som är inriktade på att leverera service- och underhållstjänster till kraftverket, SKB och till deras personal samt verksamheter i behov av spillvärme eller fjärrvärme lokaliseras. Alla beräkningar i den tekniska utredningen avser fjärrvärme till ett fullt utbyggt industriområde. Det årliga energibehovet beräknas till ca 13 GWh och det maximala effektbehovet till ca 5,5 MW. Kostnaden för produktifieringen av spillvärmevattnet beräknas till ca 60 öre/kWh. Infrastrukturarbeten i Forsmark från 2011 och framåt bör kunna samordnas och därmed kan kostnader för exempelvis ledningsdragningar minska. Spillvärme, mer generellt, kan bidra till ökad kväverening i reningsverk genom att höja temperaturen på avloppsvattnet under kalla perioder. Spillvärme kan användas vid växthusodling för uppvärmning och i energieffektiva industrilokaler kan lågvärdig spillvärme användas som en kontinuerlig ingående värmekälla och vid behov uppgaderas. I kombinat av verksamheter kan spillvärmen från en del av systemet tas till vara som en resurs i en annan del av systemet.

Det råder idag en stor osäkerhet kring storskalig odling av alger och därmed också algbaserad biogasproduktion. För att kunna göra bättre förutsägelser behövs pilotanläggningar. Det finns idag ingen ideal plats inom Östhammars kommun som har riktigt bra förutsättningar för algbaserad biogasproduktion men väljer man att bygga en biogasanläggning i kommunen så skulle Forsmark kunna vara en möjlig plats tack vare spillvärmen som kan tillföras både odlingen och rötningsskammaren under biogasprocessen. Forskarrapporten har dessutom bidragit till mer generella kunskaper om vad som är viktigt att ta med i det fortsatta arbetet för att få fram nya substrat för en växande biogasmarknad.

Området kring FKA och SKB förväntas expandera inom en rimlig tid framöver, se visionsavsnittet, och andra verksamheter kan förväntas bli etablerade i området kring Forsmarks kärnkraftverk. FKA:s och SKB:s möjligheter och intresse av att medverka till att spillvärmen tas tillvara för andra ändamål än de egna behöver dock klarläggas i samverkan med kommunens planarbete. Parterna i projektet är överens om beskrivningen i rapporten och anser det viktigt att fortsätta arbetet med att förverkliga ett ökat utnyttjande av spillvärmevattnet utifrån de riktlinjer och förutsättningar som slås fast i rapporten. Östhammars kommun åtar sig att efter projekttidens slut driva arbetet vidare med inriktning mot att ytterligare klargöra möjligheterna för att utnyttja spillvärmevattnet och koppla detta till näringslivsarbetet i kommunen.

2. Bakgrund

Uppsala läns klimat- och energistrategi 2008 uppmärksammade frågan hur man kan utnyttja spillvärmevattnet från kärnkraftsreaktorerna i Forsmark. Med spillvärmevatten avses det returvattnet som erhålls efter kylning av reaktorerna med en temperatur på ca + 10 grader över inkommande havsvattentemperatur. Energimängden i spillvattnet är enorm, dubbelt så stor som den elenergi som matas ut på elnätet. Nackdelen ur omhändertagandesynpunkt är att energin är lågvärdig genom den relativt måttfulla temperaturhöjningen som sker.

Spillvärmevattnet returneras genom självtryck till de så kallade svallschakten som är utjämningsdammar för kylvattnet innan vattnet leds ut i havet. För att få tillgång till spillvärmevattnet måste det pumpas upp 5-10 m vilket kräver investering i pumpanordningar och eventuellt värmeväxlare. Detta kräver i sin tur överenskommelse med Forsmarks kraftgrupp AB (FKA) då dessa anläggningar måste placeras på eller passera över av kraftgruppen och ev. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) ägda markområden.

FKA har av Miljödomstolen ålagts att utnyttja spillvärmevattnet från anläggningen för uppvärmning av egna lokaler (Mål nr M1666-07 och M5786-07) och företaget har under 2010 projekterat för en värmearläggning. Anläggningen ska försörja FKA:s egna lokaler och även SKB:s kommande behov. SKB skickar i mars 2011 in de slutgiltiga ansökningarna för slutförvaret och därefter börjar detaljprojekteringen 2013/14 med förväntade tillstånd 2015 och byggstart 2016. Lämpligt markområde att placera andra typer av verksamheter som skulle kunna utnyttja spillvärmevattnet är längs vägen från Forsmarks bruk till kärnkraftsverket i Forsmark. Lokalteter vid Biotestsjön är också möjliga att använda för någon småskalig testanläggning där spillvärmevattnet kan ingå.

Under 2010 har Länsstyrelsen tillsammans med Östhammars kommun, Regionförbundet och FKA genomfört en förstudie för att utreda möjligheterna att utnyttja spillvärmevattnet. Projektet har löpt på 6 månader med finansiering från Regionala strukturfonden för Östra Mellansverige (ERUF), Östhammars kommun, Regionförbundet Uppsala län och Länsstyrelsen i Uppsala län.

FKA:s egen utredning för leverans av spillvärmevattnet till närliggande orter i kommunen har visat att så stora ledningsdragningar i dagsläget inte är försvarbara. Förstudien har därför fokuserat på hur man praktiskt ska kunna använda spillvärmevattnet i närheten av Forsmarksverket. En del av förstudien består av den tekniska utredningen och kostnadsbedömningen för fjärrvärmeleverans till ett tänkt industriområde. En annan del i förstudien är den utredning som beskriver hur alger som utnyttjar spillvärmen för sin tillväxt kan användas för biogasframställning. En sammanfattande redovisning av hur spillvärme mer generellt kan utnyttjas lämnas också i rapporten.

Efter projekttidens slut planeras överläggningar med ingående parter och andra aktörer för att diskutera de förslag som är framlagda i rapporten.

3. Beskrivning av projektet

Målet med projektet har varit att beskriva möjliga verksamheter som kan utnyttja spillvärmevatten från Forsmarksverket. Projektet har fokuserat på att kartlägga villkoren för den användningen. De tekniska och ekonomiska förutsättningarna har klargjorts samt var möjliga verksamheter kan lokaliseras. I arbetet har möjliga kombinationer av olika verksamheter för utnyttjandet av spillvärmen kartlagts. Det mest aktuella är företag som kan erbjuda service- och underhållsarbete till FKA och SKB och deras personal samt företag som i sin produktion kan använda fjärrvärme/spillvärme. Utifrån dessa förutsättningar har förslagen till användning av spillvärmen sedan prövats. Det synsätt projektet har arbetet utifrån är inte bara att uppnå en ren kommersialisering av spillvärmevattnet utan också att använda spillvärmen i verksamheter som redan finns och som därmed kan tillföra ett mervärde för sin nuvarande verksamhet. Målgrupper för projektet är därmed projektets parter inklusive SKB, företag som kan utföra service- och underhållsarbete till FKA och SKB, samt utvecklingsföretag, företag med energiprofil eller med behov av billig energi som är intresserade av kommande etableringar i närområdet.

Projektet har genom möten i styrgrupp, med referenspersoner och andra aktörer strävat efter att se möjliga verksamheter och söka hållbara lösningar för Forsmarks spillvärmevatten. Arbetets upplägg och process finns beskrivet i kronologisk ordning i bilaga 1.

Förstudien har letts av en styrgrupp med en projektledningsgrupp. Styrgruppen har varit sammansatt av ordförande Leif Byman, Länsstyrelsen i Uppsala län, Jacob Spangenberg, Östhammars kommun, Pål Peterson, Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA), Catharina Blom, Regionförbundet, Ola Ödmark, Upplands Biogas AB, samt Lars Johnsson, Göran Albjär, Peter Dahlström och Karin Svanäng, Länsstyrelsen i Uppsala län. Styrgruppen höll ett uppstartsmöte den 25 augusti. I samband med styrgruppens möte den 2 november hölls ett seminarium för inbjudna externa aktörer. På det avslutande mötet den 22 februari gav styrgruppen projektledningen i uppgift att ännu tydligare konkretisera vilka aktörer som är ansvariga i den fortsatta hanteringen av spillvärmevattnet i Forsmark samt att till rapporten utforma ett visionsavsnitt som behandlar hur området kan tänkas utvecklas i framtiden.

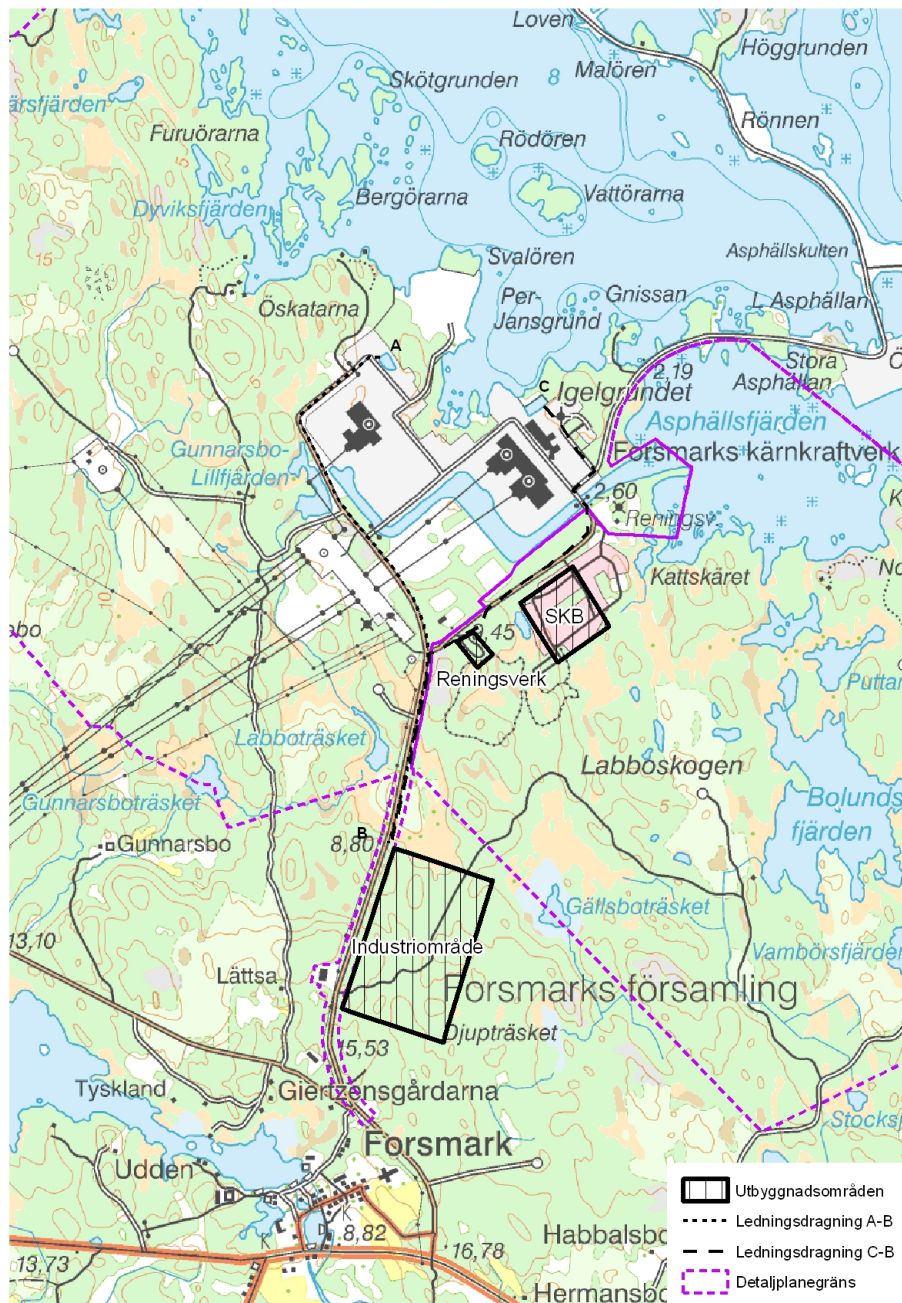
Projektplanering och samordning har letts av Peter Dahlström, Göran Albjär och Karin Svanäng. Under hösten 2010 bildades en speciell arbetsgrupp bestående av Andy Metcalfe, Regionförbundet, Marcus Jakobson, Östhammars kommun, Peter Karås, Fiskeriverket, Pål Peterson, FKA, Pia Lindberg, Uppsala Universitet, Andreas Berg, Scandinavian Biogas Fuels International AB, Åke Nordberg, SLU och Lars Johnsson, Länsstyrelsen för att utreda användningen av spillvärmevatten för produktion av algbiomassa för biogasframställning. Möten med arbetsgruppen genomfördes den 12 augusti, 1 september och 14 oktober. Möte med referenspersoner internt på länsstyrelsen genomfördes den 22 september där de planmässiga förutsättningarna runt Forsmark diskuterades. Den 18 oktober möttes representanter från länsstyrelsen med externa referenspersoner från Östhammars kommun, FKA och SKB på plats i Forsmark. En teknisk och ekonomisk utredning om förutsättningarna för användningen av spillvärmevattnet till ett tänkt industriområde genomfördes av Bjerking AB under december 2010 och januari 2011.

Redan under det inledande arbetet med förstudien konstaterade projektledningen att det saknades grundläggande kunskap om hur man praktiskt kan utnyttja spillvärmevattnet för olika ändamål, d v s som energitillskott för olika verksamheter, se steg i arbetsprocessen i bilaga 1. Arbetet fick därför inrikta sig på att utreda hur vattnet ska tillhandahållas och till vilken kostnad. Parallellt med ansökan till Tillväxtverket försiggick diskussioner om det ökande behovet av biogas i länet vilket låg till grund för förstudiens delutredning om algodling till biogasproduktion. Projektets olika delar finns beskrivna under kapitel 4-6. I

kapitel 4 beskrivs de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att använda och produktifiera spillvärmevattnet till ett tänkt industriområde. Detta behövdes för att komma till en dialog med potentiella användare. I kapitel 5 presenteras idéer och förslag på tänkbara verksamheter för att använda spillvärmen mer generellt. I kapitel 6 redovisas utredningen om algodling för biogasframställning med hjälp av spillvärme.

4. Användning av spillvärme i Forsmark

Det behövs stora mängder havsvatten för att kyla kärnreaktorer och vid anläggningen i Forsmark är kylvattenflödet ca 40 kubikmeter per sekund. Spillvärmevattnet, som kommer från kylningen av kärnreaktorerna, är ca 10°C varmare än ingående vattentemperatur. För att höja temperaturen ytterligare och därmed få det mer användbart är någon typ av värmewäxling att föredra. FKA har beslutat att själva nyttiggöra spillvärmen för uppvärmning av egna lokaler och under 2011/12 ska en värmeanläggning för uppgradering av spillvärmevattnet vid svallschakt F1/2 (punkt C) samt ett reningsverk byggas i FKA:s regi, se figur 1.



Figur 1. Karta över Forsmarks kärnkraftsverk med omgivningar. Markerade områden indikerar mark för framtida utbyggnad. A och C är svallschaktens placeringar. B är slutpunkt för ledningsdragningarna vid det tänkta industriområdet. (Bearbetning L. Krantz)

Tabell 1. Kostnadsbedömning för de olika alternativen redovisas i tabell nedan, priser i kkr exkl moms

<i>Alternativ 1: Fjärrvärmeledningar med uppgraderat vatten fram till nytt industriområde</i>			<i>Alternativ 2: Ledningar med ursprungligt spillvärmevatten fram till nytt industriområde</i>	
Alt 1A (ledning C-B=2730m)		Alt 1B (ledning A-B=2800m)	Alt 2A (ledning C-B=2730m)	Alt 2B (ledning A-B=2800m)
Ledningar inkl pumpstation	20 000	19 000	25 000	23 000
Värmepumphus	13 000	13 000	13 000	13 000
Summa	33 000	32 000	38 000	36 000

Resultat

Ur kostnadssynpunkt är det mest fördelaktiga att gå med fjärrvärmeledningar till industriområdet enligt alternativ 1, se tabell 1. Att pumpa ej uppgraderat spillvärmevatten ca 3 km till industriområdet med ett så stort flöde (200 l/s) kostar mer både anläggningsmässigt och driftmässigt. Alternativ 2 är således ett sämre alternativ. För alternativ 1A och 1B finns fördelar med 1A som väger tungt trots att det alternativet är ca en miljon dyrare än 1B.

En anledning är att svallschakt C får sitt spillvärmevatten från kylningen av två reaktorer och vid ett eventuellt driftstopp på en reaktor kan ändå kylvatten erhållas från den andra reaktorn. Detta svallschakt har således en säkrare leverans av spillvärmevatten än svallschakt A där det levereras kylvatten från endast en reaktor. I den anläggning som KFA planerat finns utrymme för andra värmekällor ifall det skulle bli aktuellt med bortfall i leveransen av spillvärmevatten.

En annan anledning är att det pågår, som tidigare nämnts, parallella projekt som kan samordnas med alternativ 1A. FKA planerar att anlägga nya VA-ledningar till reningsverket, se figur 1, och den aktuella sträckan (C-B) kommer därför att schaktas redan under 2011. Därmed kan eventuella samordningsvinster uppstå genom att använda samma sträckning för tillkommande fjärrvärmeledningar. Det finns även andra fördelar med att samla ledningar i ledningsstråk, bland annat med hänsyn till underhåll och ledningsrätter.

Jämförelse av priser för fjärrvärme

Totala produktionskostnader för fjärrvärmerna i alternativ 1A är beräknade enligt följande.

Avskrivningstider för byggnader och ledningar har antagits vara 50 år och för maskiner 20 år. Med en räntekostnad på ca 5 % och amortering enligt ovan nämnda avskrivningstider blir det en årlig investeringskostnad på ca 2,5 miljoner kr. Fullt utbyggd anläggning och en årsproduktion på 13 GWh ger en kostnad på 0,20 kr/kWh ca 20 öre i kapitaltjänstkostnader (räntor och amortering). Driftkostnaden på ca 5 miljoner kronor är beräknat utifrån en verkningsgrad på 3,8 hos värmepumparna samt en drivenergi från svallschaktet till fjärrvärmebyggnaden med en helårsanställd som sköter anläggningen. Driftkostnaden blir då ca 40 öre/kWh. Fjärrvärme till kund med maxtemperaturen 60°C kan tillhandahållas i detta system vid Forsmark och den totala kostnaden för fjärrvärme blir därmed ca 60 öre/kWh. Fjärrvärme vid andra värmeanläggningar produceras ofta till både högre maxtemperatur och högre kostnad.

Framtida behov

Området kring FKA förväntas expandera inom en rimlig tid framöver, se visionsavsnittet, och andra verksamheter kan förväntas bli etablerade i området kring Forsmarks kärnkraftverk. Att göra investeringar för ett kommande behov som kan ta tid att etablera är inte ekonomiskt

försvarbart. Däremot kan det vara rimligt att utforma anläggningar som ger utrymme för ytterligare påbyggnad och redan nu avsätta mark för framtida utbyggnad. Med detta tänkesätt möjliggörs en framtida försörjning med fjärrvärme till ett kommande industriområde.

Slutsatser och diskussion

Berörda aktörer måste klargöra sina framtida behov både av fjärrvärme och av industrimark för att kommunen med berörda markägare ska kunna avsätta lämpligt markområde för framtida utbyggnad. Värmepumphus inkl pumpstation för uppgradering av spillvärmevattnet till fjärrvärme bör vara konstruerade så att de är möjliga att bygga ut vid en ökande efterfrågan på uppvärmning. Fjärrvärmeledningarna fram till reningsverket bör vara utformade så att det ger utrymme för ytterligare påbyggnad och dimensioneringen bör vara tillräcklig stor för att, åtminstone i starten, försörja energibehovet i ett framtida industriområde. Lämpliga lösningar för ägandet av fjärrvärmeleveransen till industriområdet bör diskuteras med ingående parter för att därefter bearbeta marknaden för tänkbara intressenter av fjärrvärme. Verksamheter och lokaler som bidrar till mer hållbara system genom användning av uppgraderat spillvärmevatten bör stödjas och kan i framtiden vara lämpliga att placera i närheten av Forsmark.

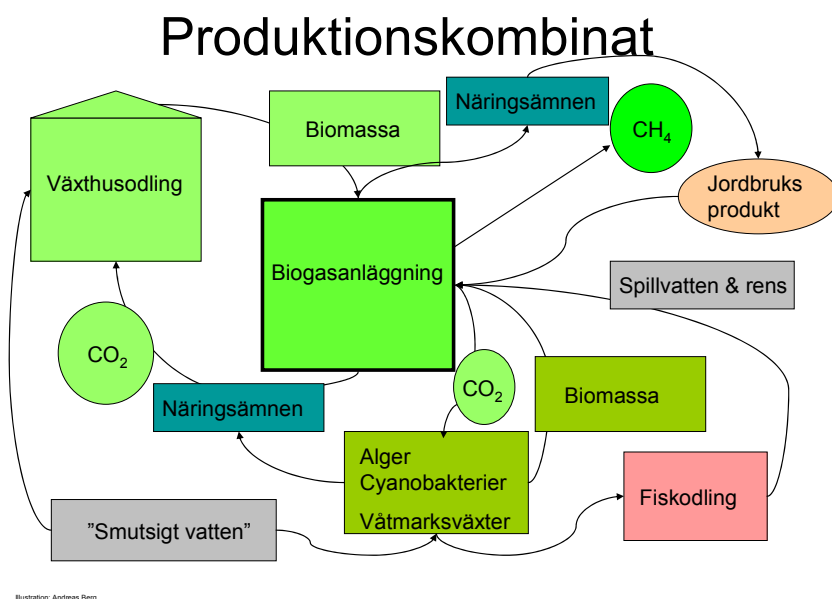
5. Tänkbara användningsområden för spillvärme

Spillvärme används redan idag inom olika områden, främst som fjärrvärme i tätortsnära områden. Exempel på lyckade satsningar är utveckling av olika former av industrikombinat där spillvärmen används som insatsvara i skilda produktionsprocesser, se figur 2.

För ett ökat utnyttjande av lågvärdig energi behövs utvecklings- och forskningsarbete. Exempelvis finns planer att använda spillvärme från Hallstaviks bruk för produktion av fisk och växthusodling. Föreliggande arbete ger några förslag på tänkbara verksamheter som är möjliga för användning av spillvärmevattnet, se nedan. Ytterligare mervärde runt spillvärmevattnet i Forsmark kunde vara att skapa ett energikombinat utifrån kärnkrafts- och slutförvarsanläggningarna och som också omfattar exempelvis biogasproduktion och vindkraft uppbyggd på kraftverk placerade kring den s.k. Biotestsjön i Forsmark.

Här nedan redovisas en lista över andra tänkbara användningsområden för spillvärmevatten med referenser.

1. Ökad kväverening i reningsverk genom att spillvärmen kan höja temperaturen på avloppsvattnet under de kalla perioderna vilket kan vara en kostnadseffektiv lösning på kvävereningen (Arnell, m.fl., 2004).
2. Växthusodling i kombination med fiskodling där spillvärmen används för uppvärmning, speciellt under de kallare delarna av året (Olstorp, 2010).
3. Energieffektiva industrilokaler där lågvärdig värme från spillvärmevatten kan användas som en kontinuerlig ingående värmekälla och vid behov uppgraderas (www.energilokthus.se).
4. Kombinat av verksamheter där spillvärmen i en del av systemet tas till vara som en resurs i en annan del av systemet (<http://www.symbiosis.dk/industrial-symbiosis.aspx>).
5. Uppvärmning av badhus, en idé som Öregrunds Badhusförening drivet (Sandahl, L., 2010).



Figur 2. Exempel på produktionskombinat för effektivare energianvändning. Illustration: Andreas Berg, Scandinavian Biogas.

6. Odling av algbiomassa för biogasproduktion

Redan under framtagandet av länets klimat- och energistrategi framfördes idén om att producera biogas med hjälp av värmen från Forsmarks spillvärmevatten. På ett möte hösten 2009 presenterade ledningen för Scandinavian Biogas Fuels International AB ett förslag för användning av spillvärmevattnet genom odling av alger som substrat för biogasproduktion. Företaget har under 2010 tillsammans med Upplands Lokaltrafik (UL) bildat Upplands Biogas AB som projekterar för att bygga biogasanläggningar i Uppland, bland annat i Enköping, för att försörja regiontrafikens biogasbussar.

I ett tidigt skede i projektet fick därför en forskargrupp i uppgift att undersöka möjligheterna att använda alger som substrat för biogasframställning, se bilaga 3. Syftet var att studera hur spillvärmens från Forsmarksverket skulle kunna utnyttjas för att erhålla större tillväxt av algerna och därmed ge en hög biogasproduktion. Forskarna tog fram de grundläggande förutsättningarna utifrån två scenarier, dels rötning av enbart alger i pilotskala och dels samrötning med kompletterande substrat (vallgröda) i produktionsskala, vilka baserar sig på de specifika förutsättningarna vid Forsmark (Lindblad m.fl., 2010). I kommande avsnitt presenteras beräkningarna för produktionsanläggningen. Utredningen har utgått från det beräknade behovet av biogas för driften av regionbussarna i UL:s depåer i Östhammar och Österbybruk, ca 1,5 miljoner metan Nm³/år.

Odlingssystem och produktionsbehov

Biogasproduktionen skulle baseras på både alger och vall som substrat. De viktigaste delarna för att lyckas med algodling är bra stammar av alger, hög biomassaproduktion, goda ljusbetingelser, tillräcklig näringstillgång, låga kostnader för anläggningarna och effektiva skördemetoder. För vall finns redan välfungerande system när det gäller odling och skörd. Det som tillkommer är transportkostnader. System för odling av alger i stor skala är inte prövade under de betingelser som råder i Sverige. I de anläggningar som finns, bland annat i USA, odlas mikroalger i grunda dammar som är öppna eller täckta. Spillvärmevattnet från Forsmarksverket skulle, direkt eller indirekt via fjärrvärme, kunna användas för att värma upp odlingsdammarna för algodlingen. Tillskottsvärmen skulle därmed bidra till ökad alg tillväxt vilket är en stor fördel i vårt nordliga klimat även om instrålningen från solen är den mest begränsade faktorn för odling under vintern. Om temperaturen i algodlingen kan höjas ytterligare några grader över den temperatur som spillvärmevattnet håller (med hjälp av fjärrvärme) kan produktiviteten öka ytterligare. Med en temperatur runt 30°C kan man odla mer snabbväxande sorter från varmare klimat men redan vid 20-25°C kan man få mycket högre tillväxt än vid 15°C, även för lokala alger.

Algodlingens näringsbehov och miljöpåverkan

Vid uppgradering av biogas till fordonsgas separeras metan och koldioxid. I system med alger skulle koldioxiden kunna återföras till algodlingen som en kolkälla. Avloppsvatten från hushåll å sin sida är en lämplig näringskälla för att täcka algernas näringsbehov av främst kväve och fosfor. I dag finns inga stora flöden av avloppsvatten i närområdet runt Forsmark som kan användas som näringskälla vid odling. Möjligheterna att i framtiden förbättra recirkulering och använda näringen från reningsverket till någon typ av odling beror i sin tur på hur den fortsatta utbyggnaden av området planeras. Det framgår dock att utformning av skördesystem samt försörjning av koldioxid och näring när det gäller odling av alger till biogas är avgörande delar för produktionens miljöpåverkan. Om man väljer att använda alger för biogasproduktion ska dessa odlingar helst lokaliseras till platser med överskott av koldioxid, t.ex. vid förbränningsanläggningar, och med tillgång till avloppsvatten. Under dessa förutsättningar kan miljöpåverkan för en biogasanläggning vara låg. En biogasproduktion av 15 GWh per år skulle överslagsmässigt ge en årlig reduktion av 3000 –

4000 ton CO₂-ekvivalenter baserat på att biogasen ersätter diesel. En lämplig placering av en biogasanläggning beror även av andra faktorer. Exempelvis måste införsel av substrat vägas mot utförsel av rötrest. Den rötrest som bildas vid biogasproduktion innehåller mycket vatten och behöver avvattnas i en fast och flytande fas för att underlätta fortsatt hantering. Den flytande fasen kan återföras som näringskälla till någon odling nära biogasanläggningen medan den fasta fasen kan transporteras längre och återföras som gödselmedel (biogödsel) till jordbruket.

Ekonomiska förutsättningar för odling av alger till biogas

Det är mycket svårt att göra en riktig bedömning av kostnaderna för odling av alger i stor skala för biogasproduktion. Här följer dock en enkel kalkyl baserad på de data som finns tillgängliga. Investeringskostnaden bedöms till 675 000 kr/ha, vilket för 45 ha skulle innebära en investering på 30 miljoner kr samt en årlig kapital- och driftkostnad på 8 miljoner kr.

Marknaden för substrat till biogasanläggningar är under uppbyggnad och osäkerheten angående priset på exempelvis vall är stor. Beroende på hanteringskostnader, transportkostnader, alternativ markanvändning förhandlas priset på substrat fram. Efterfrågan på biogödsel beror på vad som rötats, attityd till rötrest, i vilken form biogödseln kan spridas samt biogödselns egenskaper. I beräkningarna har biogödseln inte tagits med som en intäktspost. Intäkterna från försäljning av gas är beräknade till 15 Mkr/år. Utgifterna för drift, avskrivning, ränta, kapitalavkastning samt kostnaden för biogasproduktion från alger är beräknade till 17,3 Mkr/år. Totalt går anläggningen således med en förlust på 2,3 Mkr/år med dessa antaganden. Skulle koldioxiden kosta mindre eller vara gratis kan driftkostnaderna sänkas. Kalkylens pris på vallsubstratet (0 kr/kg ts) är med största säkerhet att underskatta anläggningens kostnad för substrat. En rimligare kostnad är 1 kr/kg ts enligt JTI (Edström, 2011).

Slutsatser och diskussion

Sannolikt kommer efterfrågan på biogas att vara stor under lång tid framöver då aktörer med stora fordonsflottor samt privatbilismen kommer att efterfråga mer biogas i och med att det byggs upp en infrastruktur för distribution. Med en höjd biogasproduktion kommer även efterfrågan på substrat att öka och det kommer att behövas fler substrat som kan anses lämpliga i framtiden. Alger är ett tänkbart substrat för biogasframställning om odlingen kan pågå under större delen av året tack vare värmetilskott. Utredningen pekar på att tekniken runt själva skörden av alger dock behöver utvecklas och är mycket osäker i dagsläget. En pilotanläggning för odling, skörd och biogasproduktion skulle därför behövas för att kunna värdera förutsättningarna för en effektiv produktion av biogas från alger.

Utredningen syftade till att sätta in biogas från alger i ett större sammanhang och vi gjorde en partiell systemanalys men vid tiden för beräkningarna var exempelvis inte produktkostnaden för spillvärmevattnet framtaget varför systemanalysen inte kan anses vara fullständig. Det ideala för att uppnå hög algproduktion är att ha god tillgång på spillvärme, koldioxid och lämplig näringstillförsel. Det finns idag ingen ideal plats inom Östhammars kommun som har alla dessa förutsättningar men om man väljer att bygga en biogasanläggning i kommunen så skulle Forsmark kunna vara en möjlig plats tack vare spillvärmens som kan tillföras både odlingen och rötningsskammaren under biogasprocessen.

7. Litteratur

Arnell, J., Bergström, M., Ek, R. & Hansen, B. 2004. Energi och miljöintegrering genom utnyttjande av lågvärdigt värme från kraftvärmeverk och fjärrvärmeanläggningar för effektivisering av avloppsvattenrening. IVL rapport B1587

Avfall Sverige utveckling 2009. Rening av lakvatten, avloppsvatten och reduktion av koldioxid med hjälp av alger. Rapport U2009:04

Blomlöf, A. 2011. Förstudie spillvärmevatten – FKA. Uppdragsutredning. Bjerking AB.

Lindblad, P., Berg, A. & Nordberg, Å. 2010. *Produktion av algbiomassa för biogasframställning vid Forsmarks kärnkraftverk*. Uppdragsutredning.

Internetkällor:

Energikloka hus, hemsida: www.energiklothus.se

Industrial Symbiosis Institute, Kalundborg, Denmark, hemsida:
<http://www.symbiosis.dk/industrial-symbiosis.aspx>

Muntliga källor:

Matilda Olstorpe. *Projektöversikt VegaFish*. Muntlig presentation 2010-12-06, Länsstyrelsen i Uppsala län.

Mats Edström. *Gårdsbaserad biogasproduktion*. Muntlig presentation 2011-03-14. Länsstyrelsen i Stockholms län.

Lisbeth Sandahl. *Uppvärmning av badhus, en idé från Öregrunds Badhusförening*. Deltagare på seminarium. 2010-11-02. Länsstyrelsen i Uppsala län.

Bilaga 1. Arbetsprocess och ekonomi i projektet

Steg 1

Algodling till biogas – idé under strategiarbetet 2008 som resulterade i ett specifikt möte med Scandinavian Biogas våren 2010. Bakgrunden är att efterfrågan på biogas ökar i regionen, fler leverantörer av biogas är intresserade av möjliga substrat och att man söker efter alternativa substrat som komplement till de traditionella substraten som exempelvis matavfall och vallgrödor

Steg 2

Växthusodling – kontakt togs med Plantagen som tyckte frågan var mycket intressant men som inte i nuläget var villiga att delta i projektet.

Steg 3

Möjliga substrat till en tänkt biogasanläggning – FKA ska bygga ut sitt reningsverk där biogasframställning genom rötning kunde vara en tänkbar del, andra tänkbara organiska material i närområdet är grödor från åkermark (exempelvis vall som är med i forskarunderlaget) och fisk från silfiltret vid kraftverket.

Steg 4

Industriområde – Det finns behov av serviceverksamheter i närområdet vid kraftverket men i dag finns inga faciliteter för detta, i ett tänkt industriområde skulle man kunna erbjuda lokaler för serviceföretagen och de tekniska förutsättningarna började utredas i förstudien.

Steg 5

Fiskodling – I Hallstavik finns planer på en pilotanläggning för ett vattenbrukscentrum och modellen skulle kunna implementeras vid andra värmegenererande företag som vid Forsmarksverket.

Steg 6

Pågående processer inom området – FKA och SKB är stora organisationer som just nu håller på med gigantiska infrastrukturella satsningar i Forsmark. Dessa processer har arbetet i förstudien varit tvungna att förhålla sig till för att på något sätt också få in i förstudiens arbete. Genom möten med berörda parter har aktörerna kunnat påverka och ge synpunkter på varandras arbete för att kunna ”gaffla in” den specifika frågan om spillvärmevattnet.

Steg 7

Förstudien har med anledning av punkt 6 därför varit tvungen att ”backa” i vissa stycken genom överläggningar med olika parter för att sedan kunna driva projektet framåt.

Steg 8

Förutsättningarna för att öka företagandet är primärt viktiga i projektet – det har dock varit en lång startsträcka innan projektet har varit redo att ta kontakt med näringsföreträdare eftersom det inte var tydligt hur spillvärmevattnet kunde erbjudas. Därför har projektet tagit fram en ”specifikation” att visa upp för företagare som kan vara intresserade av spillvärmevattnet. En teknisk konsult fick uppdraget att utreda kostnaden för en anläggning som ska leverera spillvärme alternativt fjärrvärme till ett planerat industriområde.

Steg 9

På seminariet med en bredd av aktörer sattes flera processer igång som ännu inte är överblickbara. Däremot fick projektgruppen ett kvitto på att fortsätta arbetet och tydligt visa de tekniska förutsättningarna för användningen av spillvärmevattnet om företag vill etablera sig i närområdet

Steg 10

Förutsättningar för någon entreprenör att ansvara för intern fjärrvärmeleverans i närområdet runt Forsmarksverket – 2010 projekterar FKA för en fjärrvärmeanläggning som ska använda spillvärmevatten och växla upp det till ca 60 grader. I en framtid skulle fjärrvärmeanläggningen kunna exempelvis läggas ut på entreprenad och förse både FKA:s och SKB:s lokaler samt ett eventuellt industriområde med fjärrvärme.

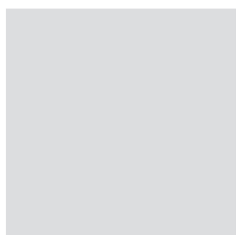
Ekonomi

Projektet har löpt på 6 månader och med en budget på totalt 447 000 kr varav 250 000 kr kommer från Regionala strukturfonden för Östra Mellansverige (ERUF), 50 000 kr från Östhammars kommun, 75 000 kr från Regionförbundet och 72 000 kr från länsstyrelsen i Uppsala län.

**Bilaga 2. Förstudie spillvärmevatten – FKA. Uppdragsutredning.
Bjerking AB.**



Uppdrag nr. 54790



Förstudie spillvärmevatten, FKA

2011-01-14



www.bjerking.se

Förstudie Spillvärmevatten

Uppdragsnamn
Forsmarksverket
Östhammars kommun
Utnyttjande av spillvärme

Länsstyrelsen, Uppsala län
Karin Svanäng
751 86 Uppsala

Uppdragsgivare
Länsstyrelsen, Uppsala län
Karin Svanäng

Vår handläggare
Anna Blomlöf

Datum
2011-01-14

Förstudie och kostnadsbedömning för utnyttjande av spillvärme från Forsmarksverket

1 Bakgrund

På uppdrag av länsstyrelsen i Uppsala län har Bjerking utfört en förstudie och kostnadsbedömning för utnyttjande av spillvärme från Forsmarksverket till ett framtida industriområde på 45 ha (850 m x 530 m). Spillvärmevattnet är bräckt och innehåller ca en promille salt.

FKA¹ har krav på sig via en miljödom att utnyttja spillvärme för uppvärmning av egna lokaler. I deldom från 2008-08-21 (Mål nr M1666-07 och M5786-07) står villkor om energihushållning under punkt 13:

FKA ska successivt övergå till att för uppvärmning av de egna lokalerna vid anläggningen, nyttiggöra spillvärme.

2 Underlagsmaterial

Bjerking har använt följande underlagsmaterial:

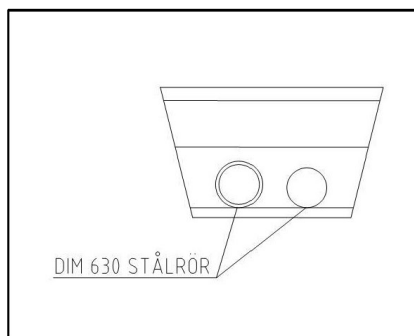
- Deldom från 2008-08-21 (Mål nr M1666-07 och M5786-07)
- Åtgärdsplan för övergång till nyttiggörande av spillvärme för uppvärmning av egna lokaler vid Forsmarks kärnkraftsverk, Östhammars kommun, Ist beslut 2009-03-16
- Forsmarks Kraftgrupp Vattenfall: Företagsintern rapport FG-2009-0504
- VAV P90
- Jordartskarta
- Grundkarta

¹ FKA= Forsmarks Kraftgrupp AB

Alternativ 2: (Spillvärmevatten fram till nytt industriområde)

Alt 2A: Spillvärmevatten pumpas i ledning från svallschakt vid F1/F2 fram till förbindelsepunkt vid industriområde, inkl returledning. Vid förbindelsepunkt byggs en produktionscentral. Ledningsdragning C-B ca 2 730 m, se bilaga 1

Alt 2B: Spillvärmevatten pumpas i ledning från svallschakt vid F3 fram till förbindelsepunkt vid industriområde, inkl returledning. Vid förbindelsepunkt byggs en produktionscentral. Ledningsdragning A-B ca 2 800 m, se bilaga 1



Figur 2: Sektion ledningar alternativ 2, där framledningen är isolerad

5 Förutsättningar

Temperaturen på spillvärmevatten i svallschaktet ligger ca + 10 grader över inkommande vattentemperatur. I denna studie har beräkningarna utgått från en medeltemperatur på +16 grader Celsius.

Avståndet mellan svallschakt F1/F2 läge C och punkt B intill industriområdet är ca 2 730 m. De första 660 m är svallschaktade på grund av mycket kablar samt dragning av ledningar i bron.

Avståndet mellan svallschakt F3 läge A och punkt B intill industriområdet är ca 2 800 m.

Ledningsdragningar redovisas på ritning, se bilaga 1.

Alla beräkningar avser fullt utbyggt industriområde. Det är dock brukligt inom branschen att ha avtal med ca en tredjedel av fjärrvärmebehovet i industriområdet innan investeringen görs med att lägga ledningar. Detta innebär troligtvis att flera etableringar av småindustri och produktionslokaler behöver göras innan fjärrvärme byggs ut till industriområdet.

Bjerking har enbart studerat kostnader för fjärrvärmeledningar respektive ledningar för spillvärmevatten i de olika alternativen.

Industriområdet behöver naturligtvis ytterligare infrastruktur såsom Tele, bredband, VA och EI. Kostnadsbedömningar för dessa tillkommande media är inte medtaget i förstudien.

6 Antaganden

6.1 Värmebehovet

Industriområdets storlek är 45 ha yta (850 m x 530 m).

Industriområdet antas exploateras enligt följande:

- 24 000 m² kontorsbyggnader med energibehov 140 kWh/m²,år
- 56 000 m² småindustri med energibehov 80 kWh/m²,år
- 80 000 m² växthus med energibehov 60 kWh/m²,år

Sammanlagd bebyggd yta är 160 000 m². Exploateringsgraden på industriområdet blir då 36% (160 000/450 000), varav hälften av byggnaderna består av serviceinriktad verksamhet kontor- och småindustri och andra hälften består av produktiv industri, tex växthus, algtilleväxt.

Årsbehovet är ca 13 GWh⁴ och den maximala effekten ca 5,5 MW. Beräkningar redovisas i bilaga 2.

6.2 Beräkning av flöden

Fjärrvärmeledningar:

Värmeeffekt: 5,5 MW
Framledningstemperatur är högst 60 °C
Returtemp 20 °C lägre dvs 40 °C
Flöde: 65 l/s
Ledningsdimension: 300 mm

Ledning för spillvärmevatten:

Värmeeffekt: 5,5 MW
Framledningstemperatur är 16 °C
Returtemp 10 °C
Flöde: 200 l/s
Ledningsdimension: 630 mm

6.3 Förutsättningar vid beräkningar

Ledningssträckan har antagits bestå av 10% berg.

Ledningarna har antagits kunna dras i bron över ån.

I beräkningarna har vi räknat med en lyfthöjd på +15m och tryckförluster på ca 10m. Beräkningarna bygger på antaganden och en noggrannare dimensionering behöver göras i samband med detaljprojektering.

6.4 Alternativ 1, Fjärrvärmeledningar fram till industriområdet

Skilnaden mellan alternativ 1A (sträcka C-B) och 1B (sträcka A-B) är endast ledningssträckan.

⁴ Beräknat enligt: $(24\,000\text{ m}^2 \times 140\text{ kWh/m}^2) + (56\,000\text{ m}^2 \times 80\text{ kWh/m}^2) + (80\,000\text{ m}^2 \times 60\text{ kWh/m}^2) = 12,6 \approx 13\text{ GWh}$

För att få fram aktuell värmeeffekt till industriområdet erfordras ett flöde på 65 l/s i fjärrvärmeledningar. Två fjärrvärmeledningar läggs i ledningsgrav två ledningar (framledning och returledning) av dimension 300 mm. Intill svallschakt F1/F2 (alternativt svallschakt vid F3) anläggs en byggnad på 300 m² för värmepumpar och dess installationer. För att förse värmepumphuset med spillvärmevatten (varmt sjövattnet) erfordras en pumpstation intill svallschaktet som lyfter upp 200 l/s till huset med en ledning av dimension 500 mm samt en returledning tillbaka till svallschaktet.

6.5 Alternativ 2, Spillvärmevatten till industriområdet

Skillnaden mellan alternativ 2A (sträcka C-B) och 2B (sträcka A-B) är endast ledningssträckan.

För att få fram aktuell värmeeffekt till industriområdet erfordras ett flöde på 200 l/s i spillvärmeledningar. Här läggs dubbla ledningar i ledningsgraven (framledning och returledning) båda med dimension 630 mm. Intill industriområdet anläggs en byggnad på 300 m² för värmepumpar och dess installationer. Intill svallschakt F1/F2 (alternativt svallschakt vid F3) anläggs en pumpstation för att distribuera spillvärmevatten fram till industriområdet. Från industriområdet leds returvattnet tillbaka med tryckledning med kvartstående tryck i ledningen.

7 Kostnadsbedömning

Kostnadsbedömningen bygger på ovanstående förutsättningar och antaganden i detta tidiga skede. Då förändringar sker framgent behöver kostnadsbedömningen justeras. Samtliga kostnader är redovisade exklusive moms.

Kostnadsbedömning för de olika alternativen redovisas i tabell nedan, priser i kkr exkl moms:

	Alternativ 1: (fjärrvärmeledningar fram till nytt industriområde)		Alternativ 2: (Spillvärmevatten fram till nytt industriområde)	
	Alt 1A (ledning C-B=2730m) kkr	Alt 1B (ledning A-B=2800m)	Alt 2A (ledning C-B=2730m)	Alt 2B (ledning A-B=2800m)
Ledningar inkl pumpstation	20 000	19 000	25 000	23 000
Värmepumphus	13 000	13 000	13 000	13 000
Summa	33 000	32 000	38 000	36 000

Mer detaljerad kostnadsbedömningen för ledningar och pumpstation bifogas i bilaga 3.

Mer detaljerad kostnadsbedömningen för värmepumphuset redovisas i bilaga 4.

Principiellt flödesschema över värmepumphus med installationer finns redovisat i bilaga 5.

8 Resonemang

Ur kostnadssynpunkt är det mest fördelaktiga alternativet att gå med fjärrvärmeledningar från svallschakt upp till industriområdet i enlighet med alternativ 1.

Att pumpa ett så stort flöde (200 l/s) ca 3 km kostar mer både anläggningsmässigt och även driftmässigt. Alternativ 2 är således ett sämre alternativ.

Svallschakt F1/F2 har ett spillvärmeflöde från kylningen från två kärnkraftreaktorer och därmed en högre säkerhet. Blir det driftstopp på en reaktor erhålls ändå spillvärme från den andra reaktorn. Detta svallschakt har således en säkrare värmekälla än svallschakt F3 med kylvatten från endast en reaktor.

Eftersom det pågår parallella projekt där nya VA-ledningar planeras att anläggas till nytt avloppsreningsverk kommer delar av sträckan C-B (alternativ 1A) att schaktas redan under 2011. Eventuella samordningsvinster kan finnas i att använda samma sträckning för tillkommande fjärrvärmeledningar. Det är också bra att samla ledningar i ledningsstråk med hänsyn till underhåll, ledningsrätt mm.

Även om alternativ 1A är ca en miljon dyrare rekommenderas detta alternativ.

8.1 Jämförelse

Avskrivningstider för byggnader och ledningar är 50 år och för maskiner 20 år.

Med en räntekostnad på ca 5% och amortering enligt ovan nämnda avskrivningstider ger det en kostnad på ca 2,5 miljoner kr (det första året).

Vid fullt utbyggd anläggning och en årsproduktion på 13 GWh kostar varje kWh ca 20-öre i kapitäljanskostnader (räntor och amortering).

Driftkostnaden kan sättas till ca 5 miljoner kronor räknat på en verkningsgrad på 3,8 för värmepumparna samt en drivenergi från svallschakt till fjärrvärmebyggnad och en anställd som sköter anläggningen. Driftkostnaden blir då ca 40 öre/kWh.

Totalt kostar varje producerad kWh ca 60 öre, vilket kan ses som ett konkurrenskraftigt pris på fjärrvärmemarknaden som ligger på ca 70-80 öre/kWh exkl moms (observera då att temperaturen på fjärrvärme ligger på max 120 °C i jämförelse med temperauren i denna utredning som ligger på ca 60 °C). beräkningar finns redovisade i bilaga 6.

8.2 Framtiden

Området kring FKA förväntas expandera inom en rimlig tid framöver. Flera kommande verksamheter kan förväntas etableras i området kring Forsmarks kärnkraftverk.

Att göra investeringar för ett kommande behov som kan ta tid att etableras är inte ekonomiskt försvarbart. Det har redan nämnts att det är brukligt inom branschen att en tredjedel av värmebehovet skall vara etablerat innan investering görs.

Då beslut fattas att bygga fjärrvärmeledningar för dagens behov samt för dagen kända kommande värmebehov kan det vara rimligt att bygga anläggningar som är påbyggbara i moduler och redan nu avsätta mark för framtida utbyggnader. Med detta tänkesätt möjliggörs en framtida försörjning med fjärrvärme till kommande industriområde.

9 Sammanfattning

Exploateringsgraden på industriområdet har antagits till 36%, varav hälften av byggnaderna består av serviceinriktad verksamhet kontor- och småindustri och andra hälften består av produktiv industri, tex växthus, algtillväxt.

Värmebehovet på årsbasis är beräknat till ca 13 GWh och den maximala effekten ca 5,5 MW.

Alternativ 1A med fjärrvärmeledningar från svallschakt F1/F2 fram till nytt industriområde är det mest fördelaktiga alternativet utifrån värmekällans driftsäkerhet och samordning av ledningsdragning i andra parallella projekt. Den totala investeringen är bedömd till ca 32 miljoner kronor exklusive moms.

Vid fullt utbyggt anläggning är en översiktlig bedömning gjord att priset per kWh är konkurrenskraftigt på marknaden.

Då beslut fattas att bygga fjärrvärmeledningar för dagens behov samt för dagen kända kommande värmebehov kan det vara rimligt att bygga anläggningar som är påbyggbara i moduler och redan nu avsätta mark för framtida utbyggnader. Med detta tänkesätt möjliggörs en framtida försörjning med fjärrvärme till kommande industriområde.

Bjerking AB

Anna Blomlöf
Telefon 018-65 12 56
anna.blomlof@bjerking.se

Christer Steinvall
Telefon: 018-65 12 60
Christer.steinvall@bjerking.se

Bilagor:
Bilaga 1: Ritning, ledningsdragning
Bilaga 2: Dimensionerande flöde
Bilaga 3: Kalkyl ledningar alt 1A, 1B, 2A, 2B
Bilaga 4: Kalkyl värmepumpus
Bilaga 5: Flödesschema värmepumpus
Bilaga 6: Beräkningar Driftkostnader

Bilaga 3. Produktion av algbiomassa för biogasframställning vid Forsmarks kärnkraftverk.

Pia Lindberg, Institutionen för fotokemi och molekylärvetenskap, Uppsala universitet

Andreas Berg, Scandinavian Biogas Fuels AB

Åke Nordberg, Institutionen för Energi och teknik, SLU

Introduktion

Syftet med denna del av projektet är att utreda förutsättningarna att odla fotosyntetiska mikroorganismer (mikroalger) för produktion av biomassa med hjälp av spillvärme från Forsmarks kärnkraftverk. Biomassan som produceras är tänkt att användas för att generera biogas, vilken kan användas t ex som klimatvänligt fordonsbränsle.

Utgångspunkten har varit att spillvärmens från Forsmark kan bidra till högre tillväxt av mikroalger och tillåta odling under en större del av året än vad som annars vore möjligt. Eftersom målet i detta projekt är att generera så mycket biomassa som möjligt är mikroalger ett bra alternativ. Mikroalger kan generera många gånger mer biomassa per yta och tid än landlevande växter.

Den producerade biomassan kan användas direkt som substrat för biogasproduktion, vilket ger ett koldioxidneutralt och klimatvänligt bränsle. Koldioxid, som är en av produkterna i biogasprocessen, kan ledas tillbaka till odlingarna och tas upp av de växande mikroalgerna. Vidare skulle näringen (framför allt kväve och fosfor) i rötresten kunna återanvändas som näring i algodlingen. Möjlighet kan också finnas att ge näring till odlingarna i form av avloppsvatten från kärnkraftsanläggningen.

Produktion av biogas från odlade alger är ett oprövat koncept i produktionsskala. Det finns dels en rad grundläggande frågeställningar kring hur ett sådant system bör vara utformat och dels specifika frågeställningar kring att tillämpa det med de förutsättningar som finns kopplat till spillvärmevatten från Forsmarks kärnkraftverk.

Vi har valt att i denna del av rapporten först kort beskriva de grundläggande förutsättningarna för algodling och biogasproduktion. Därefter presenteras två scenarier, dels rötning av enbart alger i pilotskala och dels samrötning med kompletterande substrat (vallgröda) i produktionsskala, vilka baserar sig på de specifika förutsättningarna vid Forsmark. Vidare följer bedömning av de ekonomiska förutsättningarna och miljöpåverkan samt avslutningsvis diskussion och slutsatser. Detaljerade beskrivningar och beräkningsunderlag bifogas i bilagor.

Algodling

Mikroalger är encelliga organismer kapabla att använda fotosyntes, precis som växter. De fixerar koldioxid ur luften och tar sin energi från solen. Eftersom energin och det organiska material som lagras i algerna kommer från dessa källor, kan biomassa från dessa mikroorganismer användas som råmaterial för framställning av koldioxidneutrala bränslen. Detta kan t ex ske genom rötning för att tillverka biogas.

Alger och cyanobakterier odlas idag i stor skala för användning till djurfoder, kosttillskott, pigment och andra produkter. Intresse har också funnits under en längre tid för att utveckla algodling för bränsleframställning och detta intresse har vuxit med det ökade behovet av att hitta alternativ till fossila bränslen.

Val av organism och odlingsmetod

Odling av organismerna måste ske så energieffektivt som möjligt, och till lägsta möjliga kostnad, för att systemet ska kunna bli ekonomiskt gångbart. Detta innebär att odlingssystemen ska vara relativt enkla. Mikroalger kan odlas i grunda dammar, vilka kan vara öppna eller täckta (se vidare bilaga 1). Kylvattnet från kärnkraftverket ska användas till att värma upp dammarna, och en viss inbyggnad kan vara nödvändig för att utnyttja den extra värmen. Värmen kommer att bidra till ökad tillväxt och är en stor fördel för den här typen av odling i vårt klimat. Om temperaturen dessutom kan höjas ytterligare några grader, över den temperatur som kylvattnet håller, kan produktiviteten ökas ytterligare.

Att odla i ett öppet eller halvöppet system innebär att man inte kan hålla en monokultur utan stor energi- och kostnadsinsats för rening och kontroll. Detta ligger inte heller direkt i vårt intresse då målet är att producera så stor mängd fotosyntetisk biomassa som möjligt. För att få en hög tillväxt vore det bra att välja organismer som har de bästa förutsättningarna att växa under våra specifika förhållanden. Organismer som hämtas från den lokala miljön är därför att föredra, även om andra, välkaraktäriserade, stammar av mikroalger också kan testas.

Vid tillsats av extra näring i form av avloppsvatten bör man kunna uppnå god tillväxt av algerna, speciellt med hjälp av kylvattnet från kraftverket som värmekälla. Den extra värmen skulle möjliggöra odling under en förlängd del av året. Man kan också för vinterhalvåret ta nya prover av alger och prova att odla dessa: de bör då innehålla mer av de organismer som växer fortast vid lägre temperaturer och lägre ljusstillgång.

Näringsbehov

Mikroalger kan förväntas växa bra vid tillsats av avloppsvatten som näringstillskott (se bilaga 1). Odlingarna kan då också fungera för vattenrening. Näringsbehovet för algodling stämmer ganska väl med näringsinnehållet i avloppsvatten, och en hög reningsgrad skulle kunna uppnås. Alger är mer proteinrika än de flesta växter och har en stor förmåga att ta upp kväve ur vattnet. Anläggningar som använder mikroalger för detta ändamål existerar redan. Ett sådant system skulle också bidra till en anläggnings lönsamhet, eftersom en extra funktion utöver biomasproduktion skulle kunna fyllas av algodlingen.

Vid biogasproduktionen får man också en rötrest som delas upp i en våt och en fast fas. Den våta fasen skulle kunna återföras direkt som näring till algodlingen. Speciellt vid samrötning med andra substrat skulle denna återföring kunna täcka en relativt stor del av näringsbehovet för algodlingen (se beräkningar i bilaga 1 och 2).

Extra CO₂ som kan ledas in i kulturen från biogastillverkningen och/eller annan källa kommer också att ge bättre tillväxt. Behovet av koldioxid är en begränsande faktor för algodlingen. Enbart användning av koldioxid som finns i luften räcker inte för att uppnå maximal tillväxt av biomassa. Vid Forsmark finns ingen näraliggande källa som kan fylla behovet av koldioxidtillförsel, och ett återförande av koldioxid från biogasprocessen kan endast fylla en del av behovet (se bilaga 1 och 2). Därför måste man räkna med att koldioxid måste tillföras på något annat sätt, vilket innebär en förhöjd kostnad.

Produktivitet

Mikroalger har odlats i stor skala med produktivitet på upp till 50 g torrsvikt/m²/d, vilket motsvarar ca 180 ton/ha/år. Under ett helt år kommer dock den genomsnittliga produktiviteten att vara lägre. Produktiviteten under våra ljusförhållanden kan förväntas hamna på ett genomsnitt omkring 10 g/m²/dag, vilket motsvarar 36.5 ton/ha/år, under förutsättning att koldioxid, värme och näring finns i tillräcklig mängd (se bilaga 1).

Skörd

Att skörda mikroalger kompliceras av att cellerna är så små. Några metoder har dock utvecklats. Det enklaste är sedimentering, vilket innebär att algerna flyttas till en sedimentationsdamm och får sjunka till botten, varifrån de sedan kan skördas. Detta lämpar sig dock inte lika bra för alla algarter. En annan möjlig metod är att påskynda sedimentationen med hjälp av tillsats av vissa kemikalier som får algerna att flockas och sjunka snabbare. Man kan då också nå en högre koncentration av biomassan, vilket är en fördel för biogasprocessen (se bilaga 1).

Biogasproduktion

Allmänt om biogas

Vid rötning av organiskt material omvandlas en del av det organiska materialet till metan och koldioxid. Denna gasblandning brukar benämnas biogas. I denna blandning är metanet den molekyl som innehåller energi som människan kan utnyttja på ett effektivt vis, t.ex. som fordonsbränsle. För att kunna utnyttja metanet som fordonsbränsle måste koldioxiden avskiljas. Den avskiljda koldioxiden kan, beroende på teknikval, koncentreras och förvaras i behållare för att sedan användas, t.ex. som koldioxidkälla för algodling eller som kylmedel vid kyltransport.

Vid rötning av organiskt material kommer endast kol, väte och syre och lite svavel att avgå med biogasen. Alla andra ämnen, såsom kväve, fosfor, kalium och spårämnen kommer att stanna i rötvätskan. Sammansättningen av ämnen i rötvätskan kommer därmed att vara direkt avhängig sammansättningen på det material som rötas. Vid rötning av t.ex.

jordbruksprodukter finns stora möjligheter att använda rötresten som gödsel inom jordbruket och på så sätt återföra näringsämnen till odlingsmarken. Rötresten kan på samma sätt användas vid odling av andra organismer, såsom alger.

Vid återföring av rötrest till jordbruksmark är det ofta nödvändigt att separera partiklarna från vätskan för att uppnå bättre transportekonomi. I och med denna avvattning av rötresten kommer det ofrånkomligen att ske en separation av den totala mängden näringsämnen och den våta fasen kommer att innehålla bl.a. kväve och fosfor. Näringsämnena måste avlägsnas från vattnet innan det kan släppas ut i en recipient. Detta är förknippat med en kostnad. Vid en kombination av algodling och biogasproduktion är detta vatten istället en tillgång som kan förse algodlingen med lättillgängligt kväve, fosfor samt även vara en källa för spårämnen.

Användningen av biogas i Sverige ökar år för år. Den största delen används idag för produktion av kraftvärme men fler och fler stora aktörer inom transportbranschen har valt biogas som sitt framtida fordonsbränsle. Till exempel har länstrafikbolagen i både Uppland och Västmanland valt biogas som sitt framtida bränsle för sina bussflottor. Detta ställer krav på att biogasproduktionen ökar och att material som tidigare inte använts för biogasproduktion tas i användning. Till detta kommer substrat som idag inte finns utan som kan komma att odlas i framtiden, såsom alger.

Rötning av alger

Rötning av alger finns beskrivet i ett antal publikationer. Metanpotentialen varierar mellan 100 - 380 NmL CH₄/g VS och är främst beroende av vilken art och under vilka betingelser den odlas. Odling under kvävefattiga förhållanden gör att algen binder en större andel av sin energi som lipider vilket ökar metanpotentialen. Det är således mycket svårt att bedöma vilken metanpotential vald alg skulle ha i ett fullskaleförsök. I denna rapport har valts 250 NmL CH₄/g VS.

Förbehandlings, såsom värme, elektroporation, tryck, syra/bas m.fl., av alger kan öka metanutbytet avsevärd. Effekten kommer att vara specifik för var algart och odlingsregim varför det har ansetts omöjligt att göra en god uppskattning av effekten av eventuell förbehandling.

Förutsättningar för en biogasanläggning i närheten av Forsmark kärnkraftverk

I alla biogasprojekt finns det tre huvudsakliga aspekter att tänka på:

1. Efterfrågan och användning av gasen
2. Tillgången på substrat
3. Avsättning av rötresten.

Runt detta finns sen en mängd olika andra saker att tänka på vad gäller själva anläggningen.

Efterfrågan på biogas som fordonsbränsle kommer att öka i Uppland under de närmsta 10 åren. Främst är det en effekt av att Upplands Länstrafik (UL) efterfrågar 10 miljoner Nm³ metan till 2012 och 20 miljoner Nm³ till 2020. Vår bedömning är att även andra aktörer med stora fordonsflottor samt privatbilismen kommer att efterfråga mer biogas i och med att det byggs upp en infrastruktur för distribution. Med en högre produktion av biogas kommer efterfrågan på substrat för biogasproduktion att öka. Det gör att substrat som tidigare ratats kommer att övervägas. Vi kan därför anta att det kommer att finnas mer substrat som anses lämpliga i framtiden.

Med uppgradering av biogas till flytande fordonsgas (Liquid Bio Gas; LBG) förbättras möjligheterna att driva tyngre fordon med biogas avsevärt. Vi har i denna rapport utgått från det beräknade behovet av biogas för driften av regionbussarna i UL's depåer i Östhammar och Österbybruk, ca 1,5 miljoner metan Nm³/år.

Om utgångspunkten är att producera 1,5 miljoner Nm³ metan per år, vilket bedöms som en rimlig produktionsstorlek i relation till bränslebehovet i närliggande bussdepåer, och att odlade alger i närheten av Forsmarks kärnkraftverk ska utgöra substratet kan vi konstatera att med ett metanutbyte på 250 Nm³/ton VS och en årlig produktion på 33 ton VS/ha/år blir produktionen 8250 Nm³/ha/år. Detta skulle kräva 182 ha algodling, vilket vi inte anser vara realistiskt i nuläget. Därför har fokus lagts på att samröta alger med ett annat substrat.

Vid val av samrötningssubstrat finns det två huvudsakliga typer av substrat: torra substrat som kan transporteras längre sträckor och blötare substrat som produceras i närområdet. Utöver dessa egenskaper eftersträvas även en bra ämnessammansättning utifrån ett rötningssperspektiv. Det finns inga stora punktströmmar med organiskt avfall i området, t.ex. från industri eller kommunala reningsverk. I detta projekt har valts att samröta med ett substrat som kan finnas tillgängligt i närområdet, är lagringsbart och vars rötningsegenskaper det finns god kännedom om – vallgröda.

I en biogasanläggning rötas materialet i de flesta förekommande fallen vid 37 eller 55°C. I denna rapport har valts rötning vid 37°C. Vid våra breddgrader krävs således alltid att en del energi tillsätts processen i form av värme. Energiåtgången varierar beroende på process, storlek på rötkammare samt omgivande klimat men energi motsvarande ca 5 % av den producerade gasen behövs för den interna uppvärmningen. Spillvattnet från Forsmarks kärnkraftanläggning skulle kunna användas för att minska kostnaden för uppvärmningen, dock bedöms den kostnadsminskningen i sammanhanget vara liten då temperaturen på spillvattnet samvarierar med värmebehovet i anläggningen.

Uppgradering av biogas antas i detta fall ske med teknik som kan separera metan och koldioxid, där koldioxiden återförs till algodlingen som en kolkälla.

Den producerade rötresten avvattnas i en fast och flytande fas. Den flytande fasen återförs som näringskälla (N och P) till algodlingen och den fasta fasen återförs till jordbruket. Det finns i dagsläget inga stora flöden av avloppsvatten i närområdet som skulle kunna användas som en näringskälla för algodling, men detta skulle kunna göras möjligt i framtiden.

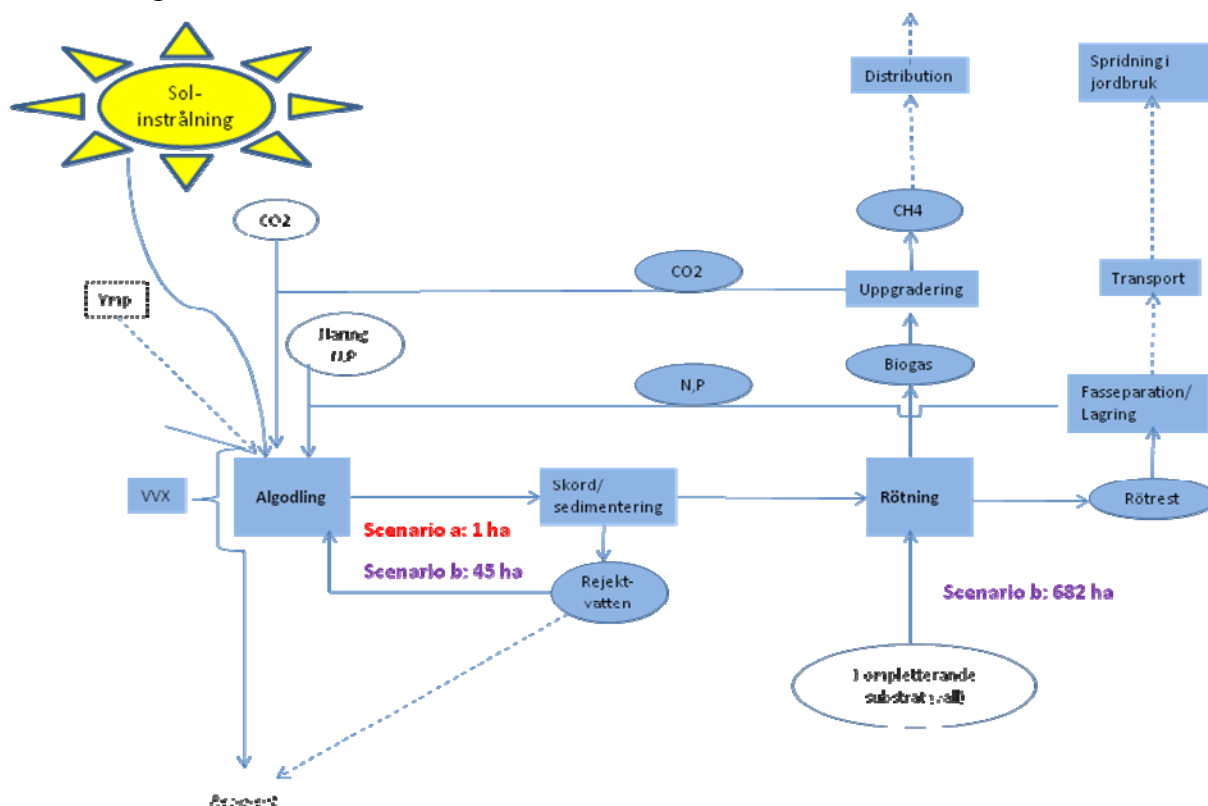
Scenarier för odling och rötning av alger vid Forsmark

De beräkningar som genomförts syftar till att bedöma rimligheten ur i första hand ett biologiskt/tekniskt perspektiv med avseende på koncentrationer, mass- och volymflöden, anläggningsstorlek samt producerad energi i form av biogas när odlade alger används för biogasproduktion. Beräkningarna har genomförts med utgångspunkt från data och information som tagits fram kring algodling och biogasproduktion samt antaganden kopplade till förutsättningarna vid Forsmarks kärnkraftverk.

Försörjning av koldioxid och näring till algodlingen är central både ur ett produktions- och ekonomiperspektiv (se ekonomidelen) och därför finns det en speciell anledning att beräkna hur stor del av koldioxid och näringsförsörjningen som kan tillgodoses internt inom alg-biogas systemet och hur mycket som måste tillföras med extern källa.

Två scenarier (Figur 1) har valts:

- Rötning av enbart alger i pilot/demonstrationsskala (1 ha algodling)
- Samrötning av alger och annat substrat för att nå en biogasproduktion motsvarande 1,5 miljoner Nm³ metan/år där 25 % av metangasen kommer från alger och 75 % från vallgröda.



Figur 1. Principbild för de två scenarierna. Scenario a) utgör en demonstrations/pilotanläggning och scenario b) utgör en produktionsanläggning.

Odling och rötning av alger i pilotskala

Algodling sker i 3 dammar som totalt uppgår till 1 ha med en total volym på 2500 m³. Medelproduktiviteten över året ansätts till 33 ton VS/ha/år vid temperaturer varierande från ca 16-30 °C över året, och den ljusinstrålning som sker vid Forsmark (se Bilaga 1). Skörden sker genom att algmassan koncentreras från 1 kg VS/m³ till 70 kg VS/m³ genom kemisk flockning och sedimentation. Sammansättningen av alger beräknas på enskilda element, dvs kol (C), kväve (N) och fosfor (P). Behovet av tillförsel av CO₂, N (i form av ammonium) och P (i form av fosfat) baseras på sammansättning samt bedömd effektivitet i upptag, vilket för CO₂ är 70 %, N 90 % och P 80 %.

Rötning sker i en totalomblandad rötkammare vid 37 °C med en volym på 26 m³. Totalt ska ca 470 m³ våt algbiomassa (VS-halt ca 7 %) rötas årligen. Baserat på en hydraulisk uppehållstid på 20 d blir den organiska belastningen 3,5 kg VS/m³/d, vilket är rimligt. Biogasens sammansättning bedöms vara 60 % metan och 40 % koldioxid, där metanutbytet är 0,25 Nm³/kg VS. Den årliga metanproduktionen skulle då uppgå till 8250 Nm³/år (dvs ca 80 MWh). Rötresten avvattnas med skruvpress så att en flytande fas kan återföras innehållande N och P. Massbalansberäkningarna visar att 12 % av CO₂-behovet kan tillföras via biogasens koldioxid samt att 43 % av N-behovet och 8 % av P-behovet kan tillföras via flytande rötrest.

I Bilaga 2, tabell A redovisas beräkningarna som baseras på ansatta nyckeltal för algodling. Beräkningarna anger huvudsakligen medelvärden per dag under ett produktionsår. I Bilaga 2, tabell B redovisas rötning av alger för att matcha dessa medelvärden.

Beräkningarna visar att det krävs extern tillförsel av CO₂, N och P för att inte begränsa algproduktionen. Avseende N och P kan avloppsvatten vara en sådan källa (se Bilaga 1). Enligt dessa beräkningar skulle avloppsvatten från ca 500 personekvivalenter kunna tillgodose behov för odling av 1 ha alger. Om förutsättningar för användning av avloppsvatten finns skulle rötresten i så fall kunna användas på åkermark. Avseende tillförsel av CO₂ skulle ur ett generellt perspektiv t.ex. rökgaser från kraftvärmeverk vara en möjlig källa, alternativt trycksatt CO₂ på gastuber.

Om produktionen av alger inte begränsas av temperatur och näringstillförsel kommer ljusinstrålning vara en avgörande faktor (se Bilaga 1). Detta leder till att produktiviteten varierar med ungefär en faktor 5 över året. Förutsättningar för en väl fungerande biogasprocess är att tillförsel av material sker utan större variationer. Därför krävs tillförsel av ytterligare substrat under perioder med låg produktivitet. Alternativet är att lagra algbiomassan för att jämna ut beskickning av rötkammare, men då krävs koncentrerings till VS-halter som möjliggör t.ex. ensilering. En sådan koncentrerings kan tekniskt ske med t.ex. centrifuger, men det kräver stora mängder energi och är kostsamt.

Odling och samrötning av alger och vall i produktionsskala

Algodling sker i 150 dammar som totalt uppgår till 45 ha med en total volym på 112 500 m³. Medelproduktiviteten över året, sammansättning, skörd och koncentrerings är i enlighet med det första scenariot. Totalt produceras 1485 ton VS/år, motsvarande 21 200 m³/år.

Vall skördas från 682 ha med en avkastning på 5 ton VS/ha/år (motsvarar normskörd i Uppsala län enligt Jordbruksverkets statistik). VS-koncentrationen ansätts till 31,5 % VS (315 kg VS/våta ton). Sammansättningen beräknas på enskilda element, dvs C, N och P. Totalt produceras 3409 ton VS/år, motsvarande 10 800 ton våtvikt/år.

Rötning sker i en totalomblandad rötkammare vid 37 °C med en volym på 2650 m³. Totalt ska ca 32 000 m³ (VS-halt ca 15 %) rötas årligen. Baserat på en hydraulisk uppehållstid på 30 d blir den organiska belastningen 5,1 kg VS/m³/d, vilket är högt, men rimligt i relation till

uppehållstiden. Biogasens sammansättning bedöms vara 60 % metan och 40 % koldioxid, där metanutbytet är 0,31 Nm³/kg VS (genomsnittligt metanutbyte för substratblandningen). Den årliga metanproduktionen skulle då uppgå till 1,5 miljoner Nm³/år (dvs ca 15 GWh).

Massbalansberäkningar visar att 50 % av CO₂-behovet för algodling kan erhållas antaget att biogasens CO₂ frånges och tillförs algodlingen. Rötresten avvattnas med skruvpress så att en våtfas kan återföras innehållande 80 % av N-behovet och 15 % av P-behovet för algodling.

I Bilaga 2, tabell C redovisas beräkningarna som baseras på ansatta nyckeltal för algodling (45 ha) motsvarande 25 % av producerad biometan. Beräkningarna anger huvudsakligen medelvärden per dag under ett produktionsår. I Bilaga 2, tabell D redovisas data för vallproduktion motsvarande 75 % av producerade biometan. I Bilaga 2, tabell E redovisas samrötning av alger och vall för produktion av 1,5 miljoner nm³ biometan.

Även om samrötning sker med vall enligt antagen substratblandning så kommer en ytterligare tillförsel av CO₂, N och P att behövas. I enlighet med beräkningarna för användning av avloppsvatten som N och P-källa krävs i storleksordningen ett reningsverk motsvarande 22 500 personekvivalenter. Den producerade rötresten uppgår oavvattnad till ca 29 000 m³ och i det fall rötresten skulle användas för spridning på åkermark skulle det krävas ca 1 600 ha motsvarande en N-giva på 100 kg/ha/år.

Avseende tillförsel av CO₂ skulle ungefär 2000 ton CO₂ behöva tillföras årligen från extern källa även om all CO₂ i biogasen användes.

Variationen i produktivitet av alger över året skulle kunna kompenseras med ensilerad vallgröda under perioderna med låg algproduktivitet för att erhålla en jämn beskickning av rötkammaren.

Miljöpåverkan

De få studier som finns avseende miljöpåverkan av ”alg-bioenergisystem” är baserade på att alger används för framställning av biodiesel med utgångspunkt i varmare klimatregioner än de som råder för Sverige. Bioenergisystem baserad på alger för biodiesel ger generellt högre miljöpåverkan än system baserade på land-biomassa. Däremot är landanvändning och eutrofieringspotentialen lägre i algsystem. Det framgår dock att utformning av skördesystem samt försörjning av koldioxid och näring är avgörande delar för miljöpåverkan. Om man kan lokalisera algodlingar till ställen där CO₂ från avgaser i förbränningsanläggningar och näring i avloppsvatten utnyttjas så reduceras miljöpåverkan påtagligt. Biodieselproduktion är energikrävande (el och värme) beroende på behov av hög koncentration (upp emot 20 % torrsubstanshalt) av algbiomassa, sönderdelning, extraktion och transformering av biooljor till biodiesel. Detta är inte nödvändigt vid rötning, vilket indikerar att system baserade på biogasframställning skulle kunna vara mer fördelaktigt. Biodieselproduktion ger dessutom en restprodukt i form av outnyttjat organiskt material. Att utnyttja detta överblivna material för t.ex. biogasproduktion ger än bättre miljöpåverkan. Produktion av 15 GWh biogas skulle överslagsmässigt ge en reduktion av 3000 – 4000 ton CO₂-ekvivalenter baserat på att biogasen ersätter diesel.

Ekonomi

Algodlingens ekonomi

Det är mycket svårt att göra en bedömning av kostnaderna för en algodling i stor skala. Dels finns endast litet publicerat material om ekonomin för denna typ av anläggningar överhuvudtaget, dels har ingen sådan anläggning byggts i Sverige. Underlaget är därför svagt. För att göra en bättre kalkyl skulle man behöva ta in kostnader från företag som skulle kunna bygga en anläggning. Här följer dock en enkel kalkyl baserad på en del av de data som finns tillgängliga.

Investeringskostnaden bedöms till 675 000 kr/ha, vilket för 45 ha skulle innebära en investering på 30 miljoner kr.

I tabell 1 anges den årliga kostnaden baserat på underlag från litteraturen. I tabell 2 har vi gjort antaganden utifrån förutsättningarna i denna studie.

Tabell 1. Den årliga kapital- och driftskostnaden för algodling baserad på litteratordata

	1 ha	45 ha	Kommentar
Kapitalkostnader	100 000 kr/år	4,5 Mkr/år	
Drift CO ₂	130 000 kr/år	6 Mkr/år	3 kr/kg CO ₂ ; 2000 ton CO ₂ /år
Drift (energi, underhåll, personal)	40 000 kr/år	1,8 Mkr/år	Exkl. CO ₂ och näring
Sum drift	170000 kr/år	7,8 Mkr/år	
Sum: Kapital + drift	270000 kr/år	12,3 Mkr/år	

Tabell 2. Den årliga kapital- och driftskostnaden för algodling baserad på egna bedömningar anpassade för denna studies förhållanden och ett koldioxidpris på 2 kr/kg CO₂

	1 ha	45 ha	Kommentar
Kapitalkostnader	50 000 kr /år	2,2 Mkr/år	4% ränta, 20 år, annuitet
Drift CO ₂	90 000 kr/år	4 Mkr/år	2 kr/kg CO ₂ ; 2000 ton CO ₂ /år
Drift (energi, underhåll, personal)	40 000 kr/år	1,8 Mkr/år	Exkl. CO ₂ och näring
Sum drift	130000	5,8 Mkr/år	
Sum: Kapital + drift	180000	8 Mkr/år	

Det är tydligt från dessa olika scenarion att koldioxid står för en stor del av driftkostnaden vid algodling om den ska köpas från de stora gasföretagen.

Biogasproduktionens ekonomi

Det finns idag inget generellt pris på vall för användning till biogasproduktion. Vall används i flera biogasanläggningar men priset är där förhandlat med de enskilda bönderna. Det som främst sätter priset på vall är hanteringskostnader, transportkostnader, alternativ markanvändning, och hur lantbrukaren värderar rötresten. En affärslösning är att lantbrukaren som levererar vallen också får rötresten levererad tillbaka för användning som biogödsel, samt att en mindre ersättning utgår till lantbrukaren. I denna kalkyl har det antagits att vallen har ett pris av 0 kr. Detta är med största säkerhet att underskatta anläggningens kostnad för substrat. Huruvida lantbrukaren vill ta emot biogödsel beror på vad som rötats, attityd till rötrest, i vilken form lantbrukaren idag sprider sin gödsel samt biogödselns egenskaper. På ett antal av

dessa punkter skiljer sig olika lantbrukare åt i olika hög grad. Idag finns det möjlighet att sälja rötresten om den är certifierad som biogödsel. Men generellt bör vi se rötresten som något som i bästa fall inte medför någon kostnad – om vi inte säkert kan säga annorlunda. Det substrat som vi idag kan beräkna ett pris på är algerna. Där har det i kalkylen antagits att biogasanläggningen köper algerna till ett pris baserat på kostnaderna som presenteras i tabell 2, dvs 8 Mkr per år.

Intäkt för gasen varierar beroende på köpare. Det finns en spotmarknad, men mycket av biogasen säljs på långa kontrakt till distributör eller slutkund. Inom projektet Biogas Uppland är priset satt till 10 kr/Nm³ levererat som flytande fordonsgas. Vi inom forskargruppen har därför valt att sätta gaspriset till 10 kr/Nm³.

Grovt räknat kan en anläggning som tar emot vallensilage och alger, har en rötkammarvolym på ca 3000 m³ samt uppgraderar gasen till flytande biogas kosta ca 55 Mkr, utan eventuella anslutningar av vatten, el, väg & avlopp. Utan en mer detaljerad anläggningsbeskrivning och plats för anläggning är det svårt att beräkna investeringskostnader mer precist. Därför får för denna anläggning göras ett överslag utifrån kända anläggningar och erfarenheter.

En översiktlig ekonomisk kalkyl för biogasanläggningen som producerar 1,5 MNm³ CH₄/år har gjorts utifrån följande antaganden:

- Försäljning av gas 10 kr/Nm³
- Investering 55 Mkr
- Låneränta 4 %
- Låneandel 70 %
- Egen kapitalinsats 30 %
- Avkastning egen kapitalinsats 12 %
- Avskrivningstid 10 år
- Driftskostnad 3 Mkr/år
- Kostnad rötresthantering 0 kr
- Kostnad alger: 8 Mkr/år
- Kostnad vall 0kr/år

Sammantaget blir intäkterna det som kommer från försäljning av gas, dvs **15 Mkr/år**.

Utgifterna är drift, avskrivning, ränta, kapitalavkastning samt kostnaden för de producerade algerna, sammantaget **17,3 Mkr**.

Totalt går anläggningen således med en **förlust på 2,3 Mkr/år** med dessa antaganden.

Om man kunde ha tillgång till en gratis CO₂-källa, ser man från tabell 2 att kostnaden för algodling i denna beräkning skulle blir hälften så hög, och anläggningen skulle då istället generera en vinst på 1.7 Mkr/år.

Det är värt att notera att kostnaden för vall samt för rötresthantering är satt till **0 kr**. Detta är gjort då det inte finns i denna undersökning någon djupare analys av vad som är möjligt för varken rötrest eller vall. Men det är mycket sannolikt att dessa kommer att medföra en kostnad, både vällen i sig, transporten av den samt eventuell avvattning av rötresten och transport av biogödseln.

Diskussion och slutsatser

Grunden för ett effektivt utnyttjande av spillvattnet från Forsmarks kärnkraftverk är en effektiv och tillförlitlig algodling. Det råder idag en stor osäkerhet kring algodling avseende grundläggande frågeställningar (organism, produktivitet, metanutbyten etc.) under de förutsättningar som råder vid Forsmark. Denna osäkerhet kring algodlingen medför att en biogasproduktion baserad på algodling också behäftas med osäkra förutsättningar. För att kunna göra bättre förutsägelser om produktivitet, förhållanden, organismval och kostnader med avseende på algodlingen behöver en pilotstudie genomföras i vilken en mindre anläggning drivs under minst ett år.

Solinstrålningen är den enskilt mest avgörande faktorn för produktiviteten, med den extra värme som kylvattnet kan tillföra och under förutsättning att närings- och koldioxidtillförsel är tillräcklig. Detta leder till en stor variation i produktion över året. Samrötning med andra substrat för utjämning av belastning framstår därför som en möjlighet. Under de delar av året då algproduktiviteten är låg skulle bristen på algbiomassa kunna kompenseras av andra substrat som lättare kan lagras under året, t.ex. vallgröda.

Vad gäller algernas näringsbehov kan man konstatera att avloppsvatten från hushåll vore en lämplig näringskälla, men i nuläget finns inte möjligheten att använda avloppsvatten vid Forsmark, varför näringen måste tillföras på något annat sätt. Rötresten från biogasproduktionen kan bidra med en del av näringsförsörjningen, särskilt vid samrötning med andra substrat eftersom det skapar större tillgång till näring. Även om avvattning av rötresten sker, där den våta fasen återförs till algodlingen, måste en avsättning av den fasta fasen finnas. Det finns möjligen åkermark för spridning av rötrest. Möjligheten att sprida rötrest på jordbruksmark är dock beroende av vilka substrat som går in i biogasprocessen. Andra användningsområden för rötresten kan vara anläggningsjord, gödsling av skogsmark, gödsling av grönytor, täckningsmaterial för deponier och till förbränning. Dessa kräver dock mycket stora ytor eller medför en kostnad.

Yttre tillförsel av CO₂ skulle också vara nödvändig för en anläggning vid Forsmark, eftersom återföring från biogasprocessen bara kan täcka en del av behovet och ingen annan direkt källa till koldioxid finns tillgänglig. Transport och inköp av koldioxid försämrar både klimateffekten och ekonomin för anläggningen. Den kan dock finnas tillgång till billig koldioxid i Uppland inom en snar framtid i och med den kraftigt ökade biogasproduktionen i länet.

Skörd av algbiomassa är en viktig teknisk funktion som det finns stora osäkerheter kring avseende effektivitet och uppnåbar koncentration. Möjligheten till effektiv skörd är en av de viktiga faktorerna för valet av organism att odla. Detta måste också testas med olika organismer i en pilotanläggning. Det är också värt att notera att en framtida odling av mikroalger med stor sannolikhet skulle förändras i sin artsammansättning med tiden (se ovan). Detta kan medföra att det ställs förändrade krav på skördemetod då olika arter skördas effektivt på olika sätt. En så generell och robust skördemetod som möjligt bör därför väljas.

Sammanfattningsvis är det i dagsläget inte mycket som pekar på att Forsmark är lämplig som lokal för en biogasanläggning. Utöver spillvärmens som kan tillföras för att förbättra förutsättningarna för algodling saknas idag en lättillgänglig CO₂-källa, avloppsvatten för näringstillförsel och kompletterande substrat i form av t.ex. organiskt avfall, vilket annars kan vara en viktig drivkraft i ett projekt. Vidare är kunskapsläget mycket begränsat avseende grundläggande biologiska och tekniska förutsättningar för effektiv algodling. Detta ger sammantaget ger en osäker ekonomisk kalkyl, som indikerar att verksamheten inte skulle vara lönsam.

En reflektion är att det skulle kunna vara bättre att förlägga en anläggning nära Östhammar som har beting på att hantera kommunens matavfall samt har ett reningsverk som producerar slam och kan ta emot rejektivatten. En biogasanläggning kan ta emot t.ex. utsorterat matavfall från hushåll, storkök, livsmedelsbutiker och restauranger. Det utgör dock en liten del av den totala metanproduktionen i denna rapports tänkta anläggning. Med det organiska avfallet från 10 000 personer kan ca 145 000 Nm³ CH₄/år produceras, för Östhammars tätort (4600 invånare) skulle det betyda ca 67 000 Nm³/år, för hela Östhammars kommun (21 000 invånare) skulle det innebära 304 500 Nm³/år. Även från avloppsslam kan metan utvinna, ca 9,7 Nm³ metan per personekvivalent. Med 5000 personekvivalenter skulle det således innebära ca 50 000 Nm³ metan/år.

Hur står sig beräkningarna om 10,20,30 år?

Avseende efterfrågan på biogas vet vi att UL kommer att vilja ha ännu mer biogas till 2020 och att närliggande läns länstrafik också väljer biogas för sin framtida regiontrafik. Vi vet också att det finns en efterfrågan på biogas från lokaltrafik i flera städer. Sammantaget kan vi anta att efterfrågan på biogas kommer att vara stor under lång tid framöver. En viktig faktor för utvecklingen är dock politiska beslut, där långsiktiga spelregler är viktiga. Om snabba förändringar sker tex. avseende bränsleskatter och gröna certifikat för elproduktion kommer förutsättningarna för lönsamhet och därmed villigheten att investera i biogasteknik att förändras.

Att med säkerhet spana flera decennier in i framtiden låter sig inte lätt göras. Forskning och utveckling inom biogasteknik kommer sannolikt att fortgå där t.ex. energi- och kostnadseffektiva tekniker för förbehandling av substrat, kontroll och styrning av processen, koncentrerat av rötresten och uppgradering av biogas utgör stora utmaningar. Vidare kommer kunskapsläget avseende biogasprocessens mikrobiologi med stor sannolikhet att förstärkas. Detta kommer att bidra till effektivare biogasprocesser och möjligheter att förbättra lönsamheten.

Bilaga 3:1 Algodling

Utformning av dammar

Racewaydammar (se fig 1) med ett djup av ca 25 cm, och förhållandet bredd:längd $2*(1:15)$. Detta är en vanlig design för dammar för kommersiell produktion av alger.

Man kan t ex tänka sig en damm om $2*10*150\text{ m}^2 = 3000\text{ m}^2$. Med 25 cm djup får man en volym på 750 m^3 . 1ha= 3,3 sådana dammar, med en total volym på 2500 m^3 .

Omblandning sker med hjälp av paddelhjul. Flödes hastigheten behöver inte vara hög, utan bara tillräcklig för att ge tillgång till näring och syreventilering för hela kulturen. En hastighet på ca 20 cm/s räcker. Energiåtgången har visats kunna vara så låg som 0.04 W/m^2 .

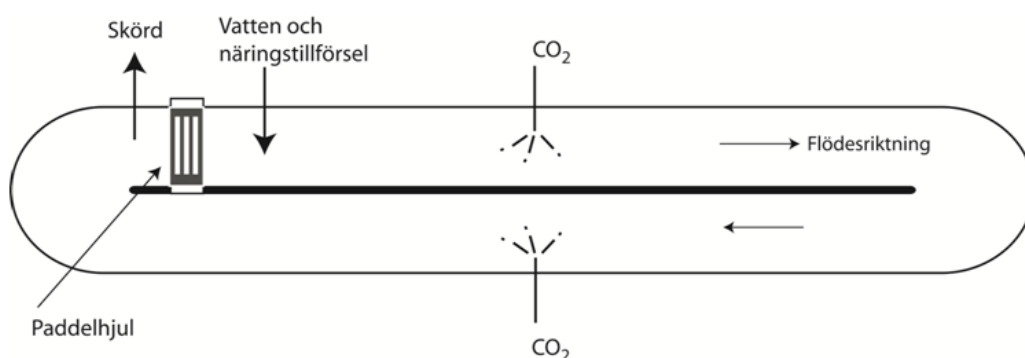


Fig A. Racewaydamm.

Uppvärmning av dammarna sker genom värmeväxling med kylvattnet. Vatten tillförs i samma takt som man skördar kulturen, se vidare nedan.

För att odla upp kulturer för ympning i dammarna behövs också en uppsättning mindre dammar. Man kan räkna med att ympvolymen behöver vara ca 10 % i varje steg, och varje steg i uppskalningen går alltså till en damm som är tio gånger så stor. Exempelvis 3 m^2 , 30 m^2 , 300 m^2 , 3000 m^2 .

Tillförsel av näring

Mikroalger har en ungefärlig sammansättning av de grundläggande ämnena C: 51%, H: 7%, O: 31%, N: 7%, P: 1% (av torrvikten). Det innebär att näring i form av dessa ämnen måste finnas tillgänglig för att algerna ska kunna växa. Med en tillväxt på $10\text{ g/m}^2/\text{dag}$ innebär detta, lite förenklat, att 5 g kol, 0,7 g kväve och 0,1 g fosfor måste tillföras per m^2 och dag. En del av detta kan komma från rötresten efter biogasframställning (se bilaga 2 tabell B och E), och resten kan komma från avloppsvatten. Kol bör tillföras i form av koldioxid (se vidare nedan).

Kväve och fosfor: Enligt data från Naturvårdsverket innehåller ett typiskt hushållsavloppsvatten i Sverige ca 70 mg/l N och 10 mg/l P. Massbalans-beräkningar (se bilaga 2, tabell A) ger att algodlingen behöver en tillförsel av N om ca 6kg/ha/d, och för P ca 1kg/ha/dag. Kompositionen av avloppsvatten matchar alltså algernas behov väl. Dessa siffror sammantagna ger att algodlingen behöver ett inflöde av avloppsvatten på $100\text{ m}^3/\text{ha}$ och dag, motsvarande avloppsvatten från 500 personer. Studier visar att man i en algodling kan uppnå > 90% borttagande av N innehållet, och >80% av total P i avloppsvatten.

Om man också tillför näring från rötresten efter biogasproduktionen, så kan enligt massbalans-beräkningar ca 3 kg N /ha/dag återföras till algodlingen (bilaga 2 tabell B), vilket lämnar 3 kg

från avloppsvatten, motsvarande ett tillflöde av 43 m³ avloppsvatten/ha/d. Vid samrötning med andra substrat kan den återförda delen från rötresten vara större (bilaga 2 tabell E).

Injektion av CO₂: CO₂ introduceras genom bubbling av kulturen. Gasen får bubbla genom kulturen i en gassump, ca 1,5 m djup, för att öka effektiviteten av CO₂-tillförseln.

Koncentrationen CO₂ i gasen man bubblar med kan vara hög, algerna kan tolerera koncentrationer på 10% eller mer. Upptagseffektiviteten av CO₂ bedöms vara ca 70%, och från massbalansberäkningar får man då att kolbehovet motsvaras av 240 kg CO₂/ha/d, om allt kol tillförs i form av koldioxid (bilaga 2 tabell A).

Produktivitet och variation över året

Eftersom kylvattnet höjer temperaturen blir ljusinfallet den mest avgörande faktorn för produktiviteten (under förutsättning att näringstillförseln inklusive CO₂ inte är begränsande). Inkommande solenergi varierar under året. En jämförelse mellan solinstrålningsdata för vårt område och produktivitet av algodlingar i publicerade studier ger att man kan vänta sig en medelproduktion på ca 10 g/m²/dag. Produktionen blir högre än så under de ljusaste månaderna april till augusti, och lägre till mycket låg under de mörkare och mörkaste (nov-jan) delarna av året.

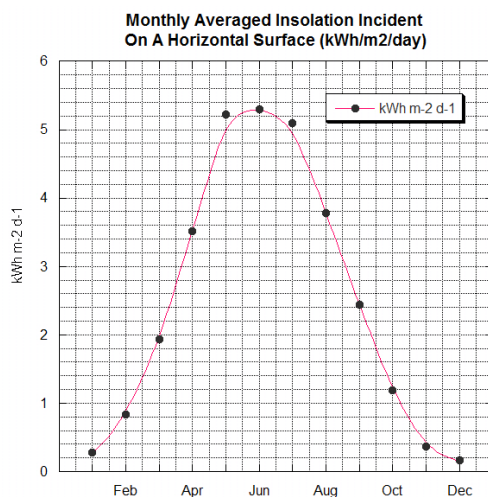


Fig B. Solinstrålningsdata för Björklinge, mätt under 10 år (data från Cirotech AB).

Medelinstrålning för helt år är 2,5 kWh/m²/d.

Dessa data kan också jämföras med teoretiska beräkningar av maximal produktion baserat på fotosyntetisk effektivitet (PE), energiinflöde (Ein) och energiinnehållet i algbiomassan (Ebm):

$$(Ein[\text{kJ/m}^2/\text{d}] * PE) / Ebm[\text{kJ/g}] = \text{Produktivitet} [\text{g/m}^2/\text{d}]$$

Med en fotosyntetisk effektivitet på ca 2%, ett energiinnehåll i biomassan på ca 20 kJ/g, och ett medelvärde av instrålad solenergi för året på 2,5 kWh/m²/d = 9 MJ så får man en produktivitet på ca 9 g/m²/dag. Under den ljusaste perioden (maj-juli) blir produktiviteten mer än dubbelt så hög, ca 20 g/m²/dag. Detta stämmer väl med de publicerade studier som nämnts ovan.

Produktiviteten ovan är baserad på torrsubstans. För alger kan man räkna med en VS/TS-kvot på ca 0,9 vilket ger en produktivitet i VS på 33 ton VS/ha/år.

Densitet av biomassa

Koncentrationen av alger i dammarna kommer att vara omkring 1 kg/m^3 . För att uppnå en produktivitet på 36,5 ton/ha/år behövs då en total flödesvolym om $100\text{ m}^3/\text{ha/d}$. Detta matchar väl det beräknade behovet av inflöde av avloppsvatten, se ovan, och ger att 0,1 ton/ha/dag ska skördas. Detta kan göras kontinuerligt (dagligen), eller mer sällan (med några dagars mellanrum). Fördelen med kontinuerlig skörd är att man kan få en högre produktivitet. Fördelen med ett system där man skördar mer sällan skulle vara att man får en högre densitet biomassa vilket gör skörden mer effektiv.

Utformning av skörd

Sedimentation i djupare skördedammar kan ge en koncentration av TS/vol på upp till 3%, men tar lång tid och är osäkert om det fungerar för alla alger. Vissa alger sedimenterar inte alls, andra flockas och sjunker snabbt. Autoflockning sker i respons på förhöjt pH beroende på konsumtion av CO_2 i skördedammen; tendensen att detta ska ske varierar beroende på art och måste testas.

Flockning med hjälp av tillsats av kemikalier kan ge effektiv skörd av upp till 90% av biomassan med en koncentration på upp till 7%, men medför kostnader.

Kommersiella algodlingar idag använder ofta centrifugering som en skördemetod, men det rör sig då om mindre volymer för tillverkning av dyrbara produkter, inte som i vårt fall för ren produktion av biomassa. Energiåtgång och kostnad för centrifugering blir hög.

Bilaga 3:2. Odling och rötning av alger

Tabell A. Antaganden och beräkningar av algproduktion i pilotskala (1 ha)

Algproduktion (1 ha)			Kommentar
Temperatur	16	°C	Genomsnittstemperatur på spillvatten
Produktivitet (torrsubstans)	10	g TS/m ² /d	Genomsnitt över året, varierar med faktor 5 beroende på solinstrålning
Produktivitet (organisk substans)	9	g VS/m ² /d	Andel VS av TS = 90 %
Produktivitet (organisk substans)	90,4	kg VS/ha/d	
Produktivitet (organisk substans)	33	ton VS/ha/år	36,5 ton TS/ha/år
Koncentration i damm	1	kg VS/m ³ vatten	
Volymflöde för att nå 33 ton VS/ha/år	33000	m ³ vatten/ha/år	
Dammens volym	2500	m ³ /ha	
Dammens yta	1	ha	
Antal dammar (enheter)	3		
Genomsnittlig uppehållstid i damm	28	d	
Koncentration efter sedimentation	70	kg VS/m ³	Kemflockning med t.ex. osläck kalk, aluminium sulfat, chitosan etc.
Flöde till rötning (7 % VS)	471	m ³ /ha/år	
Flöde till rötning (7 % VS)	1,29	m ³ /ha/d	
Sammansättning alger:			
C	51,3	% av VS	Medelvärde från litteratur
N	6,9	% av VS	Medelvärde från litteratur
P	1	% av VS	Medelvärde från litteratur
C/N	7,4		
C/P	53,8		
N/P	7,3		
Behov av C, N och P för algväxt	46,34	kg C/ha/d	
	6,26	kg N/ha/d	
	0,86	kg P/ha/d	
Tillförsel av C, N, P vid algodling	242,8	kg CO ₂ /ha/d	70% effektivitet
	6,95	kg NH ₄ -N/ha/d	90% effektivitet
	1,08	kg PO ₄ -P/ha/d	80% effektivitet

Tabell B. Antaganden och beräkningar för biogasproduktion i pilotskala från 1 ha algodling

Rötning av alger baserat på 1 ha				Kommentar
Koncentration IN	VS	70	kg VS/m ³	
	C	35,9	kg C/m ³	
	N	4,84	kg N/m ³	
	P	0,67	kg P/m ³	
Volymflöde IN		1,29	m ³ /d	
Massflöde IN	VS	90,4	kg VS/d	
	C	46,3	kg C/d	
	N	6,26	kg N/d	
	P	0,86	kg P/d	
Temp rötkammare		37	°C	
HRTin		20	d	Bedömd
RK volym		25,8	m ³	
OLR		3,5	kg VS/m ³ r/d	Rimlig belastning
Gassammansättning	CH ₄	60	%	Bedömd
Gassammansättning	CO ₂	40	%	Bedömd
Metanutbyte	CH ₄	0,25	Nm ³ /kg VS	
Metanflöde	CH ₄	22,6	Nm ³ /d	
Metanflöde	CH ₄	8250	Nm ³ /år	ca 80 MWh
Massflöde UT	CO ₂	29,5	kg CO ₂ /d	Jämför med behov: 242,8 kg CO ₂ /d, dvs 12% av behovet
VS-reduktion	VS	50,4	%	
Koncentration UT	VS	36	kg VS/m ³	
	C	21,1	kg C/m ³	
	N	5,02	kg N/m ³	
	P	0,69	kg P/m ³	
	NH ₄ -N	2,51	kg NH ₄ -N/m ³	Rimlig
	PO ₄ -P	0,07	kg PO ₄ -P/m ³	Bedömd
Volymflöde UT		1,25	m ³ /d	
Massflöde UT	VS	44,8	kg VS/d	
	C	26,2	kg C/d	
	N	6,26	kg N/d	
	P	0,86	kg P/d	
	NH ₄ -N	3,08	kg NH ₄ -N/d	
	PO ₄ -P	0,09	kg PO ₄ -P/d	
Våtfas efter fassseparation med skruvpress	NH ₄ -N	2,97	kg NH ₄ -N/d	Jämför med behov: 6,95 kg NH ₄ -N/d, dvs 43% av behovet
	PO ₄ -P	0,08	kg PO ₄ -P/d	Jämför med behov: 1,08 kg PO ₄ -P/d, dvs 8% av behovet

Tabell C. Antaganden och beräkningar algproduktion i produktionsskala (45 ha)

Algproduktion (45 ha)			Kommentar
Temperatur	16	°C	Genomsnittstemperatur på spillvatten
Produktivitet (torrsubstans)	10	g TS/m ² /d	Genomsnitt över året, varierar med faktor 5 beroende på solinstrålning
Produktivitet (organisk substans)	9	g VS/m ² /d	Andel VS av TS = 90 %
Produktivitet (organisk substans)	90,4	kg VS/ha/d	
Produktivitet (organisk substans)	1485	ton VS/år	33 ton VS/ha/år
Koncentration i damm	1	kg VS/m ³ vatten	
Volymflöde för att nå 33 ton VS/ha/år	1485000	m ³ vatten/år	
Dammens volym	112500	m ³	
Dammens yta	45	ha	
Antal dammar (enheter)	150		
Genomsnittlig uppehållstid i damm	28	d	
Koncentration efter sedimentation	70	kg VS/m ³	Kemflockning med t.ex. osläck kalk, aluminium sulfat, chitosan etc
Flöde till rötning (7 % VS)	21214	m ³ /år	
Flöde till rötning (7 % VS)	58	m ³ /d	
Sammansättning alger:			
C	51,3	% av VS	Medelvärde från litteratur
N	6,9	% av VS	Medelvärde från litteratur
P	1	% av VS	Medelvärde från litteratur
C/N	7,4		
C/P	53,8		
N/P	7,3		
Behov av C, N och P för algväxt	2085	kg C/d	
	282	kg N/d	
	39	kg P/d	
Tillförsel av C, N, P vid algodling	10924	kg CO ₂ /d	70% effektivitet
	313	kg NH ₄ -N/d	90% effektivitet
	48	kg PO ₄ -P/d	80% effektivitet

Tabell D. Antaganden och produktion av vall (682 ha) för samrötning

Vallproduktion (682 ha)			Kommentar
Produktivitet (torrsubstans)	5,5	ton TS/ha/år	Normskörd enligt SJV
Produktivitet (organisk substans)	5	ton VS/ha/år	Andel VS av TS = 90%
Produktivitet (organisk substans)	3409	ton VS/år	Baserat på att det ska bidra med 75% av metanproduktionen
Odlingsareal	682	ha	
Koncentration efter sedimentation	315	kg VS/våta ton	
Flöde till rötning (31,5% VS)	10822	våta ton/år	
Flöde till rötning (31,5 % VS)	29,65	våta ton/d	
Flöde till rötning	9340	kg VS/d	
Sammansättning vall:			
C	45,8	% av VS	Medelvärde från litteratur
N	1,7	% av VS	Medelvärde från litteratur
P	0,4	% av VS	Medelvärde från litteratur
C/N	27		
C/P	114		
N/P	4,25		
Tillförsel av C, N och P från vall vid rötning	4278	kg C/d	
	159	kg N/d	
	37,4	kg P/d	

Tabell E. Antaganden och beräkningar för samrötning av alger och vall i produktionsskala

Samrötning av alger (45 ha) och vall (682 ha)				Kommentar
Koncentration IN	VS	153	kg VS/m ³	Ca 17 % TS in, fungerar med excenterskruvpump
	C	72	kg C/m ³	
	N	5,0	kg N/m ³	
	P	0,87	kg P/m ³	
Volymflöde IN		87,8	m ³ /d	
Massflöde IN	VS	13408	kg VS/d	
	C	6363	kg C/d	
	N	440	kg N/d	
	P	76	kg P/d	
Temp röt-kammare		37	°C	
HRTin		30	d	Bedömd för anpassning av OLR
RK volym		2650	m ³	
OLR (organisk belastning)		5,1	kg VS/m ³ r/d	Hög belastning
Gassammansättning	CH ₄	60	%	Bedömd
Gassammansättning	CO ₂	40	%	Bedömd
Metanutbyte	CH ₄	0,31	nm ³ /kg VS	Genomsnitt för substratblandning
Metanflöde	CH ₄	4157	nm ³ /d	
Metanflöde	CH ₄	1517000	nm ³ /år	ca 15 GWh/år
Massflöde UT	CO ₂	5431	kg CO ₂ /d	Jämför med behov: 10924 kg CO ₂ /d, dvs 50% av behovet
VS-reduktion	VS	62	%	
Koncentration UT	VS	63	kg VS/m ³	
	C	33,6	kg C/m ³	
	N	5,55	kg N/m ³	
	P	0,96	kg P/m ³	
	NH ₄ -N	3,3	kg NH ₄ -N/m ³	Rimlig för mesofil process
	PO ₄ -P	0,10	kg PO ₄ -P/m ³	Bedömd
Volymflöde UT		79,4	m ³ /d	
Massflöde UT	VS	5026	kg VS/d	
	C	2667	kg C/d	
	N	440	kg N/d	
	P	76	kg P/d	
	NH ₄ -N	264	kg NH ₄ -N/d	
	PO ₄ -P	7,6	kg PO ₄ -P/d	
Våtfas efter fassetparation med skruvpress	NH ₄ -N	251	kg NH ₄ -N/d	Jämför med behov: 313 kg NH ₄ -N/d, dvs 80% av behovet
	PO ₄ -P	7,2	kg PO ₄ -P/d	Jämför med behov: 48 kg PO ₄ -P/d, dvs 15% av behovet

Rapporten presenterar den av länsstyrelsen genomförda förstudien om utnyttjandet av Forsmarks spillvärmevatten som genomfördes 2010/2011. Förstudien har utförts med medel från EU:s strukturfond i östra Mellansverige (ERUF) samt med medel från Östhammars kommun, Regionförbundet och Länsstyrelsen.

Användningen av spillvärmevattnet bör ske i närområdet runt kärnkraftsverket och det noteras i rapporten att Forsmark kommer att vara ett expansivt område för lång tid framåt med åtföljande behov av markresurser för etablering av service- och supportföretag. Ett industriområde i Forsmarks närhet kan med fördel använda värmen från spillvattnet i form av fjärrvärme och en utbyggnad av fjärrvärme till ett framtida industriområde skulle därför vara fullt möjlig. Slutrapporten visar också på samordningsvinster som kan erhållas med annan infrastruktur som redan är planerad för området.

MEDDELANDESERIEN 2011

1. Inventering av skalbaggar och spindlar i 11 rikkärr (*Naturmiljöenheten*)
2. Inventering av cinnoberbagge och andra asplevande skalbaggar i Uppsala län och Norrtälje kommun 2006-2008 (*Naturmiljöenheten*)
3. Några sällsynta kryptogamer vid Nedre Dalälven och i Uppland 2007-2009 (*Naturmiljöenheten*)
4. Integration i den ideella sektorn - goda exempel och förutsättningar för samverkan i Uppsala län (*Samhällsbyggnadsenheten*)
5. Inventering av småsvalting (*Alisma wahlenbergii*) 2005-2010 (*Naturmiljöenheten*)
6. Inventering av lind kring Länna 2007 (*Naturmiljöenheten*)
7. Inventering av älvängslöpare (*Platynus longiventris*) i Dalarnas-, Västmanlands- och Uppsala län 2008 (*Naturmiljöenheten*)
8. Vindkraft i Tierp, Östhammar och Älvkarleby kommuner, Uppsala län (*Samhällsbyggnadsenheten*)
9. Kiselalger i vattendrag i Norra Östersjöns vattendistrikt 2010 (*Naturmiljöenheten*)
10. Planeringsunderlag för anläggning och restaurering av våtmarker i odlingslandskapet i Uppsala län (*Naturmiljöenheten*)
11. En rapport inom klimatanapssningsområdet (*Enheten för samhällsskydd och beredskap*)
12. Utnyttjande av Forsmarks spillvärmevatten (*Samhällsbyggnadsenheten*)



LÄNSSTYRELSEN
UPPSALA LÄN

POSTADRESS 751 86 Uppsala GATUADRESS Hamnesplanaden 3

TEL 018-19 50 00 (vxl) FAX 018-19 52 01

E-POST uppsala@lansstyrelsen.se WEBBPLATS www.lansstyrelsen.se/uppsala