

Förnybara energikällor i praktiken



Förord

I forskarvärlden råder i stort enighet om att det finns stora risker för vårt klimat förknippade med växthuseffekten och utsläppen av främst koldioxid. Ett viktigt område för att nå de olika klimatmål som satts upp på nationell och internationell nivå är att energiproduktionen från förnybara energikällor måste öka. De svenska fastighetsbestånden erbjuder många möjligheter till just produktion av förnybar energi i form av tak- och väggytor för solenergi, lämplig placering för vindkraftproduktion samt tillgång till värme i form av bergvärme, jordvärme, frånluftsvärme, spillvattenvärme m.m. som kan utvinnas med olika värmepannor. Vidare produceras en stor mängd energi i fastigheterna med konventionella värmepannor med fossila bränslen vilka kan ersättas med olika sorters biobränsle eller fjärrvärme.

Den här förstudien har genomförts med bidrag från SBUF, projektnummer 12131, och tillsammans med Uppsala kommun, Skanska och Uppsala Hem för att sammanställa kunskapsläget, en s.k. State of Art, av de tillgängliga tekniker som finns för produktion av förnybar energi i eller på byggnader i tätortsmiljö. Arbetet ska vara till nytta för allmänheten och olika aktörer inom byggbranschen för att ge kunskaper om vilka tekniker som finns för produktion av förnybar energi i tätortsmiljö samt deras ekonomiska lönsamhet i ett livscykelperspektiv (LCC).

I förstudiens exempelprojekt, Bostäder vid Resecentrum i Uppsala, har särskild fokus lagts på utvärderingen av olika typer av solenergi, främst solceller, för att visa på möjligheterna att knyta ihop praktisk tillämpning med det världsledande arbete inom solcellsforskningen som bedrivs vid Uppsala Universitet.

Uppsala, 26 juni 2009

Cecilia Åkerblom

Ramböll Sverige AB
Division Projektledning

David Lindgren

Ramböll Sverige AB
Division Projektledning

Innehållsförteckning

Sammanfattning	6
Inledning	7
Syfte	8
Avgränsningar	8
Solenergi	9
Allmänt	9
Tekniker på marknaden	9
Solfångare	9
Solceller	13
Estetik	15
Drift- och underhåll	16
Morgondagens tekniker och produkter	17
Vindkraft	18
Allmänt	18
Tekniker på marknaden	19
Estetik	20
Drift och underhåll	20
Morgondagens tekniker/produkter	21
Biobränslen	21
Allmänt	21
Tekniker på marknaden	21
Estetik	23
Drift och underhåll	23
Morgondagens tekniker/produkter	23
Metod	25
Antaganden	26
Resultat	28
Analys	31
Slutsatser	33
Litteraturförteckning	35

Bilaga 1: *Bostäder vid Resecentrum i Uppsala*

Sammanfattning

I den här studien har undersökts vilka tillgängliga tekniker det finns för att producera förnybar energi i eller på byggnader belägna i tätortsmiljö samt att göra en livscykelkostnadsanalys (LCC) för olika lösningar.

Resultatet av studien visar att det finns goda möjligheter att utnyttja solenergi, vindkraft och biobränsle (pellets) för energiproduktion. Solenergilösningar i form av solfångarpaneler för värmeproduktion eller solcellspaneler för elproduktion är tekniskt sett förhållandevis lätta att montera på byggnader och orsakar inga störningar för omgivningen. Mindre vindkraftverk är också möjliga att placera på byggnaders tak och blir då väl synliga men kan orsaka störningar i form av stömljud och vibrationer vilket dock går att lösa tekniskt. Biobränsleanläggningar (pellets) påverkar inte byggnadens utseende och ger med dagens moderna rökgasrening mycket små utsläpp av luftföroreningar. Av dessa tre energislag blir utsläppen av växthusgaser vid produktion av utrustning och drift lägst för solenergi och vindkraft då de maskiner och fordon som används för avverkning och transport av pellets drivs med fossila bränslen.

Vid LCC-analysen har nuvärdeskostnaden för installation, underhåll och energiproduktionen under en trettioårsperiod beräknats. De olika energikällorna har tillgodosett hela eller delar av en fiktiv byggnads energibehov med avseende på värme- och elförbrukning. Lönsamheten har jämförts mot konventionell el och fjärrvärme ("konventionell energi") vilka har låga installationskostnader. Resultatet av analysen visar att med dagens storlek på bidrag för solenergianläggningar kan plana solfångare, luft-solfångare och kiselceller bli billigare än att välja att köpa konventionell el och fjärrvärme. Vertikalaxlade vindkraftverk (VAWT) kostar ungefär lika mycket som konventionell energi medan horisontalaxlade verk (HAWT) blir något dyrare. Solanläggningar med kombinerad värme- och elproduktion och biobränsleanläggningar (pellets) är fortfarande betydligt dyrare än konventionell energi.

Det pågår ett intensivt arbete med att förbättra teknikerna för sol-, vind- och biobränsleanläggningar så att de får högre verkningsgrader, blir driftsäkrare och billigare att producera. Inom solenergiområdet pågår arbete med s.k. tunnfilm och organiska solceller som genom sitt utseende kommer att kunna användas på andra sätt arkitektoniskt än dagens kiselceller. Inom vindkraftsområdet pågår arbete med att öka verkningsgraden hos vertikala vindkraftverk som är bättre på att använda energin i turbulenta vindar och är tystare än horisontella vindkraftverk. Inom biobränsleområdet pågår arbete främst med att förbättra bränslekvalitén, automatisera förvaring och matningsanordningar och göra anläggningarna kompaktare.

Inledning

I forskarvärlden råder i stort enighet om att det finns stora risker för vårt klimat förknippade med växthuseffekten och utsläppen av främst koldioxid. Därför har klimatmål och program för minskning av utsläppen av växthusgaser upprättats på global nivå (FNs klimatkonvention i Kyoto 1997), inom EU (Europeiska rådet mars 2007), nationellt inom Sverige (Nationellt klimatmål) och lokalt i många kommuner inklusive Uppsala kommun.

De olika programmen arbetar med en rad olika mekanismer och styrmedel för att minska utsläppen av växthusgaser från olika sektorer i samhället. Ett område som har identifierats som kritiskt för att nå de europeiska målen är att energiproduktionen från förnybara energikällor måste öka. Bygg- och fastighetsbranschen är en viktig sektor som i Sverige står för ca 40% av landets totala energiförbrukning (Boverket, 2009). Samtidigt erbjuder fastighetsbestånden ofta möjligheter till just produktion av förnybar energi i form av tak- och väggytor för solenergi och lämplig placering för vindkraftproduktion. Vidare produceras en stor mängd energi i fastigheterna med konventionella värmepannor med fossila bränslen vilka kan ersättas med olika sorters biobränsle eller fjärrvärme.

Enligt Energimyndigheten räknas en energikälla som en naturtillgång eller ett naturfenomen som kan omvandlas till nyttiga energiformer som ljus, rörelse och värme. Energikällorna delas ofta in i fossila och förnybara energikällor.

Fossila energikällor

Exempel på fossila energikällor är naturgas, råolja och stenkol. Dessa finns i begränsade, men mycket stora, lager och nybildas mycket långsamt. En annan energikälla som inte nybildas är uran som är råvaran för kärnbränsle.

Förnybara energikällor

Vissa flödande energikällor återbildas hela tiden genom solens inverkan på jorden och naturen och de kallas därför för förnybara. Vatten-, vind- och vågenergi är flödande energikällor, liksom tidvattenenergi.

Biomassa räknas som en solbaserad energikälla och är därmed också en förnybar energikälla, liksom solenergi förstås. Till de förnybara energikällorna räknas även geotermiska energikällor som har sitt ursprung i jordens inre.

Mellanting

Torv är en organisk jordart som bildas i fuktig och syrefattig miljö genom nedbrytning av döda växt- och djurdelar. Torv återbildas relativt långsamt och kan därför endast räknas som en förnybar energikälla om brytningen är lägre än tillväxten.

Syfte

Syftet med förstudien är att sammanställa kunskapsläget, en s.k. State of Art, av de tillgängliga tekniker som finns för produktion av förnybar energi i eller på byggnader i tätortsmiljö.

Utvärderingen av de olika förnybara energikällorna kommer främst att baseras på LCC d.v.s: energikostnader under produktens livslängd, investeringskostnader, underhållskostnader under dess livslängd men även driftssäkerhet och estetik.

Resultatet av förstudien kan användas som beslutsunderlag för vilken/vilka tekniker som kan vara tillämpbara på byggnader för bostads, kontors och handelsändamål i tätortsmiljö. I bilaga 1, *Bostäder vid Resecentrum i Uppsala*, redovisas ett exempel på hur de olika teknikerna kan utvärderas och tillämpas i projektet Bostäder vid Resecentrum som planeras att genomföras under perioden 2009-2013 i Uppsala.

Enligt Uppsala kommuns önskemål för markanvisningen för bostadsområdet ska studien också bidra till att Uppsala kan sättas på kartan angående användningen av solceller för att knyta an till den solcells forskning som bedrivs inom Uppsala Universitet och Uppsala kommuns aktiva arbete med att minska utsläppen av koldioxid. Detta har gjorts i förstudiens exempelprojekt, Bostäder vid Resecentrum i Uppsala.

Avgränsningar

Studien har avgränsats till att endast utvärdera förnybara energikällor enligt Energimyndighetens definition:

***Förnybar energikälla:** Energi som "förnyas", det vill säga cirkulerar och omvandlas i vårt ekologiska system. Exempel är vattenkraft, solenergi, vindenergi, biobränsle, vågenergi mm.*

Vidare har endast tekniker och metoder för produktion av förnybar energi som går att applicera i eller på byggnader lokaliserade i tätortsmiljö studerats. Det innebär att t.ex. storskalig energiproduktion från vind-, sol- och vågkraft inte utvärderats närmare.

Solenergi

Allmänt

I princip all förnybar energi förutom geoenergi som kan utvinnas från olika energikällor som vind, vattenkraft, biobränsle eller vågor kommer direkt eller indirekt från solen. Om solstrålningen används direkt kan den användas för att omvandla energi till värme i så kallade solfångaranläggningar eller elektricitet i så kallade solcellsanläggningar.

I Sverige används solens energi förhållandevis lite vilket till stor del beror på att behovet av energi inte sammanfaller med tillgången. Det vill säga, solen lyser som minst under vinterhalvåret, då vi som bäst behöver värme, varmvatten och el. Därför behöver solenergianläggningar kompletteras med andra energikällor för att klara en byggnads totala energibehov. Solenergi är dock en mycket miljövänlig energikälla som helt utan utsläpp av växthusgaser kan täcka större delen av en byggnads energibehov under vår, sommar och höst.

Enligt Svenska Solenergiföreningen, 2008 uppgår den teoretiska potentialen för solenergi i Sverige till:

- Solinstrålningen har momentant upp till 1000 W effekt per kvm och innehåller drygt 1 000 kWh energi per kvm och år i Sverige.
- Solfångare genererar momentant upp till 700 W värmeeffekt per kvm och från 200 till 700 kWh värme per kvm och år och beroende på typ av system.
- Solceller genererar momentant upp till 150 W eleffekt per kvm och från 50 till 150 kWh elenergi per kvm och år beroende på typ av system.

Det går i dagsläget att söka bidrag för solenergiinstallationer. För solfångare går det att söka 2,50 kr för varje kWh/år (engångsbidrag) alt. max 3 miljoner kr per projekt, gäller endast bostäder och bostadsanknutna lokaler (gäller 2009-2011). För solceller går det att söka bidrag för 60 % av installationskostnaden (gäller 2009-2012).

Tekniker på marknaden

Solfångare

En solfångare omvandlar solenergin till värme.

Genom solfångare cirkulerar vatten som värms upp av solen. Värmen överförs direkt eller via värmeväxlare till byggnadens värmesystem. En svårighet är att spara värmeöverskottet från den varma delen av året till vintern, då behovet är som störst. Detta kan lösas genom lagring av det varma vattnet i välisolerade tankar under jorden eller pumpas ner i brunn för bergvärme.

Det vanligaste är att solfångaren placeras på tak. Men de kan också placeras på en vägg där de vintertid håller sig frost- och snöfria och kan fånga upp vinterns lågt stående sol.

Fäster man solfångaren med gångjärn kan man ändra vinkeln efter årstiderna: vinter 80°, sommar 30° och vår/höst 60° relativt markplanet.

De olika typer av solfångare som finns är:

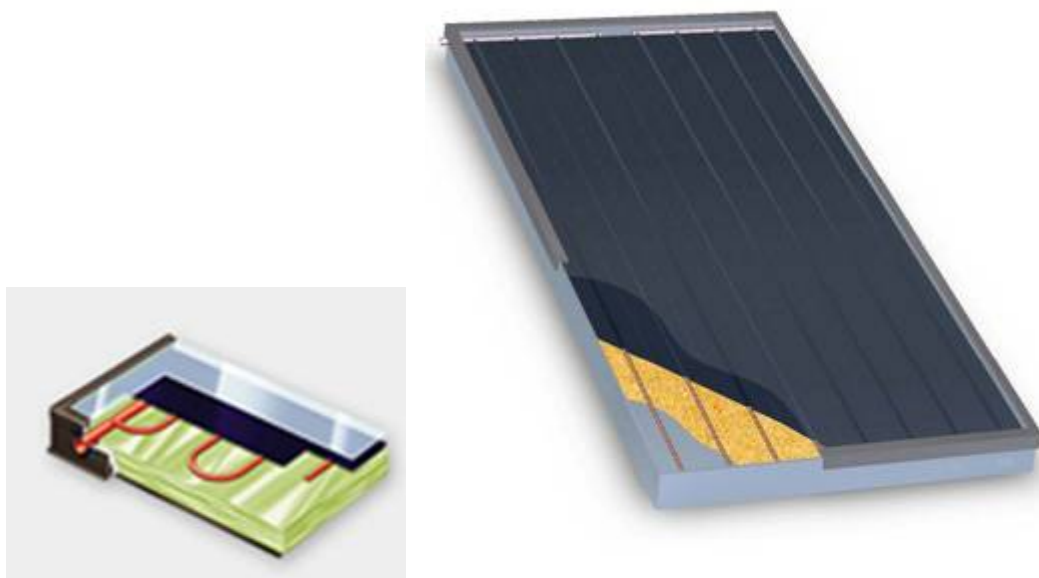
- plana solfångare
- vakuumsolfångare
- koncentrerande solfångare
- luftsolångare

Plana solfångare

De plana solfångarna är de vanligaste i Sverige och populariteten kommer ifrån att konstruktionen är enkel samt att den är driftsäker.

Solfångaren byggs vanligtvis upp av en ram gjord av aluminium. På en bottenskiva sätts isolering och ovanpå den absorberplåten med kopparrör. Man kan säga att absorberplåten är solfångarens hjärta eftersom det är här som solenergin omvandlas till värme. I absorberplåten finns kopparrör genom vilka den uppvärmda vätskan strömmar vidare till tanken. Hela paketet sitter i en isolerad låda med en skyddande glasskiva (Solportalen, 2009).

Fabrikstillverkade plana solfångare genererar ca 250-600 kWh/m²/år.



Figur 1: Schematiska bilder på plana solfångare.

Vakuumsolfångare

En vakuumsolfångare består av ett antal vakuumsolfångare. Vakuumsolfångarna är utformade som en termosflaska, dvs. det är två rör med vakuum mellan. Det yttre röret är transparent och det inre är själva absorberplåten. I centrum av det inre röret blir luften mycket varm

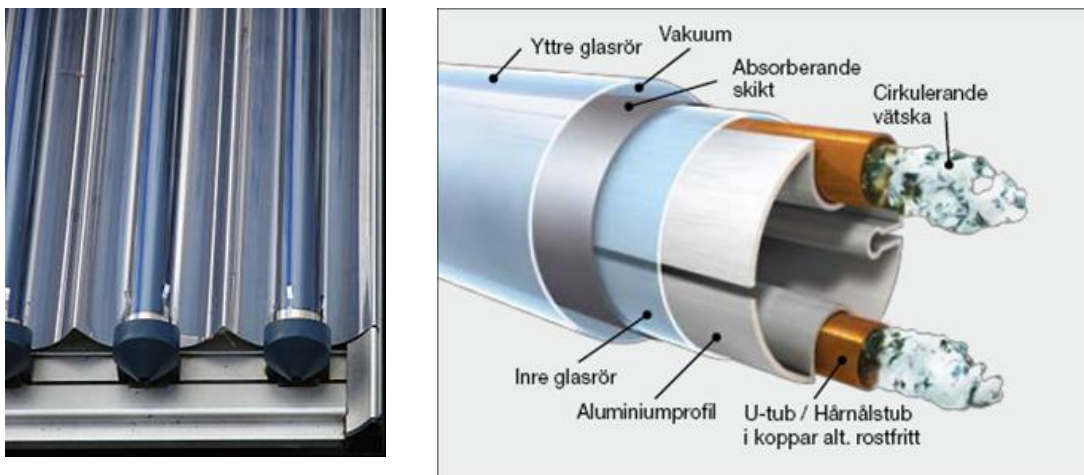
och det är härifrån energin utvinns. Det finns i huvudsak två sätt att transportera ut värmen på (Wikipedia, 2009);

1. U-rör: Ett kopparrör går ner i vakuumröret och vänder i ett U. Värmen tas den av solstrålningen uppvärmda absorbatoren.

2. Heat-Pipe: En kopparpistong innehållande en vätska förs ner i vakuumröret. Toppen på pistongen förs in i en värmeväxlare. När värmen stiger i vakuumröret förångas vätskan i pistongen och stiger uppåt tills den når värmeväxlaren. Då kyls den av och kondenseras och rinner tillbaka ner i pistongen för att åter hettas upp. Värmen förs vidare från värmeväxlaren till exempelvis en ackumulatortank.

Vakuumrörets stagnationstemperatur, dvs. när det får stå i fullt solsken och utan värmeavledning, blir mycket hög: 230-250° C. Ca 80 % av solinstrålningen mot röret kan ledas ut från det inre röret (Solar Teknik, 2009), och verkningsgraden blir alltså 80% (Northern Nature Energy, 2009).

Verkningsgraden hos alla typer av solfångare påverkas negativt av hur mycket lägre temperaturen är i omgivningen jämfört med solfångarens temperatur. Hur snabbt verkningsgraden avtar beror på solfångarens isolation. Enkla svarta slangar är dåligt isolerade med stora energiförluster vid kallt väder, en plan solfångare är bättre isolerad, och vakuumröret är hittills bäst i jämförelsen. Vakuumrörets goda isolationsförmåga innebär att årsverkningsgraden blir högre än för de andra typerna av solfångare (Wikipedia, 2009).



Figur 2: Panel av vakuum-solfångare med reflektor (t.v.) och vakuumrör i genomskärning (t.h.) (Bild: Euronom)

Priset för en vakuumrörsolfångare per kvadratmeter är betydligt högre än för de plana solfångarna. Men då vakuumrören effektivare och man behöver mindre total yta (Solportalen, 2009).

Vakuumsörrens fördelar och energiutbyte (Solportalen, 2009):

- Effektiv solfångare
- Flera monteringsalternativ
- Byggs upp av moduler, lätt att demontera
- Genererar ca 450-750 kWh/m²/år

Koncentrerade solfångare

Den koncentrerande solfångaren har en konkav spegel med ett absorbatorrör placerat i fokus. När solstrålarna koncentreras till en punkt får man således en hög arbetstemperatur (Solportalen, 2009).

Solfångarna har vanligtvis en relativt liten värmeupptagningsyta, vilket i sin tur betyder att man har en minimal värmeförlust vid höga temperaturer. Den bästa lösningen är om de koncentrerade solfångarna kan följa med solens bana under dagen. Koncentrerade solfångare kräver också direkt instrålning, ej diffust ljus. Kostnaderna för dessa system är dock höga och det kan också vara en orsak till att de koncentrerade solfångarna inte är så populära för privatpersoner (Solportalen, 2009).



Figur 3: Koncentrerad solfångare.

Luftsolofångare

En luftsolofångare används som namnet säger till att värma upp luft (Solportalen, 2009). Dessa solofångare ser till uppbyggnaden ut som en plan solofångare men innehåller färre komponenter. I en luftsolofångare kan antingen utomhus- eller inomhusluft värmas upp och ledas direkt in i byggnaden.

Den luftburna solofångaren passar utmärkt till ventilation av garage, villa, förråd, källare m.m. Konstruktionen är enkel och består i de enklaste fallen av en fläkt och solofångare

där luften värms upp. Fläkten drivs med en solcell vilket betyder att man får en solfångare utan behov av yttre elström.



Figur 4: Liten luftsol-fångare.

Solceller

I solceller omvandlas solljuset till el i form av likström. Solcellen består av en tunn skiva av ett s.k. halvledarmaterial där elektroner frigörs och skapar elektrisk ström. Processen pågår så länge solcellen är belyst men upphör när ljuset försvinner (Energimyndigheten, 2009).

Omvandlingen av solenergi till elektrisk energi i en solcell sker utan några rörliga delar, utan att något bränsle behövs och utan att ge några utsläpp. En solcellsanläggning för nätanslutning består i huvudsak av solcellsmoduler, kablage, växelriktare och dataövervakning. Växelriktarens funktion är att omvandla solcellens likström (DC) till växelström (AC) och samtidigt anpassa till rätt nätspänning (Svenska Solenergiföreningen, 2009).

De olika typer av solceller som finns är:

- kisel-solceller
- tunnfilmssolceller
- organiska solceller (finns ej ute på marknaden)

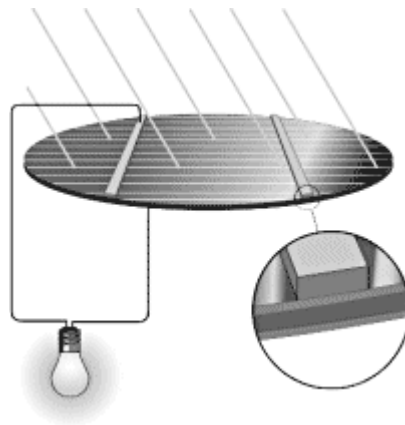
Det finns dessutom kombinerade solceller/solfångare.

Kisel-solceller

Den idag vanligaste typen av solcell, kisel-solcellen, tillverkas av en tunn skiva av halvledarmaterialet kisel. Kisel-skivorna är cirka 10x10 cm stora och bara några tiondels millimeter tjocka. Ett nät av tunna metallkontakter täcker ett par procent av cellens framsida, dvs. den sida av cellen som exponeras för solljus. Cellens baksida är helt täckt av ett metallskikt. När solljuset faller på cellen skapas en elektrisk spänning mellan cellens fram och baksida och elektrisk ström skapas om man kopplar en ledning mellan framsidans och baksidans metallkontakter (Energimyndigheten, 2009).

Den elektriska spänningen från en enda solcell är bara en dryg halv volt. Solceller säljs därför sällan en och en. I allmänhet är ungefär 36 celler seriekopplade i en väderskyddad och stadig enhet som kallas solcellsmodul. Modulens framsida utgörs av en skiva av härdat glas som skyddar cellerna mot slitage. Runt glasskivans kant sitter en ram som oftast är gjord av aluminium. Många tillverkare garanterar 25 års livslängd på modulerna.

Mängden el som produceras genom solceller beror på solljusets intensitet. Verkningsgraden hos en kisel-solcellsmodul ligger idag på runt 13-15 % och för motsvarande kisel-solceller ligger verkningsgraden på 16-17 %. Världsrekordet i verkningsgrad för kisel-solceller ligger dock på 25 %, men har endast uppnåtts i labmiljö (Charlotte Platzer-Björkman, 2009). En anläggning på 1 kW som är placerad rakt mot söder med 30-50 graders lutning producerar i Sverige ca 850 kWh per år och tar upp en yta av drygt 8 m² (SolEI, 2009).

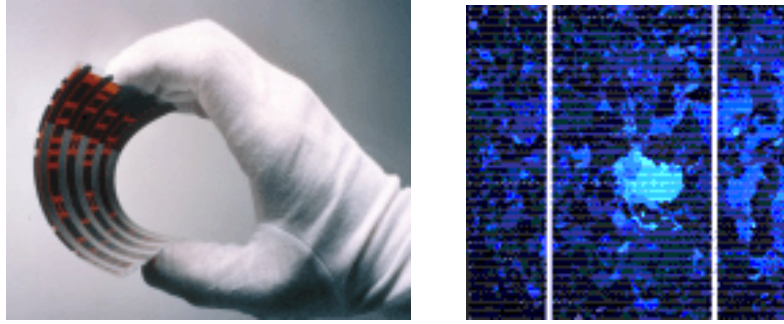


Figur 5: Schematisk bild av en solcell (Svenska Solenergiföreningen, 2009).

Den främsta anledningen till att man idag inte ser solceller som ett reellt alternativ till att ersätta olje- och kärnkraftsindustrin är de höga produktionskostnaderna vilka beror på bl.a. höga utvecklingskostnader och hög kostnad på råmaterial. Verkningsgraden i förhållande till produktionskostnaden är helt enkelt för låg (Adolfsson, Ekenstierna & Henriksson, 2009). Produktionskostnaden för kisel-solceller minskar tack vare ökad massproduktion (SolEI, 2009).

Tunnsolceller

Cellerna deponeras i form av tunna skikt på en bärare (substrat). Med t.ex. laserlitografi definieras celler som sedan seriekopplas i ett integrerat utförande direkt på substratet. Andra halvledare än kristallint kisel används, som CdTe, CuInSe₂ och amorf kisel.



Figur 7: Tunnfilmcell (0,001 mm) som i detta fall bärs upp av en böjlig folie visas till vänster. Till höger visas en solcell av poly-kristallint kisel (100x100x0,2 mm)
Källa: www.solcell.nu

Tunnfilmssolceller (CIGS, CdTe och amorft Si) finns redan på marknaden. T.ex. är CdTe stort i USA och största tillverkaren First Solar har nyligen annonserat tillverkningskostnad under 1 dollar/watt. Modulverkningsgraden för de kommersiella produkterna ligger på 7-11 % (Charlotte Platzer-Björkman, 2009). Det finns tveksamheter i andra länder mot användningen av kadmium. Eftersom kadmium är en farlig tungmetall är detta något man helst vill undvika. Skiktet i CIGS-celler är visserligen så tunt (~50 nm) att koncentrationen anses bli helt ofarligt om man t.ex. mal ner uttjänta CIGS-solceller, men kadmiumhanteringen kan bli ett problem i produktionsledet. Uppsala Universitet arbetar med att försöka ersätta CdS-skiktet med Cd-fria buffertskikt med bibehållen hög verkningsgrad. Det finns redan lagstiftning mot kadmium i nya produkter i vissa länder, t ex Nederländerna, och kommer sannolikt i flera. Dessutom är det tveksamt ur marknadssynpunkt att sälja "miljövänliga" solceller som innehåller miljöfarligt kadmium även om utsläppsriskerna är minimala.

Kombinerade solcell- och solfångarsystem

En typ av kombinerad solcell och solfångarsystem är Absolicons X10, som på samma gång genererar både värme och elektricitet i en och samma modul.

Systemet består av en reflektor som koncentrerar solenergin mot vätskekylda elproducerande solceller varvid värmen utvinns ur kylvätskan. Systemet producerar ungefär fem gånger mer värme än elektricitet. Systemet är utrustat med ett automatiskt solföljningssystem. Solföljningssystemet inkluderar ett program som automatiskt skyddar solcellerna mot överhettning eller storm genom att vid behov ställa enheten i horisontellt säkerhetsläge.

Det kombinerade solcell- och solfångarsystemet kan installeras på både tak och mark. Konstruktionen är optimerad för installationer större än 20m². X10:an saluförs i olika längder om: 6, 10, 14 och 18 meter. Dessa olika längder kan seriekopplas till installationer utan ytbegränsningar, dvs. allt mellan 20m² – 100 000 m² är möjliga installationer.

Estetik

Solceller och solfångare ger ett modernt intryck och passar därför oftast bäst in i nya och moderna stadsdelar och mindre bra i kulturhistoriska miljöer. Många människor anser att de solfångare som finns på marknaden idag inte är speciellt estetiskt tilltalande,

vilket kan medföra att alternativet med solfångare väljs bort (Kerstin Lundell i Husbyggaren, 2008). Här finns en god förbättringspotential. Det bör dock tilläggas att solfångarna normalt placeras utom synhåll på tak och liknande.

När det gäller solceller så finns det många exempel på byggnader där arkitekten har integrerat solceller med husfasaden, se bilderna 1-6 nedan. Det vanligaste är dock att placera solcellerna på byggnadens tak, i syfte att få ut mest effekt.



Bild 1: Solceller på balkongräcke.



Bild 2: Solceller integrerade på tak.



Bild 3: Solceller integrerade i fönsterglas.



Bild 4: Solceller integrerade i fasad.



Bild 5: Solceller som solavskärmning.



Bild 6: Solceller som dekorativt mönster på fasad.

Figur 6: Exempel på hur solceller kan användas vid byggnadens gestaltning.

Drift- och underhåll

Ett solfångarsystem består i princip av solfångare, cirkulationspump, varmvattenberedare eller ackumulatortank och styrutrustning. Tekniken är enkel med få rörliga delar och

kräver ingen omfattande tillsyn eller skötsel, men en årlig kontroll av värmebäraren i solfångaren rekommenderas. Den årliga driftskostnaden är i det närmaste försumbar, i storleksordningen 100 kr per år för elenergi till cirkulationspumpen i en typisk småhusanläggning som kan ge från 1 500 till 8 000 kWh solvärme per år (beroende på storlek och typ av solfångare) (Svenska Solenergiföreningen, 2009).

Solfångarna är tillverkade av material med hög beständighet (glas, aluminium, etc.) och har lång livslängd. Det går att få 10-15 års garanti på solfångare och det finns anläggningar som varit i drift sedan slutet av 1970-talet (Svenska Solenergiföreningen, 2009).

Erfarenheter från större solcellsanläggningar i Europa visar på små eller nästan obefintliga drift- och underhållskostnader. Det som vanligast orsakar kostnader är fel på växelriktare. De senaste åren har man valt att installera flera mindre växelriktare från att tidigare ha installerat en enda växelriktare i större anläggningar på 30 – 100 kW. Den totala investeringskostnaden har minskat och driftsäkerheten ökat. Användning av små växelriktare gör det även möjligt att ha ett par växelriktare i reserv för utbyte vid eventuellt haveri. Det förekommer också att dataövervakningssystemet kräver ett visst underhåll.

Livslängden för kristallina solcellsmoduler bedöms till 20-30 år. Vissa fabriker lämnar 20 års effektgaranti. Tunnsfilmceller är billigare men har fortfarande något kortare livslängd. Livslängden hos växelriktare beräknas normalt vara 15 år (Svenska Solenergiföreningen, 2009).

Morgondagens tekniker och produkter

DSC, dye-sensitized solar cells eller Grätzel-celler, är en typ av solceller där forskning också bedrivs vid Uppsala Universitet. Dessa har nått en verkningsgrad på ca 10 % i laboratorium och kan tillverkas på plastsubstrat, men är ej långtidsstabila utomhus.

Organiska solceller

Organiska solceller blir allt intressantare med tanke på energiutvinning och potential till låga produktionskostnader (Neugebauer, 2009). Istället för att använda en halvledare av metall används en polymer (en plast) tillsammans med ett kolmaterial (en fulleren). Då plasten och fullerenerna alltid ordnar sig i en viss riktning, frambringas en elektronvandring mot fullerenerna och elektrisk ström skapas i en organisk förening (Adolfsson, Ekenstierna & Henriksson, 2006).

De kiselceller som används idag kan konvertera inemot 16-17 % av energin i solljuset till elektrisk energi, i laboratorieförhållanden är siffran över 20 %. Motsvarande siffra för organiska solceller ligger idag kring 3,5 %. De organiska solcellerna blir först kommersiellt intressanta om man uppnår 5 % (Neugebauer, 2009). De organiska

solcellernas egenskaper gör att de jämfört med kiselceller lätt kan formas till tunna filmer som täcker stora ytor. Filmerna släpper igenom del ljus, vilket kunde göra dem attraktiva för en dubbel funktion på t.ex. fönsterglas: dels kunde de dämpa solljuset utifrån, dels ta emot solenergi.

Vindkraft

Allmänt

Vinden är en förnybar och ren energikälla som inte ger några utsläpp. Vind är luft som rör sig och då luft väger drygt ett kg per kubikmeter innehåller vind en stor mängd rörelseenergi. Vindkraften utnyttjar denna rörelseenergi som uppstår när luften sätts i rörelse av de temperatur- och tryckskillnader som skapas genom solinstrålningen mot jordklotet.

Den svenska riksdagen har satt planeringsmålet för vindkraften i landet till 10 terawattimmar år 2015 och regeringen har föreslagit att målet ska vara 30 TWh år 2020 i propositionen "En sammanhållen energi- och klimatpolitik" (mars 2009). Jämfört med de nuvarande 1,4 TWh är det en kraftig utbyggnad och huvuddelen av den kommer att ske i form av stora vindkraftverk på 1 MW och uppåt men en viss del kommer att produceras i mindre verk.

Vindkraftverk producerar normalt el vid vindhastigheter på mellan 4 och 25 meter per sekund. Vid svagare och starkare vind stoppas verket. Vindkraftverk kan vid optimala förutsättningar producera el under mer än 98 procent av årets timmar.

Miljönyttan med vindkraft är stor men det gäller att bygga kraftverken så att omgivningen påverkas så litet som möjligt med avseende på buller, visuell upplevelse och fysisk placering. I moderna vindkraftverk har maskinljuden från generator och eventuella kuggväxlar minimerats och det ljud som uppstår vid drift är svischandet från rotorbladspetsarna. Enligt dagens krav (Vindkraft Privatperson, 2008) får ljudet vid närmaste bostad inte överskrida 40 dB(A). 40 dB(A) är en låg nivå som är lägre än ljudnivån vid normalt tal. Nya och mindre verk kan ha så låga ljudeffektnivåer att de understiger 40dB(A) gränsen redan på 10-15 m avstånd från verket. De rörliga skuggorna från rotorbladen kan upplevas som störande, exempelvis inomhus i rum med fönster mot vindkraftverket. Det gäller framför allt mindre vindkraftverk med höga varvtal. För placeringar utanför tätorter godtar normalt de myndigheter som ger bygglov en teoretiskt beräknad skuggtid om 30 tim per år vilket anses motsvara en faktisk skuggning under åtta timmar per år. Tidigare problem med reflexer har försvunnit då dagens turbinblad tillverkas med en matt yta.

Avgörande för den effekt man kan få ut av ett vindkraftverk är rotorbladens svepyta och vindens hastighet (CVI Faktabladserie). Ett stort vindkraftverk kan ha en rotordiameter på 120 m med en svepyta på 11 000 kvm. När vindens hastighet fördubblas ökar vindens effekt åtta gånger. Det betyder att om vindens effekt fördubblas om vindhastigheten ökar från 5 till 6,3 m/s vilket innebär att de lokala vindförutsättningarna har stor betydelse för verkets årliga energiproduktion.

På lägre höjder påverkas vinden av markfriktionen och markens skrovlighet, markens s.k. råhet. Markfriktionen är låg över vatten, högre på öppna jordbrukslätter och är mycket hög över skog och i stadsmiljöer med många höga föremål. Förutom att vindens hastighet påverkas av markfriktionen skapas också turbulens och varierande vindriktningar.

Utifrån vindens årsmedelhastighet och topografin på olika platser i landet har Sverige översiktligt delats in i vindklasser utifrån tillgången på vindresurser. De lokala förutsättningarna behöver sedan utredas speciellt med lokala vindvärderingar (SMHI´s modellering) eller vindmätningar. De bästa områdena återfinns till havs, längs kusterna, i fjällvärlden och en bit in från kusten i västra Götalandsregionen och i Skåne. Vinden på 50 m höjd över hav innehåller 5200 kWh/kvm och år på en plats 4-5 km utanför kusten medan vinden ca en mil innanför kusten bara innehåller hälften så mycket energi på samma höjd. Genomförda studier visar att det är rimligt att anta att medelvindhastigheten 40 m över marken är ca 6-7 m/s i stora delar av landet belägna mer än 10 km från kusten (Wizelius m.fl. 2002). Teoretiskt kan ett horisontellt vindkraftverk med tre rotorblad fånga upp maximalt 59 % av vindens energi men i praktiken så är effektiviteten ca 40-45 %.

Tekniker på marknaden

För vindkraftsproduktion på eller i direkt närhet av byggnader är det framförallt aktuellt med mindre anläggningar med effekt på upp till 25-30 kW med en årsproduktion om 25 000 – 50 000 kWh.

Omvandlingen av vindens energi till el sker genom att kraft förs över från vindkraftverkens blad via en axel och en växellåda till en generator. De allra flesta vindkraftverk har en horisontellt placerad axel, s.k. horizontal axis wind turbines (HAWT) men det finns även vindkraftverk med en vertikal axel, s.k. vertical axis wind turbines (VAWT), se *figur 7*. HAWT-verken dominerar stort på marknaden idag.

HAWT-verken har idag normalt tre rotorblad då detta ger en balanserad konstruktion och verk som tål höga vindbelastningar utan att gå sönder. Konstruktioner med allt mellan 2 till 20 rotorblad har prövats men har visats sig inte ha en lika bra kombination av egenskaper som 3-bladiga konstruktioner. HAWT-verken ger god verkningsgrad men kräver relativt stabil vindriktning och orsakar en del ljud och störande skuggning då rotorbladen rör sig över en stor yta förhållandevis snabbt.

VAWT-verken används idag främst på platser där konventionella HAWT-verk inte är lämpliga men börjar marknadsföras kommersiellt för normal vindkraftsproduktion. De har normalt tre eller fler rotorblad som rör sig horisontellt mot markplanet. Den stora fördelen jämfört med HAWT-verk är att de kan utnyttja vindenergin oavsett vindriktning d.v.s. från turbulenta vindar vilket är vanligt i tätortsmiljö. Verkningsgraden på VAWT-verk är generellt något lägre än HAWT-verken. VAWT-verk är också tysta då rotorbladen

rör sig långsamt och den startvind som behövs för att energi ska genereras är lägre än för många HAWT-verk.



Figur 7: T.v. ett VAWT-vindkraftverk, t.h. ett litet HAWT-vindkraftverk (2,2 kW) för försörjning av en villa.

För en fastighetsägare är det, med dagens skatteregler, absolut lönsammast att dimensionera vindkraftverket så att all el som produceras används internt för att ersätta el som annars skulle köpas in. Skattemyndigheten har nyligen godkänt att elproduktionen kan levereras till den egna verksamheten via det allmänna elnätet utan att energiskatt tas ut och att ingen energiskatt tas ut om kostnaden för el till en hyresgäst faktureras som en del av lokalhyran. Vid försäljning i liten skala av el till elnätet tar nätägaren ut anslutningsavgifter, energiskatt tas ut och fastighetskatten höjs vilket ger låg lönsamhet för elproducenten.

Estetik

Vindkraftverk som är placerade i närheten av byggnader ger en tydlig miljöprofil till byggnaden men är också förhållandevis stora och de rörliga delarna drar blickarna till sig. För takplaceringar på höga huskroppar där vindkraftsmasten kan göras förhållandevis kort blir de troligen mindre synliga. Vindkraftverks aerodynamiska utformning och normalt vita färg upplever många människor idag som tilltalande och passar med modern arkitektur.

Drift och underhåll

Då vinden är gratis är driftskostnaden i form av bränsle noll kronor.

Förväntade underhållskostnader för nuvarande små vindkraftverk förväntas bli mycket låga. Schablonmässigt sätts kostnaden till 10 öre per producerad kWh. Den tekniska livslängden är ca 20 år.

Morgondagens tekniker/produkter

Globalt pågår mycket arbete hos olika aktörer med att utveckla och förbättra vindkraftstekniken vilket behövs för att kunna uppnå de politiska målen om kraftigt ökad energiförsörjning från vindkraft.

I Sverige forskas i första hand på storskalig vindkraftsteknik (Energimyndigheten, 2009) med inriktning på att underlätta etablering av vindkraftverk och sänka produktionskostnaderna för vindkraftsel. Det innebär bland annat att öka kunskapen om vilka miljöeffekter som vindkraftsparker medför. Ett annat exempel är forskning om hur elnätet ska byggas så att elproduktionen kan integreras med elnätet till låg kostnad och med högt ställda krav på elkvalitet och tillgänglighet. Syftet att forskningen ska undanröja hinder så att det går att bygga vindkraft där det blåser.

Den tekniska utvecklingen hos olika tillverkare syftar till att ta fram nya vindkraftverk som har högre verkningsgrad, bullrar mindre, som är billiga i produktion och vid installation, är driftsäkra och har låga underhållskostnader orsakade av slitage.

Biobränslen

Allmänt

Biobränslen är namnet på alla bränslen som hämtas från växtriket. Skogen och växterna är den förnybara energikälla som hittills lyckats bäst att konkurrera med fossila bränslen i Sverige (Energikunskap, 2009). Biobränslen svarar i dag för en femtedel av Sveriges energiförsörjning. Eftersom tillgången på biobränsle är så stor i Sverige kommer det antagligen att fortsätta vara en av de viktigare energikällorna i framtiden. Eftersom vi i Sverige har gott om skog använder vi mest trädbränslen för uppvärmning av byggnader.

Tekniker på marknaden

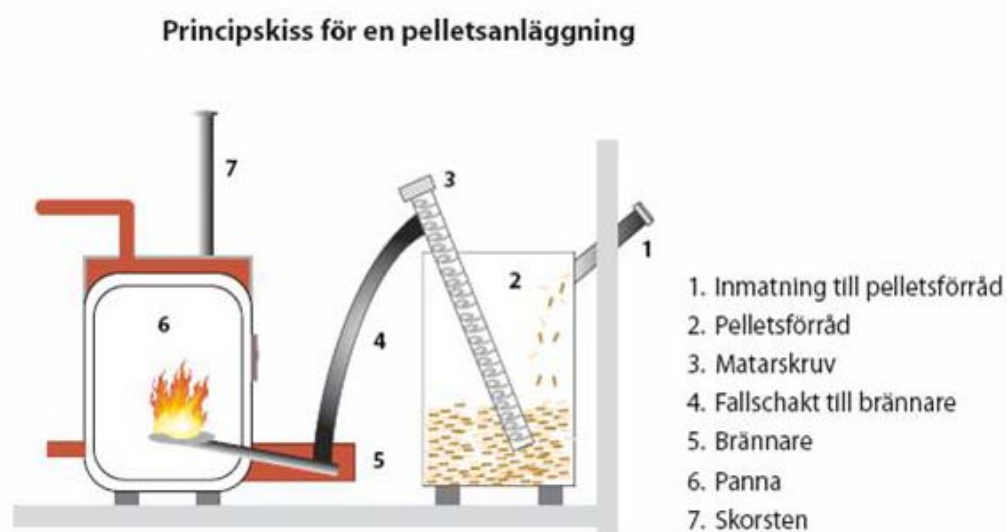
Den totala användningen av bioenergi i Sverige ökade med 79 procent från 1990 till 2007, från 67 TWh till 120 TWh. Det har under denna tid skett en snabb teknikutveckling och nya användningsområden har tillkommit, t.ex. etanol som drivmedel i bilar. Inom fastighetsbranschen har en tydlig ökning skett inom främst småhussektorn där oljepannan ersatts med biobränsle. Biobränsleanläggningar för större byggnader som flerbostadshus, kontorshus och skolor har också utvecklats. Många värmekraftverk som är anslutna till fjärrvärmenäten använder biobränslen för energiproduktionen.

Trots en snabb teknikutveckling för biobränsleanläggningar omfattande förbränningsteknik, bränsleförädling och framtagande av miljögodkända anläggningar med ackumulatortankar går det inte att komma ifrån att biobränsleanläggningar ger upphov till utsläpp av partiklar och flyktiga organiska ämnen (VOC). Sett till utsläpp av koldioxid blir utsläppen förhållandevis stora men nettotillförseln till atmosfären blir noll i ett hundraårsperspektiv. Utsläppen från en enskild biobränsleanläggning i tätortsmiljö torde generellt inte vara något problem för de närboende. Dock finns risk för olägenheter orsakade av luftutsläpp om många större fastigheter i ett område värms med biobränsle

även om moderna pannor används. Finns fjärrvärme i området är det oftast att föredra ur miljö- och energisynpunkt då verkningsgraden och reningen av rökgaserna kan göras betydligt effektivare än om motsvarande energi ska produceras i ett stort antal mindre anläggningar.

I Sverige finns det ett stort antal byggnader som idag värms med olja, olja och el eller enbart el och är belägna i områden där fjärrvärme saknas. En undersökning har visat att många av dessa är lämpliga att konvertera till biobränsle och att potentialen uppgår till en årlig energianvändning om 10 TWh (Lagergren & Hillström, 2009).

De bränsleslag som är aktuella för uppvärmning av fastigheter är främst träbränslen som ved, flis och pellets (Lagergren & Hillström, 2009). Värmeanläggningarna är uppbyggda på ett likartat sätt (se *figur 8* nedan) även om utformning av bränsleförråd, bränslematare och förbränningsteknik skiljer sig beroende på bränslets fysiska utseende och värmeegenskaper. Normalt ansluts pannan till en ackumulatortank som fungerar som ett värmemagasin vilket gör att förbränningen kan optimeras. En flispanna kan normalt tillgodose ca 80 % och en pelletspanna ca 95 % av en byggnads årliga energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten. Resten tillförs med en elpatron. Normalt används pellets för mindre anläggningar som villor och för flerbostadshus och lokaler (25 kW – 2 MW). Biobränsleanläggningar kan ofta med fördel kombineras med solfångare som kopplas till samma ackumulatortank som biobränslepannan.



Figur 8. Principskiss för en pelletsanläggning.

Vid fliseldning använder man sig av en så kallad stoker- eller förugnspanna. Vid fliseldning finns idag tre grundtekniker med över-, horisontal- och undermatade brännare. Praktiska svårigheter med biobränsleanläggningar i tätortsmiljö är plats och utrymme för bränsleleveranser. För flis och pellets behövs ungefär tre gånger så mycket plats som för olja. För att ersätta en 3 kbm oljetank behövs ett utrymme om nästan 10 kbm. Förrådet bör vara så stort att bulkleverans av flis eller pellets inte behöver göras så ofta att närboende störs och att förrådet räcker över långhelger.



Figur 9. Exempel på pelletspanna. Biosolpannan (Lesol AB). Komplet panna med ackumulatortank, pellets- och elpanna och möjlighet att ansluta solfångare. Dimensionerad för uppvärmning av lokaler upp till 350 m².

Moderna vedpannor kopplade till ackumulatortank har hög verkningsgrad, låga luftutsläpp och är enkla att sköta. De lämpar sig dock bäst för villor eftersom energivärdet i ved är lågt och förråden blir orimligt stora i större byggnader. Även daglig drift och skötsel blir alltför omfattande för att vara ekonomiskt lönsam i större byggnader.

Estetik

Biobräsleanläggningar kan placeras invändigt och utan att behöva synas stort från utsidan. Helt osynliga blir de dock inte då en takplacerad skorsten behövs för rökgaserna och en uppfart för pelletslossning från lastbil behöver ordnas.

Drift och underhåll

Moderna pellets- och flispannor är självmatande och självrengörande och kräver ingen eller endast lite daglig tillsyn. Dock behövs periodisk tillsyn i form av bränslepåfyllning, sotning och allmänt underhåll och underhållskostnaderna är därför förhållandevis höga.

Morgondagens tekniker/produkter

För mindre anläggningar avsedda för uppvärmning av villor sker en snabb utveckling (Jonas Höglund, Svebio, 2009). Bland annat pågår arbete med att förbättra bränslekvaliteten med avseende på fukt samt att andra råvaror än pressat sågspån som

jordbruksprodukter, t.ex. rörfen, ska kunna användas. Designen av logistik, förråd och panna utvecklas snabbt mot att tillåta anläggningar som står direkt i bostaden, t.ex. vattenmantlade pelletskaminer. Förbränningstekniken förbättras och nu börjar skorstenslösa anläggningar att utvecklas. Rökgaserna är då så rena att de kan ledas ut genom väggen där även inluft kan ledas in.

För lite större anläggningar (25 kW- 2 MW) är bränslekvaliteten inte lika kritisk utan här sker utvecklingen framför allt på att utveckla logistik och förrådslösningar för smidigare hantering.

Mycket utveckling sker också på systemen för att kombinera solfångare med biobränsleanläggningar eftersom de kompletterar varandra över årstiderna och driftsekonomin kan bli mycket god.

Metod

Det finns många olika ekonomiska modeller för att beräkna hur kostnadseffektiv en investering är och för att kunna jämföra olika alternativ (Adelberth, 2007).

Grundmodellen är den så kallade nuvärdemetoden som olika varianter bygger på; årskostnad per kWh (besparingskostnad), internräntemetod, pay-off metoder och Life Cycle Cost (LCC). Följande faktorer beaktas i större eller mindre utsträckning i de olika modellerna:

- energikostnaden och dess reala utveckling
- real kalkylränta
- kalkylperiod (investeringens livslängd)
- investeringskostnad
- underhållskostnader

För att kunna jämföra hur kostnadseffektiva olika förnybara energikällor är med varandra sett till hela deras tekniska livslängd inklusive kostnader för investering, energikostnader för bränsle och underhåll har i den här studien valts att använda LCC-metoden. LCC-metoden gynnar också långsiktiga investeringar till skillnad från pay-off metoder där endast brytpunkt för återbetalningstiden för investeringskostnaden fastställs. Då LCC i grunden är en variant av nuvärdemetoden blir resultatet av beräkningarna ett nuvärde av investeringens totala kostnad vilket ger ett bra och jämförbart underlag inför själva investeringsbeslutet. Det alternativ som har lägst LCC-kostnad är den mest lönsamma. Vid nuvärdesberäkningarna tas hänsyn till inflation och investerarens önskade kalkylränta. Ytterligare en fördel med LCC-metoden är att de olika delarna som tillsammans utgör den totala nuvärdeskostnaden är lätta att jämföra. Det är enkelt att t.ex. se om den stora kostnaden uppstår i investeringsfasen eller senare i driftsfasen vilket gör det möjligt att göra en ekonomisk plan kring åtgärden.

För att beräkna livscykelkostnaden finns följande övergripande formel:

$$LCC_{tot} = investeringskostnad + LCC_{energi} + LCC_{underhåll}$$

$$LCC_{energi} = \text{årlig energikostnad} \times \text{nuvärdesfaktorn}$$

$$LCC_{underhåll} = \text{årlig underhållskostnad} \times \text{nuvärdesfaktorn}$$

Nästa steg är att bedöma dessa kostnader. För vissa kostnader kan bra uppgifter erhållas, t.ex. investeringskostnad från leverantören, medan andra är svårare att bedöma som t.ex. framtida energipris där man inte kan komma närmare sanningen än en kvalificerad prognos.

För egenproducerad energi kan man också behöva ta hänsyn till effekterna av ändringar i fasta avgifter såsom fast nätavgift baserat på säkringsstorlek och kostnader för mätare för att få sälja el till elnätet. På vissa orter görs påslag på fjärrvärmeavgiften om köparen producerar egen energi under en del av året. Sådana hänsyn har inte tagits i denna studie.

Nuvärdesfaktorn är en funktion av skillnaden mellan den reala kalkylräntan (%) och den reala energiprisökningen (%) för kalkylperioden (bruksår). Nuvärdesfaktorn kan beräknas matematiskt men fås vanligen som en approximation ur standardtabeller.

Det finns en mängd program för att göra LCC-beräkningar på marknaden. För den här studien har Edkalkyl använts då modellen passar bra för den här typen av investeringar, produktion av energi, och den är framtagen för att användas i samband med energideklarationer enligt Boverkets krav vilket ligger nära till hands för många byggnationsprojekt idag.

De förnybara energikällor som undersökts i den här studien, sol-, vind- och bioenergi kan med dagens tekniker användas för att i första hand producera elenergi eller värme för uppvärmning av vatten. Energiproduktionen är för vissa av energikällorna årstidsbunden eller kan variera dygnsvis. För att kunna jämföra dessa på ett rättvisande sätt har ett "modellhus" använts med vissa energibehov sommar och vintertid. Respektive energikälla har sedan dimensionerats för att kunna ge ett så kostnadseffektivt energitillskott till byggnaden som möjligt. Eventuella restenergibehov förväntas köpas på konventionellt sätt. Modellhuset antas ha "normalbra" förutsättningar med avseende på tekniska krav för de olika lösningarna som orientering mot söder, utrymmen för pelletsförråd, möjlighet att koppla in producerad el osv.

Modellhus:	
Trekanten – flerbostadshus	
41 lägenheter	A _{temp} 3600 kvm
3 våningar	Yttermått 94x10 m
Stomme och fasader av betong och tegel	Självdrag
Fastighetens energibehov 367 000 kWh/år	Kallvattenförbrukning 3000 kbm/år
Uppvärmning 312 000 kWh/år	Varmvatten 49 000 kWh/år
Fastighetsel 6000 kWh/år	Verksamhetsel 26 000 kWh/år
Årsmedelvind 4,0 m/s	Solyta rakt mot söder, taklutning 45°
Beräknat effektbehov uppvärmning ca 150 kW	

Tabell 1: Energiförbrukning för studiens modellhus. Uppgifterna är hämtade från ett verkligt projekt från genomförd energideklaration under 2009.

Antaganden

Följande ekonomiska antaganden har gjorts: kalkylränta 6%, inflation 3%, energiprisökningar 3%, energikostnad köpt el 1 kr/kWh, såld el 70 öre/kWh, fjärrvärme 60 öre/kWh, pellets 55 öre/kWh. Den antagna kalkylräntan är förhållandevis hög vilket missgynnar alla energslag med höga investeringskostnader och gynnar anläggningar med låga investeringskostnader, som köpt el och fjärrvärme.

Energiskatter och energicertifikat ingår i antaget pris men inte moms. Kalkylperioden har sats till den tekniska livslängden. Bidrag som standardmässigt kan erhållas som

solcellsbidrag (60% av investeringsbeloppet) eller solfångarbidrag (2,50 kr/kWh dock max 3 milj. kr/projekt) har räknats in i investeringskostnaden. Det har antagits att nuvarande subventioner och bidrag för vissa förnybara energikällor ska finnas kvar och vara lika stora under hela kalkylperioden vilket är en osäkerhetsfaktor i sammanhanget.

Investeringskostnaden för elcentral för köpt el har satts till noll kronor då den behövs oavsett om vind- eller solcellsanläggning installeras.

Antagandet att energiprisökningarna är lika som övrig inflation missgynnar energikällor där ingen "råvara" behöver köpas in, d.v.s. solenergi och vindkraft.

Resultat

Den genomförda LCC-analysen har gjorts med tuffa förutsättningar till de förnybara energikällornas nackdel för att inte ge överoptimistiska resultat. De har jämförts med kostnaden för att köpa in konventionell el och fjärrvärme i stadsmiljöer där dessa antas finnas framdragna till tomtgräns och anslutnings- och installationskostnaden för dessa blir då mycket låg. Det innebär att i områden då fjärrvärme inte finns kan de förnybara energikällorna vara mycket konkurrenskraftiga alternativ jämfört med de lösningar som annars kan vara aktuella, t.ex. oljepanna, bergvärmepump, luftvärmepump. Vidare antas energipriserna öka i samma takt som inflationen i övrigt vilket också är ett konservativt antagande och som missgynnar solenergi och vindkraft. Trots detta visar den genomförda LCC-analysen att det går att producera värme med förnybara energikällor till lägre kostnad än med konventionell fjärrvärme och köpt el under förutsättning att nuvarande bidrag erhålls. En sammanställning över nuvärdeskostnaden för de olika energislagen per kWh över en 30-årsperiod finns i *Tabell 1* nedan. Observera att nuvärdeskostnaden anges som ett genomsnittsvärde för byggnadens sammanlagda förbrukning av el och värme och där den förnybara energikällan tillgodoser en del av eller hela byggnadens behov. Det innebär att i kostnaden har inkluderats kostnaden för dubbla system för att kunna klara spetslaster och perioder då ingen energi produceras av den förnybara energikällan.

Solenergi

Kiselbaserade solpaneler och luftsolfångare ger lägre kostnad per kWh än konventionella energikällor. Plana solfångare blir marginellt dyrare än konventionell fjärrvärme och el. Det bör påpekas att för luftsolfångaren baseras priset på en anläggning per lägenhet enligt uppgift från leverantören vilket gör att själva installationen kanske inte går att monteras ihop till en sammanhängande anläggning och därmed göras på ett estetiskt tilltalande sätt till angiven installationskostnad.

Vindkraft

Vertikala vindkraftverk (VAWT) ger samma energikostnad som konventionella energikällor medan horisontella vindkraftverk (HAWT) blir något dyrare vid dagens låga elpriser.

Biobränsle (pellets)

Installation av dagens pelletsanläggningar inklusive rökgasrening ger en energikostnad som är drygt tre gånger så hög som konventionella energikällor.

Tabell 2: Jämförelse av nuvärde vid LCC-beräkning för olika energislag för modellbyggnadens sammanlagda energiförsörjning (värme och el) under en 30 års period. Den förnybara energikällan tillgodoser oftast bara en del av byggnadens totala behov. Kostnad för installation av fjärrvärme har inkluderats för samtliga energislag (gäller ej pellets). Om installationen har kortare teknisk livslängd än kalkylperioden har en nyinvestering för resterande tid lagts in som en periodisk UH-kostnad. Orange färg innebär värmeproduktion, grön färg värme- och elproduktion och blå färg elproduktion.

	Fjärrvärme	Pellets (2 lev.)	Luft- solfångare (1 lev.)	Plan solfångare (1 lev.)	Solfångare med solceller (1 lev.)	HAWT (1 lev.)	VAWT (1 lev.)	Kiselsolcell (2 lev.)
Investeringskostnad (kr)	150 000	1 050 000 (200 kW)	428 000 (41 kW)	462 000 (110 kvm)	630 000 (100 kvm)	665 000 (25 kW)	600 000 (25 kW)	540 000 (200 kvm)
Årlig underhållskostnad (kr)	5000	11 000	9100	9100	7000	10000	9000	9000
Periodisk underhållskostnad (kr)	0	525 000 kr (20 år)	278 000 kr (12 år) 139 000 kr (24 år)	312 000 kr (15 år)	96 000 (25 år)	258 000 kr (20 år)	90 000 kr (25 år)	0
Teknisk livslängd/ kalkylperiod (år)	30	20/30	12/30	15/30	25/30	20/30	25/30	30
Producerad värme (kWh/år)	0	361 000	61 000	49 000	24 300	0	0	0
Köpt värme (kWh/år)	361 000	0	300 000	312 000	336 700	361 000	361 000	361 000
Producerad el som används internt (kWh/år)	0	0	0	0	6000	20 000	20 000	22 000
Producerad och såld el (kWh/år)	0	0	0	0	0	10 000	5 000	0
Köpt el (kWh/år)	32 000	32 000	32 000	32 000	26 000	12 000	12 000	10 000
Summa nuvärde alla kostnader (kr)	5 121 000	6 075 000	5 045 000	5 139 000	5 254 000	5 239 000	5 121 000	5 028 000
Energikostnad per producerad kWh (kr/kWh) (kostnad för att köpa motsv)	0,63 (0,63)	2,34 (0,63)	0,57 (0,63)	0,65 (0,63)	0,83 (0,63)	0,75 (0,63)	0,63 (0,63)	0,53 (0,63)

Driftsäkerhet

Den årliga energiproduktionen för solenergianläggningar varierar, i storleken +/- 50% beroende på varierande väderförhållanden. Solenergilösningarna har få rörliga delar och klarar svenska väderförhållanden bra. Det finns exempel på anläggningar som har stått i två decennier utan större underhåll. Idag installeras normalt sett två mindre växelriktare, istället för en stor, i syfte att undvika driftavbrott vid eventuellt haveri. Vid lättillgänglig placering kan solenergianläggningarna utsättas för skadegörelse alternativt stöld.

Även för vindkraftverk varierar den årliga energiproduktionen förhållandevis mycket från år till år. Konstruktionerna för små vindkraftverk har blivit allt enklare och därmed säkrare.

Biobränslen har en jämn årlig energiproduktion som kan anpassas exakt till behovet. Pannrum, matare och förråd har utvecklats till att bli allt driftsäkrare och kräva mindre daglig tillsyn.

För samtliga energislag kan serviceavtal upprättas med aktuell leverantör för förebyggande underhåll.

Estetik

Både solfångare och solcellsanläggningar kan placeras synligt på väggar och fasader, eller dolt på takytor. Solfångarpaneler och solcellspaneler finns i många olika utföranden, m.a.p. färg, mönster, storlek och form. Det ger goda möjligheter att integrera dessa i olika typer av fasader, fönsterpartier, balkonger och solavskärmare.

Mindre vindkraftverk placeras normalt sett väl synliga, vilket ger små möjligheter till estetisk variation. De sätts ofta på högt belägna punkter, så som takytor, och syns därför på långt håll. Dessutom har de många rörliga delar, vilket innebär att de drar blickarna till sig.

Biobränsleanläggningar står alltid inuti byggnader, och det enda som syns utifrån är skorstenen. Dock behöver anläggningarna anslutas till körväg för bulkleverans av pellets per lastbil.

Analys

I beräkningarna har antagits att energiprisökningen kommer att vara samma som inflationen (3 %). Om energipriserna ökar med en procent mer än inflationen, d.v.s. är 4 %, blir de förnybara energikällorna sol, vind och biobränsle, 10-15% lönsammare.

För vindkraftverk har antagits att ca en tredjedel av den producerade elen måste säljas till nätet för lägre pris (i kalkylen 70 öre/kWh) än inköpspris. Om vindkraftverken kan dimensioneras så att ingen el behöver säljas till elnätet har investeringen betydligt bättre möjligheter att bli lönsam jämfört med att köpa samma mängd el från elnätet.

Ett resultat av den nuvarande konjunktturnedgången är att priset på kiselbaserade solpaneler har sjunkit kraftigt (mer än 30 %) samt att priset på biobränsle i form av pellets har ökat vilket vid tiden för analysens utförande tillfälligt gynnar respektive missgynnar respektive energislag.

Modellhuset har förhållandevis låg förbrukning av el jämfört med hus med mekanisk ventilation och mer tekniska installationer. Detta missgynnar i viss mån solenergi men särskilt vindkraft eftersom de anläggningarna blir lönsammare ju större de kan göras.

Årsmedelvinden (4 m/s) är rimlig med tanke på normala vindhastigheter strax ovan taknivåer i många av Sveriges inlandsstäder och det är därför den har valts som beräkningsunderlag. Den gynnar i viss mån VAWT-verk som kräver lägre startvind än HAWT-verk för att producera el. I praktiken placeras HAWT-verk normalt på platser som har årsmedelvindar på 5 m/s och uppåt varvid deras lönsamhet ökar betydligt. Årsmedelvind är i sammanhanget ett trubbigt kriterium då samma årsmedelvind kan ge helt olika energiproduktion beroende på hur mycket det blåser under olika tidsperioder.

För de olika energikällorna har bara uppgifter från en eller två leverantörer erhållits vilket innebär en relativt stor osäkerhet rörande investeringskostnaden.

Känslighetsanalys

För kiselbaserade solpaneler kan priset på nätet sjunka till 0,80 kr/kWh alternativt investeringskostnaden öka med ca 15 % innan dessa blir mindre lönsamma än konventionella energikällor. Handlas elcertifikaten under 0,1 kr/kWh blir solpanelerna dyrare i drift än konventionella energikällor.

För plana solfångare måste fjärrvärmepriset öka med 2 öre/kWh alternativt investeringskostnaden sjunka med 4 % för att dessa ska bli billigare än konventionella energikällor.

För kombinerade solfångare och solceller måste investeringskostnaden sjunka med ca 25%, fjärrvärme- och elpriset öka till 0,80 kr/kWh respektive 1,20 kr/kWh alternativt prisökningarna för fjärrvärme och el vara 5% årligen för att denna typ av anläggning ska löna sig.

För vertikalaxlade vindkraftverk (VAWT) räcker det om priset på köpt el ökar med 1 öre för att det ska bli lönsammare än konventionella energikällor. Det bör påpekas att investeringskostnaden och årsproduktionen för denna typ av verk är osäker.

För horisontalaxlade vindkraftverk (HAWT) blir de lönsammare än konventionella energikällor om årsproduktionen ökar med 33% om all denna el säljs externt eller om den ökar med 15% om den elen kan användas internt. Vid bibehållen årsproduktion måste investeringskostnaden sjunka med drygt 15%, priset på köpt el gå upp till 1,30 kr/kWh alternativt prisökningen för el vara 5% årligen för att denna typ av anläggning ska löna sig.

För pellets måste pelletspriset sjunka till 41 öre/kWh för att pellets ska bli lönsammare än fjärrvärme. Pellets blir också lönsammare om fjärrvärmepriset årligen ökar med 1,5% mer än pelletspriset. Investeringskostnaden antas oförändrad.

Slutsatser

I studien har undersökts tekniker och metoder för produktion av förnybar energi som går att applicera i eller på byggnader lokaliserade i tätortsmiljö. Det kan konstateras att solenergilösningar är det som är lättast att använda av tekniska och estetiska skäl. För vindkraft i tätortsmiljö måste särskild omsorg kring placering beaktas för att undvika problem med buller och visuell störning. Biobränsle är också praktiskt möjligt ur teknisk synpunkt, men mindre lämpligt ur miljösynpunkt om fjärrvärme finns i området.

Ur ekonomisk synvinkel, baserat på de LCC-beräkningar (under en 30-års period) som gjorts i den här studien, kan solenergilösningar vara billigare än de konventionella lösningarna med nuvarande bidragsnivåer. Resultatet gäller för såväl kiselceller som luftsolfångare. Plana solfångare är marginellt dyrare medan kombinerade solfångare- och solcellsanläggningar är dock fortfarande något dyrare. De mindre vindkraftsverk som kan vara aktuella för enskilda fastigheter blir endast något dyrare än konventionell lösning. Vid beräkningen har antagits att ca 1/3 av produktionen säljs tillbaka till elleverantören, vilken ger sämre lönsamhet. Pelletsanläggningar lönar sig inte om det finns fjärrvärme i området, då de är ca tre gånger så dyra som fjärrvärme.

Biobränsleanläggningars stora fördel jämfört med sol- och vindanläggningar är att de levererar en jämn energiproduktion under året och vid den tidpunkt då den behövs. Den tekniska driftsäkerheten med avseende på driftavbrott och fel är likvärdig mellan de tre energikällorna.

Solenergianläggningarna har olika utseenden beroende på typ av panel och kan antingen placeras väl synligt i husliv eller mer diskret utom synhåll. Den här flexibiliteten medför att de är lätta att använda i tätortsmiljö. Vindkraftverken kommer alltid att vara mer eller mindre synliga och måste därför passa ihop med byggnadens karaktär.

Sol- och vindenergi är mest de miljövänliga alternativen eftersom de inte behöver något extra bränsle för att drivas. Energin för att tillverka en solpanel återfås på 3-5 år. När det gäller biobränsleanläggningar är själva bränslet (pellets) koldioxidneutralt, men vid transporterna av pelletsen används fossila bränslen. Vid förbränningen av pellets uppstår även vissa sorters luftföroreningar.

Nackdelen med sol- och vindenergi är att de alltid behöver kompletteras med annan energikälla eftersom de inte kan styras, vilket innebär en ekonomisk merkostnad. Dessa energikällor dimensioneras nästan alltid för att bara klara en del av byggnadens totala energibehov. Det här innebär att drift- och underhållspersonalen behöver handha dubbla tekniska system, vilket innebär ett merarbete och högre kompetenskrav.

På solenergisidan kommer vi i framtiden att se nya, mer effektiva produkter när det gäller såväl solceller som solfångare, det vill säga högre verkningsgrader och lägre produktionskostnader. Vidare kommer produkterna även att utvecklas och bli enklare att projektera, installera och underhålla. När det gäller vindenergin kommer den att bli mer kostnadseffektiv, tystare och fungera i ett bredare vindspektrum. För både sol- och

vindenergi kan man också förvänta sig fler lösningar för att lagra överskottsenergin under en period för senare användning. Exempelvis kan man tänka sig att spara överskottsvärme från solfångare i bergvärmebrunnar för användning vintertid.

Sammantaget finns det goda skäl till att tro att våra byggnader i framtiden kommer att försörjas med en kombination av olika förnybara energikällor, teknikerna blir ekonomiskt mer konkurrenskraftiga utan statliga subventioner samt att de kommer att kunna användas för att förhöja byggnadernas estetiska framtoning och karaktär.

Litteraturförteckning

Adelberth, K., Wahlström, Å., Energibesiktning av byggnader – flerbostadshus och lokaler, sid. 40-43, SIS Förlag AB, 2007.

Adolfsson, Ekenstierna & Henriksson – Solceller, Lunds tekniska högskola, 2006.

Lagergren, F., Hillström, C-G., Uppvärmning av byggnader och flerfamiljshus med träbränslen, Svenska Bioenergiföreningen (Svebio), utgivn. år saknas.

Faktablad 1-5, Centrum för vindkraftsinformation (CVI), Gotlands högskola, juni 2004.

Wizelius T., Ivanel S., Ekonomisk ytanalys för vindkraft, Centrum för vindkraftsinformation (CVI), Gotlands högskola, september 2002.

Vindkraft – Privatperson Bygga och ansluta mindre vindkraftverk för egen produktion, Energimyndigheten, 2008.

Lundell, Husbyggaren nr 1, sid. 50-51, 2008.

Websidor

Boverket (09-03-11) www.boverket.se

Edkalkyl (09-04-07) www.edkalkyl.se

Energikunskap, Energimyndigheten (09-03-03) www.energikunskap.se

Energimyndigheten (09-02-19) www.energimyndigheten.se

Northern Nature Energy (09-03-18) www.nn-energy.se

Solar Teknik (09-03-18) www.solar-teknik.com

Solportalen (09-03-03) www.solportalen.fi

Svenska Solenergiföreningen (08-03-02) www.svensksolenergi.se

Svenska Bioenergiföreningen (Svebio)(09-03-03) www.svebio.se

SVV Energi AB (09-03-18) www.svvenergi.se

Wikipedia (09-03-18) www.wikipedia.org

Intervjuer

Jonas Höglund, Svenska Bioenergiföreningen (Svebio), telefon 2009-03-03

Charlotte Platzer-Björkman, Uppsala Universitet, e-post 2009-06-12

Följande företag har bidragit med underlag till LCC-analysen:

Absolicon AB

Arctic Sunlight Innovation AB

Baxi AB

Elmonordic AB

Litenvindkraft AB

LT Energiteknik AB

Solarlab AB

Switchpower AB

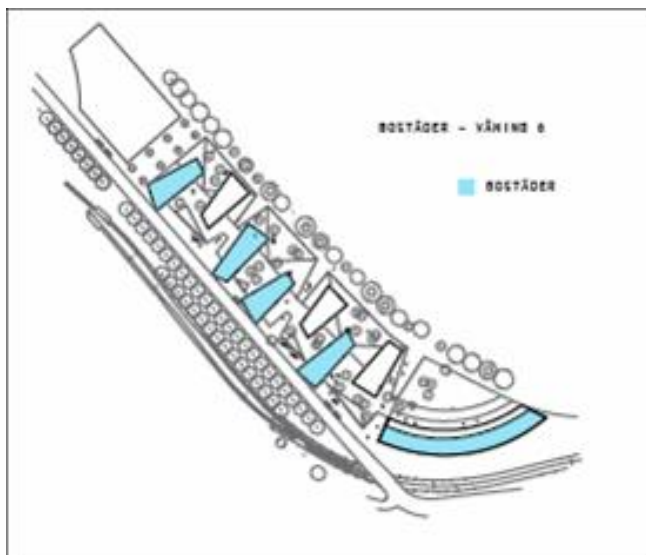
Bilaga 1

Exempelprojekt Bostäder vid resecentrum, Uppsala



Figur 1. Vy från parken. Källa: Designmanual 2009-04-01.

Skanska Nya Hem AB och Uppsalahem planerar uppföra nya bostäder mellan Frodeparken och Resecentrum i centrala Uppsala, *figur 1 och 2*. Enligt arkitektförslag kommer sydöstfasaderna att beklädas med en lamellstruktur bestående av speglande aluminiummytor och solceller, *figur 3*. Totalt planeras 8 byggnader (5-6 våningar) med totalt ca 130 lägenheter.



Figur 2. Planstruktur och principdiagram. Källa: Designmanual 2009-04-01.



Figur 3. Speglande lamellytor med solceller mot sydost. Källa: Designmanual 2009-04-01.

Val av energikälla

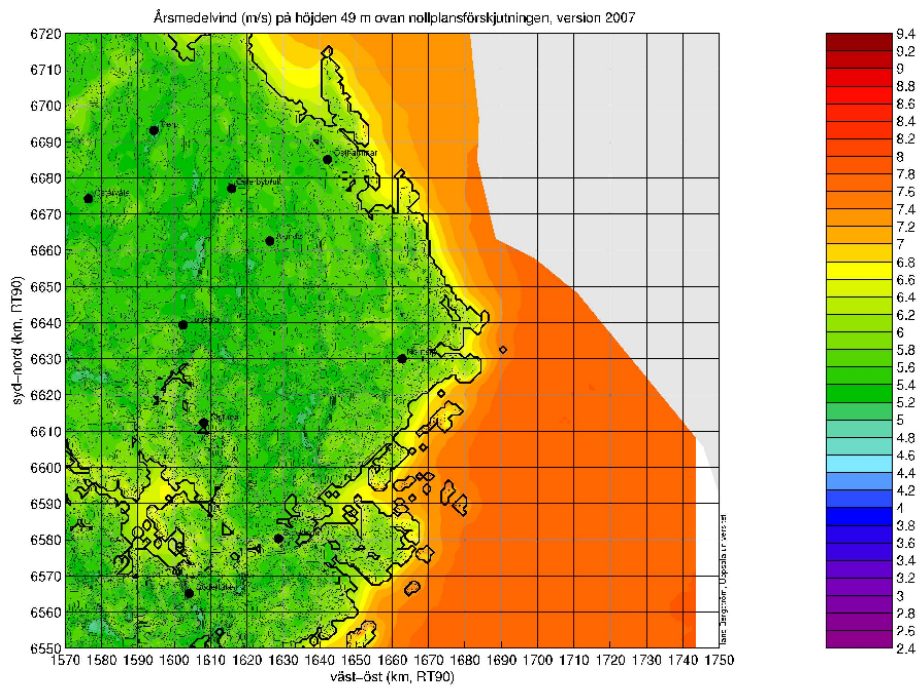
Solenergi

Byggnaderna är orienterade med stora vägg- och takytor mot sydost och i viss mån sydväst varför potentialen för solenergianläggningar är god. Takyterna kommer att luta svagt uppåt mot sydväst vilket inte är optimalt för liggande solpaneler eller solfångare på taket under vinterhalvåret. Byggnaderna omges av skuggande föremål såsom storväxta träd och intilliggande byggnader på upp till 6 våningar vilket kan skugga lågt sittande solcellspaneler på väggarna. Husen är av modern arkitektur och därför passar anläggningar av solceller bra i fasad, då de ger ett modernt intryck. För att inte förlora för mycket i verkningsgrad är det lämpligt att komplettera solcellerna på fasad med solceller/solfångaranläggning på tak. Dessa kan lätt dimensioneras efter husens projekterade energibehov, och LCC-analysen visar att de är ekonomiskt fördelaktiga. Lönsamheten för solfångare kan dock bli lägre eftersom det aviserats om förändring av fjärrvärmeföretaget med eventuellt införande av sommartaxa. Dessutom tas extra avgift ut om 25 öre/kWh på kvarvarande köpt energi för anläggningar som producerar egen energi. Detta skulle innebära att solfångaralternativet blir direkt olönsamt. För solceller visar LCC-analysen att kiselceller är lönsammare än att enbart köpa in konventionell energi. Kombinerade solcells/solfångaranläggningar ger också tillskott av el, men är fortfarande något dyrare än konventionell energi.

Ett uttalat önskemål från kommunen är att solceller ska användas i projektet för att "sätta Uppsala på kartan" när det gäller solenergi. Projektet blir då ett praktiskt exempel på hur resultatet av den solcellsforskning i världsklass som bedrivs vid Ångströmlaboratoriet, Uppsala Universitet, kan användas. Att placera solceller synligt i fasad skulle väcka uppmärksamhet och intresse hos många Uppsalabor och besökare till staden.

Vindenergi

Byggnaderna har takytor lämpliga för placering av vindkraftverk. Då byggnaderna nyproduceras går dessa att anpassa till takmontering av mindre vindkraftverk, vilket innebär att stömljud och vibrationer kan elimineras. Dessutom passar vindkraftverken väl ihop med husens moderna arkitektur. Enligt den översiktliga vindkartering som gjorts av Energimyndigheten, se *figur 4*, är årsmedelvinden över Uppsala, på ca 50 meters höjd, är ca 5-6 m/s. Byggnaderna i Frodeparken ligger lågt, vilket gör att man kan förvänta sig att årsmedelvinden blir ännu lägre på den höjd som mindre vindkraftverk kan placeras på. LCC-analysen har gjorts med förutsättningen att årsmedelvinden är ca 4 m/s, och då visar analysen att varken de horisontella eller de vertikala vindkraftverken är direkt lönsamma jämfört med att köpa nätel. Dock kan det inte uteslutas att en lokal vindvärdering kan visa på bättre vindförutsättningar än vad den översiktliga vindkarteringen antyder.



Figur 4: Årsmedelvind på 49 meters höjd enligt vindkartering för Uppland (Källa: Energimyndigheten, projektnr 20484-1)

Biobränsle (Pellets)

Pelletsanläggningen kan placeras diskret i källarutrymme och behöver inte påverka den arkitektoniska utformningen. Däremot behöver pelletsanläggningen påfyllning av bränsle med jämna intervaller, vilket innebär tunga transporter till och från byggnaden där den är placerad. Detta medför också en ökning av antalet tunga transporter i stadskärnan. Om pelletsanläggningen utrustas med modern rökgasrening borde inte utsläpp till luft skapa olägenheter för de boende i området. Ur ett ekonomiskt perspektiv visar LCC-analysen att pelletsanläggningen är drygt tre gånger dyrare än att köpa konventionell fjärrvärme.

Slutsats

Baserat på byggnadernas placering i staden, vindförhållandena i området, genomförd LCC-analys samt byggnadernas arkitektoniska utformning, rekommenderas en solcellslösning för projektet Bostäder vid Resecentrum i Uppsala. Dessa placeras fördelaktigast på tak och fasader för att bidra till god ekonomisk lönsamhet, arkitektonisk utformning och för att uppnå det pedagogiska syftet att visa upp solcellslösningen för allmänheten.