

SOLCELLER PÅ SVARTA, VITA OCH GRÖNA TAK

RAPPORT 2017:383



Solceller på svarta, vita och gröna tak

En handbok om miljösmdarta tak i Sverige

ANNA BENGTTSSON

MÅRTEN LIND

ISBN 978-91-7673-383-7 | © Energiforsk september 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Solceller är en viktig del av omställningen till ett förnybart energisystem och kapaciteten för solceller ökar snabbt. Intresset för vegetation på takytor ökar samtidigt när planerade byggnader ska ges bygglov eller miljöcertifieras. Resultaten visar här att de olika takmaterialen inte behöver konkurrera med varandra. Solceller och sedumtak kan kombineras och därmed skapa synergieffekter.

Projektet Solceller på svarta, vita och gröna tak har genomförts av Solkompaniet med Mårten Lind som projektledare. Det ingår i samverkansprogrammet Solel som är ett samarbete mellan Energimyndigheten och näringslivet.

I samband med det ökade behov av förnybar el som förutses i Sverige, kommer också en ökad konkurrens om markanvändning. Att då hitta de mest effektiva lösningarna för att placera solceller på tak är sannolikt ett viktigt steg för energiomställningen som kräver kunskap om samverkan mellan solceller och morgondagens övriga takmaterial. Det här är en handbok som bidrar med viktiga delar av den kunskapen.

Åsa Elmquist
Programansvarig för Solel

Sammanfattning

Solceller kommer att vara en fundamental del av omställningen till ett förnybart energisystem och solcellskapaciteten ökar snabbt i Sverige. Samtidigt ökar också intresset för gröna och vita tak, där drivkraften för vegetation på takytor idag ofta ligger i bygglovshandlingar eller miljöcertifiering av byggnader. Denna studie visar att de olika takmaterialen inte behöver konkurrera med varandra, utan snarare kan kombineras smart för att skapa synergieffekter.

Solceller är här för att stanna. Energimyndigheten lade nyligen fram ett förslag på solelstrategi för Sverige som innefattar en målbild om 7-14 TWh solel 2040 vilket innebär en enorm utbyggnadstakt kommande dryga två decennier. För gröna tak är också intresset stort, inte minst då gröna tak har visat sig vara väldigt effektiva för lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). En mycket enkel och billig lösning för kommuner att lösa dagvattenproblemet vid nybyggnation jämfört med att bygga ut kommunal reningskapacitet. Tillsammans med det faktum att gröna tak också bidrar med att öka den biologiska mångfalden samt reglera temperaturen i bebyggelsen bedöms de också vara här för att stanna. Efterfrågan på lämpliga takytor har därmed ökat vilket riskerar bli ett problem om det upplevs som en begränsad yta där olika funktioner såsom solceller och vegetation inte kan samsas.

Det finns dock synergier. En potentiell sådan mellan solceller och gröna/vita tak är att verkningsgraden hos solceller sjunker med 0,35–0,5 % för varje grads temperaturökning. Detta faktum i kombination med att växternas evapotranspiration kyler taket gör att solceller på gröna tak kan ha ett högre utbyte än solceller på svarta tak. För vita tak blir effekten densamma men där är det framför allt takets albedo, det vill säga takets reflektionsförmåga, som inverkar och som gör vita tak svalare. Tidigare studier visar att gröna tak ser ut att kunna ge solcellssystem någon eller ett par procents högre produktion än svarta tak på årsbasis. Något som kanske inte ensamt motiverar en kombination av de två men som tillsammans med andra värden kan göra det intressant.

De ytor där det finns störst potential att kombinera solceller och gröna tak och där de olika teknikerna kan dra nytta av varandra är platta takytor. De lämpligaste monteringsystemen på sådana är så kallade upplutade system (10-40 grader), antingen ballastsystem eller sådana som fästs in i taket. Det finns skräddarsydda system, exempelvis sådana där monteringsystemet är integrerat med dräneringsmattan och där substratet fungerar som ballast, men det går även att anpassa standardlösningar till gröna tak exempelvis genom att ta bort vindskivor så att det kommer ljus in under panelerna. Den senare lösningen har flera fördelar, inte minst att man då kan köpa utrustning från större mer etablerade aktörer och få en trygg och billig solcellslösning med snabb leverans.

Utifrån erfarenheter från befintliga installationer samt lärdomar från studier på området sammanställer denna studie en rad praktiska tips för den som vill kombinera solceller med gröna tak. Bland annat finns det stora fördelar med att

anlägga gröna tak och solcellssystem samtidigt då det går att samordna lyft och taksäkerhet samt då det underlättar monteringen och förbättrar det färdiga resultatet. Det kan också vara bra att både välja lämplig vegetation samt undvika vegetation på sådana ställen som riskerar att skugga solcellerna. Det senare gäller framför allt vid solcellsmodulernas framkant där mycket nederbörd samlas och där vegetationen ofta blir väldigt hög. Där kan det vara lämpligt att lägga en sträng med singel som håller borta vegetationen. För att föra in vatten under modulerna, dit nederbörden annars inte når, kan det vara bra att ha så kallade kapilärmattor.

Det primära syftet med studien var initialt att studera och redovisa hur elproduktion från solcellssystem påverkas av taktypen vid svenska förhållanden, detta genom mätningar av solinstrålning, temperatur och elproduktion under sommarhalvåret för tre identiska solcellssystem på ett svart, vitt respektive grönt tak. Långtgående planer fanns på att installera anläggningarna och genomföra försöken på en fastighet i Malmö. Av olika anledningar kunde detta inte genomföras och projektet fick ändra inriktning. Istället för att undersöka hur riktiga system producerar på olika taktyper syftar projektet nu till att simulera och jämföra anläggningar i PVsyst utifrån temperatur- och solinstrålningsdata som inhämtas från givare placerade på fyra olika taktyper i Stockholm och Göteborg. Hittills har tillräckligt bra data inte kunnat samlas in för att kunna genomföra meningsfulla simuleringar men ambitionen är att detta görs under sommarmånaderna 2017 med separat redovisning av resultat på Solkompaniets hemsida i september 2017. I och med det första misslyckade försöket, samt insikten att simuleringarna inte når lika långt som riktiga mätningar, återstår behovet av att få till mätningar i svenska förhållanden för att förstå skillnaden i solelproduktion från olika taktyper. Denna studie uppmuntrar att sådana försök utförs i framtida studier och skickar med värdefulla lärdomar och saker att tänka på för att få till bra testanläggningar som möjliggör noggranna och relevanta mätningar.

Trots ännu uteblivna resultat har ekonomiska kalkyler gjorts för de olika takalternativen där det undersökts hur stor produktionsökning som behövs för att en solcellsanläggning på ett grönt och vitt tak ska motivera den högre investeringskostnaden jämfört med en standarinstallation på ett svart tak. Resultaten indikerar att produktionsökningen ensam inte motiverar en investering i varken gröna eller vita tak om syftet bara är att höja verkningsgraden på solcellerna och om kostnaderna för takytorna allokeras solcellsanläggningen. Däremot, om ett grönt tak redan ligger på plats och en solcellsanläggning eftermonteras kan produktionsökningen kompensera för de eventuella merkostnader en solcellsinstallation på ett grönt tak innefattar. Allt som allt är dock bedömningen att det blir fortsatt viktigt att ta alla värden i beaktning vid argumentation för tak där grönytor ska kombineras med solceller.

Innehåll

1	Inledning	7
2	Allmänt om tak och solceller	8
2.1	Solceller	8
2.1.1	Solcellssystemets olika delar	9
2.1.2	Moduler	10
2.2	Gröna tak	11
2.2.1	Det gröna takets olika delar	13
2.2.2	Olika kategorier av gröna tak	14
2.2.3	Växter på gröna tak	15
2.2.4	Fördelar med gröna tak	16
2.3	Svarta och vita tak	17
3	Solceller på svarta, vita eller gröna tak	19
3.1	Synergieffekter	19
3.2	Monteringssystem på svarta och vita tak	21
3.2.1	Platta tak	21
3.2.2	Lutande tak	22
3.3	Monteringssystem på gröna tak	23
3.3.1	Platta tak	23
3.3.2	Lutande tak	26
4	Installationsmetoder för solceller på gröna tak	27
4.1	Solcellssystem	27
4.2	Vegetation	28
4.3	Singel	28
4.4	Substrat	29
4.5	Dräneringsmattor och kapilärmattor	30
4.6	Monteringsprocess	30
4.6.1	Monteringsprocesser på bensinstationer i Skåne	31
5	Försök och erfarenheter	35
5.1	Försök	35
5.1.1	Planerade mätningar i Malmö	36
5.1.2	Planerade mätningar i Göteborg och Stockholm	40
5.1.3	Nuvarande mätningar i Göteborg och Stockholm	40
6	Ekonomiska modeller för de olika taktyperna	42
6.1	Investeringsalternativ	42
6.2	Olika taktyper	43
6.2.1	Svarta och vita tak	44
6.2.2	Konventionellt solcellssystem med sedum	44
6.3	Resultat ekonomiska modeller	44
7	Sammanfattande slutsatser	47
8	Referenser	49

1 Inledning

För att begränsa människans påverkan på klimatet är det avgörande att ställa om till ett förnybart energisystem, där solenergi kommer att vara en viktig beståndsdel.

Internationella energirådet, IEA, menar exempelvis att solen kommer att vara den främsta källan till elektricitet i världen år 2050. Även i Sverige finns stor potential och Energimyndigheten anser att 5–10 % av elen bör komma från solen år 2040. Det är bra mycket mer än den tusendel solenergi som finns i den svenska elmixen idag. Även om andelen solet i Sverige fortfarande är låg, går utbyggnaden av nu fort. De senaste åren har solcellskapaciteten fördubblats varje år. Allt fler tak blir aktuella för soletproduktion.

Samtidigt ökar också intresset för gröna tak. Gröna tak är ett samlingsnamn för växter på tak, terrasser och innergårdar. Dessa har visat sig kunna bidra till stadsmiljön med allt från biologisk mångfald, minskad dagvattenhantering, renare luft och sänkta bullernivåer. Dessutom är de vackra, kan förlänga takens livslängd och minska kylbehovet i byggnaderna. Drivkrafter för utbyggnaden, utöver nyttoeffekterna, är ofta krav i bygglovhandlingar eller olika miljöcertifieringssystem för byggnader.

Även vita tak har på sistone blivit vanligare, och kan också komma att spela en viktig roll i hållbara städer. Vita tak kan minska kylbehovet i byggnader och sänka temperaturnivåerna i stadsmiljön, vilket är värdefullt då höga temperaturer är ett växande problem på många håll.

Hittills har det saknats vetenskapliga stöd och ekonomiska modeller för vilken taktyp som är bäst lämpad för kombination med solceller, och det finns idag relativt få kombinationer av solceller och gröna eller vita tak. Uppfattningen har snarast varit att gröna tak och solceller inte kan kombineras, och de har därmed ofta ställts mot varandra. Risken har varit att endera investeringen, och dess miljönyttor, uteblir.

Syftet med denna handbok är därför att sprida kunskaper om hur solceller kan kombineras med olika takmaterial och hur detta påverkar soletproduktionen. Handboken går igenom grundprinciperna för olika taklösningar, beskriver exempel på monteringsystem som kan användas, lyfter vilka aspekter som bör beaktas för att maximera synergieffekterna mellan solceller och gröna tak, ger förslag på ekonomiska kalkyler och redogör till sist för de mätningar som ska utföras för att klargöra huruvida gröna och vita tak ökar elproduktionen från solceller vid svenska förhållanden. Förhoppningen är att utmana bilden av vad som är möjligt på taktyper, och ge läsaren kunskaper om hur olika tekniker kan användas för att förstärka varandra snarare än att konkurrera med varandra.

2 Allmänt om tak och solceller

Intresset för solceller ökar snabbt. Priserna har gått ner kraftigt, och de senaste åren har den svenska solcellskapaciteten fördubblats varje år. Hittills har solcellsinstallationer på konventionella, ofta svarta tak dominerat marknaden.

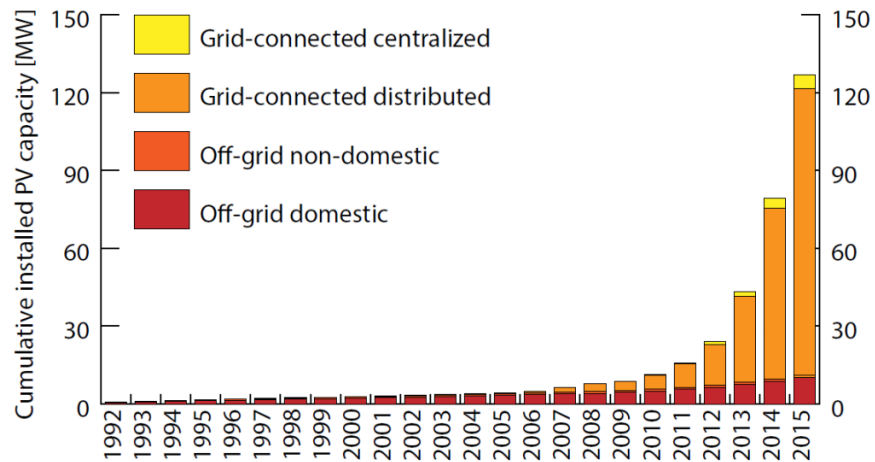
Samtidigt ökar också intresset för gröna och vita tak. Därmed diskuteras det allt oftare om det är lämpligt att installera solceller på sådana tak, och huruvida det i så fall medför några synergieffekter.

2.1 SOLCELLER

Solceller är en teknik för att producera el lokalt, där solens energi omvandlas direkt till likström, som sedan omvandlas till växelström i en växelriktare och matas ut till elnätet. I Sverige har solceller använts sedan 70-talet. Till en början användes de främst för att generera el på platser utan elnät, som i fyrar, båtar, sommarstugor och husvagnar. De senaste åren har marknaden för nätanslutna solceller vuxit kraftigt, och i Sverige idag byggs solceller nästan uteslutande på hustak, då sådana investeringar i regel är betydligt lönsammare än fristående system. Ofta ansluts solcellssystemet till en byggnad, där den el som genereras i första hand används för att ersätta inköpt el.

På några få år har priset på solceller fallit kraftigt och det är nu ofta en lönsam investering. Internationellt omsätter solcellsbranschen enorma belopp och det är idag en av de marknader som växer allra snabbast globalt. De kommande fem åren beräknas det produceras och installeras 30 000 solcellsmoduler varje timme.

Även i Sverige har antalet solcellsinstallationer vuxit kraftigt de senaste åren. Under 2015 ökade den installerade solcellskapaciteten exempelvis med 60 %, vilket innebär att det vid årsskiftet 2015/2016 fanns 127 MW solceller i Sverige. Dock utgör solen ännu bara cirka en promille av elen i elnäten, men Energimyndigheten har föreslagit ett mål på 5–10 % till år 2040.

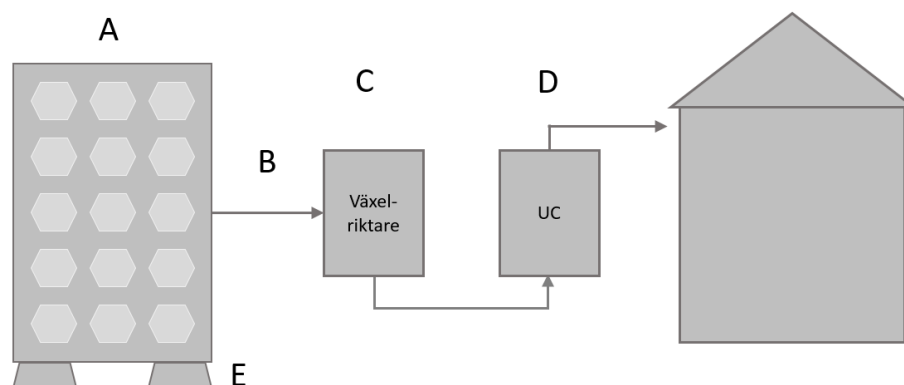


Figur 1 Utbyggnad av solceller i Sverige¹.

2.1.1 Solcellssystemets olika delar

Ett solcellssystem består i huvudsak av följande delar:

- Monteringssystem, som fäster solcellerna på tak eller fasad
- Solceller, som genererar likström
- Likströmskablage, som transporterar likström till växelriktarna
- Växelriktare, som gör om likströmmen till växelström
- Undercentral, som ansluter solcellssystemet till husets elsystem (innehåller lastbrytare, säkringar och elmätare).



Figur 2 Solcellssystemets olika delar.

A = solcell och monteringsystem, B = Likströmskablage, C = Växelriktare, D = Undercentral.

I ett nätanslutet solcellssystem seriekopplas solcellsmoduler i strängar. Dessa strängar parallellkopplas vanligtvis i en kopplingslåda, som sedan kopplas vidare till växelriktaren. Från växelriktaren kopplar man sedan in systemet i byggnadens elcentral.

¹ (Lindahl, 2016)

Solcellssystem varierar i vikt beroende på utformning, men är i regel relativt lätta:

- Ett solcellssystem som monteras jäms med taket väger cirka 12 kg/m².
- Ett upplutat solcellssystem, alltså ett sådant som kan monteras på platta tak, väger cirka 7–14 kg/m² plus ballast. Ballasten varierar beroende på hur vindutsatt taket är, men brukar hamna på mellan 2–25 kg/m².

2.1.2 Moduler

Den kraftiga prisnedgången som skett på marknaden under de senaste åren gäller främst kristallina kiselmoduler, som produceras i mycket stora volymer, vilka idag står för mer än 90 % av världsmarknaden. Det mest kostnadseffektiva alternativet idag är standardmoduler med en yta på cirka 1,6 m² och en effekt på cirka 250–300 W_t.

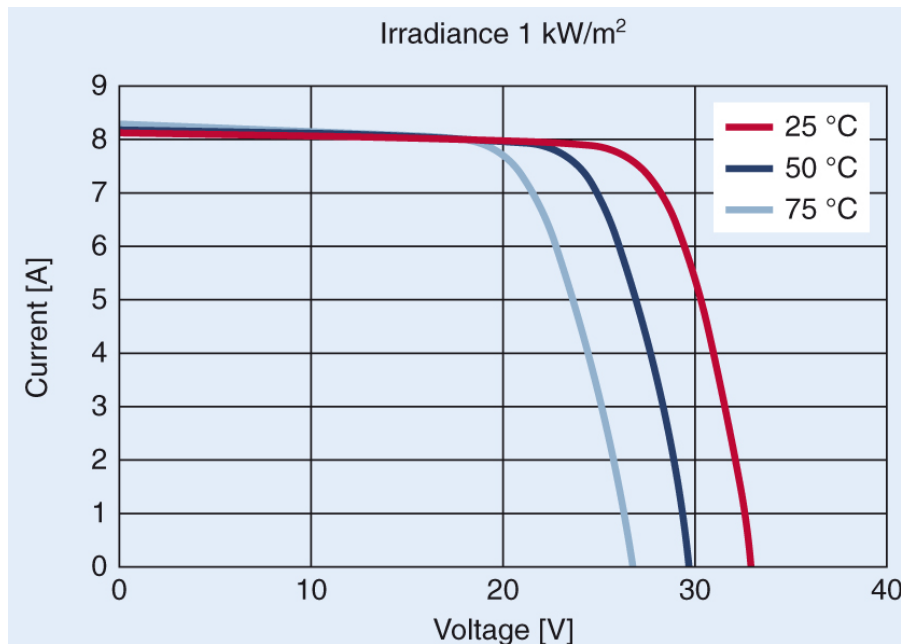


Figur 3 Olika typer av standardmoduler.

Mängden producerad elkraft är proportionell mot solcellens verkningsgrad och solinstrålningen. Solceller på marknaden idag har en verkningsgrad på cirka 15–20 % under optimala förhållanden, vilket innebär att den kan omvandla så stor del av solstrålningen som träffar den till växelström. Verkningsgraden för ett helt solcellssystem ligger något lägre. Detta beror bland annat på att solens infallsvinkel varierar under dygnet, på förluster i växelriktaren samt på modulernas verkningsgrad.

Verkningsgraden hos solceller är starkt beroende av celltemperaturen. För kristallina kiselmoduler sjunker verkningsgraden med 0,35–0,5 % för varje grads temperaturökning. Tunnfilmssolceller är något mindre känsliga och verkningsgraden sjunker med 0,15–0,4 % för varje grads temperaturökning. Modulers märkeffekt gäller vid standardförhållanden (STC), vilket innebär en temperatur på 25 grader. För varje grad däröver sjunker alltså verkningsgraden med procentsatserna ovan², se figuren nedan.

² (The German Energy Society, 2013)



Figur 4 Solcellsmodulens spänning sjunker då temperaturen ökar, vilket ger en lägre utteffekt³.

Solcellernas temperaturkoefficient är central i denna studie, eftersom solcellstemperaturen beror på taktemperaturen, som i sin tur till stor del beror på taktyp och färg. På gröna tak gör växternas evapotranspiration att taket kyls, vilket gör att solceller på gröna tak kan ha ett högre utbyte än solceller på svarta tak. Takets albedo, det vill säga reflektionsförmåga, har också en viss inverkan och är högre på gröna och vita tak jämfört med svarta. Se mer om detta i avsnitten 2.2 och 2.3.

2.2 GRÖNA TAK

Gröna tak är ett samlingsnamn för växter på tak, terrasser och innergårdar. Vegetationen kan vara allt från ett tunt lager med sedumväxter eller mossa på taket till frodigare växtlighet som örter och gräs, eller ännu tjockare växtbäddar med buskar och träd. Tak med växtlighet, exempelvis för att isolera, har funnits mycket länge i Norden. Fram till 1700-talets början var torvtak med växter det vanligaste takmaterialet på timmerhus. Förekomsten av gröna tak minskade dock, framförallt i städerna, under 1800-talet, men fick sedan succesivt ett uppsving under 1900-talet. De gröna takens återkomst beror framförallt på att de innehåller flera fördelar som gjort dem till nutidens hållbara byggande.

³ (TDK, 2011)



Figur 5 Torvtak i Norge.

Det första storskaliga sedumtaket i Sverige byggdes år 1991 på SEB:s huvudkontor i Sundbyberg utanför Stockholm. Idag ökar intresset för gröna tak kontinuerligt och allt fler kommuner och beställare ställer krav på gröna tak. Drivkrafterna finns ofta i de miljöcertifieringssystem som ger poäng för gröna ytor.

Inom LEED fås poäng om gröna tak installeras på mer än halva takytan. Dessutom fås poäng beroende på vilka miljöfördelar som taket bidrar till. Inom BREEAM kan gröna tak ge totalt sju poäng inom fyra av de totalt tio värderingsområdena: markanvändning, ekologi samt föroreningar och översvämningsrisk⁴. Miljöbyggnad har däremot inte några kravställningar rörande sedumtak⁵.

Vill du veta mer om gröna tak?

*Läs gärna de tre delarna av
Grönatakhandboken:*

- Vägledning

- Betong, Isolering och Tätskikt

- Växtbädd och Vegetation

⁴ (Ibid)

⁵ (SBUF, 2013)

Tabell 1 Poängkategorier för gröna tak i miljöcertifieringssystem⁶.

Värderingsområde	BREEM	LEED
Bevattning	Ja	Ja
Värmeöar	Nej	Ja
Skydda biologisk mångfald	Ja	Ja
Maximera öppna landskap	Ja	Ja
Dagvattenkontroll	Ja	Ja
Ansvarsfullt framtaget	Ja	Nej

Dagvattenkontroll ingår i de olika miljöcertifieringarna för byggnader, men kommuner ställer också krav, i synnerhet när andra bygger på kommuners mark. Stockholms stad exempelvis har sedan 2002 haft en dagvattenstrategi som uppmanar att fastigheter som byggs i så stor utsträckning som möjligt ska hantera dagvatten "vid källan" genom fördröjning och infiltration innan eventuell avledning. Här är gröna tak ett bra och alltmer populärt alternativ⁷.

En annan drivkraft för gröna tak är också de allt vanligare kraven på grönytefaktor som ett styrmedel för hållbart byggande. Modellen för beräkning av grönytefaktor varierar mellan olika kommuner, men generellt sett kan det konstateras att gröna tak värderas högt vid beräkning av grönytefaktor.

2.2.1 Det gröna takets olika delar

Nedan syns en schematisk figur av ett grönt tak i genomskärning. De olika komponenterna skiljer sig mellan olika leverantörer och beroende på vilka egenskaper som efterfrågas.

Vegetationen kan bestå av sedum, örter, buskar eller träd. Substratet är jordmånen som vegetationen växer i, och dess tjocklek varierar bland annat beroende på vilken växtlighet man har. Under substratet finns ett filter, exempelvis av duk, som ser till att substratet inte sköljs iväg med regnvattnet. Det kan även finnas ett armeringsnät som minskar erosionen från vatten och vind. Tillsammans kallas sedum, substrat och armering för en sedummatta. Under sedummattan finns ett eller flera vattenhållande och dränerande lager. Det kan exempelvis vara ett nät som låter överflödigt vatten rinna av, eller en matta med koppar som håller kvar vattnet. Dammbildning är ett stort problem på gröna tak, bland annat eftersom vegetationen ruttar om dess rötter står i vatten. Att använda dräneringsmattor är därmed i princip obligatoriskt. Ibland används även en rotspärr för att undvika att växternas rötter skadar tätskiktet, som finns allra längst ner.

Figur 6 Generell uppbyggnad av grönt tak⁸.

⁶ (SBUF, 2013)

⁷ (Stockholms stad, 2015)

⁸ (SBUF, 2013)

2.2.2 Olika kategorier av gröna tak

Gröna tak delas vanligen in i två skötselkategorier: extensiva och intensiva. Ibland nämns även den tredje kategorin semi-intensiva, som ett slags mellanting.

Extensiva tak är den vanligaste typen av gröna tak⁹. Dessa är täckta med ett substrat som är tunnare än 20 cm¹⁰, och kräver endast begränsat underhåll. Vanligen är växtligheten låg och består av mossor, sedumväxter, suckulenter, lökväxter och vissa tåliga vilda blommor¹¹. Extensiva tak är betydligt lättare än intensiva tak och ger en last på cirka 50–250 kg/m².



Figur 7 Extensivt tak på Rantorget Göteborg (Bild: Veg Tech)

Intensiva tak har ett substratdjup som är större än 20 cm och som kräver mycket arbete¹². Vegetationen är högre än på de extensiva taken, och kan innefatta buskar och träd som kräver regelbunden bevattning, gödsel och annat underhåll.

⁹ (Käck, 2016)

¹⁰ (Ogaili, 2015)

¹¹ (Scandinavian Green Roof Institute, u.d.)

¹² (Ogaili, 2015)



Figur 8 Intensivt grönt tak i Chicago¹³.

2.2.3 Växter på gröna tak

I princip kan alla växter användas på tak, men det gröna takets uppbyggnad måste då anpassas efter växterna. Vanligen planteras en varierad sammansättning av olika växter, varpå de som är bäst lämpade för platsens förutsättningar överlever och dominerar det gröna taket efter ett antal år.

Idag är det vanligast med dock sedumtak och sedum-ört-tak. Sedumtak är en extensiv taktyp som vanligen består av sedum- och mossarter. Sedum-ört-tak är vanligen semi-intensiva tak som har ett mer ängsliknande utseende än sedumtak. De innehåller vanligen en blandad vegetation av sedum, torktåliga örter, gräs.



Figur 9 Sedum-tak respektive sedum-ört-tak (Bild Veg Tech).

¹³ (Conservation Design Forum, 2008)

2.2.4 Fördelar med gröna tak

Vegetationens naturliga egenskaper gör att gröna tak bidrar till att lösa flera av de problem som uppstår i dagens tätbebyggda städer. Evapotranspirationen, som kylvatten, är den egenskap som huvudsakligen bidrar till att solceller på gröna tak kan ha ett högre utbyte än solceller på svarta tak. Takets albedo har också en viss inverkan och är högre på gröna tak jämfört med svarta, se avsnitt 2.3.

Dessutom kan gröna tak bidra till att öka den biologiska mångfalden, minska behovet av dagvattenhantering, rena luft och minska buller samt bidra till en sänkt energiförbrukning i byggnader genom en isolerande effekt. Dessutom är gröna tak ofta vackra att titta på och bidrar dessutom till att öka takens livslängd.

Kylning genom evapotranspiration

Gröna tak har möjlighet att ta upp regnvatten, både i substratet och i växtligheten. När solenergi träffar taket omvandlas strålarna (den strålning som inte reflekteras) inte till värme, utan bidrar istället till evapotranspiration av vattnet.

Evapotranspiration är den kombinerade effekten av transpiration och evaporation. Transpiration sker när vatten rör sig genom växterna för att sedan avdunsta genom klyvöppningarna. Evaporation sker när vatten avdunstar från substratet. Evapotranspirationen kräver energi, som lämnar taket istället för att värma upp det.

Den kylande effekten på gröna tak bidrar till att öka utbytet från solceller, se avsnitt 2.4. Dessutom ger kylningen möjligheter till sänkt energiförbrukning i varma klimat. Modellering av energiflöden har visat att gröna tak kan minska det årliga kylbehovet med 11 % i varma klimat. Gröna tak kan även ha en isolerande effekt, och motsvarande modelleringar i kalla klimat har visat det årliga behovet av uppvärmning kan minska med 9 %¹⁴.

Biologisk mångfald

Gröna tak kan skapa utrymme för växter och djur, som annars har svårt att hitta sitt utrymme i de allt mer tätbebyggda städerna. Takens möjligheter att rymma en varierad flora och fauna beror till stor del på hur det är utformat, och naturligtvis trivs fler arter på varierade intensiva tak än på mer enformiga extensiva gröna tak. Studier på ett särskilt rikt tak i Basel visade att det huserade 79 sorters skalbaggar, varav 13 var hotade, och 40 spindelarter, varav 7 var hotade¹⁵. Vanliga arter på svenska tak är humlor, bin, spindlar, fjärilar, skalbaggar, blomflugor och fåglar.

Minskad dagvattenhantering

Tak med vegetation tar upp, fördröjer och avdunstar stora mängder nederbörd, vilket minskar belastningen på dagvattensystemen och risken för översvämningar. Olika typer av gröna tak har olika fördröjningskapacitet, som bland annat beror på substrat- och växtdjupet, plantsorterna, taklutningen samt vilka vattenhållande och dränerande skikt som används. Studier har visat flöden kan fördröjas med upp

¹⁴ (Ascione, Bianco, de' Rossi, Turni, & Vanoli, 2013)

¹⁵ (Brenneisen, 2006)

till 30 minuter och att den årliga avrinningen kan reduceras med 40–90 % med gröna tak¹⁶.

Tabell 2 Vattenhållande förmåga i förhållande till substratdjup^{17,18}.

Substratdjup (mm)	Vegetation	Vattenhållande förmåga (% av nederbörd)
20–40	Sedum	40
40–60	Sedum	45
60–100	Sedum, ört	50
100–150	Sedum, ört, gräs	55
150–200	Ört, gräs	60
200–250	Gräsmatta, buskar	60
250–500	Gräsmatta, buskar	70
>500	Gräsmatta, buskar träd	>90

Renare luft

Luftföroreningar och partiklar i luften är idag ett stort problem i många svenska städer. Gröna tak kan bidra till att minska dessa problem, genom att föroreningarna och partiklarna fastnar på de många små bladen.

Bullerminskning

Gröna tak har en bullerdämpande effekt, både när det gäller buller som tränger in i byggnaden och buller som annars hade spridits vidare till omgivande miljöer.

Ökar takens livslängd

Många takmaterial är känsliga för UV-ljuset i solens strålar, som stoppas effektivt då det täcks med vegetation. Vidare kan takmaterial vara känsliga för stora temperaturskiftningar, vilka dämpas av det gröna takets isolerande effekt. På så vis bidrar gröna tak till att öka takens livslängd.

2.3 SVARTA OCH VITA TAK

Vita tak reflekterar solens strålar, vilket innebär att temperaturen blir lägre än på svarta tak. Detta kan bidra till högre utbyte från solceller och dessutom sänka behovet av kylning inomhus i byggnader med sparsam takisolering.

¹⁶ (Malmberg, 2016)

¹⁷ (Mentens, Raes, & Hermy, 2006)

¹⁸ (Livingroofs.org, 2016)

Albedot, det vill säga reflektionsförmågan, kan på ett riktigt vitt tak ligga på 0,83, att jämföra med ett riktigt svart tak som kan ligga på 0,06¹⁹. Enligt mätningar i varierande klimat kan vit färg minska takets ytemperaturer med 20 till 42 grader^{20,21,22}. Detta påverkar inomhustemperaturen i byggnader med sparsam takisolering. Beräkningar för hela USA visar att om alla mörka tak ersätts med vita, kan landet sänka sin energianvändning med 10 TWh per år, vilket motsvarar 0,5 % av den el som används i amerikanska byggnader²³.

Efter att ett vitt tak installerats sjunker ofta albedot till följd av ansamlingar av damm och smuts. Den mesta nedsmutsningen sker under det första året. Vita tak hålls dock i stort sett rena om de sluttar mer än 5 grader. Annars kan de behöva tvättas för att återställa albedot.



Figur 10 Vitt tak (Bild: Derbigum)

¹⁹ (Berkeley, 2000)

²⁰ (Akbari & Konopacki, 2005)

²¹ (Urban & Roth, 2010)

²² (Sonne, 2006)

²³ (Akbari & Konopacki, 2005)

3 Solceller på svarta, vita eller gröna tak

Hittills har endast ett fåtal experimentella studier gjorts på hur solelproduktionen skiljer sig mellan svarta, vita och gröna tak. Dessa indikerar dock att solceller på vita och gröna tak kan ge en något högre elproduktion.

Dessutom kan kombinationen av solceller och gröna tak föra med sig andra synergieffekter, som bättre förutsättningar för biologisk mångfald, medan solceller på svarta och vita tak kan förlänga takens livslängd.

3.1 SYNERGIEFFEKTER

Gröna och vita tak har vanligen en lägre temperatur än svarta tak, vilket innebär att solcellernas verkningsgrad kan öka. Dessutom reflekterar ytorna mer ljus än exempelvis svarta tak. Samtliga studier är gjorda på platser vars klimat skiljer sig från Sveriges klimat, och därför är det svårt att översätta resultaten till svenska förhållanden. I nedanstående tabell sammanfattas dock relevanta studier och deras resultat.

Forskare	Plats	Försökstid	Växter	System	Resultat
Köhler et al	Berlin, Tyskland	5 år	Sedum	Grönt och svart tak	Oklart
Hui och Chan	Hong Kong, Kina	3 timmar Sommardag	Sedum	Grönt och svart tak	4,3 %
Perez et al	New York, USA	Juni	Sedum	Grönt tak och grustak	2,56 %
Chemisana och Lamnatou	Katalonien, Spanien	Juni-juli	Påfågelsblomster Sedum	Grönt och svart tak	1,29 % 3,3 %
Naengast et al	Pennsylvania, USA	Juli	Mossor	Grönt och svart tak	0,5 %
Ogaili	Oregon, USA	2 månader Juli-september	Nejlikor	Grönt, svart och vitt tak	1,2 %

Köhler et al jämförde temperaturen på svarta och gröna tak, båda med solceller, i Berlin. Bland annat uppmättes det gröna takets ytemperatur till 20 grader lägre än det svarta under eftermiddagar i juli. På grund av varierande konfiguration i de olika testanläggningarna är det svårt att dra några slutsatser kring skillnader i utbyte mellan olika taktyper. Författarna uppskattar dock att solcellerna på det gröna taket gav 6 % högre produktion under en femårsperiod²⁴.

Hui och Chan gjorde mätningar på två likadana moduler som placerats på ett svart respektive grönt tak mellan klockan 11 och 2 under en solig sommardag i Hongkong. Resultaten visar att solcellsmodulen på det gröna taket var 5 till 11 grader kallare än modulen på det svarta taket. Solcellerna ovan det gröna taket gav

²⁴ (Köhler, Schmidt, Laar, Wachsmann, & Krauter, 2002)

även 4,3 % mer elektricitet än det svarta taket²⁵, men det bör noteras att mätningarna gjordes under ett mycket kort tidsintervall och på ett tak som troligen var långt mycket varmare än vad svenska tak någonsin blir.

Perez et al gjorde mätningar i New York i juni på ett grustak och ett grönt tak. Yttemperaturen på det gröna taket uppmättes till 11 % lägre än temperaturen på grustaket och solcellerna på det gröna taket gav 2,56 % högre elproduktion än solcellerna på grustaket. Det bör dock noteras att avståndet mellan solcellerna och det gröna taket var större än avståndet mellan solcellerna och grustaket²⁶.

Chemisana och Lamnatou gjorde tester på enskilda moduler som placerats på olika takmaterial: påfågelsblomster, sedum och grus. Mätningarna gjordes i nordöstra Spanien under fem dagar i juni. Elproduktionen var 1,29 % respektive 3,3 % högre från taken som var täckta med påfågelsblomster respektive sedum jämfört med taket som var täckt med sten²⁷.

Naengast et al gjorde experiment under ett år på en storskalig solcellsanläggning i Pennsylvania i USA. Solcellsmodulerna var placerade på gröna ytor, huvudsakligen täckta med mossor, respektive svarta ytor. Studien visade att utbytet var högre från den gröna ytan då den omgivande temperaturen var över 25 grader och/eller solinstrålningen var över 800 W/m². Detta skedde huvudsakligen i juli, då solcellerna på det gröna taket producerade 0,5 % mer el än solcellerna på det svarta taket. Sett över hela året producerade solcellerna på det svarta taket 0,5 % mer el än solcellerna på det gröna taket²⁸.

Ogaili gjorde experiment med solceller på svarta (albedo 0,06), vita (albedo 0,64) och gröna (albedo 0,28) tak under juli till september i Oregon i USA. Experimenten gjordes på identiska system, och två olika monteringshöjder ovan takytan testades: 18 och 24 cm. Resultaten visar att solcellen som monterades 18 cm ovan ett grönt tak gav 1,2 % respektive 0,8 % större utbyte än solcellen på det svarta respektive vita taket. Vid en monteringshöjd på 24 cm gav solcellen på det gröna taket 1,0 % respektive 0,7 % större utbyte än solcellen på det svarta respektive vita taket²⁹.

Således ser gröna tak ut att kunna ge solcellssystem någon eller ett par procent högre produktion än svarta tak på årsbasis. Utöver ökad elproduktion kan solceller även förbättra förutsättningarna för biologisk mångfald på gröna tak. Då vissa ytor skuggas kraftigt, och andra är i starkt solljus, skapas ett varierande mikroklimat som ger goda förutsättningar för en varierad sammansättning av olika växter och djur³⁰. Vidare kan såväl vegetation som solceller förlänga livslängden på papptak, då det skyddas från solens nedbrytande UV-strålning. Vissa studier indikerar att livslängden hos bitumenbaserade material kan förlängas med 10–30 %³¹.

²⁵ (Hui & Chan, 2011)

²⁶ (Perez, Wight, Fthenakis, & Ho, 2012)

²⁷ (Lamnatou & Chemisana, 2015)

²⁸ (Nagengast, Hendrickson, & Scott Matthews, 2013)

²⁹ (Ogaili, 2015)

³⁰ (Köhler, Schmidt, Laar, Wachsmann, & Krauter, 2002)

³¹ (Björk, 2004)



Figur 11 Solceller på sedum.

3.2 MONTERINGSSYSTEM PÅ SVARTA OCH VITA TAK

I mellersta Sverige ger en taklutning på drygt 40 grader den bästa produktionen. Att installera solceller på så pass branta tak är dock komplicerat och dyrt, varför de mest ekonomiska systemen byggs på flackare tak. Taktypen, och ytans lutning, avgör vilket monteringsystem som kan användas.

Monteringsystemet bör alltid vara certifierat av tredje part, eller på annat sätt tydligt kvalitetssäkrat. Både material och infästningar ska vara dimensionerade utifrån normenliga snö- och vindlaster på den aktuella platsen.

3.2.1 Platta tak

Platta tak avser i regel tak som lutar max 5–10 grader. På platta tak används oftast ballastsystem, varför inga infästningar i taket behövs. Ballastsystem ligger på plats av sin egen tyngd och extra ballast. Systemen är attraktiva och kostnadseffektiva eftersom de är snabba att installera. Ju mer taket lutar och ju högre vindlaster det är desto mer ballast behöver läggas till. Eftersom ballastsystem adderar mer vikt till taken än andra system är det viktigare att undersöka taket och dess hållfasthet i

planeringsskedet. Om taket inte klarar den extra vikten som ballasten medför kan infästningsplattor användas istället.

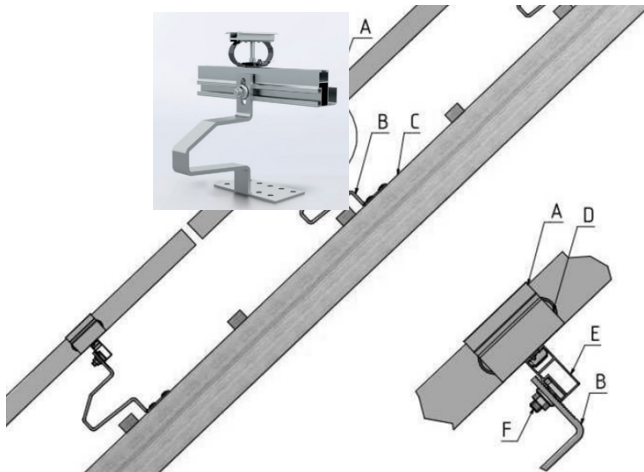


Figur 12 Solceller på platt tak i Örebro.

3.2.2 Lutande tak

På lutande tak är det vanligen lämpligt att montera solcellerna så att de följer takets lutning. På så vis minimeras inverkan från vindlaster, och monteringen blir enklare.

Monteringssystem för lutande tak består huvudsakligen av ett ramverk av aluminiumskenor, som modulerna fästs i och vilar mot, samt krokar eller klämmor som förankrar skenorna i taket. Valet av krokar eller klämmor styrs av takmaterialet. På korrugerad plåt kan klämmor pop-nitas fast, på falsad plåt används falsklämmor och på tegeltak används särskilda krokar som skruvas fast i takstolarna.



Figur 13. Skiss över typiskt monteringsystem. A = solcellsmodul, B = takkrok, C = takbjälke, D = klämma, E = aluminiumprofil, F = monteringskruv. (Bild: IBC Solar)

3.3 MONTERINGSSYSTEM PÅ GRÖNA TAK

Idag finns flera monteringsystem som är särskilt anpassade för att installera solceller på gröna tak. Monteringsystem som är vanliga i Sverige är Soltop Duraklick och Optigreen Sun-Root 15 respektive 30.

3.3.1 Platta tak

Soltop Duraklick GR 100/20

Duraklick är ett ballastsystem av aluminium och rostfritt stål, med 20 graders upplutning, som monteras utan infästningar eller håltagning genom takets tätskikt. Duraklick kan monteras på tak som lutar maximalt 5 grader. Monteringsystemet placerar modulerna högre ovanför takytan, vilket enligt tillverkaren gör det lämpat för intensiva gröna tak.



Figur 14 Duraklick GR 100/20 monteringsystem (Bild: Optigreen)

Optigreen Sun-Root 15

Sun-Root 15 är ett ballastsystem, som består av ett aluminiumstativ som förankras i plast. Solcellerna monteras sedan, med en upplutning på 15 grader, i stativet. Sun-Root 15 kan monteras på tak som lutar maximalt 3 grader. Det tål dock endast snölast på upp till 2,3 kN/m², varför det endast kan användas i södra Sverige.



Figur 15 Sun-Root 15 (Bild: Optigreen)

Plasten är konstruerad så att den även fungerar som dräneringsmatta, som leder vatten in under modulerna och utjämnar vattennivåerna. Samtidigt fungerar sedummattan som ballast, vilken håller hela konstruktionen på plats³².

Optigreen Sun-Root 30

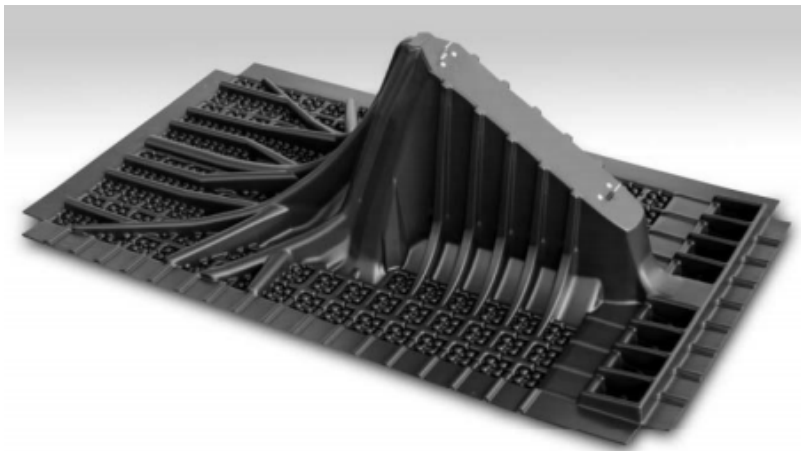
Sun-Root 30 är ett ballastsystem av plast, med 30 graders upplutning, som monteras utan infästningar eller håltagning genom takets tätskikt. Sun-Root 30 kan monteras på tak som lutar 0–3 grader. Precis som Sun-Root 15 tål systemet endast snölast på upp till 2,3 kN/m², varför det endast kan användas i södra Sverige.

³² (Optigreen, Solar Green Roof Sun Root 15, 2017)



Figur 16 Sun-Root monteringsystem (Bild: Optigreen)

Sun-Root 30 bildar, genom sin plastkonstruktion, en del av det gröna takets dräneringssystem, samtidigt som sedummattan då fungerar som ballast³³.



Figur 17 Plastkonstruktionen som utgör dräneringssystem (Bild: Optigreen)

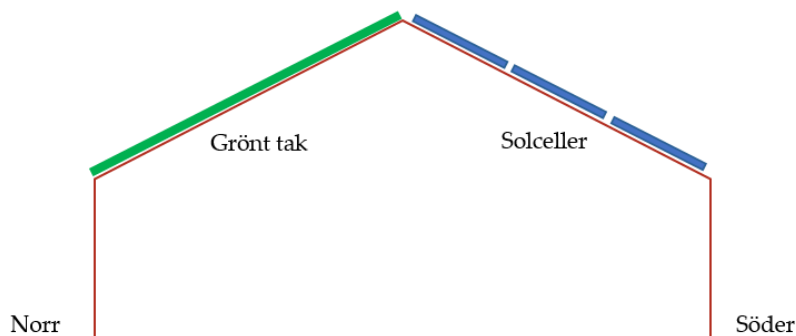
³³ (Optigreen, Solar Green Roof Sun Root 30, 2017)

3.3.2 Lutande tak

Gröna tak kan anläggas på takytor med lutningar på upp till cirka 35 grader. Vid kraftiga lutningar bör hänsyn dock tas till att avrinningen ökar, och eventuellt även solinstrålningen, så att taket torkar snabbare³⁴. På tak med lutningar över 10 grader finns risk för att vegetationen börjar glida, vilket kan undvikas genom att hänsyn tas till friktionen mellan de olika lagren i det gröna taket.

På lutande tak är det lämpligt att montera solcellerna så att de följer takets lutning. På så vis minimeras inverkan från vindlaster och monteringen blir enklare och mer kostnadseffektiv. Samtidigt innebär det att modulerna vanligen placeras kant i kant, utan utrymme för vegetation. För att kombinera solceller och vegetation på lutande tak krävs därför att den tillgängliga ytan delas upp mellan de olika teknikerna. Då vegetationsytan minskar sjunker också takets förmåga att magasinera och fördröja dagvatten, vilket i sin tur kan kompenseras genom tjocklek och utformning på det gröna taket.

Det lämpligaste sättet att kombinera solceller och vegetation på lutande takytor är förmodligen att montera solcellerna på ytor som lutar mot söder, samtidigt som det gröna taket anläggs på ytor som lutar mot norr. Att luta det gröna taket mot norr kan till och med vara en fördel för växtligheten, då risken för uttorkning minskar³⁵. Dessutom skapas förutsättningar för växter och djur, som skiljer sig mot förutsättningarna på ytor som är mer exponerade för solljuset.



Figur 18 Grönt tak mot norr och solceller mot söder.

Det förekommer även lösningar där vegetationen placerats runt solcellerna, exempelvis vid kanter,nock och takfot. Avgörande är då att vegetationen inte glider av och att luftflödet runt solcellerna inte begränsas så att verkningsgraden sjunker.

³⁴ (Pettersson Skog, Malmberg, Emilsson, Jägerhök, & Capener, 2017)

³⁵ (Karlberg, 2016)

4 Installationsmetoder för solceller på gröna tak

Störst potential att kombinera solceller och gröna tak finns på platta taktytor, där de olika teknikerna kan dra nytta av varann.

Platta tak avser tak som lutar max 5–10 grader. Enligt avsnitt 3.3 finns flera monteringsystem för solceller, som är anpassade för just platta gröna tak, men de har flera brister som försvårar möjligheterna för kombinationstak att slå igenom brett:

- Tillverkningen av specialsystemen görs i små upplagor och blir därför avsevärt dyrare än standardssystem.
- Installationsprocessen för specialsystemen skiljer sig avsevärt från installation av standardssystem, och installatörerna är ännu ovana. Det gör att installationen tar betydligt längre tid och blir avsevärt dyrare.
- På grund av den nuvarande överetableringen på den tyska solcellsmarknaden är situationen just nu instabil för många av de tyska grossister som levererar till Sverige. Det finns därmed stora fördelar att arbeta med traditionella lösningar, som går att få tag på med kort varsel, till skillnad från speciallösningar som inte lagerhålls och därför har betydligt längre leveranstider.

För ett bredare genomslag, där gröna tak inte konkurrerar med solceller, krävs hållbara och kostnadseffektiva kombinationslösningar, som kan finna acceptans hos såväl solcellsentreprenörer som gröna-tak-entreprenörer, och som tillvaratar vegetationens möjligheter att kyla solcellerna för att öka verkningsgraden. En möjlighet är att använda vanliga solcellssystem, för konventionella tak, men att anpassa utformningen efter det gröna taket.

I nedanstående avsnitt beskrivs de utgångspunkter som behöver beaktas vid montering av solceller på gröna tak, och särskilt vid användning av konventionella solcellssystem.

4.1 SOLCELLSSYSTEM

På platta tak används vanligen solcellssystem med en lutning på 10–40 grader och avstånd mellan modulraderna. Om modulerna lutas upp 20 grader eller mer, når solljuset in under dem och växtbädden kan anläggas även där. För att få in ljus under modulerna kan eventuella vindskivor tas bort, men det är då avgörande att anpassa eventuell ballast och infästningar för att hantera de ökade vindlasterna. Vid lägre upplutningar än 20 grader placeras växtbädden istället huvudsakligen mellan raderna.

Fördelen med låglutande system är att vindlaster begränsas, så att solcellssystemet kan hållas på plast med enbart ballast. System med större upplutning kräver vanligen infästningar för att ligga på plats, och blir därmed något dyrare. Samtidigt är sådana system lättare än ballastsystem, vilket kan vara en fördel då många platta tak är känsliga för stora laster. För att undvika inbördes skuggning mellan raderna används ett radavstånd som växer med lutningen. För en

upplutning på 10 grader räcker det i Mellansverige vanligen med ett avstånd från modulframkant till modulframkant på 1,5 m, medan en upplutning på 40 grader kräver ett avstånd på 2,8 m. På gröna tak kan det dock vara lämpligt att utöka radavståndet något, för att skapa skuggfria ytor som även kan nås av nederbörden.

För att undvika skuggning från den växande vegetationen kan det vara lämpligt att montera solcellerna så att den lägsta punkten är en bit ovanför takytan. Samtidigt bör avståndet inte bli för stort, då den avkylande effekten hos gröna tak sjunker med höjden ovan taket³⁶.

Vid användning av ballastsystem på gröna tak är det relevant att beakta valet av ballast och hur den placeras. Betongblock läcker kalkhaltiga ämnen vid kontakt med vatten, vilket bidrar till att substratets pH-värde höjs. Ett alltför högt pH-värde kan vara problematiskt för vissa växter som trivs i sura miljöer. Sedum trivs dock i något basiska miljöer. För att minimera inverkan från betongblocken kan de exempelvis placeras på monteringsystemet, så att kontakten med vegetationen begränsas.

4.2 VEGETATION

Intensiva gröna tak har en mängd fördelar, som hög biologisk mångfald och vattenhållande förmåga. Sådan vegetation har också högre evapotranspiration, vilken kyler solcellsmodulerna och bidrar till att öka utbytet. Samtidigt är extensiva tak av kostnadsskäl idag den vanligaste typen av gröna tak. Fördelen med sådana är att de väger mindre, och därför är lämpliga på fler platta tak, samt att växtligheten inte riskerar att skugga modulerna i lika stor utsträckning.

Några generella riktlinjer för den som väljer växter till sitt gröna solcellstak³⁷:

- Välj gärna extensiva växter, som klarar sig med en låg nivå på skötsel.
- Välj växter som klarar växlande väderförhållanden. Vissa kommer att vara i strakt solljus, och vissa kommer kanske ständigt att skuggas av modulerna.
- Välj gärna växter med ett högt albedo, som reflekterar solljuset mot modulerna. Se även till att taket är ordentligt täckt med växtlighet, så att inte substratet med lägre albedo fångar solens strålar.
- Välj växter med hög evapotranspiration. Vanligen ger blandad vegetation med olika bladstorlekar en högre evapotranspiration, samt växter med glansiga löv snarare än håriga.
- Välj växter med en låg höjd, som inte växer upp och skuggar modulerna.

4.3 SINGEL

Då solcellsmoduler monteras på gröna tak kommer en stor del av nederbörden att hamna precis vid modulernas nedkant. Det medför en risk för uttorkning under modulerna, som kan hanteras genom dränerings- och kapilärmattor, se avsnitt 4.1.4.

³⁶ (Ogaili, 2015)

³⁷ (Lundholm, MacIvor, MacDougall, & Ranalli, 2010)

Vidare medför den ökade fuktigheten framför modulerna även en risk för att högre vegetation växer upp och skuggar solcellerna³⁸.

För att undvika uppväxt av högre vegetation anläggs lämpligen en remsa med singel framför modulernas nederkant. Denna bör vara minst 300 mm bred³⁹, där 100 mm går in under modulen och 200 mm ligger framför den. Singeln framför modulerna är även lämplig att använda som gångyta, för att undvika att trampa på substratet, om taket behöver beträdas.

Vid låga upplutningar når solljuset knappast in under modulerna, och det kan då vara lämpligt att lägga singel under hela modulerna. Eventuellt finns en risk för att singeln sänker det gröna takets vattenhållande förmåga, men detta kan kompenseras genom att anlägga tjockare substrat på övriga ytor, och genom användning av vattenhållande lager under både substrat och singel⁴⁰.

Ett annat sätt att minimera risken för uppväxande vegetation är att begränsa substratdjupet till max 50–60 mm, så att endast sedum kan växa där⁴¹.

4.4 SUBSTRAT

Vanligen består substratet av ett lavamaterial, då det har en god dränerande förmåga kombinerat med en låg vikt, samtidigt som det håller både luft och vatten.

För att kyla solcellerna är det bra med ett tjockt substratlager, som håller mycket vatten och ger en hög evapotranspiration. Om vegetationsytan reduceras av solceller eller singel, kan även substratdjupet utökas som kompensation, så att takets vattenhållande förmåga bibehålls.

Nackdelen med tjockare substrat är att de är mer kostsamma och väger betydligt mer i vattenmättat tillstånd, se tabellen nedan, vilket inte alla platta tak klarar av. Innan det gröna taket anläggs är det därför avgörande att kontrollera så att takets konstruktion klarar den sammanlagda lasten.

Tabell 3 Vattenmättade vikter för olika vegetationstyper⁴².

Vegetationstyp	Vikt vattenmättat tillstånd (kg/m ²)
Sedummatta	50
Sedum-ört-grästak	130
Biotoptak	180–250
Takträdgård	>250

Ovanstående vikter kan jämföras med typvikter för solcellssystem. Ett solcellssystem, som monteras jäms med taket, väger cirka 12 kg/m². Ett upplutat ballastsystem väger cirka 7–14 kg/m², och sedan tillkommer ballast på mellan 2–25 kg/m² beroende på hur vindutsatt taket är.

³⁸ (Karlberg, 2016)

³⁹ (Petterson Skog, Malmberg, Emilsson, Jägerhök, & Capener, 2017)

⁴⁰ (Karlberg, 2016)

⁴¹ (Ibid)

⁴² (Veg Tech, 2016)

4.5 DRÄNERINGSMATTOR OCH KAPILÄRMATTOR

Dammbildning är ett stort problem på gröna tak, och att använda dräneringsmattor är därmed i princip obligatoriskt. Olika dräneringsmattor har dock olika egenskaper när det exempelvis gäller dränerande och vattenhållande förmåga.

Vid användning av ett ballastsystem bör dräneringsmattor placeras under solcellssystemet, för att undvika att regnvatten dröjer kvar vid monteringsystemets skenor. Detta är särskilt viktigt då skenor inte följer takets lutning.

Om växtbädden anläggs under modulerna, där nederbörd inte faller, finns risk för att vegetationen får alltför torra förutsättningar. Då kan det vara lämpligt med dräneringsmattor som sprider vattnet horisontellt. Därmed fördelas vattnet in under modulerna.



Figur 19 Diadrain dräneringsmatta.

Alternativet är att använda kapilärmattor, som läggs från modulens framkant och en bit in under dem. Dessa bidrar till att dra in vattnet under modulerna, men är något kostsamma.

Vid användning av singel på tak finns risk för att singeln sänker det gröna takets vattenhållande förmåga. Särskilt gäller detta då singeln placeras i rader, som följer takets lutning frånnock till takfot. Regnvattnet kan då rinna av taket genom singelraderna. Denna problematik kan minimeras genom användning av vattenhållande lager under både substrat och singel⁴³.

4.6 MONTERINGSPROCESS

Det finns stora fördelar med att anlägga gröna tak och solcellssystem samtidigt, eftersom det då är möjligt att samordna lyft och taksäkerhet. Vid installation av kombinationssystem, där dräneringsmattorna är en del av monteringsystemet och

⁴³ (Karlberg, 2016)

där substratet används som ballast, är installationsprocesserna naturligtvis nära sammanlänkade. I övriga fall, exempelvis vid användning av mer konventionella system, bör det gröna taket dock anläggas efter att solcellsanläggningen är färdigmonterad. Dels för att installationen går snabbare, och blir bättre, och dels då det är olämpligt att utsätta vegetationen för de stora belastningar som uppstår när den beträds vid eftermontering av solceller.

Naturligtvis är det svårt att få eventuella infästningar på plats om takytan redan är täckt av vegetation, men även eftermontering av ballastsystem innebär komplikationer. Försök har gjorts med placering av ballastsystem ovanpå vegetationen, men systemen har en tendens att bli instabila och ojämna. Lämpligare är då att plocka bort vegetationen, där solcellssystemet ska stå, och sedan eventuellt föra tillbaka delar av växtligheten när solcellerna är på plats. Detta är dock tidsödande, och försök har visat att en sådan solcellsinstallation tar ungefär dubbelt så lång tid som motsvarande installation på exempelvis ett konventionellt papptak⁴⁴. Därför lämpar sig sådana lösningar bäst på tak som redan är gröna, och där solcellssystemet tillkommer i efterhand.

Vid kombinationslösningar av solceller och gröna tak är det även relevant att placera kabeldragningar så att de inte kommer i kontakt med varken vegetation eller fukt.

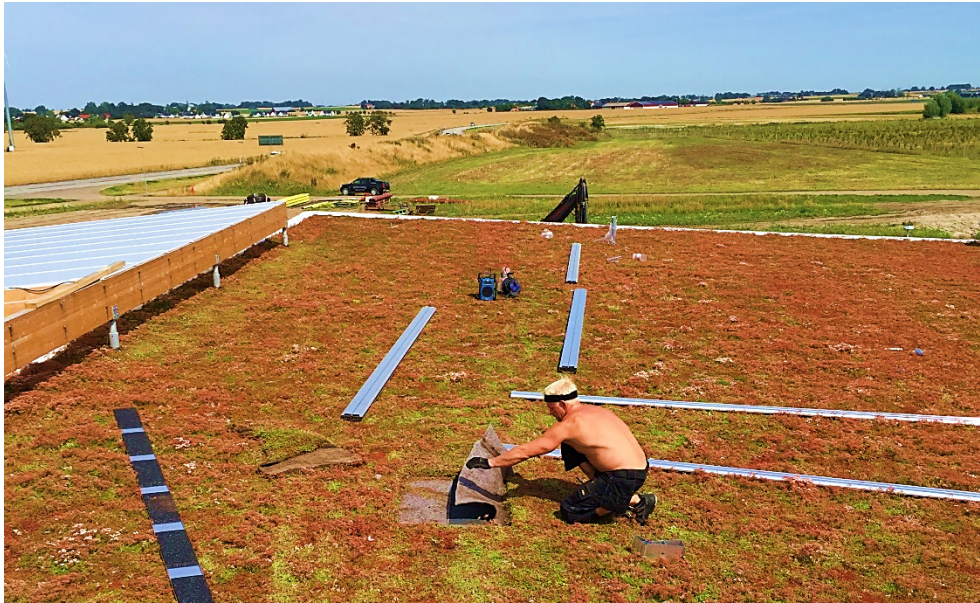
4.6.1 Monteringsprocesser på bensinstationer i Skåne

På en av OKQ8:s bensinstationer i Skåne har försök gjorts med eftermontering av solceller på en i princip platt sedumtakyta. Anläggningen har en toppeffekt på 10 kW och är monterad med ett ballastsystem. Nedanstående bildserie beskriver installationsförfarandet.



Figur 20 Sedumtaket före installationen av solceller.

⁴⁴ (Franck, 2017)



Figur 21 Installatörerna började med att mäta ut exakt var solcellerna skulle stå, för att sedan skära bort sedummattan just där.



Figur 22 Sedummattan veks åt sidan och sedan lades skensystemet ut ovanpå det vattenhållande lagret.



Figur 23 Sedummattan veks sedan tillbaka igen, ovanpå skenorna, på ytorna mellan modulraderna.



Figur 24 Sedan monterades solcellsmodulerna.



Figur 25 Till sist lades ballastblock ut på skenorna.

Senare gjordes en lika stor installation på ett identiskt tak, men där sedumen placerades ut efter solcellsinstallationen. Det visade sig vara mycket enklare, och installationstiden för solcellsanläggningen kunde halveras, utan att installationstiden för sedumtaket påverkades i större utsträckning.

5 Försök och erfarenheter

Flera internationella studier tyder på att solcellstak och gröna tak inte behöver ställas emot varandra i exempelvis byggprocesser, utan snarare kan kombineras för att skapa synergieffekter.

En sådan synergieffekt är de gröna takens förmåga att kyla solcellerna, som då får en högre verkningsgrad och potentiellt ger en högre elproduktion över året. Hittills finns dock inga studier som testat om den effekten är relevant i Sverige eller med skandinaviska klimatförhållanden.

Syftet med detta projekt var därmed, bland annat, att studera hur elproduktionen från solcellssystem påverkas av taktypen vid svenska förhållanden. Målet var att göra mätningar av solinstrålning, temperatur och elproduktion för tre identiska solcellssystem på ett svart, vitt respektive grönt tak under sommarhalvåret i Sverige.

5.1 FÖRSÖK

Problemen med de internationella studier som gjorts inom detta område är att solcellssystemen ofta placerats på platser med ett annat klimat än Sverige, att mätningarna gjorts på mycket små solcellssystem eller under mycket korta tidsintervall samt att de olika solcellssystemen haft olika konfiguration. Tanken var att eliminera alla dessa felkällor i ett försök i Malmö. Därmed var följande faktorer mycket viktiga för studiens utfall:

- Takytan måste vara så stor att det är möjligt att installera tre stycken tillräckligt stora och helt identiska solcellssystem på svart, vitt, respektive grönt tak. Takytan bör även vara i princip helt platt, så att upplutade system med vegetation mellan raderna kan användas.
- Gränseffekter bör minimeras genom att placera solcellerna en bit från kanterna på de olika taktyperna, så att de inte påverkas av andra taktyper än den de står på.
- Solcellssystemen måste vara precis identiska med avseende på lutning, azimut, storlek, strängkonfigurering och solinstrålning. Skuggnings-förhållandena måste därmed vara identiska under de perioder då mätningen ska utföras.
- Även om solcellssystemen utformas så att de är identiska, kommer de inte att ha exakt samma topp effekt, eftersom modulernas verkliga effekt skiljer sig något från märkeffekten. Därför måste skillnaderna kvantifieras genom genomgång av modulernas testprotokoll.
- Vidare krävs elmätning med mycket stor noggrannhet. Många elmätare har en noggrannhet på $\pm 2\%$, vilket innebär att osäkerheten är alltför stor i ett projekt som handlar om att kvantifiera skillnader i den storleksordningen. För att minimera felkällorna bör därmed mätare med en noggrannhet på minst $\pm 0,2\%$ användas (MID-klass D).

5.1.1 Planerade mätningar i Malmö

Projektet påbörjades i Malmö strax efter årsskiftet 2016. I Norra Hamnen fanns en tilltänkt fastighet, med takyta stor nog för tre identiska solcellssystem på cirka 50 kWt styck.



Figur 26 Tilltänkt takyta i Malmö.

Tanken var att utnyttja det befintliga behovet av takomläggning för att byta ut papptaket mot ett svart, ett grönt och ett vitt tak. Platsbesök gjordes på takytan i Malmö, och en dialog mellan samtliga inblandade aktörer tog vid för att utforma anläggningen och dess mätningar.

Utformning av anläggning

Flera befintliga lösningar för solceller på gröna tak utvärderades, men då det är eftersträvansvärt med samma monteringsystem på alla de tre takytorna, var ett konventionellt monteringsystem för platta tak mer lämpligt. Solcellsmarknaden präglas dessutom av en strävan efter rationella och kostnadseffektiva lösningar, vilket förstärker intresset av att kunna kombinera konventionella monteringsystem med vegetationstak. Därför fanns ett stort intresse av att undersöka om detta var möjligt, hur det i så fall skulle göras på bästa sätt och vilka installationskostnader projektet slutligen skulle landa i.

På platta tak är ballastsystem oftast det mest kostnadseffektiva monteringsystemet för solceller. Ballastsystem finns i flera utformningar, men har vanligen ett utförande liknande det i figuren nedan. Då platsen är vindutsatt beslötts att endast luta upp modulerna 15 grader, vilket innebär ett optimalt avstånd på runt 1,8 meter mellan modulernas framkanter.



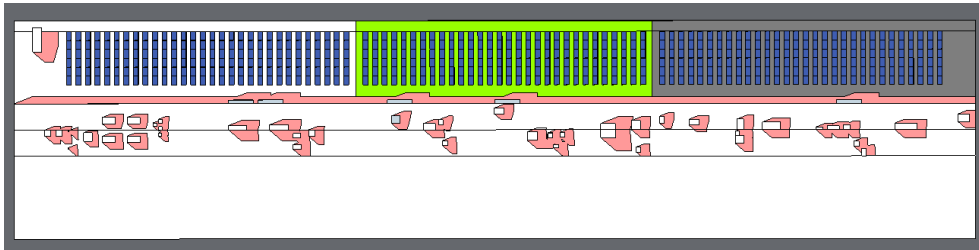
Figur 27 Ballastsystem på platt takyta.

För att minimera vikten på taket, samt undvika att vegetation växer upp och skuggar modulerna, valdes vegetationsmattor av sedum. En modullutning på endast 15 grader gör det svårt för vegetation att växa under modulerna. Därför beslöts att endast placera vegetation mellan raderna, och istället lägga naturrund singel på övriga ytor. Avståndet mellan raderna är cirka 0,8 meter, vilket innebär att leverantörens vegetationsmattor med måtten 1x0,8 meter passar de mellan raderna, utan extra skärning och tillpassning. Detta går väl i linje med projektets ambitioner om att skapa en rationell och kostnadseffektiv lösning, då tillpassning annars förlänger arbetstiden något.

Dräneringsmattor är avgörande för att undvika dammbildning på gröna tak, och bör läggas under ballastsystemet för att undvika att regnvatten dröjer kvar vid monteringsystemets skenor. Detta är särskilt viktigt då skenorna inte följer takets lutning, som i Malmö. Dessutom valdes en dräneringsmatta med en vattenhållande förmåga. Eftersom singeln placeras i rader, som följer takets lutning frånnock till takfot, finns annars risk att takets vattenhållande förmåga försämras genom att regnvattnet rinner av taket genom singelraderna.

Det konstaterades även att en effektiv monteringsprocess kräver att solcellsinstallatörerna kan lägga ut dräneringsmattorna, så att de olika entreprenörerna slipper åka till taket vid flera tillfällen. Detta medför att solcellsinstallatörerna samtidigt måste placera ut skenor och ballast, för att undvika att dräneringsmattorna fångar vinden och lyfter.

Sammantaget resulterade detta i att anläggningen utformades enligt nedanstående figur.

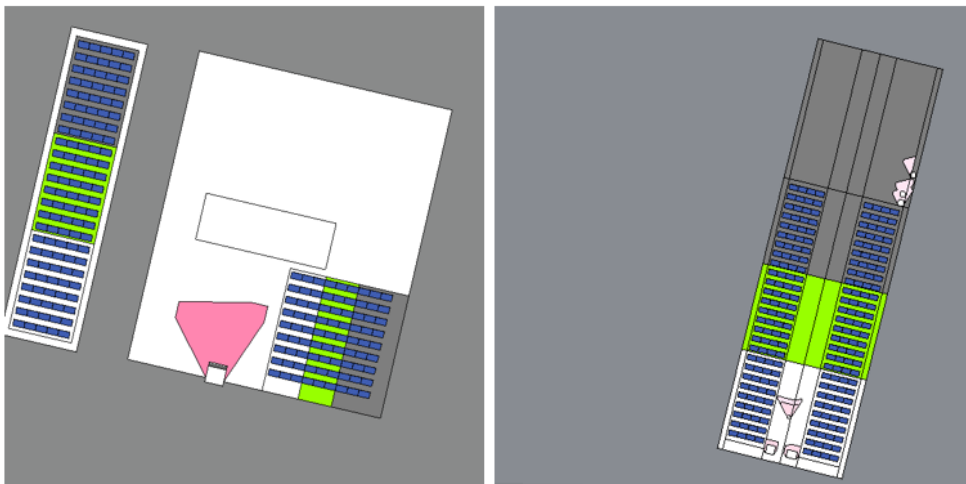


Figur 28 Solcellssystem på vitt, grönt och svart tak i Malmö.
Rosa ytor är skuggade, söder är till vänster i bilden.

Dessvärre var projektdeltagarna helt ovetandes om att byggnaden skulle rivras enligt detaljplan, vilket framkom något senare.

Analys av nya tak

Då projektet blivit varse om att byggnaden i Malmö skulle rivras, började sökandet efter en ny byggnad. Sammanlagt utvärderades ett tiotal byggnader ur fastighetsägarens bestånd, i Malmö, Halmstad, Örebro och Linköping. Samtliga föll dock bort av olika skäl.



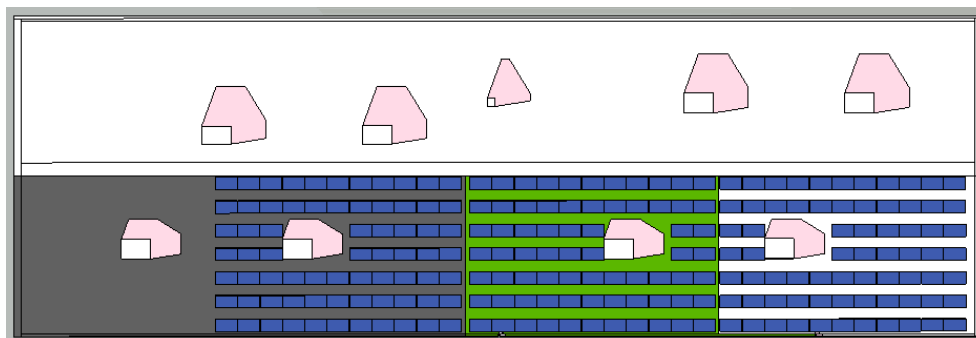
Figur 29 Analys av nya tak. Rosa ytor är skuggade, söder är nedåt i bilden.

Avgörande var bland annat projektets möjligheter att snabbt få beviljat ett bygglov för anläggningen, och dialog fördes med bygglovsavdelningarna i de olika kommunerna. Då förutsättningarna för bygglov varierade avsevärt, fattades slutligen beslut om att genomföra en något mindre installation på en fastighet i Linköping.



Figur 30 Del av tilltänkt takyta i Linköping.

Platsbesök och skuggningsmodelleringar utfördes och anläggningen och dess mätningar utformades.



Figur 31 Solcellssystem på svart, grönt och vitt tak i Linköping.
Rosa ytor är skuggade, söder är till vänster i bilden.

Dessvärre kunde inte heller denna anläggning byggas, då anläggningens minskade storlek och takets icke-existerande behov av omläggning, fördrade fastighetsägarens ekonomiska kalkyl.

Då sommarmånaderna är avgörande för att få relevanta mätresultat, var tiden nu för knapp för att hinna hitta ännu en fastighet, lägga om taket, installera solceller och sedan samla in en tillräcklig mätserie för att kunna utvärdera de olika taktyperna. Därför fattades beslut om att istället använda befintliga solcellsanläggningar på olika taktyper i Göteborg och Stockholm.

5.1.2 Planerade mätningar i Göteborg och Stockholm

Då mätningarna skulle göras på befintliga anläggningar var det inte längre möjligt att utföra hela försöket i samma område, eller på samma takyta. Tre lämpliga tak med olika taktyper fanns ej att tillgå i samma stad. Istället planerades mätningar på fyra olika tak, ett svart och ett vitt i Göteborg samt ett svart och ett grönt Stockholm.

Då anläggningarnas lutning, azimut, storlek och strängkonfigurering skiljde sig åt var det inte längre relevant att mäta elproduktionen. Istället planerades mätning av solinstrålning, celltemperatur och omgivande temperatur. Tanken var sedan att använda insamlade data för att göra beräkningar i PVsyst av förväntad produktion hos tre teoretiska, identiska anläggningar.

En betydande osäkerhet i den nya studien, då de tre takmaterialen inte längre finns på samma tak, är att andra faktorer än takmaterialet, såsom väder och vind, påverkar temperaturen. För att minimera sådana osäkerheter planerades mätningar på ett svart tak i varje stad, vilket kan användas som referens. Vidare planerades mätningar av solinstrålningen på samtliga tak, för att notera eventuella skillnader. Eventuella gränseffekter skulle minimeras genom placering av de olika givarna centralt på takytorna.

5.1.3 Nuvarande mätningar i Göteborg och Stockholm

Under sommaren 2016 fortsatte arbetet med att få upp de planerade mätningarna, men än en gång fick urvalet av tak revideras flera gånger på grund av att installationerna i vissa fall skulle blivit väldigt omfattande. Mot slutet av sommaren fanns mätning på:

- Svart tak på en av Stockholms Hamnars fastigheter i Stockholm.
- Grönt tak på en av Vasakronans fastigheter i Stockholm.
- Svart tak på en av Bravidas fastigheter i Göteborg.
- Vitt tak på en av Dagabs fastigheter i Göteborg.

I praktiken var det svårt att placera givarna centralt på taken, dels eftersom kabellängderna var begränsade och dels på grund av svårigheter att fästa sensorboxar mitt i solcellsraderna. Därmed placerades de närmare kanterna än önskat.



Figur 32 Svart och grönt tak i Stockholm.



Figur 33 Svart och vitt tak i Göteborg.

Vid analys av de data som samlats in hösten 2016 kan konstateras att relevanta mätserier ej kunnat samlas in. Därför har ej simulering gjorts. Avsikten är istället att även samla in data under sommaren 2017, för att sedan göra simuleringar och dra slutsatser av dessa i september 2017 med efterföljande resultat publicerade på Solkompaniets hemsida (<http://www.solkompaniet.se/svg-tak/>).

6 Ekonomiska modeller för de olika taktyperna

Fastighetsägare, som står inför investeringar i solceller och svarta, vita eller gröna tak, saknar idag möjligheter att göra konkreta kalkyler på sina alternativ.

Var för sig görs de olika investeringarna med helt skilda motiv. Solcellsinvesteringar i solceller görs i princip alltid efter en noggrann investeringskalkyl där lönsamheten avgör investeringsbeslutet. Takomläggningar är mer behovsstyrda, medan investeringar i gröna tak snarare görs till följd av krav i miljöcertifieringssystem och bygglovshandlingar, eller av känslomässiga skäl. Det är dessutom ytterst svårt att ekonomiskt kvantifiera nyttan av de ekosystemtjänster som görs på tak medför, såsom minskad avrinning och ökad biologisk mångfald.

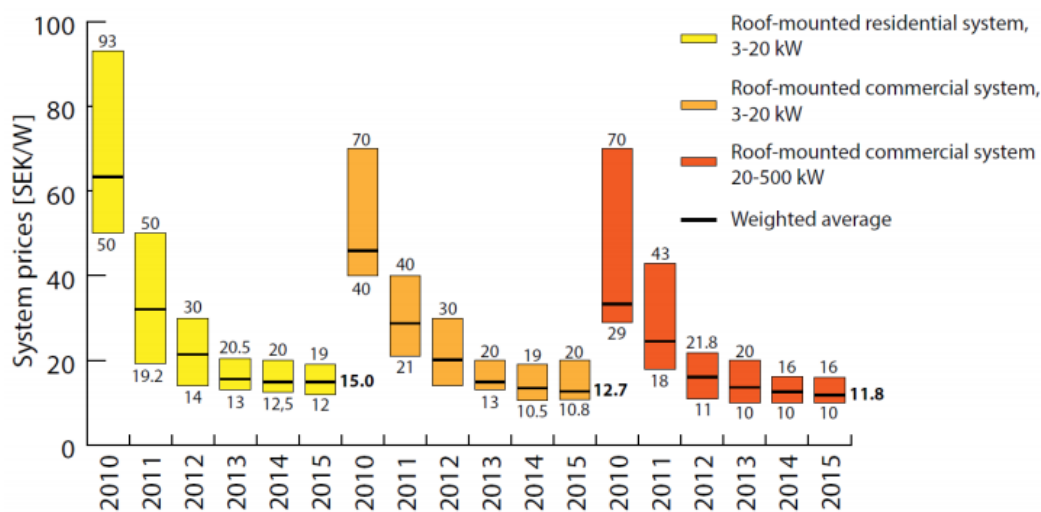
På grund av investeringarnas olika karaktär är det därmed svårt att göra en ekonomisk modell som sammanväger olika investeringsalternativ på ett lämpligt sätt. För att underlätta fastighetsägares beslutsfattande, redovisas i följande avsnitt ändå vissa utgångspunkter för en ekonomisk kalkyl. Alla priser är exklusive moms.

6.1 INVESTERINGSLTERNATIV

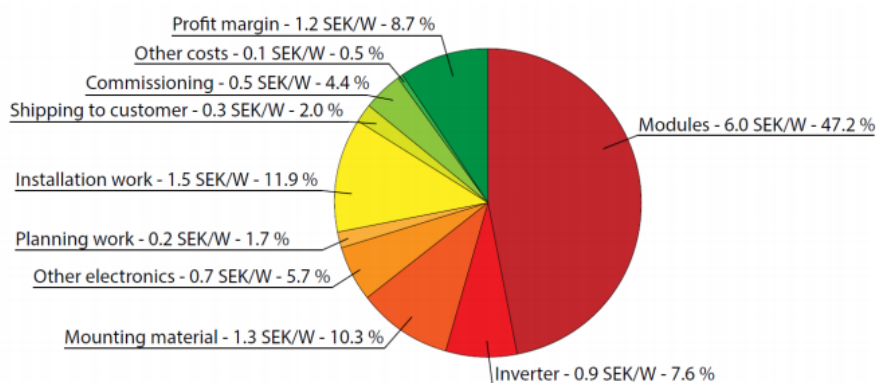
På större fastigheter med platta tak är det vanligt att installera solcellsanläggningar i storleksordningen 50 kWt. Om ballastsystem används innebär det att solcellsanläggningen upptar en yta på cirka 600 m², som alltså kan täckas med svart, vitt eller grönt tak.

Enligt internationella energirådets (IEAs) analys av den svenska solcellsmarknaden kostar solcellsanläggningar av den här storleken i medeltal 11 800 kr/kWt⁴⁵.

⁴⁵ (Lindahl, 2016)



Figur 34 Installatörers uppskattningar av installationspriser för olika typer av nyckelfärdiga, nätanslutna solcellsanläggningar. Medelvärdet för större anläggningar låg år 2015 på 11 800 kr/kW⁴⁶.



Figur 35 Sammanställning av svenska installatörers uppskattningar av kostnadsfördelningen vid installation av nyckelfärdigt, takmonterat, nätanslutet solcellssystem på 40–60 kW år 2015⁴⁷.

Av den totala installationskostnaden består cirka 70 % av materialkostnader och cirka 20 % av arbetskostnader. Om vinstmarginalen fördelas proportionellt på de två kostnadsslagen innebär det att cirka 23 % av den totala installationskostnaden kan härledas till arbetet. Det innebär att arbetskostnaden ligger på ungefär 2 700 kr/kWt.

6.2 OLIKA TAKTYPER

Alla redovisade kostnader är schablonkostnader. Faktiska kostnader beror till stor del på takets utformning och tillgänglighet, höjd ovan marken, behov av taksäkerhet, möjlighet att göra lyft och så vidare.

⁴⁶ (Lindahl, 2016)

⁴⁷ (Lindahl, 2016)

6.2.1 Svarta och vita tak

Installationskostnaden för svarta tak ligger på cirka 225 kr/m². Kostnaden för att istället välja ett vitt tak, med motsvarande utförande och kvalitet, ligger på cirka 375 225 kr/m². För en yta på 600 m² blir installationskostnaden då 135 000 kr respektive 225 000 kr⁴⁸.

Installationskostnaden för solceller ligger enligt ovan på cirka 11 800 kr/kWt. För en anläggning på 50 kWt innebär det en total kostnad för solcellsanläggningen på 590 000 kr.

6.2.2 Konventionellt solcellssystem med sedum

Då taket ska täckas med vegetation krävs först ett tätskikt. Därför antas att ett svart tak först läggs på ytan. Enligt ovan kostar det 135 000 kronor för den tillgängliga ytan. Om det gröna taket läggs före solcellsanläggningen, och består av sedum och naturrund singel, blir kostnaden för det cirka 300 kr/m². Det innebär en total kostnad för sedumen på 180 000 kr och en total kostnad för takmaterialet på 315 000 kr.

Försök har visat att arbetstiden för att installera solcellsanläggningen blir dubbelt så lång om sedum och singel läggs först. Kostnaden för solcellssystemet landar således på cirka 14 500 kr/kWt, med en total kostnad för 50 kWt på 725 000 kr.

Om det gröna taket läggs efter solcellsanläggningen, och består av sedum och naturrund singel, gör svåråtkomligheten att kostnaden blir cirka 10 % högre⁴⁹. Det innebär en total kostnad för sedumen på 198 000 kr och en total kostnad för takmaterialet på 333 000 kr. Även arbetskostnaden för solcellsanläggningen väntas stiga med cirka 10 %, jämfört med grundutförandet, eftersom dräneringsmattorna ska rullas ut innan skenorna kan placeras på taket. Kostnaden för solcellssystemet landar således på cirka 12 100 kr/kWt, med en total kostnad för 50 kWt på 605 000 kr.

6.3 RESULTAT EKONOMISKA MODELLER

Om solcellsanläggningen placeras i Stockholm, med en upplutning på 20 grader rakt mot söder, väntas den ge en årsproduktion på cirka 50 000 kWh. Beräkningarna är gjorda med ett antagande om att anläggningen har en livslängd på 20 år, eftersom taken har en tätskiktsgaranti på 20 år när de kombineras med solceller. Förmodligen håller de dock längre än så, precis som solcellerna och vegetationen. Priset på el och elcertifikat har satts till på 0,8 kr/kWh och 140 kr/MWh (genomsnitt 2016), med förväntade prisökningar på 3 % respektive 2 % per år. Dessutom ingår en underhållskostnad, på 0,5 % av investeringen per år, samt en årlig kostnad för timmätning för elcertifikat.

I nedanstående tabell redovisas kostnader för de olika takalternativen, samt alternativkostnaden för att lägga annat än enbart ett svart tak. Om hela alternativkostnaden hänförs till solcellsinstallationen, ger den årlig avkastning enligt tabellen. För att nå samma avkastning som solcellsanläggningen med lägst

⁴⁸ (Johansson, 2017)

⁴⁹ (Karlberg, 2016)

installationskostnad, det vill säga den på det svarta taket, krävs att takmaterialen ger produktionsökningar enligt tabellen.

Tabell 4 Kostnadstabell för de olika takalternativen. Alla belopp är i tusen kronor (Tkr).

Taktyp	Kostnad tak	Kostnad solcells-anläggning	Total-kostnad	Alternativ-kostnad jfr svart tak	Avkastning solceller	Produktions-ökning
Svart tak	135	590	725	590	6,6 %	0 %
Vitt tak	225	590	815	680	4,9 %	16 %
Svart tak med sedum före solceller	315	725	1 040	905	1,8 %	56 %
Svart tak med sedum efter solceller	333	605	938	803	3,0 %	40 %

Tabellen ovan tydliggör att det knappast är möjligt att motivera ett vitt tak enbart genom eventuella höjningar av soletproduktionen. Vita tak kan dock även medföra ett minskat kylbehov i byggnaden, vilket exempelvis kan reducera fastighetsägarens elkostnader. Sådana besparingar är inte medräknade i ovanstående ekonomiska kalkyl.

Tabellen ovan tydliggör att det knappast heller är möjligt att motivera ett grönt tak enbart med eventuella höjningar av soletproduktionen. Produktionsökningarna skulle i så fall behöva vara i storleksordningen 40–60 %, vilket är orimligt.

I många fall är det dock ändå intressant att lägga ett grönt tak, eftersom det motiveras av andra synergieffekter och inte minst krav i bygghandlingar och vid miljöcertifiering. Det kan därför vara intressant att även titta på hur mycket soletproduktionen måste öka, för att motivera enbart det extra arbete som uppstår då gröna tak kombineras med solceller. I nedanstående tabell härleds därmed inte kostnaden för det gröna taket till solcellsinstallationen, men däremot alla extra arbetskostnader. I nedanstående tabell redovisas således alternativkostnaden för att lägga annat än ett svart tak med sedum, vilket enligt ovan redovisade antaganden kostar 315 000 kr. För att nå samma avkastning som solcellsanläggningen med lägst installationskostnad, det vill säga den på det svarta taket, krävs att takmaterialen ger produktionsökningar enligt tabellen.

Taktyp	Kostnad tak	Kostnad solcells-anläggning	Total-kostnad	Alternativ-kostnad jfr svart tak med sedum	Avkastning solceller	Produktions-ökning
Svart tak	135	590	725	590	6,6 %	0 %
Svart tak med sedum utan solceller	315	0	315	0	-	-
Svart tak med sedum före solceller	315	725	1 040	725	4,2 %	26 %
Svart tak med sedum efter solceller	333	605	938	623	5,9 %	6 %

De produktionsökningar som uppstår då solceller kombineras med sedum kompenserar inte för de extra kostnader som uppkommer då taklösningarna

kombineras om sedumen läggs före solcellerna. Då sedumen läggs efter solcellerna är de extra kostnaderna betydligt lägre, och kan ligga i paritet med produktionsökningen, framförallt om även övriga vinster beaktas. Gröna tak kan exempelvis ge högre poäng i miljöcertifieringssystem för byggnader, och medför en mängd miljönyttor, såsom minskad avrinning, ökad biologisk mångfald, renare luft, minskade bullernivåer och så vidare. Dessa ekosystemtjänster är svåra att kvantifiera ekonomiskt, och de är därför inte medräknade i ovanstående ekonomiska kalkyler. Till sist kan kombinationen av solceller och gröna tak även innebära minskade kostnader i installationsfasen, i form av möjligheter att samordna lyft och taksäkerhet, vilka heller inte är medräknade i de ekonomiska kalkylerna.

7 Sammanfattande slutsatser

Solceller kommer att vara en avgörande beståndsdel vid omställningen till ett förnybart energisystem och solcellskapaciteten ökar snabbt i Sverige. Samtidigt ökar också intresset för gröna och vita tak, där drivkraften för vegetation på taktytor idag ofta ligger i bygglovshandlingar eller miljöcertifiering av byggnader. Denna studie visar att de olika takmaterialen inte behöver konkurrera med varandra, utan snarare kan kombineras smart för att skapa synergieffekter.

Vita tak reflekterar solens strålar, vilket innebär att temperaturen blir lägre än på svarta tak. Enligt mätningar i varierande klimat kan vit färg minska takets yttemperaturer med 20 till 42 grader^{50,51,52}. Detta kan bidra till högre utbyte från solceller och dessutom sänka behovet av kylning inomhus i byggnader med sparsam takisolering. Även på gröna tak gör växternas evapotranspiration, tillsammans med takets reflektionsförmåga, att taket kyls. Det medför att solceller på gröna tak kan ha ett något högre utbyte än solceller på vita tak, och ett ännu högre utbyte än solceller på svarta tak. Få studier har gjorts av hur mycket utbytet ökar för solceller på gröna tak jämfört med svarta tak, och de genomförda studierna varierar i kvalitet. Ändå indikerar de ett par procents högre produktion på årsbasis.

För att skapa en framgångsrik installation av solceller på gröna tak, behöver ett antal aspekter beaktas. De viktigaste är:

- Solcellssystemets kostnad och möjligheter till en enkel installation. Dyra speciallösningar kan slå sönder hela den ekonomiska kalkylen.
- Solcellssystemets upplutning och radavstånd. Det gäller att lämna utrymme för vegetationen, men samtidigt undvika att placera modulerna så högt ovan takytan att den kylande effekten uteblir.
- Valet av vegetation. Låga växter minskar risken att solcellerna skuggas och ger dessutom en låg vikt, vilket kan vara nödvändigt på många platta tak.
- Utformning av singel, substrat och dränering. Det är viktigt att hantera det regnvatten som hamnar precis i modulernas framkant och utforma lösningen så att takets vattenhållande förmåga bibehålls och så att vatten även når eventuell vegetation under modulerna.

Detta projekt har även visat att det är komplicerat att utforma relevanta mätningar av skillnaderna i utbyte mellan solceller på svarta, vita och gröna tak. Det beror bland annat på att:

- Solcellssystemen på de olika takmaterialen bör vara tillräckligt stora, men ändå helt identiska, och mätningarna bör göras över en längre tid.

⁵⁰ (Akbari & Konopacki, 2005)

⁵¹ (Urban & Roth, 2010)

⁵² (Sonne, 2006)

- Osäkerheter i mätningarna måste göras obetydande genom att gränseffekter minimeras och genom att mätutrustning med mycket stor noggrannhet används.

Ambitionen var länge att utföra sådana mätningar, men då tilltänkt byggnad skulle rivas, och övriga byggnader föll bort av andra skäl, inriktades projektet istället på att göra mätningar på befintliga anläggningar. Dessa mätningar är planerade att göras under sommaren 2017, och förhoppningen är att denna rapport då kan kompletteras med resultaten. Inga liknande studier har tidigare gjorts i Sverige, och endast ett fåtal internationella försök har genomförts, varför resultaten är ytterst värdefulla för såväl den svenska som den internationella solcellsmarknaden.

Trots ännu uteblivna resultat har ekonomiska kalkyler gjorts för de olika takalternativen. På grund av investeringarnas vitt skilda karaktär var det svårt att göra en ekonomisk modell som sammanväger olika investeringsalternativ på ett rättvist sätt. Resultaten kan dock ändå indikera på vissa slutsatser, som bör kompletteras så snart mätvärden från försöken finns tillgängliga:

- Produktionsökningen då solceller placeras på ett grönt eller vitt tak, istället för ett svart tak, är inte så stor att den i sig motiverar det gröna eller vita taket. Möjligen är prisskillnaden mellan ett svart och ett vitt tak så pass liten att det vita taket eventuellt kan motiveras av solcellernas produktionsökning om det vita taket även leder till ett minskat kylbehov, och därmed sänkta elkostnader, i byggnaden.
- Om kostnaden för det gröna taket inte härleds till solcellsinstallationen, utan enbart det extra arbetet som krävs för att kombinera lösningarna, kompenserar solcellernas produktionsökning inte för kostnaderna om sedum läggs före solcellerna. Då sedum läggs efter solcellerna är de extra kostnaderna betydligt lägre, och kan ligga i paritet med produktionsökningen, framförallt om även övriga vinster från det gröna taket beaktas.
- Solceller påverkar inte det gröna taket negativt och vice versa. Den fastighetsägare som är intresserad av både solceller och vegetation, behöver inte oroa sig för negativa effekter utan kan snarare se fram emot synergieffekter.

I sin helhet visar denna studie alltså att det, med lite eftertanke kring utformningen, går alldeles utmärkt att kombinera solceller med både vita och gröna tak. Därmed är förhoppningen att dessa taktyper i framtiden inte behöver ställas emot varandra, utan snarare kan samverka för att skapa riktigt miljösmapta tak i Sverige!

8 Referenser

- Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. . *Energy Policy*, volume 33, issue 6, 721-756.
- Andersson, J. (2015). *Kvalitet på avrinningsvatten från extensiva gröna tak*. Uppsala: SLU.
- Ascione, F., Bianco, N., de' Rossi, F., Turni, G., & Vanoli, G. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in airconditioning? *Applied Energy*, volym 104, 845–859.
- Berkeley. (2000). *Cool roofing materials database*. Hämtat från <http://energy.lbl.gov/coolroof/>
- Björk, F. (2004). *Green roofs effect on durability of roof membranes*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Brenneisen, S. (2006). Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, Volym 4, Nummer 1, 27-36.
- Conservation Design Forum. (Augusti 2008). *Wikimedia Commons*. Hämtat från Chicago City Hall Green Roof: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chicago-City-Hall-Green-Roof_01.jpg
- Franck, J. (Februari 2017). Projektutvecklare Solkompaniet. (A. Bengtsson, Intervjuare)
- Hui, S., & Chan, S. (2011). Integration of green roof and solar photovoltaic systems. *Joint symposium 2011. Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*. Hong Kong.
- Johansson, D. (Februari 2017). Sakkunnig Derbigum. (A. Bengtsson, Intervjuare)
- Karlberg, B.-E. (December 2016). VD VegTech. (A. Bengtsson, Intervjuare)
- Käck, C. (2016). *Vegeterade tak och deras påverkan på biologisk mångfald i urban miljö*. Alnarp: SLU.
- Köhler, M., Schmidt, M., Laar, M., Wachsmann, U., & Krauter, S. (2002). Photovoltaicpanels on green roofs: positive interaction between two elements of sustainable architecture. *Proceedings of the RIO 02 -World Climate - 11 - & Energy Event*, 151-158.
- Lamnatou, C., & Chemisana, D. (2015). A Critical Analysis of Factors affecting Photovoltaic-Green Roof Performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 264-280.
- Lindahl, J. (2016). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden - 2015*. IEA PVPS.
- Livingroofs.org. (2016). *Storm Water Run Off – Green infrastructure stemming the flow in cities*. Hämtat från <https://livingroofs.org/storm-water-run-off/>
- Lundholm, J., MacIvor, J., MacDougall, Z., & Ranalli, M. (2010). Plant Species and Functional Group Combinations Affect Green Roof Ecosystem Functions . *PLOS ONE* 5(3): e9677. , doi:10.1371/journal.pone.0009677.
- Malmberg, J. (December 2016). *Gröna tak, fördjupning*. Hämtat från Klimatanpassningsportalen: <http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/grona-tak-fordjupning-1.87577>
- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 217-226.
- Nagengast, A., Hendrickson, C., & Scott Matthews, H. (2013). Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice . *EnergyBuild*, 493-502.

- Ogaili, H. H. (2015). *Measuring the Effect of Vegetated Roofs on the Performance of Photovoltaic Panels in Combined Systems*. Portland, Oregon, United States: Portland State University.
- Optigreen. (2017). *Solar Green Roof Sun Root 15*. Hämtat från Optigreen: <http://www.optigreen.com/system-solutions/solar-green-roof/sun-root-15/>
- Optigreen. (2017). *Solar Green Roof Sun Root 30*. Hämtat från Optigreen: <http://www.optigreen.com/system-solutions/solar-green-roof/sun-root-30/>
- Perez, M., Wight, N., Fthenakis, V., & Ho, C. (2012). Green roof integrated PV canopies –an empirical study and teaching tool for low income students in the South Bronx. *World Renewable Energy Forum, WREF 2012, Including World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conference*, (ss. 4046-4052).
- Pettersson Skog, A., Malmberg, J., Emilsson, T., Jägerhök, T., & Capener, C. (2017). *Växtbädd och Vegetation*. Vinnova.
- SBUF. (2013). *Kvalitetssäkring av sedumtak*. Malmö: Skanska Sverige AB.
- Scandinavian Green Roof Institute. (u.d.). *Om gröna tak*. Hämtat från <http://greenroof.se/om-grona-tak/>
- Sonne, J. (2006). Evaluating green roof energy performance. *ASHRAE Journal*, vol 48, 59-61.
- TDK. (November 2011). *Maximum efficiency*. Hämtat från <https://en.tdk.eu/tdk-en/373562/tech-library/articles/applications---cases/applications---cases/maximum-efficiency/171722>
- The German Energy Society. (2013). *Planning and Installing Photovoltaic Systems*. London: Earthscan.
- Urban, B., & Roth, K. (Juli 2010). *Guidelines for selecting cool roofs*. Hämtat från Heat Island Group at Berkley Lab: https://heatisland.lbl.gov/sites/all/files/coolroofguide_0.pdf
- Veg Tech. (2016). *Vegetationsteknik*. Vislanda: Veg Tech.

SOLCELLER PÅ SVARTA, VITA OCH GRÖNA TAK

Solceller kommer att vara en fundamental del av omställningen till ett förnybart energisystem och solcellskapaciteten ökar snabbt i Sverige. Samtidigt ökar också intresset för gröna och vita tak, där drivkraften för vegetation på takytor idag ofta ligger i bygglovshandlingar eller miljöcertifiering av byggnader. Denna studie visar att de olika takmaterialen inte behöver konkurrera med varandra, utan snarare kan kombineras smart för att skapa synergieffekter.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se