



Effekter och hantering av snölast vid takmonterade solelanläggningar



Effekter och hantering av snölast vid takmonterade solelanläggningar

Mattias Lindh, RISE

Alexander Granlund, RISE

Josefin Sundström, RISE

Mats Axelson, RISE

Anna Malou Petersson, RISE





Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 2 januari 2024

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



Sammanfattning

Solkraft på tak är en självklar pusselbit i vårt framtida decentraliserade och elektrifierade samhälle. En trygg och lönsam utbyggnad kräver dock förståelse för de unika förutsättningar som råder i stora delar av Sverige och vilka effekter dessa kan få för framtida elproduktion. Vårt klimat medför att solcellsmoduler och tak utsätts för stora påfrestningar. Syftet med detta projekt har varit att underlätta en säker, problemfri, och lönsam utbyggnad av solkraft i Sverige genom att fylla kunskapsluckor kring effekter av snölast för takmonterade solcellsanläggningar: dels vad gäller hur snö ansamlas och vilka laster det ger upphov till på tak och solcellsmoduler, dels hur man bör hantera och ta bort snö från tak med solcellsanläggningar. Vi har funnit att kraftig vind i kombination med snöfall lokalt kan ge upphov till snölast på tak med solcellsanläggningar som överstiger takens dimensionering. Utformning och placering av anläggningarna kan påverka snölasterna så att de blir antingen större eller mindre samt försvåra snöröjningsarbeten på taken.

Genom att under tre vintrar mellan 2019 och 2022 följa snöansamlingen på omkring 30 takanläggningar, från Kiruna i norr till Borås i söder, har vi sett att en ökad vinkel mellan tak och solcellsmoduler ger ökad snölast på taket. På grund av att snön lättare glider av en slät glasyta kan däremot en takparallell solcellsanläggning i vissa fall minska den maximala snölasten jämfört med motsvarande tak utan solcellsmoduler, men olika karaktär på omgivningen och exponering för vind skapar stor spridning mellan de undersökta anläggningarna. Snödjupsfördelningen på vissa tak är mycket ojämn och bättre mätmetoder behöver utvecklas för att nå precisa resultat för de resulterande belastningarna. Genom särskilt utformade experiment har vi funnit att snölasten ofta blir ojämnt fördelad också på själva solcellsmodulerna, där nederdelen tar en större del av lasten. Detta leder till större mekaniska spänningar för solcellerna i modulens nederdel vilket i sin tur skulle kunna orsaka skador och leda till reducerad elektrisk effekt. Problemen kan förvärras när snö som glider av modulerna samlas nedanför dem och hindrar fortsatt avglidning, något som är vanligt för solcellsanläggningar på stora tak med upplutade moduler och även kan förekomma i markmonterade solkraftsparker.

Snölasterna på tak och solcellsmoduler kan vid behov minskas genom snöröjning. Vi har testat och jämfört fyra olika metoder för tak med solceller. För låga tak som man når från marken fungerar manuella och arbetskraftsintensiva metoder som snöhyvel och takskrapa, men det krävs stor försiktighet för att inte modulerna ska skadas. Vid vår testanläggning var snöhyvel vid de flesta snötyper enklare att använda än takraka. För tak som är besvärliga att snöröja skulle en automatisk metod som uppvärmning av modulerna med ström eller snöavvisande ytbeläggningar vara önskvärt. Utifrån våra tester är båda dessa exempel förknippade med stora tekniska utmaningar och utvecklingsbehov för att effektivt kunna nyttjas i praktiken. Solcellsanläggningar på sådana utmanande tak bör i nuläget utformas så att manuell snöröjning möjliggörs eller behovet elimineras, till exempel genom att taken förstärks i samband med installation. Solcellsmodulerna som använts för testerna av snöborttagningsmetoder uppvisar en överraskande stor degradering på i snitt 3,5 % för tre säsonger, vilket är mer än vad tillverkaren garanterar.

Nordlig solkraft, Solcellsmoduler, Solceller, Snöansamling, Snölast, Snöborttagningsmetoder, Takutformning



Summary

Roof-top photovoltaics (PV) will be an important contributor to our future decentralized and electrified society. A safe and profitable expansion demands proper understanding of the unique conditions present in large parts of Sweden, and what effects they may have on future PV electricity production. Our climate exposes PV modules to large stresses. The purpose of this project has been to facilitate a safe, problem-free, and profitable expansion of solar power in Sweden by filling knowledge gaps related to snow loads for roof-top PV: how does snow accumulate on roofs with PV arrays, how large are the resulting snow loads on roofs and modules, and how should snow be handled and removed from roofs with PV modules? We have found that strong winds in combination with snow fall locally can result in snow loads on roofs with PV arrays that exceed the design load of the roof constructions. Depending on the design and positioning of the PV arrays they can either enhance or reduce the snow loads, in addition to obstructing snow removal from the roofs.

For three winter seasons, from 2019 to 2022, we have followed approximately 30 PV arrays, from Kiruna in the north of Sweden to Borås in the south. We see that a larger angle between the PV module and the roof increases the snow load on the roof. A roof-parallel PV array can on the other hand lead to reduced snow loads, owing to lower friction between the snowpack and a smooth glass surface compared to a comparable roof without the PV-array, but varying character of the surroundings and wind exposure give rise to variations between the different sites. The snow-depth distribution is very uneven and better measurement methods are required for precise load estimations. Through carefully designed experiments we have found that the snow load often is inhomogeneous not only on the roofs, but also on individual modules, where the lower part sees most of the load. This leads to larger mechanical stresses for the solar cells in the lower part of the modules, which could give rise to damages and reduced electrical power. The problems are compounded when snow that slides off the modules piles up below them and hinders continued snow shedding from the modules. The latter is common for PV arrays on large low-angled roofs and can be present in ground-mounted PV parks.

Snow loads on roofs and PV modules can be lowered by snow removal in case it is required. We have tested and compared four different methods for roofs with PV arrays. For low roofs that can be accessed from the ground, common manual and labor-intensive methods such as a simple roof rake and snow razor with a plastic slide both work but require meticulous handling so as not to damage the PV modules. At our test facility the snow razor was easier to use for most snow types. For roofs that are difficult to remove snow from, some automatic method such as electric heating or snow-repellent surface coatings would be desirable. Our investigation shows that both these examples are connected to large technical challenges and need to be developed further to be practically applicable. Currently, PV arrays on those kinds of roofs should rather be designed to enable snow removal by manual techniques or the requirement be eliminated, for example by strengthening the roof construction in the PV installation process. The PV modules we used for testing snow removal methods show a surprising degradation of 3.5% for three seasons in the field, which is more than the manufacturer guarantees.

Solar power, High latitude photovoltaics, Snow loads, Snow removal techniques, Roof design



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	SYFTE OCH MÅL	7
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	7
2	GENOMFÖRANDE	8
2.1	METODER FÖR BEDÖMNING AV SNÖANSAMLING PÅ TAK MED SOLCELLER	8
2.2	BEDÖMNING AV SNÖLASTER PÅ ENSKILDA SOLCELLSMODULER	9
2.3	TEST OCH UTVÄRDERING AV SNÖBORTTAGNINGSMETODER	9
3	RESULTAT	11
3.1	SNÖANSAMLING PÅ OLIKA TAK MED SOLCELLSANLÄGGNINGAR	11
3.2	LASTER PÅ TAK OCH SOLCELLSMODULER	12
3.3	SNÖBORTTAGNINGSMETODER	14
4	DISKUSSION	16
5	SLUTSATSER	18
6	PUBLIKATIONSLISTA	19
7	REFERENSER	20



1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

Vårt samhälle är mitt uppe i en accelererande elektrifiering, där ny fossilfri kraftproduktion av olika slag behövs för att möta ett ökande elbehov och nationella och europeiska klimatmål. (Energimyndigheten 2023). Trots ett allt varmare klimat kommer solcellsanläggningar i nästan hela Sverige troligen se förhållandevis stora snölaster någon gång under sin förväntade livstid. Kunskapen om hur solcellsanläggningar påverkar snölasternas storlek och fördelning på tak å ena sidan, och hur snölasterna påverkar solcellsanläggningarnas prestanda och hållfasthet å andra sidan, är dessvärre begränsad. Bland tidigt uppförda solcellsanläggningar i Norrland finns både sådana som fungerar väl och exempel på anläggningar som dragits med skador till följd av dåliga komponentval, felaktigt montage, höga snölaster och olämpliga snöborttagningsmetoder. För att anläggningsägare ska få bra lönsamhet i sina investeringar, och för att så mycket el som möjligt ska produceras med minimala avtryck, behöver installation av solcellsanläggningar anpassas till svenska snöförhållanden – detta projekt handlar om vad det innebär.

1.2 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte var att bereda väg för en problemfri expansion av solkraft i Sverige. Målgrupperna innefattar hela branschen, från installatörer och projektörer till försäkringsbolag och forskare. Dessutom har resultaten värde och implikationer för närliggande byggbransch, försäkringsbolag och myndigheter som exempelvis Boverket. Det huvudsakliga målet har varit att generellt förbättra kunskapsläget om snölaster för takmonterade solcellsanläggningar och de underliggande konstruktionerna, vilket sedan ska kunna leda målgrupperna i hur man ska förhålla sig till snölast i bedömning av konstruktion, val av komponenter och moduler, samt drift och underhåll. På så vis skapas förutsättningar för hållbara och problemfria solcellsanläggningar med lång livslängd och en välmående solkraftsbransch. Projektets mål ringas in av följande frågeställningar:

- På vilka sätt ansamlar olika typer av takmonterade solcellsanläggningar snö och hur stora blir snölasterna jämfört med byggnadernas dimensionering och gällande byggnormer?
- Hur belastas enskilda solcellsmoduler i olika typer av solcellsanläggningar av snö i verkliga förhållanden?
- Hur ska man hålla solcellsmoduler snöfria för att minska snöskuggning, och hur ska man röja snö från tak med solcellsanläggningar för att undvika skador på anläggning, tak och byggnad?

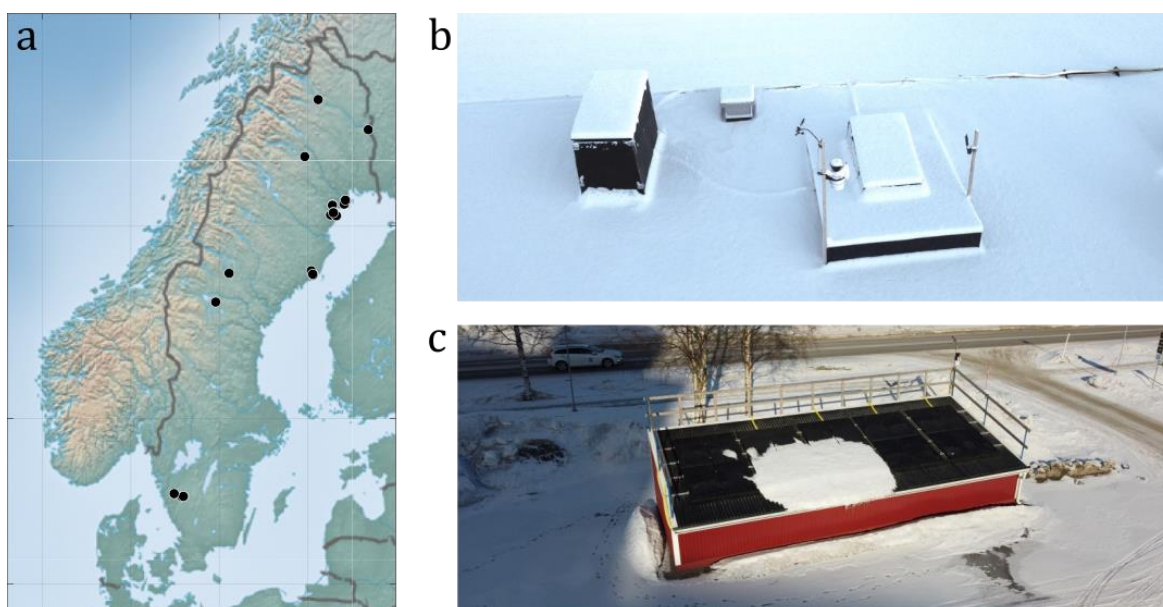
1.3 Omfattning och avgränsningar

Projektet har löpt under fyra vintersäsonger och haft snölast och dess effekter i norra och mellersta Sverige som huvudsakligt fokus; produktionsbedömningar och ekonomiska kalkyler har inte inkluderats. Snölastfördelningsstudierna har byggt på en kombination av kvalitativa och kvantitativa uppgifter för verkliga anläggningar, medan laster på enskilda moduler i olika installationer studerats i för ändamålet uppförda experimenttriggar. Provningsen av snöborttagningsmetoder har varit begränsad till små modulgrupper på ett testtak som nås från mark och motsvarar ett mindre villasystem.



2 Genomförande

Projektet genomfördes i tre arbetspaket som löpte parallellt och beskrivs i mer detalj i kapitel 2.1–2.3. I figur 1a visas positionerna för de solcellsanläggningar vi besökt för att undersöka hur snö ansamlas, i figur 1b syns två riggar för att mäta snölaster på solcellsmoduler i verkliga förhållanden, och i figur 1c visas den testanläggning som uppfördes för att undersöka och kontrollerat testa olika snöborttagningsmetoder.



Figur 1. a) Position för de olika solcellsanläggningar vi följt (svarta cirklar). b) Mättriggar för att mäta laster på moduler i verkliga snöförhållanden. c) Testtak för kontrollerad provning av snöborttagningsmetoder och degradering vid exponering för verkliga förhållanden.

2.1 Metoder för bedömning av snöansamling på tak med solceller

För att samla in kunskap om hur snö ansamlas på tak med solcellsanläggningar genomfördes mellan 2020 och 2022 besök vid cirka 30 anläggningar i nio kommuner från Borås till Kiruna, motsvarande snölastzon 2–3 kN/m². Ett tiotal anläggningar följdes kontinuerligt och övriga besöktes vid ett fåtal tillfällen. Vid anläggningsbesöken genomfördes mätningar av snödjup och snödensitet på tak och mark, fotografering med kamera och drönare samt en intervju med ägaren för att dokumentera detaljer om fastigheterna, solcellsanläggningarna och hens erfarenheter av hur snö beter sig kring taket och solcellsanläggningen. Utifrån mätningarna kunde snölasten vid tidpunkten beräknas för olika positioner på taket. I projektets senare skede utfördes fotogrammetrisk analys med hjälp av drönarbilder som omvandlades med öppen mjukvara till en digital 3D-modell av byggnaderna i form av ett punktmoln. Genom att studera skillnaden mellan en snötäckt och en snöfri modell kunde det aktuella snötäcket visualiseras med hög rumslig upplösning och snödjupsvariationer på taket kvantifieras.



Den förväntade snölasten på ett tak (s) kan kopplas till snölasten på mark (s_k) och ett antal faktorer som bestäms av takets utformning som exempelvis form och lutning (μ_i), exponering för sin omgivning (C_e) och takets termiska förutsättningar (C_t), enligt $s = \mu_i C_e C_t s_k$. Vi antar att en solcellsanläggning påverkar hur mycket snö som samlas på taket och sätter $\mu_i = \mu_{tak} + \mu_p$, där μ_p är ett formfaktortillägg för solcellsanläggningen. Om vi förenklat antar att snöns densitet på mark och tak är lika kan vi nyttja SMHI:s uppmätta dygnsvärde för snödjup på mark (d_{mark}) vid närmaste mätstation och jämföra det med våra uppmätta medelsnödjup på taken (d_{tak}) utifrån manuell mätning eller fotogrammetri. Då får vi μ_p i ekvation 1 som ett mått på hur mycket solcellsanläggningen påverkat mängden snö på taket:

$$\mu_p = \frac{d_{tak}}{C_e \cdot C_t \cdot d_{mark}} - \mu_{tak} \quad (1)$$

Nio av de solcellsanläggningar vi följt bedömdes lämpliga för att utvärderas enligt ekvation 1. Detta baserades på hur stor osäkerheten i bedömningen av formfaktorerna var, vilka mätningar och observationer som fanns tillgängliga för de olika anläggningarna och om dessa kunde nyttjas för att bedöma genomsnittssnödjupet på taket.

Utifrån uppgifter om anläggningarna har vi bedömt vilken byggnorm som troligen gällde vid uppförande av byggnaderna, de olika form- och exponeringsfaktorerna, vilka snölaster taken med sina lägen därmed borde vara dimensionerade för, samt hur byggnaderna skulle dimensionerats om de byggts enligt EKS11 med samma utformning (Boverket 2019). En jämförelse av dessa förväntade taklaster mot våra uppmätta snölaster på tak ger en direkt bild av hur säkerhetsmarginalerna sett ut under projektets löptid.

För att följa branschens utveckling som går snabbt framåt och ta del av installatörsföretagens insikter, erfarenheter och arbetssätt kopplade till snö, genomfördes intervjuer med representanter för fem solcellsinstallatörer aktiva i norra Sverige.

2.2 Bedömning av snölaster på enskilda solcellsmoduler

Två mätriggar konstruerades för att studera snölaster och dess fördelning på enskilda solcellsmoduler med 14° lutning och en höjd i framkant på 0,3 respektive 1,4 m över takytan. Riggarna försågs med vardera tre lastgivare (L) och fem positionsgivare (D) kopplade till en datalogger och placerades på ett öppet industritak i Piteå (se figur 1b och 2b). Den höga riggen motsvarade ett upphöjt och upplutat montage som i en solcellspark eller nedre solcellsraden vid takfoten på en typisk villaanläggning, medan den låga riggen representerade en typisk anläggning på ett låglutande industritak. Jämförelse av riggarna tydliggör hur snölasterna på moduler kan skilja sig åt mellan olika sorters installationer. Laster och nedböjning för de olika positionerna utvärderades i form av tidsserier och kopplades samman med bilder från övervakningskamera och väderstation på platsen för att identifiera och utreda orsakssamband.

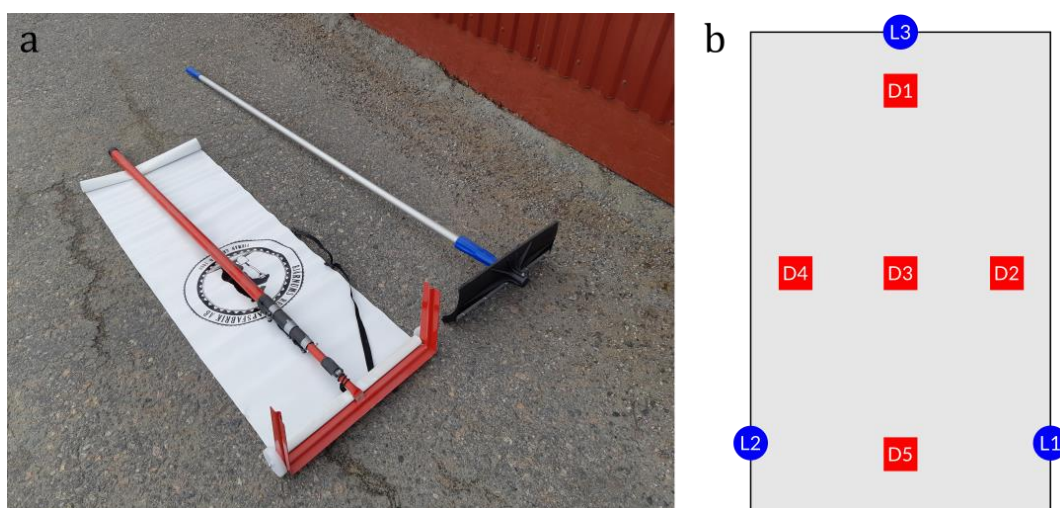
2.3 Test och utvärdering av snöborttagningsmetoder

En testanläggning uppfördes i Piteå med 14° taklutning, se figur 1c. Fem grupper med fyra 60-cells solcellsmoduler av monokristallint kisel monterades enligt modultillverkarens instruktioner och lämnades med öppen krets (Longi Solar, u.å.). Fyra snöborttagningsmetoder valdes ut i en urvalsprocess där de poängsattes utifrån tillgänglighet, pris, förväntad snöhantering, ishantering, skaderisk för moduler och personskaderisk (Granlund och Petersson 2021). De utvalda



snöborttagningsmetoderna eluppvärmning, snöavvisande ytbeläggning, snöhyvel och takraka fördelades på varsin modulgrupp och den femte gruppen utgjorde kontroll.

Eluppvärmningen skedde med hjälp av ett likströmsaggregat som kopplades i serie med solcellsmodulerna och värmd cellerna enligt joules lag (där värmeeffekten är lika med strömmen gånger spänningen). Två sorters ytbeläggningar testades; första säsongen kommersiellt tillgängliga SDS Nanoflex VP20 som de ordinarie solcellsmodulerna behandlades med, och därefter med solcellsmoduler från Solitek, fabriksförsedda med en ytbeläggning från projektet SuperPV (Super PV 2020). Både takraka och snöhyvel var försedda med teleskopiska skaft för att kunna hanteras från marken, och medan takrakans blad var gjort av plast med en skumplastförsedd mjuk kant, hade snöhyvelns metallblad plasthjul för att rulla på underlaget och en plastmatta för att snön enkelt ska kunna glida ned från taket utan att fastna, se figur 2a.



Figur 2. a) Takraka med teleskopiskt skaft (över) och snöhyvel med plasthjul och glidmatta (under). b) Placering av last- (L) och positionsgivare (D) på mättriggarna för att mäta snölastfördelning på enskilda solcellsmoduler.

Testerna av de utvalda metoderna genomfördes under tre vintrar och energiåtgång (manuell respektive elektricitet), effektivitet, snödjup vid start och slut, väderförhållanden och eventuella anmärkningar protokollfördes. Snöborttagningsmetodernas effekt på elproduktion kunde inte mätas då anläggningarna inte var kopplade mot en växelriktare, men uppskattades med hjälp av kombinerad bildanalys av antal snötäckt dagar och elproduktionssimulering med mjukvaran PVsyst. Modulerna undersöktes regelbundet med elektroluminiscenskamera vilket kan visualisera defekter och skador på solcellsmoduler som inte är synliga med blotta ögat.

Solcellsmodulernas degradering mättes genom karaktärisering i en solsimulator och flasher enligt internationell standard (International Electrotechnical Commission, u.å.) innan montering på testanläggningen (år 2020) och efter exponering i verkliga förhållanden (år 2022).

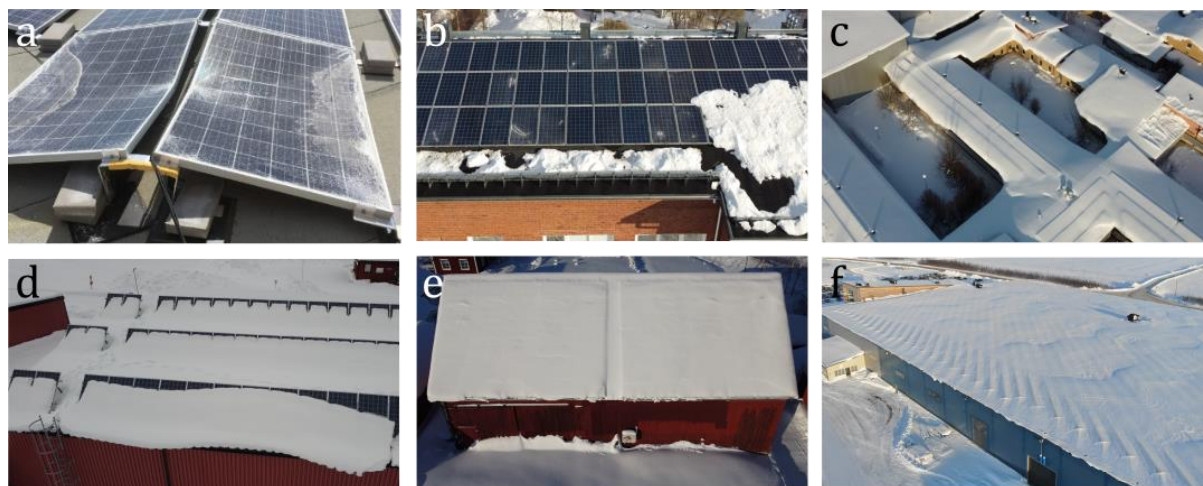
I slutet av projektet genomfördes en digital workshop med en extern expertgrupp för att ta fram nya koncept på effektiva snöborttagningsmetoder och diskutera alternativa lösningar för de fall där snöborttagning inte bedöms lämpligt eller möjligt.



3 Resultat

3.1 Snöansamling på olika tak med solcellsanläggningar

Vid besöken har vi gjort ett antal observationer och via intervjuerna fått information hur snö ansamlats på de respektive anläggningarna, samt vilka effekter det har fått. Vi har inte vid något tillfälle sett att tak har tagit skada eller varit på väg att rasa till följd av snölasterna men stora snömängder som krävt snöborttagning har förekommit. Solcellsmoduler på ett flertal anläggningar har tagit skada i form av knäckta ramar och spräckt modulglas på grund av stora snölaster; dels när de inte monterats enligt tillverkarens instruktioner, dels vid dåliga placeringar där det vintertid bildas stora snödrivor, se figur 3a, men vid ett fall i Kiruna trots till synes korrekt montage. Moduler har också skadats vid nödvändig men oförsiktig snöborttagning, se figur 3b, samt till följd av bristfällig kommunikation med servicepersonal som ovetandes gått på snötäckta moduler. En anläggningsägare har erfarenhet av att löst hängande likströmskablar och kontakter slitits isär när snö glidit på taket. Flera representanter för de intervjuade installatörsföretagen har också observerat skador till följd av stora snölaster, till exempel i form av trasiga moduler på både upplutade och takparallella anläggningar. I intervjuerna nämndes även att svaga montagesystem kan vara problematiskt för både mark- och takanläggningar och leda till trasiga takpannor och läckage.



Figur 3. a) Knäckta moduler på grund av bristande montage och dålig placering där snödriva bildats. b) Trasiga moduler efter oförsiktig snöborttagning. c) Komplex tak med ojämnt snötäcke och fallrisk. d) Tak med upplutade solcellsmoduler i rader. e) Takparallell solcellsanläggning på ett enkelt tak av villatyp. f) Stort industridek med låglutande öst/väst-riktade moduler i ett sammanhängande fält.

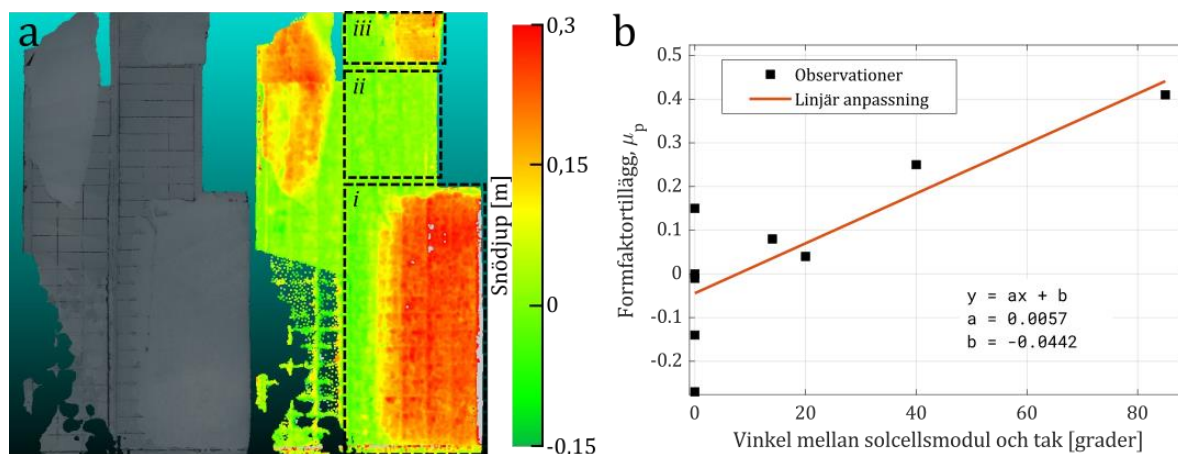
Det är tydligt att takens utformning och lokala förutsättningar till stor del är avgörande för hur snö lägger sig. Störst snömängder fås i områden med stor vindexponering där det aktuella taket har ett läge och en utformning som ger upphov till snöfickor och drivbildning. I figur 3c,d,e,f visas fyra olika sorters tak med solceller som alla samlar snö på olika sätt. Små och stora ojämnheter på taket eller närliggande byggnader ger upphov till lokalt stora snölaster: komplexa tak med många vrår och vinklar, vid upplutade moduler och på stora tak med fält av upplutade moduler. I figur 3e visas en



typisk småhusanläggning på ett brant tak där det inte ansamlas stora mängder snö utan den kan glida av när förutsättningarna tillåter det. Även fasadmonterade moduler har i vissa fall täckts av snö. På anläggningar med (från takets plan) upplutade moduler har vi sett att snö kan ta sig in under moduler, men inte att den pressats mot solcellsmodulernas undersida eller att det har lett till någon skada.

Under vintern 2020/2021 var snömängderna i Norrlands kustland stora och flera anläggningar i projektet behövde snöröjas för att undvika takras. De var dock inte byggda med snöröjning i åtanke vilket kraftigt försvårade arbetet och ledde till att två anläggningar fick omfattande modulsador.

Vi har vid de allra flesta anläggningar och besök noterat att snöns fördelning inom taken ofta är mycket ojämn (se figur 3c,d). Utifrån enstaka manuella snömätningar på taken kan man därför inte fånga takets genomsnittliga och maximala snölast eller effekter av exempelvis solcellsanläggningar på taket. I figur 4a presenteras en rendering av en 3D-modell av en byggnad med takparallell solcellsanläggning (till vänster) och snödjupets fördelning (till höger) efter inmätning med fotogrammetri. Delar av takets solceller är täckta med snö av varierande tjocklek mellan 0 och 30 cm. I det streckade området *i* har snön på solcellsmodulerna glidit mot takfoten men stoppats av en hängränna. I området *ii* saknas hängränna och snön har kunnat glida av, medan område *iii* utgörs av pannplåt och saknar både hängränna och moduler – här ligger snötäcket kvar på taket. Detta exemplifierar två saker: modulernas släta glasyta underlättar snöns avglidning jämfört med ytan på takytan, och även förhållandevis små hinder, som en hängränna, kan förankra och hålla kvar ett snötäcke trots att det glider lätt på modulerna. På liknande sätt kan avglidning förhindras när snötäcket vid smält/frys-cykler förankras runt solcellsmodulernas kanter.



Figur 4. a) Representation av 3D-modell av ett delvis snötäckt tak i Västerbottens kustland. Till vänster en överblicksbild av hur taket ser ut och var snön ligger. Till höger ett punktmoln motsvarande 3D-modellen, färgskalan representerar snödjupet i meter. b) Tillägget till formfaktorn för ett tak som funktion av vinkeln mellan taket och solcellsmodulerna. Observationerna är baserade på nio anläggningar och linjen representerar en linjär anpassning till dessa.

3.2 Laster på tak och solcellsmoduler

Snölasten på ett tak beror i grunden på hur mycket snö som faller på platsen under säsongen samt takets lutning, form, eventuella hinder och byggnadens vindexponering. Vid våra anläggningsbesök



har vi sett att solcellsmoduler som är upplutade från taket påverkar hur snön ansamlas och beskriver förändringen av takens genomsnittliga last med ett formfaktortillägg (μ_p), se ekvation 1. I figur 4b ser vi genom μ_p hur snölasten påverkas som funktion av vinkeln mellan tak och solcellsmoduler (α), för nio olika anläggningar med α mellan 0 och 85° utan upphöjning från taket. Svarta kvadrater motsvarar observationer och den röda linjen en linjär anpassning. Två takparallella anläggningar (0°) har negativ μ_p vilket innebär mindre snölast på taken med solceller än utan i dessa fall. En takparallell anläggning har dock positiv μ_p och det är stor spridning mellan värdena, från -0,27 till 0,15, för olika takparallella anläggningar. Korrelationen mellan taklutning och μ_p är svag (taklutningen är inkluderad i μ_{tak} och exkluderad från μ_p enligt ekvation 1, data visas ej) vilket belyser betydelsen av omgivning och exponering för vind. När α blir större ökar μ_p , vilket innebär större snölast än vad man förväntat sig utan solcellsmodulerna.

Tabell 1. Takdetaljer och maximal observerad snölast på tak under perioden 2020–2022 och differens mot den bedömda dimensionerande lasten vid byggnation respektive om fastigheten byggts enligt EKS11 (färgade fält: grön motsvarar relativ lastskillnad större än <-25 %, gul -25–5 %, orange -5–0 % och röd >0 %).

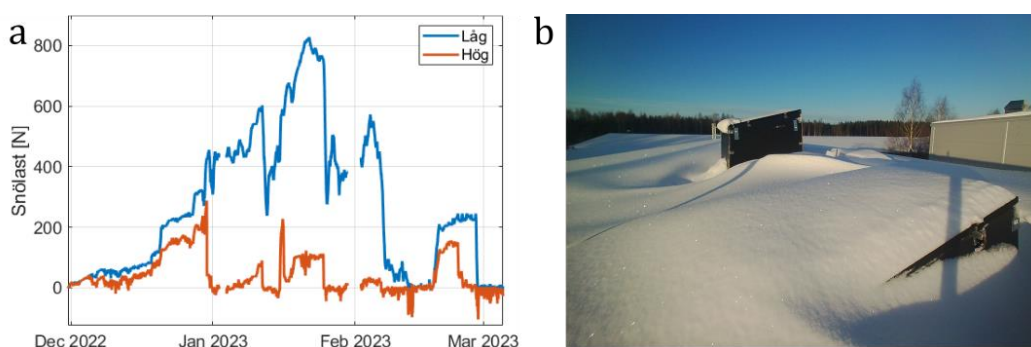
Id.	Snözon [kN/m ²]	Byggår	Taklutning [°]	Snölast [kN/m ²]	Diff. Dim [%]	Diff. EKS11 [%]
Luleå 1	3	1995	17	1,45	-51	-52
Luleå 2	3	2008	4	2,32	-3	-9
Piteå 1*	3	1989–2003	12	2,06	3	-29
Piteå 2	3	2017	4	2,58	1	1
Piteå 3	3	2014	25	0,83	-65	-73
Piteå 4*	3	40-tal	33	1,46	4	-39
Umeå 1	3	efter 2006	25	1,24	-59	-59
Umeå 2	3	2014	22	2,58	8	-21
Umeå 3	3	1959	0–55	1,57	5	-35
Umeå 4a	3	2000	25	3,85	28	24
Umeå 4b	3	1971	31	2,47	70	-3
Östersund 1	2,5	Okänt	5	1,81	-	-17

* Dimensionerande snölast vid uppförande av byggnaden är svårbedömd.

En sammanställning med anläggningsuppgifter och uppmätta maximala snölaster vid besöksstillfällena presenteras i tabell 1. Sju av tolv tak överskred den snölast som byggnaden troligen dimensionerats för medan endast två överskred den snölast de skulle ha dimensionerats för om de byggts enligt den moderna byggnormen EKS11. För anläggningen Piteå 2 var maxlasten i en snödriva som man troligtvis förstärkt taket för lokalt, medan Umeå 4a hade en mycket stor snölast som översteg snölastzonen trots att snödjupet vid SMHI:s officiella mätstation bara var 72 cm. Detta var en följd av kraftigt snöfall i kombination med hård ogynnsam vind och exponerat läge på taket som snöröjdes kort efter besöket, liksom närliggande Umeå 4b.



Flera av maxlasterna i tabell 1 tangerar de snölaster som solcellsmoduler ska tåla enligt sina datablad (ibland 2,4 men ofta 3,6 eller 5,4 kN/m²). Med hjälp av två mätriggare i Piteå har vi undersökt hur stor lasten är på enskilda moduler i verkliga snöförhållanden. Figur 5a visar en tidsserie över den totala lasten på en vanlig och en upphöjd solcellsmodul med lutning på 14° under snösäsongen 2022–2023. Medan snön på den upphöjda modulen glider av vid upprepade tillfällen under säsongen och den totala lasten inte överstiger 0,25 kN, ackumuleras lasten på den låga riggen under säsongen och blir över 0,8 kN. I figur 5b syns hur snötäcket i stort glidit av den höga riggen (längst bort i bild) men en del stoppats upp av modulramen i nederkant och frusit fast. Den låga riggen är helt översnöad och snötäcket är tjockast i modulens framkant. Den ojämna snöfördelningen bekräftas av att lasten i den låga riggens nederdel utgjorde mer än tre fjärdedelar av totallasten (data visas ej). Detta resulterade i sin tur till att nedböjningen av modulens glas blev förhållandevis stor nära modulens nederkant. 2021 var lasterna större än 2023 och uppgick till maximalt 2,4 kN för den låga riggen varav modulens nederdel stod för två tredjedelar. Den låga riggen utsätts alltså för större snölaster under längre tid än den höga, och har mer ojämnt fördelad snölast med högt snötryck i primärt den nedre delen.



Figur 5. a) Total snölast på enskilda solcellsmoduler i en låg och hög mätrigg under vintersäsongen 2022–2023. b) Bild på snöfördelningen på de två riggarna i januari 2023.

Två av fem intervjuade installatörsföretag med erfarenhet av solkraft i norra Sverige hanterar den här sortens ökade laster genom att dimensionera upp solcellsanläggningarna. De räknar helt enkelt med en högre snölast (+0,5 respektive +2 kN/m²) när snölastzonen är högre än 2,5 kN/m² och lägger i vissa fall till extra stödben eller skena på mitten av modulernas långsida för att reducera nedböjning, och menar att detta kan minska punktlaster på underlaget om anläggningen är förankrad med ballast.

3.3 Snöborttagningsmetoder

Vid testanläggningen i Piteå med taklutning på 14° (figur 1c) testade vi snöborttagningsmetoderna snöhyvel, takraka, eluppvärmning och snöavvisande ytbeläggning för olika modulgrupper på taket, och jämförde dessa mot en kontrollgrupp som inte snöröjdes. Här fungerade snöhyveln bäst för att ta bort merparten av snötäcket vid varierande snöförhållanden, till exempel vid torr och vindpackad snö då takrakan hade svårt att få tag i snön. Vid tung och blöt snö fungerade dock takraka bättre och kunde då också göra modulerna nästan helt snöfria – snöhyveln var vid dessa tillfällen svår att arbeta med då den ska tryckas upp genom snötäcket och skära ut block som kan glida ned. Ingen av de två ytbeläggningarna som testades visade någon effekt jämfört med kontrollgruppen. Ytbeläggningarnas hydrofoba egenskaper avtog kraftigt under testperioden (kontinuerligt minskande statisk kontaktvinkel, data visas ej) och metoden begränsades av kanteffekter som höll kvar snötäcket.



Detsamma gällde för eluppvärmning där målet var att värma snötäcket så att fritt vatten skulle bildas i gränsskiktet mellan modulglas och snö så att hela snötäcket skulle glida ned. Om modulgruppens snötäcke skars loss från omgivande snö och alla hinder undanröjdes kunde snön glida ned, men det var omständligt och krävde arbete uppe på taket. När snötäcket inte frigjordes kunde snön smälta bort men detta tog lång tid, förbrukade mycket el och krävde att vädret var gynnsamt.

Under vintern 2020–2021 bedömdes snöskuggningsförlusterna med hjälp av kombinerad bildanalys och produktionssimuleringar. För de opåverkade kontroll- och ytbeläggningssgrupperna var förlusterna 10 % av årsproduktionen, vilket reducerades till drygt 4 % för metoderna snöhyvel och snöraka och 8 % netto för eluppvärmning (inklusive elförbrukning, 3 % av årsproduktionen användes för att reducera snöskuggningsförlusterna till 5 %).

Tabell 2. Genomsnittlig förändring av solcellsmodulernas uteffekt vid standardiserade testförhållanden efter tre säsonger i verkliga förhållanden och olika snöborttagningsmetoder.

Modulgrupp	Ursprunglig effekt [W]	Degradering [%]	Nedsmutsning [%]	Total minskning [%]
Kontroll inne	307,7	2,9	1,5	4,3
Kontroll ute	307,7	3,3	1,6	4,8
Takraka	307,7	3,9	1,3	5,1
Snöhyvel	307,7	3,2	1,5	4,6
Eluppvärmning	307,6	3,8	4,1	7,7
Ytbeläggning*	307,5	3,6	1,9	5,5

* Exponerade under en säsong

Som vi sett vid anläggningsbesöken utgör snöborttagning ett riskmoment för solcellsmodulerna. Trots stor försiktighet träffade takrakans hörn vid ett tillfälle en modul. Ingen synlig skada uppstod, men med elektroluminiscenskamera syns det att en cell i modulen är spräckt (Granlund och Petersson 2021). För övriga moduler syns inga skador som direkt kan kopplas till snöborttagningen och elektriska prestandatest indikerar inte heller någon signifikant skillnad mellan de olika metoderna, se tabell 2. I genomsnitt var modulernas degradering 3,5 % för tre säsonger utomhus vilket är mer än vad modultillverkaren garanterar (max 3,1 % efter tre år) (Longi Solar, u.å.). Det är också värt att notera att modulerna hade en genomsnittlig effektminskning med 1,9 % på grund av smuts på glaset; det genomsnittliga sammanlagda effektbortfallet efter tre säsonger var 5,6 %. De kontrollmoduler som förvarats inomhus hade degraderat mindre men var också smutsiga.

Vid workshopen under våren 2023 lyfte expertgruppen fram att kraven på snöborttagningsmetoder är olika beroende på takens utformning. För låga tak som kan nås från marken fungerar manuella metoder (till exempel snöhyvel och takskrapa). Flerbostadshus, stora svaga låglutande tak, och andra komplicerade eller besvärliga tak, kräver å andra sidan att solcellsanläggningar utformas så att manuell snöröjning möjliggörs – med gångar mellan modulrader och avstånd till takkanterna för snöhantering. Denna bild delas av merparten av de intervjuade installatörsföretagen: ett par erbjuder redan snöskottnings-anpassade solcellsanläggningar och de andra har själva identifierat det som en viktig aspekt för att bredda sin marknad från enbart småhus till att också inkludera större tak.



4 Diskussion

Detta projekt fokuserar på snölast i solkraftssammanhang och resultaten kompletterar tidigare forskning om solkraft i nordliga förhållanden som utmynnat i riktlinjer och rapporter om till exempel vanliga fel, snöskuggning, och solinstrålning (Lindh m.fl. 2020; van Noord m.fl. 2021; Stridh 2020).

Platsbesök och snömätningar vid solcellsanläggningar slår fast att snölastfördelningen kan variera kraftigt inom och mellan tak beroende på de specifika förutsättningarna. Vindtransport av snö har särskilt stor inverkan och har i flera fall lett till mycket stora snölaster i förhållande till byggnadernas dimensionering (figur 3 och tabell 1). Marginalerna är större i byggnormen EKS11 men maxlasten för två anläggningar i projektet har överskridit också den. Vi kan visa experimentellt att upplutade solcellsmoduler medför att snölasten på taken ökar ytterligare (figur 4b) vilket kan vara farligt i kombination med äldre byggnader med sämre dimensionering. Installatörsföretag tar typiskt inte ansvar för byggnadens hållfasthet när en solcellsanläggning installeras varför vi anser att beställaren vid minsta osäkerhet bör låta ta in en konstruktör för en bedömning. Takparallella anläggningar kan i vissa fall ansamlas *mindre* snö än vad taket troligen skulle gjort utan solcellsmoduler, vilket skulle kunna bero på en lägre friktion i gränsskiktet mellan snö och modulglas än mellan snö och takyta. Samtidigt ser vi att även små strukturer mycket effektivt kan hindra snö från att glida, både med och utan solcellsmoduler, vilket påverkar snölast och fördelning.

Många tak, i framför allt Norrland, snöröjs regelbundet för att förhindra att den dimensionerade lasten överstigs. För att dessa ska kunna nyttjas för solkraftsproduktion krävs att solcellsanläggningarna utformas för att möjliggöra snöröjning och inte omöjliggör den. Det kan exempelvis vara att säkerställa tillräckligt breda gångar mellan moduler och en zon för snöhantering längs takets kanter. En solcellsanläggning försvårar och fördyrar dock ofta snöröjningen oavsett utformning. Därför bör tak som även utan en solcellsanläggning är besvärliga att snöröja, till exempel komplexa tak och flerbostadshus med flera våningar, i stället förstärkas eller överdimensioneras vid nybyggnation så att snöröjningsbehovet för att undvika takras elimineras. Man måste i dessa fall även bygga solcellsanläggningarna så att de tål de förväntade maximala snölasterna samt acceptera snöskuggningsförlusterna.

Av figur 5b framgår det att snölasten i verkliga förhållanden fördelas ojämnt på moduler. Nederdelen tar en större last och får en förhållandevis stor nedböjning av modulglaset, särskilt när snön hindras från att glida av. Detta kan bli fallet i markmonterade solkraftsparker med otillräcklig monteringshöjd, men också för nedre raden i vanliga takparallella solcellsanläggningar och vid upplutade moduler. Snö som hindras från att glida av en modul leder till ökade snöskuggningsförluster, men också till att snölasterna blir betydligt större, kvarstår under en längre tidsperiod, samt att solcellerna i modulens nederkant utsätts för stora spänningar (Bosco 2022; Romer och Beinert 2021). År 2020 utkom en ny internationell standard för test av inhomogena snölaster på solcellsmoduler (International Electrotechnical Commission 2020) som syftar till att motsvara lasten på en modul från överhängande snö vid takfoten. Testerna genomförs primärt vid 25 °C där man bedömer att modulerna är känsligast. I verkliga förhållanden är temperaturerna lägre och styvar upp modulernas material vilket leder till minskad nedböjning men kan också ge ökad sprödhet i kiselsolcellerna (Seigneur m.fl. 2019; Schneller m.fl. 2019). Det vore intressant att undersöka hur ojämna snöfördelningar och laster i olika sorters solcellsanläggningar överensstämmer med testerna i den nya standarden samt hur dessa tillsammans



med kyla påverkar degraderingen. I detta sammanhang är det intressant att den uppmätta degraderingen (tabell 2) för modulerna på testanläggningen i Piteå är så stor. Vårt kalla klimat med lite UV-strålning borde enligt gängse degraderingsmodeller innebära liten degradering, men dessa modeller inkluderar inte mekaniska mikroskador till följd av exempelvis snölast (Ascencio-Vásquez m.fl. 2019) och en norsk studie bekräftar liten degradering (Sveen m.fl. 2020). Samtidigt har ingen av representanterna för de intervjuade installationsföretagen, trots att de tillsammans har 50 års erfarenhet och installationsansvar för omkring 4000 anläggningar, fått in reklamationer på grund av att anläggningarna inte producerar vad som förväntas efter några år. Kanske är detta i sin tur en följd av att många anläggningsägare inte har den kunskap och de verktyg som behövs för att kunna följa hur en anläggning utvecklas med åren (Jordan m.fl. 2018; Rinio 2021). Vår uppmätta degradering gäller en enskild anläggning, med moduler som lämnats med öppen krets och som nyttjats för test av snöborttagningsmetoder. Trots dessa osäkerhetsfaktorer skapas frågetecken kring vilka faktorer som påverkar degradering i nordliga förhållanden och i vilket skick svenska solcellsanläggningar befinner sig beroende på när och hur de installerats. Degradering av solcellsmoduler i nordliga förhållanden är ett utforskat område med stor betydelse för ekonomiska kalkyler och planering av solkraftsproduktionen från olika anläggningar.

När snö inte kan glida av en solcellsanläggning utan smälter bort innebär det också att en hel vinters ackumulerade smuts hamnar på modulerna, ofta på ett begränsat område i fältets nederkant, vilket vi observerat på en del av de anläggningar vi besökt. Modulerna från testanläggningen i Piteå hade efter ett fåtal säsonger utomhus en genomsnittlig effektminskning till följd av nedsmutsning på ungefär 2 %. Om några moduler i en solcellsanläggning är avsevärt smutsigare än andra, vilket kan bli fallet när en snödriva smälter bort, riskerar effektskillnader att leda till suboptimal elproduktion för de strängar som delar optimerare (Bengtsson m.fl. 2017).

Att utföra korrekta och representativa mätningar i fält av snölast och dess fördelning på tak och moduler över tid är svårt. Mätdata i denna rapport baseras därför på våra konservativa bästa bedömningar för varje enskild mätning. Maxlasterna i tabell 1 kan vara underskattade då platsbesök inte alltid varit möjligt när snölasten har bedömts vara som störst, och solelanläggningens last på taken är inte inkluderad. Exempel på svårigheter är att manuella snömätningar med snörör är begränsade av hur man säkert kan röra sig på taken, och man får ofta nöja sig med ett fåtal mätpunkter per tillfälle. I vissa fall har vi fått koppla snödjupsmätningar på tak till en snödensitetsmätning på mark för att beräkna lasten. Drönarbaserad fotogrammetri ger tillgång till hög rumslig upplösning av snödjupet men mäter inte snöns densitet. Dessutom kan det vara svårt att få en bra 3D-modell på grund av låga kontraster på stora snötäckta ytor, samt att väder och flygtillstånd kan vara problematiska. Om metoden förbättrades och gjordes mer lättanvänd skulle den kunna användas av fastighetsägare för att planera snöröjning, men också för att studera snöfördelning på tak och hur de belastar olika delar av byggnaders konstruktioner.

Sambandet mellan snölast och solcellsmodulernas uppvinkling mot taket (μ_p , figur 4b) bör ses som indikativt snarare än absolut. Underlaget är begränsat till ett fåtal anläggningar med stor geografisk spridning och flera antaganden (lika snödensitet på tak och mark, marksnödjup från SMHI:s närmaste mätstation) och bedömningar (takens form- och exponeringsfaktorer) har krävts. Osäkerheten kan i framtiden reduceras om experiment utformas specifikt för detta ändamål. Sambandet är dock tydligt och innebörden viktig; eftersom μ_{tak} ofta är i spannet 0,8–1,0 innebär en lutning mot taket på exempelvis 40° en substantiell ökning av den förväntade snölasten på taket med 20–25 %.



5 Slutsatser

Snölaster på vissa vindutsatta och framför allt äldre byggnader och tak i norra Sverige överskrider regelbundet sin dimensionerande last, vilket gör att de behöver snöröjas. Vind är en nyckfull och avgörande faktor vilket kan göra det svårt att förutse vilka snölaster som komplicerade tak och exponerade byggnader kan komma att utsättas för. Det är därför viktigt med lokal kunskap om var det kan eller brukar lägga sig mycket snö, så att dessa områden kan undvikas när man planerar placeringen av solcellsanläggningen. Verkliga snölaster kan dessutom bli både större och mindre när det sätts solcellsanläggningar på taken – det beror på hur anläggningarna och taken är utformade. Solcellsmoduler som är upplutade från taket verkar öka snömängderna proportionellt mot vinkeln mellan dem, medan takparallella solcellsmoduler kan leda till att snö enklare glider av och de maximala snölasterna därför blir lägre. Vi ser att belastningar kan bli flera gånger större i modulernas nederdel jämfört med överdelen när snö hindras från att glida av, vilket tillsammans med långa snölastperioder och låga temperaturer skulle kunna leda till mekaniska skador och accelererad degradering. Samtidigt riskerar snöröjning att försvåras om man inte planerar för det vid utformning av solcellsanläggningar, till exempel genom att lämna gångar mellan modulrader och fria ytor längs takets kanter.

På grund av risken att skada solcellsanläggningen bör man undvika att snöröja tak med solcellsmoduler om inte detta är helt nödvändigt för att undvika skador på solcellsanläggningen eller den underliggande konstruktionen. Om man behöver ta bort snö från modulerna och kan nå dem från marken fungerar vanliga manuella snöborttagningsmetoder för tak som snöhyvel och takraka bra. De måste dock användas med stor försiktighet för att inte skada anläggningen (moduler kan vara skadade även om det inte syns med blotta ögat) och ett tunt snölager bör av samma anledning alltid lämnas kvar. Hydrofoba ytbeläggningar har i projektet inte visat någon effekt på snötäckningen, medan eluppvärmning genom att leda likström genom modulerna visserligen kan smälta snön men kräver dyr utrustning och en komplicerad elektrisk installation. Då välfungerande automatiska metoder således ännu inte finns på marknaden, bör tak som är besvärliga att snöröja i första hand förstärkas eller överdimensioneras så att takrasrisken elimineras, och en eventuell solcellsanläggning utformas så att den tål snölasten.



6 Publikationslista

- På RISE webbplats ri.se finns en projektbeskrivning: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/anpassning-av-solelanlaggningar-till-nordiska-forhallanden>
- Populärvetenskaplig artikel i pv magazine spain: ¿Y si vuelve Filomena? Consejos prácticos desde Laponia, 28 januari 2021, Alejandro Diego Rosell, <https://www.pv-magazine.es/2021/01/28/y-si-vuelve-filomena-consejos-practicos-desde-laponia/>
- Offentlig rapport om snöborttagningsmetoder till Länsförsäkringars forskningsfond: *Provning av metoder för snöborttagning vid takmonterade soleanläggningar*, 23 november 2021, Alexander Granlund och Anna Malou Petersson, RISE Rapport 2021-23, <https://www.e2b2.se/media/mj5mlkwu/ri-se-etc-rapport-2021-23-provning-av-metoder-for-snoborttagning-vid-takmonterade-solelanlaggningar.pdf>
- Muntlig presentation och konferensartikel, 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Milano: *Evaluation of snow removal methods for rooftop photovoltaics*, 21 december 2022, Alexander Granlund, Mattias Lindh, Tommy Vikberg och Anna Malou Petersson, DOI: 10.4229/WCPEC-82022-4DO.4.6
- Kandidatarbete från Mittuniversitetet, *Monteringshöjd och markinterferens i nordliga solkraftsparker*, Gabriella Edebo, Energiingenjörsprogrammet 180 hp, 2 juni 2023, <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1778653&dswid=5568>
- Populärvetenskaplig artikel i tidningen Elinstallatören: planerad publicering hösten 2023, journalist Marie Granmar
- Planerad vetenskaplig artikel 1: *Snow loads and accumulation patterns of roof-top solar installations: A Swedish multi-case study*, skickas troligen in under vintern 2023
- Planerad vetenskaplig artikel 2: *Three-year evaluation of four snow removal methods for roof-top photovoltaics*, skickas troligen in under vintern 2023



7 Referenser

- Ascencio-Vásquez, Julián, Ismail Kaaya, Kristijan Brecl, Karl-Anders Weiss, och Marko Topič. 2019. "Global Climate Data Processing and Mapping of Degradation Mechanisms and Degradation Rates of PV Modules". *Energies* 12 (24): 4749.
- Bengtsson, Anna, Erik Holm, David Larsson, och Björn Karlsson. 2017. "Skuggningshandbok - Solel". 2017–385. Högskolan i Gävle: Energiforsk.
- Bosco, Nick. 2022. "Turn Your Half-Cut Cells for a Stronger Module". *IEEE Journal of Photovoltaics* 12 (5): 1149–53.
- Boverket. 2019. "Boverkets konstruktionsregler EKS 11".
- Energimyndigheten. 2023. "Scenarier över Sveriges energisystem 2023". ER 2023:07.
- Granlund, Alexander, och Anna Malou Petersson. 2021. "Provning av metoder för snöborttagning vid takmonterade soleanläggningar". RISE Energy Technology Center.
- International Electrotechnical Commission. 2020. "Photovoltaic (PV) modules – Non-uniform snow load testing (IEC 62938)".
- Jordan, Dirk C., Chris Deline, Sarah R. Kurtz, Gregory M. Kimball, och Mike Anderson. 2018. "Robust PV Degradation Methodology and Application". *IEEE Journal of Photovoltaics* 8 (2): 525–31.
- Lindh, Mattias, Maria Svedjeholm, Alexander Granlund, Jeanette Petersson, och Anna Malou Petersson. 2020. "Handbok för nordlig solesl". RISE Energy Technology Center. ISBN: 978-91-89167-46-9
- Longi Solar. Datasheet: "LR6--60 PB 295-315M".
- van Noord, Michiel, Tomas Landelius, och Sandra Andersson. 2021. "Snow-Induced PV Loss Modeling Using Production-Data Inferred PV System Models". *Energies* 14 (6): 1574.
- Rinio, Markus. 2021. "PVcheck—A Software to Check Your Photovoltaic System". *Energies* 14 (20).
- Romer, Pascal, och Andreas J Beinert. 2021. "Effects of Inhomogeneous Snow Load on the Mechanics of a PV Module". I *38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EUPVSEC)*, 602–6.
- Schneller, Eric J., Hubert Seigneur, Jason Lincoln, och Andrew M. Gabor. 2019. "The Impact of Cold Temperature Exposure in Mechanical Durability Testing of PV Modules". I *IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference*, 1521–24.
- Seigneur, Hubert, Eric Schneller, Jason Lincoln, Hossein Ebrahimi, Ranajay Ghosh, Andrew M. Gabor, Michael Rowell, och Victor Victor Huayamave. 2019. "Microcrack Formation in Silicon Solar Cells during Cold Temperatures". I *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2:1–6.
- Stridh, Bengt. 2020. "Förbättrad beräkning av soleslproduktion i Sverige".



Super PV. 10 mars 2020. "Advanced functional nanocoatings to improve PV modules performance - Blog". hämtad 22 sept 2022. <https://www.superpv.eu/blog/Advanced-functional-nanocoatings-to-improve-PV-modules-performance/>.

Sveen, Eivind B., Mari B. Øgaard, Josefine H. Selj, och Gaute Otnes. 2020. "PV System Degradation Rates in the Nordics". I *37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EUPVSEC)*, 2020:1563–66.



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinator.
Läs mer på www.E2B2.se.*

