



EXAMENSARBETE INOM BYGGTEKNIK OCH DESIGN
GRUNDNIVÅ 15 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2023

Fuktproblem i tak till följd av solceller

Risker med skuggning av
takkonstruktioner

Moisture related damages caused by Photovoltaic modules

Risks with shading of roof structures

Författare:	Anton Eliasson, Pontus Flygring
Handledare:	Anders Kumlin
Examinator:	Magnus Helgesson
Examensarbete:	15,0 Högskolepoäng inom Byggt teknik och Design
Godkännandedatum:	2023-06-21
Serienummer:	XXXX

TRITA-ABE-MBT-23491

Sammanfattning

Energiomställning och globala mål ställer allt högre krav på länder, organisationer och olika branscher, inte minst byggbranschen. En metod för att minska belastningen på det nationella elnätet och göra fastigheter mindre beroende av de stora fluktuationerna i energipriserna är solcellsanläggningar. Privatpersoner och företag har sedan några år tillbaka satsat på att nyttja solenergi som en kompletterande energikälla (Energimyndigheten 2019).

En pressad marknad och snabba beslut leder till en stor ökning av solcellsanläggningar som monteras på olika hustak. Vad blir följderna för husen som är försedda med heltäckande takinstallationer, exempelvis solceller? Vilka potentiella konsekvenser kan dessa installationer medföra på lång sikt? (Svensksolenergi, 2023).

Syftet med examensarbetet är att öka medvetenheten kring de risker som kan uppstå ur fuktteknisk synvinkel vid installation av heltäckande takinstallationer som solceller. Alla hus är unika och det finns flertalet typer av takkonstruktioner som alla har olika förutsättningar. Några av de förutsättningar som ligger till grund för ett friskt hus är ventilation, tryckförhållanden, mängd samt omfattning av köldbryggor, klimat samt geografisk position och de förutsättningar som finns på platsen. För att ett byggnadsmaterial inte ska överskrida gränserna för kritiskt fuktillstånd efter installation av solceller bör konstruktionen kontrolleras innan montering via en fuktteknisk utredning och/eller genom långa cykliska simuleringar med takets nya förutsättningar. Det kan även behövas kontinuerliga mätningar efter installation för att säkerställa en fukttekniskt säker konstruktion. Klimatet har en betydande inverkan på konstruktionen och kan genomgå kraftiga variationer under ett år. I examensarbetet undersöks den inverkan som solceller har på uttorknings- och uppfuktningsprocesser i takkonstruktioner.

I examensarbetet används det dynamiska fukt- och värmeberäkningsprogrammet WUFI Pro 6.7 för att genomföra simuleringar av ett par konstruktioner med målet att undersöka hur en solcellsanläggning påverkar fuktförhållandet i konstruktionen och om det kan uppstå risker med installationen.

De simuleringar som genomförts visar att varma tak löper risk att utveckla fuktrelaterade problem som mikrobiell tillväxt. Resultaten visade att parallelltak, som har goda fukttekniska förutsättningar, är mer lämpade för solceller. En fuktteknisk bedömning bör utföras för varje individuellt fall för att säkerställa att konstruktionen klarar av skuggningen som solceller medför.

Nyckelord: solceller, solcellsanläggningar, skuggning, fuktsäkerhet, tak, kallvind, takinstallation, temperatursänkning, uttorkning, uppfuktning, fuktproblem.

Abstract

Energy transition and global goals impose higher demands on countries, organizations, and various industries, including the construction industry. One of the now widely recognized methods to reduce the strain on the national power grid and decrease the dependency of the energy price fluctuations is the installation of solar power systems. In recent years there has been significant investment by private consumers and businesses in the adoption of solar energy as a supplementary power source (Energimyndigheten, 2019).

A competitive market and rapid decision-making processes have resulted in a significant increase in the installation of solar power systems on various rooftops. However, what happens to the houses covered with these types of full-coverage roof installations? And what are the potential risks? (Svensksolenergi, 2023).

The purpose of the degree project is to increase awareness of the moisture-related risks that can arise when installing full coverage roof installations such as PV-modules (Photovoltaic modules). All houses are unique and there are several types of roof structures that all have different properties. Some of the factors that form the basis of a healthy house are ventilation, pressure conditions, the number and extent of thermal bridges, climate, geographical position and site-specific conditions. In order for a building material not to exceed the limits for critical moisture condition after installation of solar cells, the construction should be checked before installation via a moisture technical investigation and/or through long cyclic simulations with the new conditions of the roof. There may also be a need for continuous measurements after installation to ensure a moisture-safe structure. The climate has a significant impact on the structure and can undergo strong variations during a year. The thesis examines the impact that solar cells have on dehydration and humidification processes in roof structures.

In the thesis, the dynamic moisture and heat calculation program WUFI Pro 6.7 is used to carry out simulations of a couple of structures with the aim of investigating how a solar cell installation affects the moisture conditions in the structure and whether there may be risks with the installation.

The simulations conducted show that warm roofs are at risk of developing moisture-related problems such as microbial growth. The results showed that parallel roofs, which has good prerequisites for handling moisture, are more suitable for solar cells. A moisture assessment should be carried out for each individual case to ensure that the structure can cope with the shading caused by solar cells.

Keywords: solar cells, solar panels, photovoltaic systems, shading, roof, moisture safety, roof installation, temperature reduction, desorption, absorption, moisture problem.

Förord

Denna rapport är ett examensarbete utfört på högskoleingenjörsprogrammet Byggteknik och Design vid Kungliga Tekniska Högskolan. Arbetet omfattar 15 HP och är utfört under våren 2023 oberoende av enskilda företag.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anders Kumlin från Kungliga Tekniska Högskolan som har varit till stor hjälp under arbetets gång. Vi vill även tacka de företag samt sakkunniga som har bidragit med erfarenhet, tankar och reflektioner.

Stockholm, juni 2023

Anton Eliasson & Pontus Flygring

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	III
ABSTRACT	IV
FÖRORD	VI
1 INTRODUCTION	1
1.1 SYFTE OCH MÅL.....	2
1.2 AVGRÄNSNINGAR	2
2 BAKGRUND.....	3
2.1 PARALLELLTAK	3
2.2 VARMT TAK.....	4
2.3 KALLT TAK.....	4
3 LITTERATURSTUDIER.....	6
4 FUKTTEKNISK BAKGRUND.....	10
4.1 VÄRME	10
4.2 FUKT I LUFT	10
4.2.1 Daggpunkt.....	11
4.2.2 Utomhusluft.....	11
4.2.3 Inomhusluft.....	11
4.3 FUKT I MATERIAL	12
4.3.1 Fuktinnehåll	12
4.3.2 Fukttransport.....	13
4.4 STRÅLNING.....	13
4.4.1 Solstrålning	14
4.4.2 Långvågig strålning	15
4.4.3 Nattutstrålning	15
4.4.4 Explicit strålningsbalans	15
5 METOD	16
5.1 UPPBYGGNAD/MONITORPOSITION	16
5.2 LUFTINFILTRATIONSMODELL IBP	17
5.3 ORIENTERING/LUTNING/HÖJD.....	17
5.4 YTÖVERGÅNGSKOEFFICIENT	17
5.5 BEGYNNELSEVILLKOR.....	19
5.6 TID/PROFIL.....	19
5.7 KLIMAT	19
5.8 GEMENSAMMA INSTÄLLNINGAR FÖR UTFÖRDA PARAMETERSTUDIER	21
5.9 PARAMETERSTUDIE VARMT TAK	21
5.10 PARAMETERSTUDIE PARALLELLTAK	22
6 RESULTAT.....	25
6.1 RESULTAT VARMT TAK.....	25
6.2 RESULTAT PARALLELLTAK	25
7 DISKUSSION OCH SLUTSATS	27
7.1 SLUTSATS	28
7.2 FORTSÄTTA STUDIER	28
8 REFERENSER.....	29
9 BILAGOR	31
9.1 BILAGA 1 – STATISTIK SOLCELLSANLÄGGNINGAR.....	31
9.2 BILAGA 2 – SOLCELLSGUIDE FÖR PRIVATPERSONER	32

9.3	BILAGA 3 – TAKUPPBYGGNADER OCH MATERIALEGENSKAPER.....	33
9.4	BILAGA 4 - VARMT TAK - FALL 1.....	34
9.5	BILAGA 5 - VARMT TAK - FALL 2.....	35
9.6	BILAGA 6 - VARMT TAK - FALL 3	36
9.7	BILAGA 7 - VARMT TAK - FALL 4.....	37
9.8	BILAGA 8 - VARMT TAK - FALL 5	38
9.9	BILAGA 9 - VARMT TAK - FALL 6	39
9.10	BILAGA 10 - PARALLELLTAK - FALL 1	40
9.11	BILAGA 11 - PARALLELLTAK - FALL 2	41
9.12	BILAGA 12 - PARALLELLTAK - FALL 3.....	42
9.13	BILAGA 13 - PARALLELLTAK - FALL 4.....	43
9.14	BILAGA 14 - PARALLELLTAK - FALL 5.....	44
9.15	BILAGA 15 - PARALLELLTAK – FALL 6.....	45
9.16	BILAGA 16 - PARALLELLTAK - FALL 7.....	46
9.17	BILAGA 17 - PARALLELLTAK - FALL 8.....	47
9.18	BILAGA 18 - PARALLELLTAK - FALL 9.....	48
9.19	BILAGA 19 - PARALLELLTAK - FALL 10	49

1 Introduktion

Den 10 juni 2016 slöts en ramöverenskommelse mellan fem riksdagspartier som kom att kallas energiöverenskommelsen. Överenskommelsen utgör partiernas gemensamma plan för övergång till ett helt förnybart elsystem. I överenskommelsen föreslår partierna 100 procent förnybar elproduktion år 2040 (Regeringen, 2018). Energimyndigheten har på uppdrag av regeringen tagit fram ett strategiförslag för att höja andelen solel som en del av övergången. Energimyndigheten menar i sitt strategiförslag, att fem till tio procent av den totala elanvändningen kan komma från solenergi om dess fördelar främjas och rätt åtgärder genomförs (Energimyndigheten, 2022). En av de åtgärder som antagits är prop. 2022/23:15 en förstärkt skattereduktion för installation av grön teknik som till exempel solceller där subventionsgraden höjts från 15 procent till 20 procent på arbetskostnader och material (Regeringen, 2022).

Idag har solceller blivit allt mer vanligt förekommande i takt med teknikutvecklingen, bidragande är också att många vill ställa sig bakom omställningen till grön el. Enligt Energimyndigheten (2022) har antalet solcellsanläggningar ökat markant under de senaste åren. Mellan 2021 och 2022 ökade den totala installerade effekten från 1578,02 MW till 2383,64 MW vilket motsvarar en ökning med 50,2 procent. Under samma period ökade det totala antalet solcellsanläggningar från 92 358 till 147 691 anläggningar vilket motsvarar en ökning med 59,9 procent, se Bilaga 1.

Solcellsbranschen är ett verksamhetsområde som växer i snabb takt där det går att se en variation i utförandets kvalitet (Svensksolenergi, 2023). Energimyndigheten har tagit fram hemsidan solelportalen.se med syftet att vara en vägledning inför beslut om solceller. Solelportalen.se tillsammans med Energimyndigheten (2021) ”solcellsguide – Från idé till färdig anläggning” innehåller mycket information, men det som utelämnats är hur en snabbt växande bransch ska ta hänsyn till hur en installation av solceller förändrar ett taks fukttekniska förutsättningar, se Bilaga 2.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta projekt var att undersöka om en delvis eller heltäckande takinstallation, som till exempel solceller, kan påverka de fukttekniska förhållandena i en takkonstruktion med underlagsspont i trä. Om resultatet påvisar att problem kan komma att uppstå är syftet att främst informera om de risker som kan uppkomma till följd av en delvis eller heltäckande installation.

Målet med studien var att:

- Undersöka om installation av solceller kan påverka de fukttekniska förhållandena hos två olika takkonstruktioner med underlagsspont i trä.
- Uppmärksamma om de risker som kan komma att uppstå till följd av installation av solceller för att undvika oäktsamma tekniska förändringar i ett taks förutsättningar.

Frågeställningen var:

- Kan förhindrad solstrålning orsaka fuktproblem i tak?

1.2 Avgränsningar

Denna studie behandlar enbart takkonstruktioner med underlagsspont i trä. De konstruktioner som behandlas är av typutförande och är exempel på konstruktionslösningar. De två konstruktionstyper som undersöks är varmt tak samt ventilerat parallelltak. Kalla tak kommenteras endast.

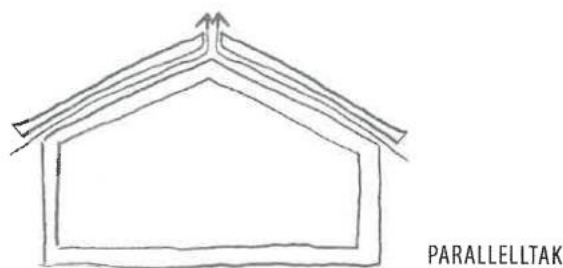
Eftersom alla tak har olika förutsättningar och uppbyggnad syftar denna studie enbart till att undersöka typkonstruktioner för att påvisa en trend för uppfuktning eller uttorkning. Ingen ekonomisk aspekt kommer behandlas. Köldbryggor och infästning kommer inte att utredas närmare då arbetets syfte är att utreda om skuggningen som uppstår till följd av montering av solceller påverkar de fukttekniska förutsättningarna.

2 Bakgrund

Takkonstruktioner för småhus delas ofta in i två kategorier, varma och kalla tak. Parallelltak betraktas vanligtvis som ett varmt tak till följd av den låga omsättningen i luftspalten. Dessa takutformningar har olika förutsättningar att hantera den fukt som antingen byggs in i konstruktionen, tillkommer via konvektions och/eller diffusionsförluster, utomhusluften eller läckage i taktäckningen där regn eller snösmältning kan medföra att vatten når den inre konstruktionen. Likt övriga byggnadsdelar ställs det även funktionskrav på taket som måste uppfyllas. Både funktionskrav och utformning har sett olika ut historiskt. Den tekniska utvecklingen har bidragit till nya lösningar och utföranden som kräver uppdaterade funktionskrav (Sandin, 2010).

2.1 Parallelltak

Ett parallelltak har en luftspalt, ventilerad med utomhusluft, som skiljer yttertaket från det värmeisolerande skiktet. Luftspalten placeras vanligtvis mellan vindskiva/vindduk och råsponten. I moderna byggnader kan parallelltak liknas med det kalla taket då värmeisoleringsförmågan och luftomsättningen i luftspalten generellt är god. I ett annat scenario kan parallelltaket liknas med det varma taket då värmeisoleringen är sämre eller bristfällig samt att luftomsättningen i luftspalten är begränsad (Sandin, 2010). Parallelltak anses vara en säker konstruktion ur fuktsynpunkt, konstruktionen har möjlighet att ventilerar bort eventuell fukt som tar sig in i konstruktionen via till exempel konvektion inifrån eller slagregn utifrån (Arfvidsson et al., 2017). Utan möjlighet till att ventilerar en takkonstruktion finns det risk att det ansamlas fukt i konstruktionen och med tiden kan detta resultera i fuktproblem och mögelskador (Sandin, 2010).



Figur 2.1 - Illustration av parallelltak
(Strandberg & Lavén, 2018)

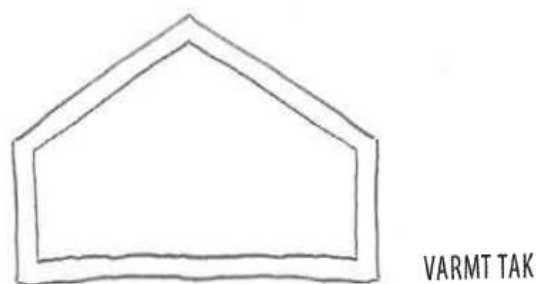
Antalet luftomsättningar i luftspalten varierar beroende på faktorer som utformning och vinkel på taket. Drivkrafter för luftflöde är det som orsakar tryckdifferens, vilket kan uppstå på grund av temperaturdifferenser, vind och fläktar. Till skillnad från ett tak med lutning faller den termiska drivkraften bort för ett horisontellt parallelltak till följd av avsaknaden av lutning. Konstruktionen blir därmed beroende av vindförhållanden samt eventuell ventilation via fläkt (Arfvidsson et al., 2017).

2.2 Varmt tak

Till skillnad från parallelltak finns det ingen luftspalt i det varma taket då isoleringen är placerad mot yttertaket. Avsaknaden av luftspalt resulterar i att den fukt som tränger upp genom taket via konvektionsförluster inte har någon möjlighet att ventileras som i det ventilerade parallelltaket. Funktionskraven som ställs på varma tak blir per automatik mer omfattande på grund av avsaknaden av ventilation (Sandin, 2010). Konstruktionen ska utformas så att skador till följd av byggfukt eller konvektion inifrån inte uppstår (Arfvidsson et al., 2017).

Varma tak har i regel en högre ytemperatur. Vintertid kan det leda till att ett eventuellt snötäcke smälter och det uppstår fritt vatten som sedan träffar takfoten. Takfoten värms inte upp underifrån vilket kan leda till att vattnet återigen fryser och i vissa fall leda till mekaniska skador till följd av frostsprängning (Sandin, 2010). Vid inbyggnad av byggnadsmaterial i ett kompakttak bör fuktkvoten i materialet undersökas och beaktas varsamt för att undvika

kritiska värden och risk för mikrobiell tillväxt. Åtgärder för att minska risken vid upprättandet av kompakttak kan vara att till exempel använda väderskydd (Boverket, 2022).



Figur 2.2 - Illustration av varmt tak (Strandberg & Lavén, 2018)

2.3 Kallt tak

Kallt tak är en konstruktionstyp där vindsklimatet är skilt från inomhusklimatet. Isoleringen placeras i vindsbjälklaget och vinden håller lägre temperatur än inomhusklimatet. Vindsklimatet är beroende av tätheten och mängden värmeisolering i vindsbjälklaget. Ett tätt och välisolerat bjälklag kan leda till ett klimat på vinden som går att likställa med utomhusluften under stora delar av året. Det kalla taket har således hög relativ fuktighet när utomhusluften är fuktig och torr under den tid som utomhusluften bibehåller en låg relativ fuktighet (Sandin, 2010).



Figur 2.3 - Illustration av kallt tak (Strandberg & Lavén, 2018)

Ventilation av vindsutrymmet ska vara tillräckligt stor för att ventilerar bort de värmeförluster och fukttransporter som tar sig upp från inomhusklimatet. Ventilation av vindsutrymme medför således att, i många av fallen, yttertaket håller en lägre temperatur än för fallet med ett varmt tak. Detta medför en lägre risk för snösmältning och därmed också en lägre fuktbelastning i form av fritt vatten och risk för mekaniska skador i form av frostsprängning. Stor vikt ligger i att vindsbjälklaget är tätt och välisolerat (Sandin, 2010).

Ett problem är att vindsbjälklag inte är tillräckligt lufttäta. Otätheten medför att varm och fuktig luft tillåts ta sig igenom vindsbjälklaget till vinden där det råder, under delar av året, ett kallare klimat än inomhus. Den varma och fuktiga luften medför en ökad relativ fuktighet på vinden. Under kalla och klara nätter då yttertaket håller en lägre temperatur än vad luften i utrymmet gör, kan det under ogynnsamma förhållanden ske



Figur 2.4 - Illustration av fuktflöden i ett kallt tak (Strandberg & Lavén, 2018)

kondensation/daggutfällning mot köldbryggor och i många fall råsponten. Luften i vindsutrymmet träffar alltså råsponten och når sin daggpunktstemperatur. Resultatet av detta är en risk för mikrobiell tillväxt (Arfvidsson et al., 2017).

Temperaturen i yttertaket är till stor del beroende av de strålningsförhållanden som råder på den aktuella platsen. Klara nätter sker ett långvågigt strålningsutbyte, ofta benämnt som nattutstrålning, mellan taket och den klara himlen. Nattutstrålningen sänker i sin tur temperaturen taket och resulterar i risk för kondensation och mikrobiell tillväxt (Arfvidsson et al., 2017). Mer information om strålning ges i kapitel 4.4.

3 Litteraturstudier

Studie från San Diego, USA – “Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer”

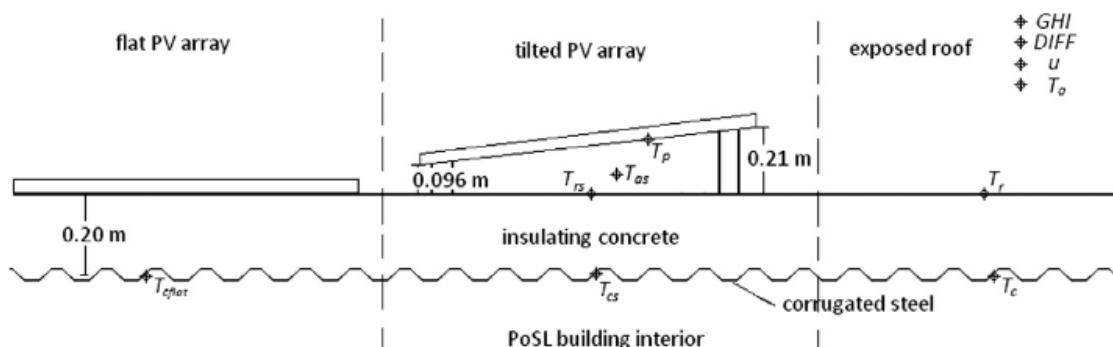
Rapporten ” Effects of Solar Photovoltaic Panels on Roof Heat Transfer” skriven av Luvall et al., (2011) granskar skillnader i termiska effekter till följd av montering av solceller på ett industritak år 2009 i San Diego, USA. Experimentet undersöker två monteringsstyper och hur de påverkar temperaturförhållandet i konstruktionen och därmed vilken effekt det har på kylbehovet av byggnaden. Den ena installationen av solceller är horisontellt monterad vilandes mot taket och den andra är monterad 0.10 meter ovan taket vinklad 4.4 grader åt söder, se Figur 3.2.

Studien utför temperaturmätningar på flera ställen med hjälp av externa temperatursensorer, se Figur 3.2. Lufttemperatur under de vinklade solcellerna mäts med en sond monterad 0.10 meter ovan tak. Invändiga taktemperaturer mäts med en termisk infraröd kamera. Data insamlad för den exponerade takytan görs med en befintlig väderstation (Luvall et al., 2011).

Samtliga installationer är monterade på samma industribyggnad och har samma solexponering. Takbjälklaget är 0.20 meter tjockt och består av isolerande förstärkt betong och 24 GA korrugerat stål vilandes på takstolar. Data insamlades mellan klockan 15:00 fredag, 17 april, 2009 och klockan 06:00 måndag, 20 april, 2009 där enbart data från den 19 april, 2009, analyserades då det var en helt klar dag. Den befintliga väderstationen utförde mätningar varje sekund och ett fem minuters medelvärde lagrades. För mätpunkterna under solcellerna utfördes mätningar en gång i minuten och fem minuters medelvärden lagrades. Bilder med termisk infraröd kamera togs var femte minut (Luvall et al., 2011).

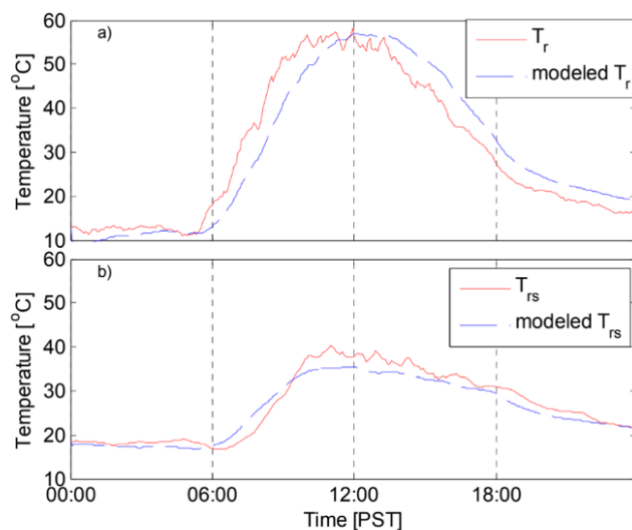


Figur 3.1 - Bild över byggnad där mätningar utförs (Luvall et al., 2011).



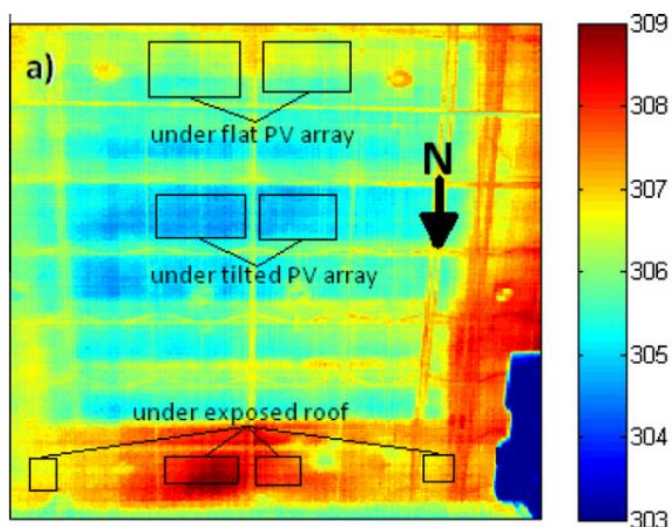
Figur 3.2 - Vertikal tvärsnitt med schematisk illustration över alla externa mätpunkter för taket som behandlas i studien Luvall et al., (2011).

Studien visar bland annat att yttemperaturen för taket under de vinklade solcellerna, mätpunkt T_{rs} , är markant lägre, cirka 20 grader Celsius, än för det exponerade delen av taket, mätpunkt T_r på grund av den skugga som solcellerna kastar. Taket under de vinklade solcellerna värms enbart upp av det långvågiga strålningsutbytet från undersidan av solcellerna samt från diffus strålning från himlen och omgivningen. Luftspalten tillåter luft att cirkulera under solcellerna och resulterar i att luftomsättningen kan ventilerar bort värme. Nattetid är temperaturen för taket under solcellerna varmare på grund av att de avskärmar takytan mot den klara natthimlen och därmed hindrar nattutstrålning. Se Figur 3.3 för jämförelse mellan taktemperatur för exponerat tak samt tak under vinklade solceller (Luvall et al., 2011).



Figur 3.3 - Uppmätt samt modellerad temperatur för exponerad, T_r , och skuggad (under vinklade solceller), T_{rs} , del av tak (Luvall et al., 2011).

Vidare undersöks temperaturen på insidan av taket där den största uppmätta skillnaden genom konstruktionen mellan de olika utförandena är 2.5 grader Celsius. Störst skillnad i temperatur är mellan den exponerade delen av taket och den del som är täckt med vinklade solceller, se Figur 3.4. Under natten är taket som varmast under de solceller som är horisontellt monterade mot taket på grund av den instängda luftens isolerande effekt och solcellens avskärmning av långvågig strålning mot natthimlen (Luvall et al., 2011).

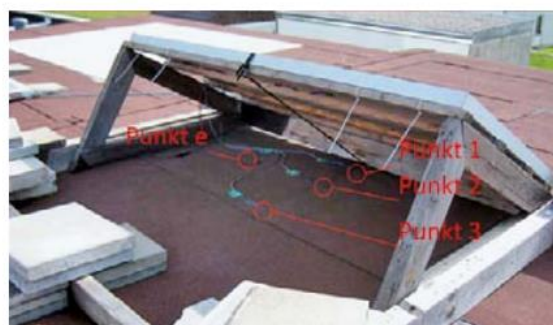


Figur 3.4 - Bild tagen på innertak med termisk IR kamera klockan 17:10 den 19 april, 2009. Färgerna motsvarar temperatur i Kelvin (Luvall et al., 2011).

Studie utförd vid Fraunhofer IBP, Holzkirchen, Tyskland - "Skuggning av platta tak i trä"

I rapporten "Skuggning av platta tak i trä" skriven av Bludau et al., (2014) på Fraunhofer Institut for Building Physics i Holzkirchen, Tyskland, beskrivs en problematik med att den ökande befolkningsmängden i storstäder gör att allt fler ytor på tak utnyttjas till bland annat takterrasser eller solcellsanläggningar. Vidare beskriver Bludau et al., (2014) att det är ytttemperaturen i taket som är avgörande för torkningsbeteendet hos oventilerade platta tak uppbyggda av trä.

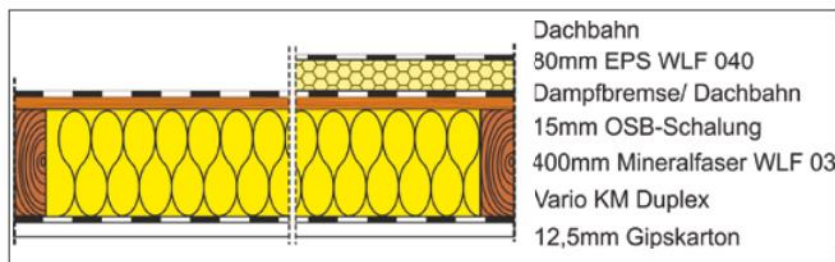
Bludau et al., (2014) menar att den fukt som tränger in i konstruktionen under vintern via diffusion och konvektion måste under sommaren torka ut inåt genom omvänd diffusion. Skuggning av takyta medför en minskning i ytttemperaturen. Det är främst den kortvågiga solstrålningen som ligger till grund för uppvärmning av takytan. Reduceringen av inkommande strålning minskar kapaciteten för uttorkning (Bludau et al., 2014).



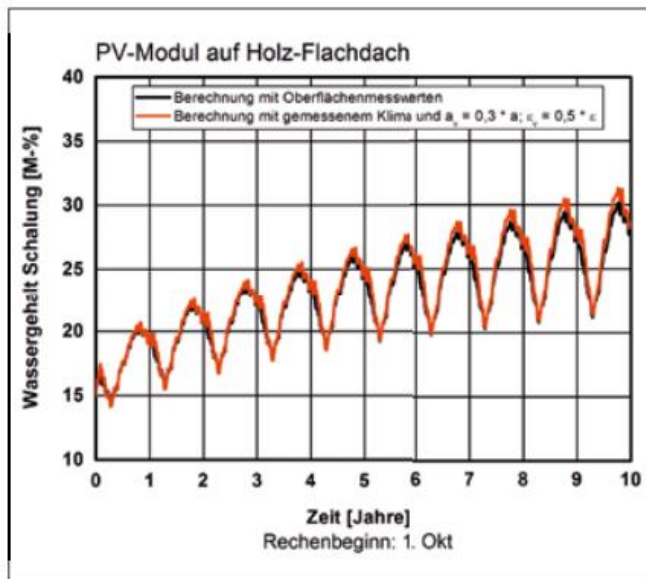
Figur 3.5 - Bild över försöksupställning med mätpunkter nederst i bild. (Bludau et al., 2014)

I studien utförs experiment för två typiska skuggningssituationer, en med solcellsmoduler och en med ett terrassgolv, båda installerade på samma platta trätakskonstruktion som observerades under tre år. Under experimentet samlades data från mätpunkter in, se Figur 3.5. Institutets egna väderstation registrerade utomhustemperatur, relativ fuktighet, global strålning, diffus strålning, atmosfärisk motstrålning, vindriktning och vindhastighet. Insamlad data användes för att utföra beräkningar med simuleringsprogrammet WUFI Pro 6.7. Analys och beräkning av insamlade data resulterar i reduktionsfaktorer för skuggningens påverkan av absorption och emission, absorptionskoefficienten och emissionskoefficienten reduceras med 30 procent respektive 50 procent (Bludau et al., 2014).

Taket som behandlas i simuleringarna illustreras i Figur 3.6. Den vänstra sidan i figuren är det aktuella taket utan tilläggsisolering och den högra sidan är med tilläggsisolering. Figur 3.7 visar vatteninnehållet i konstruktionen efter simulering av den vänstra takuppgbyggnaden i Figur 3.6. Den svarta linjen är det uppmätta fukttinnehållet och den orangea linjen redovisar det i WUFI simulerade fukttinnehållet. Uppfuktning noteras.



Figur 3.6 - Illustration av konstruktionsuppbyggnad. Till vänster - Utan tilläggsisolering. Till höger - Med tilläggsisolering. (Bludau et al., 2014)



Figur 3.7 - Graf över vatteninnehåll i konstruktionsdel utan tilläggsisolering, värden redovisade i M-%. (Bludau et al., 2014)

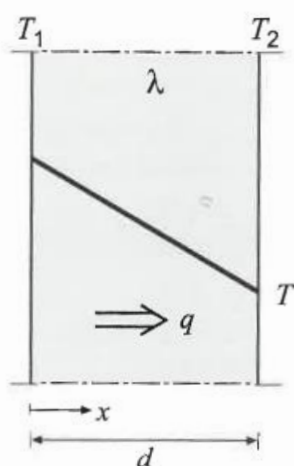
Studien konstaterar att det för denna konstruktion går att hålla fukthalten i OSB-skivan (Oriented Strand Board) under kritiska värden, 18 procent fuktkvot, med hjälp av att tilläggsisolera 80mm på ovansidan. Bludau et al., (2014) slutsats är att uttorkningen under sommaren minskar i skuggade konstruktioner och att en dimensionering måste utföras i varje enskilt fall. Om det enskilda fallet inte klarar gränsen för kritiska värden kan en förbättring vara att tilläggsisolera eller att använda en variabel ångspärr. Bludau et al., (2014) menar att förutsättningar för det enskilda fallet alltid varierar och att det bör för det enskilda fallet utredas av en fuktsakkunnig.

4 Fuktteknisk bakgrund

Antalet fuktrelaterade skador har ökat under de senaste åren. Skador som uppkommer kan vara synliga eller dolda och variera i typ, det kan vara mögelangrepp, röta eller emissioner av giftiga ämnen. Olika typer av skador påverkar människan och material i olika utsträckning. Fuktskador kan uppstå på grund av en rad olika faktorer såsom otillräcklig ventilation, bristande underhåll, felaktigt utformade konstruktioner eller otillräcklig dränering (Arfvidsson et al., 2017). Röta påverkar hållfastheten hos konstruktioner medan mikrobiell tillväxt påverkar miljön som människan rör sig i. Mikrobiell tillväxt kan leda till sjukdomar, allergiska reaktioner och astma hos de personer som vistas i byggnaden (Folkhälsomyndigheten, 2023).

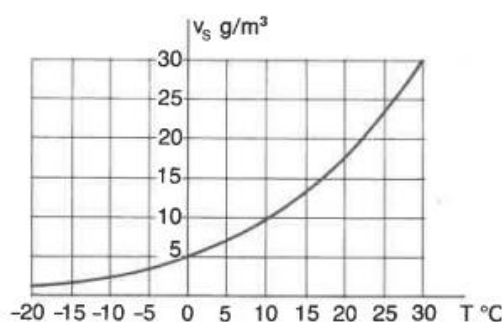
4.1 Värme

Vid fuktberäkningar är det viktigt att behärska värmelära, temperaturen har stor inverkan på luftflöden som i sin tur kan leda till oönskade konvektionsförluster, köldbryggor samt resultera i kondens och fuktproblem.



Figur 3.8 – Värmefflöde och temperaturtillstånd genom en homogen vägg. T_1 avser temperatur 1, T_2 avser temperatur 2, λ avser värmekonduktivitet, x avser avstånd i skikt, d avser tjocklek, q avser värmefflöde, (Sandin, 2010)

Skillnad i temperatur mellan olika material och/eller luft medför en utjämnande energitransport för att nå jämvikt. Dessa fysikaliska förutsättningar är orsaken till att byggnader isoleras för att bibehålla ett trivsamt inomhusklimat. Material har olika egenskaper för att lagra och transportera värme. Mineralull är ett exempel på ett lämpligt isoleringsmaterial då dess värmeledningsförmåga, lambda-värde (λ – värde), är lågt. Ett poröst material har även förmågan att leda värme genom konvektion och strålning. Det är generellt över isoleringsskiktet där den största temperaturskillnaden uppstår. Mineralull har ett lambdavärde på 0,33 till 0,39 (Arfvidsson et al., 2017).



Figur 3.9 - Samband mellan mättnadsånghalt, v_s , och temperatur. (Arfvidsson et al., 2017).

4.2 Fukt i luft

Mängden vattenånga i luften benämns ånghalt och har enheten kg/m^3 . Den vattenånga en luft kan hålla är direkt beroende av temperaturen. Den maximala mängden fukt som en luft kan hålla vid en given temperatur benämns som *mättnadsånghalt*, (v_s) [kg/m^3]. Se Figur 3.9 för samband mellan mättnadsånghalt och temperatur. Luftens relativa fuktighet, RF [%], definieras som

kvoten mellan ånghalt och mättnadsånghalt vid given temperatur, se Ekvation 3.1 (Arfvidsson et al., 2017).

$$\varphi \text{ (Relativ Fuktighet, RF)} = \frac{v}{v_s} \quad \varphi = (RF, \%) \quad (\text{Ekvation 3.1})$$

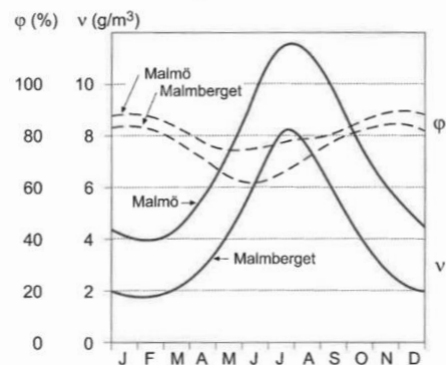
4.2.1 Daggpunkt

Om luft, med en viss temperatur och ånghalt, kyls beaktas ånghalten som konstant. Med temperatursänkningen minskar luftens mättnadsånghalt och ånghalten i luften kan överstiga den vid temperaturen givna mättnadsånghalten. Den mängd vattenånga som inte längre kan hållas av luften övergår till vätskefas, se Ekvation 3.2. Detta kallas att daggpunkten (T_{dagg}) är uppnådd. Den verkliga ånghalten kan inte vara högre än mättnadsånghalten, kondens uppstår och vatten i gasform övergår till vätskeform (Sandin, 2010).

$$\frac{v}{v_s} \geq 1.0 \rightarrow \text{daggutfällning (kondensation)} \quad (\text{Ekvation 3.2})$$

4.2.2 Utomhusluft

Den relativa fuktigheten och ånghalten i utomhusluften varierar beroende på årstid och geografisk placering. I figur 3.10 går det att se ett exempel för hur relativ fuktighet och ånghalt varierar över året för två orter. Vid regn eller dimma kan den relativa fuktigheten gå mot 95 till 100 procent och vid torrt och varmt väder ned emot 35 till 40 procent. Sammantaget är det högst relativ fuktighet under vintern och högst ånghalt under sommaren (SMHI, 2023).



Figur 3.10 – Relativ fuktighet och ånghalt i utomhusluften för Malmö samt Malmberget (Sandin, 2010).

4.2.3 Inomhusluft

Den relativa fuktigheten i bostäder är normalt mellan 30 och 60 procent med ett kritiskt fuktillstånd vid 75 procent relativ fuktighet. Överstiger den relativa fuktigheten kritiska värden riskerar inomhusmiljön oönskad bakteriell utveckling och i vissa fall mikrobiell tillväxt (Boverket, 2023). Likt utomhusluften varierar den relativa fuktigheten inomhus med årstiderna om inte luften behandlas av ett ventilationssystem som tillgodoser en konstant relativ fuktighet i tilluften (Hallgren & Israelsson, 2018).

Ånghalten i inomhusluften påverkas av flera faktorer som ånghalten utomhus, antal luftomsättningar (ventilation) och fuktproduktionen inomhus. Fuktproduktionen benämns som fukttillskott, v_{ft} . Tvätt, matlagning, dusch samt avdunstning från människor, djur och växter bidrar till fuktproduktionen (Arfvidsson et al., 2017). Fuktproduktionen betecknas med G och uttrycks i kg/h. Fukttillskottet är den andra termen i ekvation 3.3 och betecknas ofta som v_{FT} .

$$v_i = v_u + \frac{G}{n \cdot V} * (1 - e^{-nt})$$

Ekvation 3.3

Där:

$$v_i = \text{ånghalt i inomhusluft} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$v_u = \text{ånghalt i utomhusluft} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$n = \text{lutfomsättning [oms per h, h}^{-1}]$$

$$V = \text{lokalens volym [m}^3]$$

$$t = \text{tid [h]}$$

4.3 Fukt i material

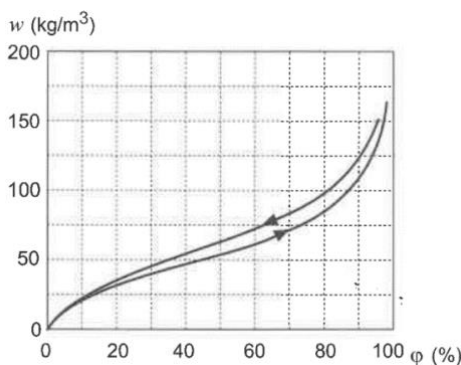
Fukttinnehållet i ett material är beroende av omgivande luft och material. Materialet förhåller sig olika beroende på omgivande fukttillstånd och kan befinna sig i något av följande stadier: uppfuktning/absorption, uttorkning/desorption samt i jämnvikt med sin omgivning. Drivkraften för ovan nämnda tillstånd är skillnaden i ånghalt. (Arfvidsson et al., 2017).

4.3.1 Fukttinnehåll

Mängden fukt i ett material kan anges på olika sett, fukthalt, $w \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$, fuktkvot, u (kvot eller vikts – procent) är två exempel. Fukttinnehållet i ett material varierar och är beroende av dess egenskaper att absorbera och lagra fukt (Arfvidsson et al., 2017). Sambandet mellan fuktkvot och fukthalt ges av:

$$w = u * \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{Ekvation 3.4})$$

där ρ = materialets skrymdensitet



Figur 3.11 - Sorptionskurva Furu, rå = 510 kg/m³ (Arfvidsson et al., 2017).

Sambandet mellan den relativa fuktigheten i omgivande luft och fukthalten i materialet ges av materialets sorptionskurva. Figur 3.11 visar sorptionskurva för furu. På y-axeln avläses vilken fukthalt furu erhåller när omgivande luft har en viss relativ fuktighet. När materialet når den fukthalt som motsvarar den relativa fuktigheten i omgivande luft uppnår materialet jämnvikt med sin omgivning. Beroende på fukttinnehåll i materialet och den relativa fuktigheten i omgivande luft kommer det antingen att torka ut eller fuktas upp innan det når jämnvikt med sin omgivning. Olika material kan hålla olika mängd vatten (Arfvidsson et al., 2017).

4.3.2 Fukttransport

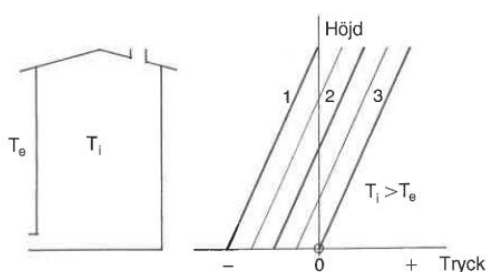
Transport av fukt i material kan ske i ångfas eller i vätskefas. Transport i ångfas sker antingen via diffusion eller konvektion och i vätskefas via kapillärsugning. Ofta sker transporten i samverkan. Diffusion avser ångtransport som uppkommer till följd av en skillnad i ånghalt. Material eller konstruktionsuppställningar har ett specifikt motstånd, detta definieras som ånggenomgångsmotstånd och benämns som Z-värde [s/m] (Arfvidsson et al., 2017).

Konvektion uppstår på grund av temperaturskillnader, vind och ventilation som orsakar lufttrycksskillnader över byggnadens konstruktionsdelar. Konvektion innebär att luftströmmar genom konstruktioner och för med den fukt som finns i luften. Förenklat kan det sägas att beroende på tryckbilden i huset kan luft antingen strömma in från utsidan vid undertryck inomhus eller strömma ut vid övertryck inomhus. Den termiska drivkraften medför att den varma luften, med en lägre densitet än den kalla luften, rör sig uppåt i byggnaden och där skapar ett övertryck vilket resulterar i ett undertryck nedtill. Vid övertryck inomhus vintertid finns det en risk att konvektionsförluster når ut till kallare delar av konstruktionen och där kondenserar (Sandin, 2010).

I kalla tak kan det uppstå risker om vindsbjälklaget inte är tillräckligt lufttätt. Det kan resultera i att den varma inomhusluften kan strömma genom konstruktionen och tillslut nå den kalla råsponten och där nå sin daggpunkt. Detta kan ge upphov till mikrobielltillväxt och i vissa fall röta (Sandin, 2010).



Figur 3.12 – Illustration av luftflöden till följd av temperaturskillnader i luft (Strandberg & Lavén 2018).

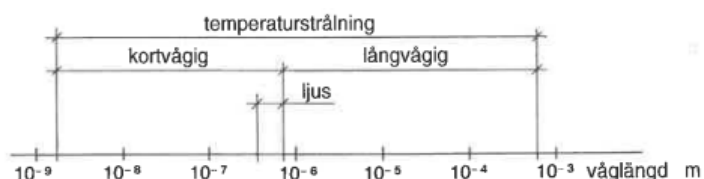


1. Öppningar endast upptill
2. Lika stora öppningar upptill och nertill eller jämnt fördelade otätheter
3. Öppningar endast nertill

Figur 3.13 – Tryckförhållanden i en byggnad till följd av temperaturskillnader mellan inne och ute. Undertryck och övertryck i jämförelse med omgivningen (Arfvidsson et al., 2017).

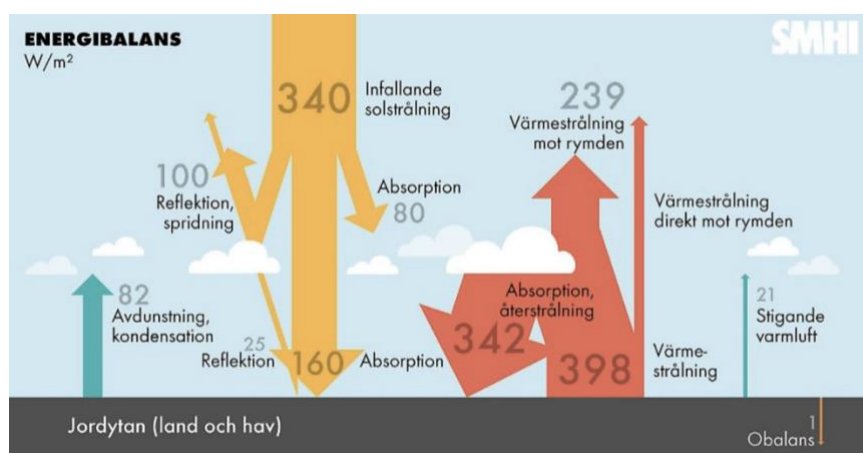
4.4 Strålning

Termisk strålning delas in i våglängder, kortvågig och långvågig (Arfvidsson et al., 2017).



Figur 3.14 - Våglängder för temperaturstrålning (Arfvidsson et al., 2017).

Solstrålning kan beskrivas som den typ av strålning som tillför energi till jorden och därmed även byggnadsverk. Denna strålning höjer temperaturen och har en stor termisk påverkan (Bludau et al., 2014). Nattutstrålning kan beskrivas som den strålning som leder till att jorden och konstruktionen blir av med lagrad värmeenergi och kan därmed medföra att temperaturen i byggnadsverk sänks. Hur dessa två typer av strålning påverkar en specifik byggnadsdel/byggnadsverk varierar och är beroende av: material, färg, väderstreck, lutning och klimatzon. Vid direkt solstrålning mot tak och fasader uppgår den maximala effekten i Sverige till cirka 800 till 900 W/m² (Sandin, 2010).



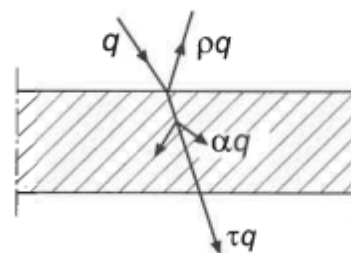
Figur 3.15 – Illustration av jordens energibalans (SMHI, 2022).

Figur 3.15 är en illustration över den totala energibalansen för jorden där strålningen interagerar med atmosfärens moln, partiklar, gaser och jordytan. Den infallande kortvågiga solstrålningen kommer direkt från solen och delas upp i atmosfären där en del

absorberas och en del reflekteras. Gaser som ozon, koldioxid och vattenånga i atmosfären absorberar en del av den infallande strålningen. Resultatet blir en temperaturhöjning i gasen och en utstrålning av långvågig strålning. Den reflekterande strålningen byter riktning och definieras som diffusstrålning. Även den långvågiga strålningen som lämnar jordytan och strålar tillbaka mot himlen reflekteras och absorberas. Alla delarna i energibalansen har en inverkan på ett byggnadsverk förutsatt att det är placerat utomhus och är exponerat mot himlen (SMHI, 2022).

4.4.1 Solstrålning

Den kortvågiga strålningen delas upp i diffus och direkt solstrålning. Den direkta solstrålningen är viktig att ta hänsyn till vid värme- och fuktberäkningar då strålningen har en inverkan på energitillförseln som i sin tur påverkar temperaturen i konstruktionen (Arfvidsson et al., 2017). Hur mycket av den kortvågiga strålningen som absorberas av ett material beror på dess absorptionsfaktor α som är beroende av om materialet har en mörk eller ljus yta. Infallande strålning kan absorberas, transmittas, τ , och reflekteras, ρ . Dessa tre delar utgör den totala infallande strålningen (Sandin, 2010). Den totala mängden solstrålning som träffar en horisontell markyta, även kallat globalstrålning, mäts kontinuerligt av SMHI. Det finns detaljerade mätningar över globalstrålningen sedan 1980 (SMHI, 2022).



Figur 3.15 - illustration av reflekterad (ρ), absorberad (α) och transmitterad (τ) strålning (Sandin, 2010).

4.4.2 Långvågig strålning

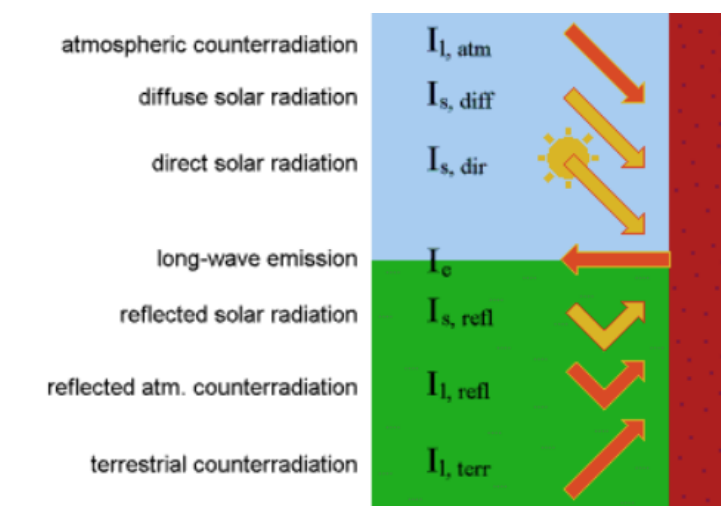
Långvågig temperaturstrålning går att anträffa som reflekterad strålning från infallande solstrålning, mellan ytor, mellan material, samt som värmestrålning mot rymden. Långvågig strålning mellan ytor förekommer bland annat mellan byggnader och i luftspalter (Arfvidsson et al., 2017).

4.4.3 Nattutstrålning

När en yta är exponerad mot en klar natthimmel sker ett strålningsutbyte mellan ytan och himlen. Detta strålningsutbyte kan upphov till en temperatursänkning hos exponerade material och ofta underskrida den omgivande lufttemperaturen (Boverket, 2023). På SMHI görs inga mätningar av de uppåtriktade flödena i strålningsbalansen vid markytan enligt T. Carlund (personlig kommunikation, 28 april 2023). Dessa förutsättningar gör det svårt att simulera nattutstrålning med samma precision som solinstrålning där det finns mer detaljerade mätningar (SMHI, 2022).

4.4.4 Explicit strålningsbalans

Explicit strålningsbalans är differensen i potential mellan instrålning och utstrålning. Den explicita strålningsbalansen kan vid avsaknad av strålningsdata för nattutstrålning beräknas med hjälp av olika koefficienter för till exempel långvågig emissivitet, långvågig reflektionsförmåga och molnighetsindex. (WUFI, 2023) Figur 3.16 redovisar de olika faktorerna som tas i hänsyn vid beräkning av den explicita strålningsbalansen av ett byggelement.



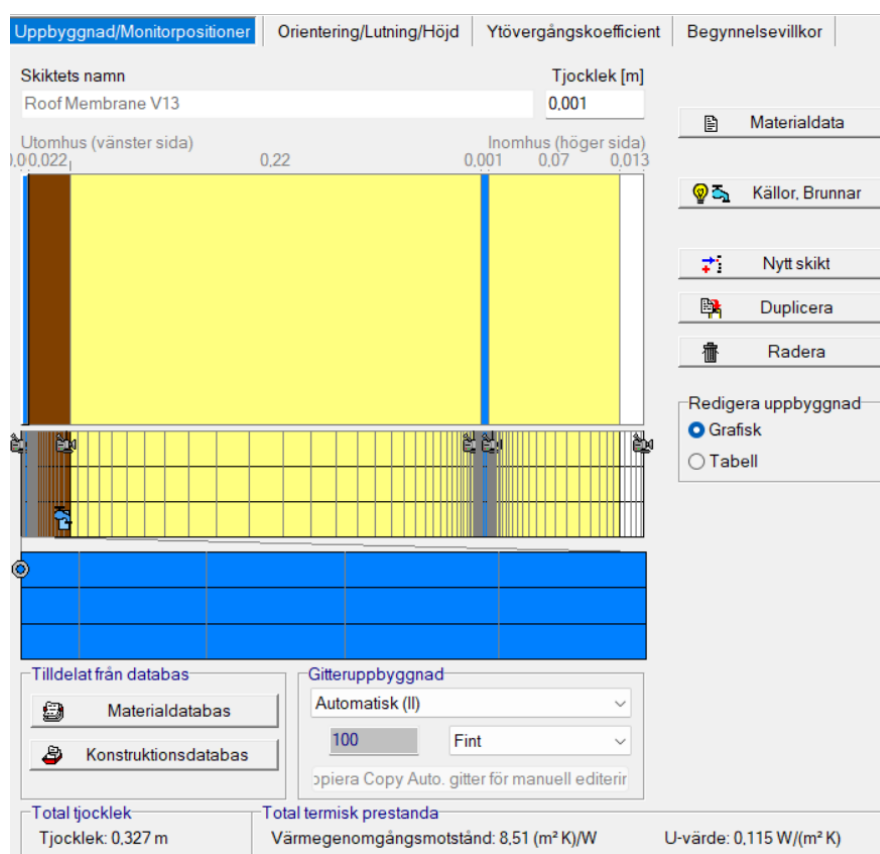
Figur 3.16 - Illustration över den explicita strålningsbalansen för en byggnadsdel (WUFI, 2023)

5 Metod

WUFI Pro 6.7 är ett program utvecklat av Fraunhofer Institute for Building Physics i Tyskland och används för att simulera dynamiska värme- och fukttransporter genom konstruktioner och byggnadsdelar. Nedan redovisas grundläggande information om programvaran efter dess flikar med inställningar. I kapitel 5.8 redogörs de gemensamma parametrar för simuleringar. Kapitel 5.9 redovisar varierande parametrar för varmt tak och kapitel 5.10 redovisar varierande parametrar för ventilerat parallelltak.

Det simulerade klimatet kommer avgränsas till klimatdata från Stockholm, framtagen av Lunds Tekniska Högskola. För data vad gäller strålningsförhållanden, absorptions- och emissionstal, molnindex och skuggning från solceller (benämns som ”rackmonterade PV-moduler” i WUFI) kommer inte en mer ingående analys att utföras. Den data som tillhandahålles av WUFI används om inte annat anges.

5.1 Uppbyggnad/Monitorposition



The screenshot displays the 'Uppbyggnad/Monitorpositioner' (Construction/Monitor Position) window in WUFI Pro 6.7. The window is divided into several sections. At the top, there are four tabs: 'Uppbyggnad/Monitorpositioner' (selected), 'Orientering/Lutning/Höjd', 'Ytövergångskoefficient', and 'Begynnelsevillkor'. Below the tabs, the main area shows a cross-section of a building assembly. The assembly consists of a yellow layer labeled 'Roof Membrane V13' with a thickness of 0.001 m. Below this is a blue layer representing insulation. The interface includes a grid for defining the construction layers. On the right side, there are several buttons: 'Materialdata', 'Källor, Brunnar', 'Nytt skikt', 'Duplicera', and 'Radera'. Below these buttons are options for 'Redigera uppbyggnad' (Grafisk, Tabell). At the bottom, there are fields for 'Total tjocklek' (0.327 m) and 'Total termisk prestanda' (Värmegenomgångsmotstånd: 8,51 (m² K)/W, U-värde: 0,115 W/(m² K)).

Figur 4.1 – Inställningar för Uppbyggnad/Monitorposition (WUFI, 2023).

Under fliken Uppbyggnad/Monitorposition utformas konstruktionen med olika material och skikt. Samtliga material väljs ur ett materialbibliotek. Genom att lägga till lager med material som har specifika egenskaper skapas en konstruktion som kan simuleras. Här väljs bland annat tjocklek av skikt, placering i konstruktionen, monitorpositioner, luftomsättning i luftspalt och

lufttäthetsklass. Syftet med monitorpositioner, se kameraikoner i Figur 4.1, är att få en mer detaljerad mätpunkt i vald del av konstruktionen. Luftomsättningar, lufttäthetsklasser och värmekällor väljs under ”Källor, Brunnar” för att sedan placeras i konstruktionen.

5.2 Luftinfiltrationsmodell IBP

Luftinfiltrationsmodell IBP är programmet beräkningsmodell som möjliggör att simulera fukttransport via konvektion i en byggnadsdel. Mängden luft som passerar genom en byggnadsdel beror på tätheten. WUFI delar upp i täthetsklasserna A, B och C enligt Figur 4.2.

Airtightness class	Air flow through envelope q_{50} [m³/hm²]
A	1.0
B	3.0
C	5.0

Figur 4.2 - Lufttäthetsklasser A, B och C med motsvarande mängd inomhusluft som simuleras nå byggnadsdelen genom konvektion (WUFI, 2023)

5.3 Orientering/Lutning/Höjd

Under fliken Orientering/Lutning/Höjd finns möjlighet att välja väderstreck, lutning och höjd för konstruktionsdel. Takkonstruktioner påverkas inte av slagregn, därmed utelämnas denna inställning, se Figur 4.3.

Figur 4.3 – Inställningar för Orientering/Lutning/Höjd (WUFI, 2023).

5.4 Ytövergångskoefficient

Uppbyggd konstruktion delas upp i yttre sida (vänster sida) och inre sida (höger sida) för inställningar under denna fliken. Här specificeras vilken byggnadsdel som simuleringen omfattar och värde för byggnadsdelens värmemotstånd hämtas automatiskt. Övergångsmotstånd, eller sd-värde, kan väljas specifikt för en ytbeläggning. Om ingen specifik ytbeläggning väljs kommer sd-värdet för det yttre och inre materialet i konstruktionsuppbyggnaden att användas, det vill säga det material som är placerat längst till

vänster och till höger under fliken Uppbyggnad/Monitorpositionering. Inställningar för taktäckning, reduktionsfaktorer orsakade av skuggning, explicit strålningsbalans och "Terräng. Kortvågig reflexionsförmåga" ligger till grund för hur konstruktionen påverkas av strålning under simulering. Absorptionstal för kortvågig strålning samt emissionstal för långvågig strålning är kopplat till valet av taktäckning och finns förinställt för ofta förekommande material.

The screenshot shows the 'Ytövergångskoefficient' (Surface Transition Coefficient) tab. It is divided into two sections: 'Yttre yta (vänster sida)' (Exterior surface (left side)) and 'Inre yta (höger sida)' (Interior surface (right side)).

Yttre yta (vänster sida):

- Värmemotstånd [(m² K)/W]: 0.0526
- inkluderas långvågigt strålningsbidrag [W/(m² K)]: 6.5
- Vindberoende: ☐ ...
- Sd-värde [m]: ----
- Ingen ytbehandling (dropdown)
- Förklaring: Denna inställning påverkar inte regnabsorption
- Absorptionstal för kortvågig strålning [-]: 0.88
- Emissionstal för långvågig strålning [-]: 0.9
- Reduktionsfaktorer orsakade av skuggning:
 - för absorptionsförmåga [-]: 1.0
 - för emissivitet [-]: 1.0
- Explicit strålningsbalans: ☒ ...
- Märk: Detta alternativ tar hänsyn till kylning p.g.a. långvågig strålning. Känsliga fall kan behöva noggrann data för motstrålning i filen för väderdata.
- Terräng, kortvågig reflexionsförmåga [-]: 0.2
- Standartvärde (dropdown)
- Absorptionstal för regnvatten [-]: 1.0
- Beroende på komponentens lutning (dropdown)

Inre yta (höger sida):

- Värmemotstånd [(m² K)/W]: 0.125
- (Tak) (dropdown)
- Sd-värde [m]: 0.1
- Gipsplatta (dropdown)

Figur 4.4 – Inställningar för ytövergångsmotstånd (WUFI, 2023).

Inställningen för explicit strålningsbalans kommer vid avsaknad av strålningsdata i klimatfilen att simulera strålningsförhållandet mellan inkommande och utgående strålning. Enligt kommentar i menyn behöver klimatdatafilen innehålla information om hur programmet ska behandla långvågig strålning med hänsyn till kylning (nattutstrålning) för att uppnå bästa resultat för simuleringar.

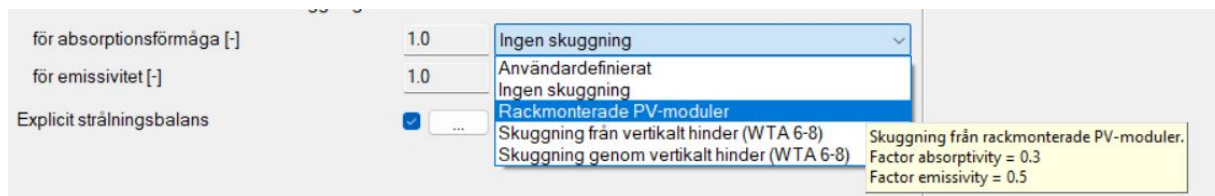
The dialog box titled 'Explicit strålningsbalans' contains the following settings:

- Terräng, långvågig emissivitet [-]: 0.9
- Terräng, långvågig reflexionsförmåga [-]: 0.1
- Molnindex [-]: 0.66

At the bottom, there are three buttons: 'OK' (with a green checkmark), 'Avbryt' (with a red X), and 'Hjälp' (with a question mark).

Figur 4.5 - Inställningar för explicit strålningsbalans (WUFI, 2023).

Om klimatdatafilen inte innehåller information om nattutstrålning kommer molnindex antas för att simulera en reduktion av den långvågiga atmosfäriska motstrålningen. Molnindex antas av programmet till 0,66 enligt Figur 4.5.



Figur 4.6 - Inställningar för reduktionsfaktorer till följd av skuggning (WUFI, 2023).

Vid val av reduktionsfaktorer till följd av skuggning kan förinställda fall väljas, se Figur 4.6. Alternativen är kopplade till faktorer som reducerar absorptionsförmågan och emissiviteten för den valda taktäckningen på vänstra sidan. I menyn kan alternativ för rackmonterade solceller väljas med reduktionsfaktorerna 0.30 och 0.50 för absorptionsförmåga respektive emissivitet.

5.5 Begynnelsevillkor

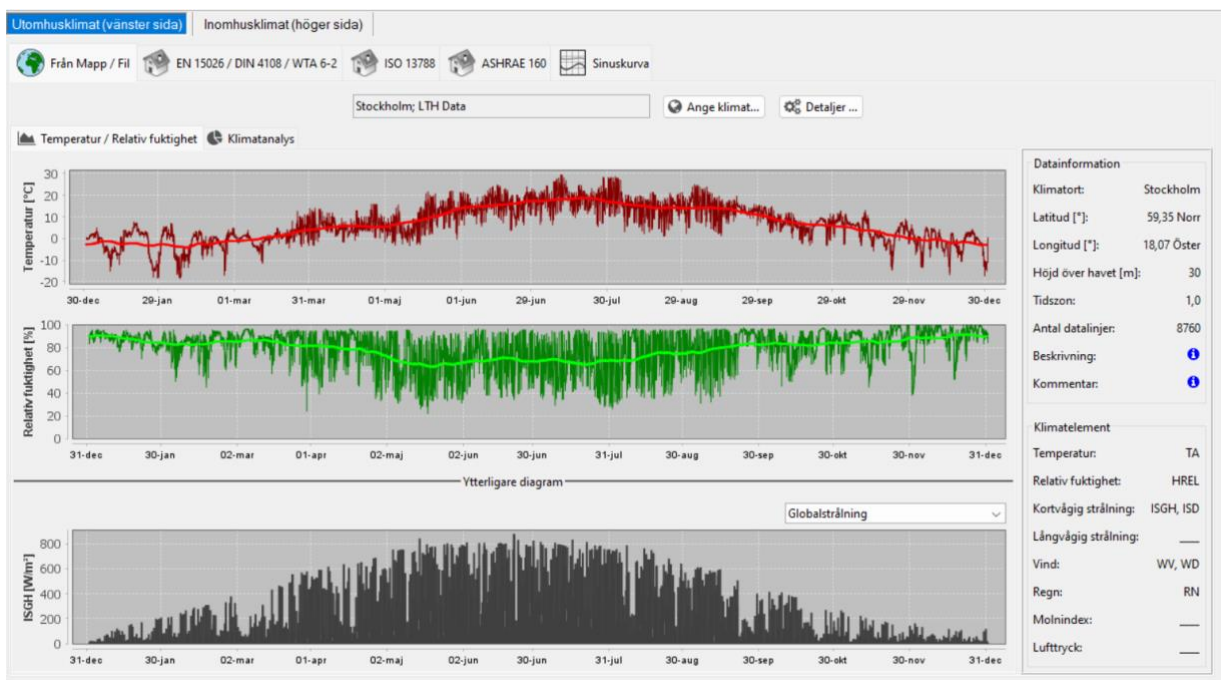
Under denna flik kan ett önskat värde för temperatur och initial relativa fuktighet i konstruktionen väljas. För initial relativ fuktighet och temperatur beräknar sedan WUFI fuktinnehåll samt temperatur för skikten i konstruktionen. Beräknat fuktinnehåll varierar beroende på material och dess kapacitet att hålla vatten.

5.6 Tid/Profil

Under denna flik väljs simuleringsperioden, specificerat med start- och slutdatum samt klockslag. Inställning av tidsintervall för beräkning under simuleringsperioden går att definiera här, programmets standardinställning är ett tidssteg på en timme. Det är möjligt att justera tidsstegsintervallet till kortare eller längre intervall.

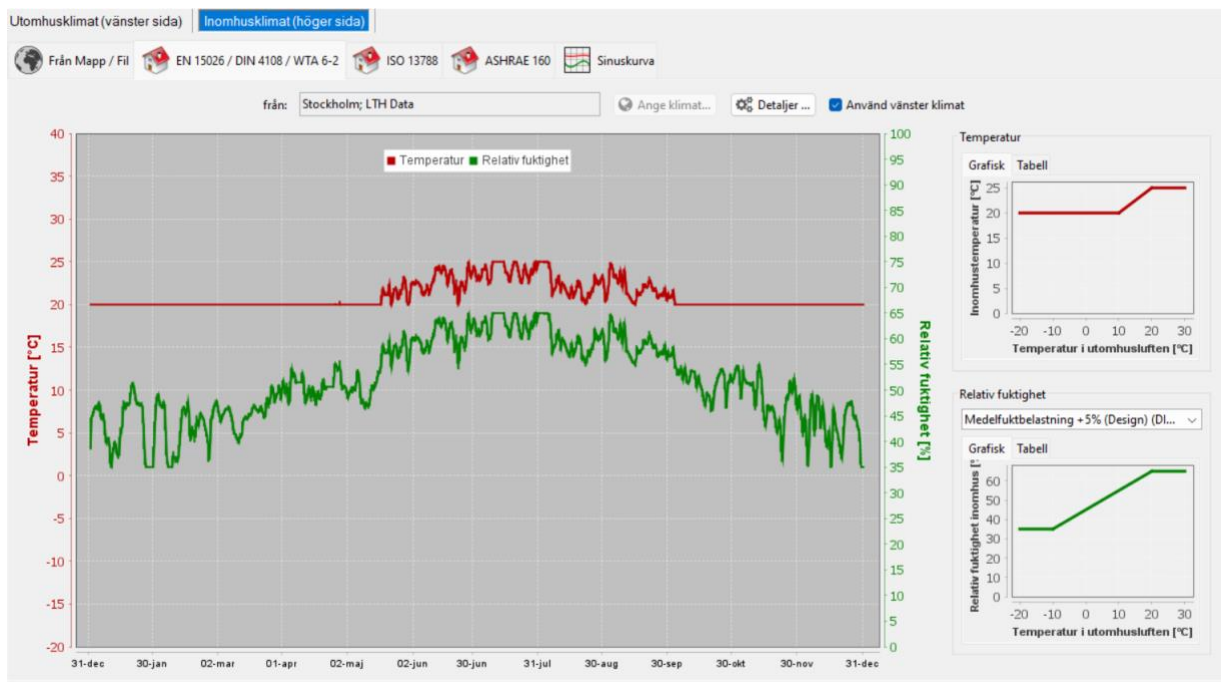
5.7 Klimat

För utomhus- och inomhusklimat används en klimatfil som underlag för simulering. Klimatdatafiler för flertalet städer i Europa finns tillgängliga i programmet med möjlighet att lägga in en egen fil. Dessa filer innehåller bland annat information om strålning, temperatur, relativ fuktighet och vind. Värden för långvågig och kortvågig motstrålning finns sällan med i dessa filer, WUFI gör en estimering för detta med hjälp av data som finns tillgänglig i filen.



Figur 4.7 - Data för utomhusklimat, Stockholm, framtagen av Lunds Tekniska Högskola (WUFI, 2023).

För inomhusklimatet går det likt för utomhusklimatet att använda klimatdata från en egen fil eller välja bland tre alternativ som programmet tillhandahåller. Storlek på fuktbelastning kan justeras manuellt. I högra delen av Figur 4.7 kan grafen för den relativa fuktigheten vid olika temperaturer och fuktbelastning ses. Valda förutsättningar i Figur 4.7 är medelfuktbelastning +5%.



Figur 4.7 - Data för inomhusklimat med medelfuktbelastning +5% (design) (DIN/WTa), Stockholm, framtagen av Lunds Högskola. (WUFI, 2023).

5.8 Gemensamma inställningar för utförda parameterstudier

Under simulering av de två parameterstudierna är ett antal av de valbara inställningarna gemensamma för alla fall. Nedan beskrivs samtliga av de gemensamma inställningarna.

Klimat

Klimatdatafil för samtliga simuleringar är den för Stockholm vilken har tagits fram av Lunds Tekniska Högskola. För inomhusklimat användes datafil baserat på Europa Norm 15026 (EN 15026) med medelstor fuktbelastning +5% (design) (DIN/WTa).

Orientering/Lutning/Höjd

För båda parameterstudierna är orienteringen 180 grader, söder.

ASHRAE standard 160, inställning för slagregn utelämnas. Denna studie undersöker takkonstruktioner och är därmed inte belastad av slagregn.

Begynnelsevillkor

För samtliga simuleringar har den relativa fuktigheten i konstruktionen vid start varit 80 procent, och begynnelsestemperaturen 20 grader Celsius.

Tid/Profil

Beräkningsperioden var för samtliga simuleringar 2023-10-01 och 2033-10-01 med en timmes tidsintervall.

Numerik

Samtliga inställningar under denna flik lämnades orörda, här användes standardinställningar från programmet.

5.9 Parameterstudie Varmt Tak

Luftinfiltrationsmodell IBP tillsammans med reduktionsfaktorer till följd av skuggning utgör de undersökta parametrarna för det varma taket. Genom att simulera olika fall med varierande förutsättningar syftade denna parameterstudie till att utreda om det uppstod förändrade fukttekniska förhållanden i konstruktionen till följd av de ändrade förutsättningarna.

Syftet med variation i Luftinfiltrationsmodell IBP var att simulera olika storlekar av konvektionsförluster, beroende av lufttäthetsklass. Genom inställningen för reduktionsfaktorer till följd av skuggning ”Rackmonterade PV-moduler” simulerades reducerad solinstrålning för att undersöka hur förändringar i strålningsutbytet påverkade takets förmåga att torka ut sommartid. I grundfallet (fall 1) utfördes simuleringarna utan att inkludera reduktionsfaktorer som uppstår till följd av skuggning vilket innebär att "rackmonterade PV-moduler" inte används. Vilket också var gällande för fall två och tre. Simulerad taklutning var 14°. Konstruktionens uppbyggnad var enligt Tabell 5.1. Se Bilaga 3 för fullständiga materialdata.

Material	Typ	Tjocklek [mm]
Roofmembrane V13	Bitumenpapp	1
Gran, Tangentiellt	Råspont	22
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	220
PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	PE-Folie	1
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	70
Gipsskiva invändig	Gips	13

Tabell 5.1 -
Konstruktionsuppbyggnad med
materialtjocklek.

Samtliga fall i denna parameterstudie sammanfattas nedan där variabla inställningar redovisas.

Fall 1: Grundfall – Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 2: Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B

Fall 3: Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C

Fall 4: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 5: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B

Fall 6: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C

5.10 Parameterstudie Parallelltak

Luftinfiltrationsmodell IBP, skuggning av rackmonterade PV moduler och antal omsättningar per timme i luftspalten utgör de parametrar som undersöktes vid simulering av parallelltaket. Parameterstudien utfördes genom att ändra de ovanstående parametrarna för att identifiera om det uppstod kritiska fukttekniska förhållanden i konstruktionen.

Likt parameterstudien för det varma taket är syftet med Luftinfiltrationsmodell IBP är att simulera konvektionsförluster i varierande omfattning beroende på lufttäthetsklass. Med inställningen "Rackmonterade PV-moduler" undersöktes hur förändringar i strålningsutbytet påverkade takets förmåga att torka ut sommartid.

Även hur antalet luftomsättningar per timme i luftspalten påverkade taket undersöktes. Antalet omsättningar är beroende av uppbyggnaden av taket, storleken på luftspalten, lutningen på taket, klimatet, vindriktning och vindhastighet (Arfvidsson et al., 2017). Enligt Sandin (2010) är en normal bredd på en luftspalt mellan 20-50mm. I denna parameterstudie användes en 30mm bred luftspalt. Enligt Wallentén (2018) kan omsättningen i en luftspalt variera mellan 10–100 oms/h

med ett normalfall vid 20 oms/h. Denna parameterstudie behandlar 1, 20 och 40 luftomsättningar per timme. Taktäckningen är av svarta betongplattor vilket motsvarar 0.91 som absorptionstal för kortvågig strålning och 0.90 som emissionstal för långvågig strålning för de fall som inte simulerades med solceller. Reduktionsfaktorerna för skuggning med inställningen ”rackmonterade PV-moduler” är 0.30 och 0.50 för absorptionsförmåga respektive emissivitet (WUFI, 2023).

Fall 1 definieras som grundfallet och simulerades utan solceller med luftinfiltrationsmodell IBP Klass A samt basomsättning i luftspalt på 20 oms/h.

Simulerad taklutning var 14°. Konstruktionens uppbyggnad var enligt Tabell 5.2. Se Bilaga 3 för fullständiga materialdata.

Material	Typ	Tjocklek [mm]
Roofmembrane V13	Bitumenpapp	1
Gran, Tangentiellt	Råspont	22
Air Layer 30mm	Luftspalt	30
Duk av Laminert polypropylen	Vindspärr/vindduk	1
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	220
PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	PE-Folie	1
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	70
Gipsskiva invändig	Gips	13

Tabell 5.2 -
Konstruktionsuppbyggnad
med materialtjocklek.

Sammanställning av fall i parameterstudie för parallelltak:

Fall 1: Grundfall - Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 2: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 3: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 4: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A

Fall 5: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B

Fall 6: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B

Fall 7: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B

Fall 8: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C

Fall 9: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C

Fall 10: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C

6 Resultat

Resultat från simuleringarna i WUFI Pro 6.7 delades upp i den ordning som är beskrivet i kapitel 5.9 och 5.10. Alla fall och dess tillhörande grafer redovisas som bilagor, fukttekniskt problematiska fall kommenteras i detta kapitel. Resultatet från varje fall redovisas med en graf över relativ fuktighet, fuktkvot i råspont, totalt vatteninnehåll i konstruktionen samt temperatur och relativ fuktighet i råspont.

6.1 Resultat Varmt tak

Fall 1 (se Bilaga 4)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend, inga kritiska värden noterades.

Fall 2 (se Bilaga 5)

Simuleringen påvisade en hög fuktkvot i råsponten men torkade ut och befann sig i jämnvikt med omgivningen efter ett antal år.

Fall 3 (se Bilaga 6)

Simuleringen påvisade en uppfuktande trend och uppvisade tidigt kritiska värden.

Fall 4 (se Bilaga 7)

Simuleringen påvisade en uppfuktande trend och uppvisade tidigt kritiska värden. Råsponten befann sig efter ett år över kritiska värden hela året.

Fall 5 (se Bilaga 8)

Simuleringen påvisar en minskad uttorkning sommartid, en uppfuktande trend och uppvisade tidigt kritiska värden. Råsponten befann sig efter ett år över kritiska värden hela året, råsponten uppvisade högre vatteninnehåll än fall 4.

Fall 6 (se Bilaga 9)

Simuleringen påvisar en minskad uttorkning sommartid och en uppfuktande trend och uppvisade tidigt kritiska värden. Råsponten befann sig efter ett år över kritiska värden hela året, råsponten visade högre vatteninnehåll än fall 4. Luftinfiltrationsmodell IBP klass C simulerar ett stort fuktillskott, efter sex år av simulering är resultatet ej tillförlitligt då graferna visade relativ fuktighet över 100%.

6.2 Resultat parallelltak

Fall 1 (se Bilaga 10)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend, inga kritiska värden noterades.

Fall 2 (se Bilaga 11)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend under de två första åren, inga kritiska värden noterades.

Fall 3 (se Bilaga 12)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

Fall 4 (se Bilaga 13)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

Fall 5 (se Bilaga 14)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend, inga kritiska värden noterades.

Fall 6 (se Bilaga 15)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

Fall 7 (se Bilaga 16)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

Fall 8 (se Bilaga 17)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend, inga kritiska värden noterades.

Fall 9 (se Bilaga 18)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

Fall 10 (se Bilaga 19)

Simuleringen påvisade på en uttorkande trend för råsponten under de första åren. Råsponten befann sig efter ett antal år i jämnvikt där råsponten under korta perioder vintertid hade en hög fuktkvot.

I parameterstudien för parallelltaket går det att se att vid högre omsättning i luftspalten antar råsponten värden mer likt utomhusklimatet. Parallelltakets uppbyggnad tillåter fukten som tillkommer via konvektion inifrån att ventileras bort utan att passera råsponten och därmed uppstår det inga fukttekniska risker för denna typkonstruktion. Värt att notera för denna typ av konstruktion är att det är utomhusluften som är fuktkällan.

7 Diskussion och slutsats

I studien utförd av Luvall et al., (2011) noteras en temperaturminskning på ytan med så mycket som ca 25°C, se Figur 3.3, på en klar och solig dag mellan exponerat tak och tak under solceller. I båda parameterstudierna går det att notera att den simulerade temperaturen i råsponen är betydligt högre för fallen utan solceller. I dessa fall når temperaturen maximalt ca 60 grader Celsius och för de fallen med solceller maximalt ca 40 grader Celsius.

Även om det inte uppstår kritiska värden för parallelltaket, vilket det gör för det varma taket, går det att fastställa att skuggningen medför en temperatursänkning i konstruktionen. Som tidigare konstaterat har temperaturen en stark korrelation med uttorkningspotentialen hos ett material och för en konstruktion. Mängden forskning på området är marginell och bortsett från studien utförd av Bludau et al., (2014) är det få andra studier som utreder och diskuterar de fukttekniska riskerna som kan uppstå av en skuggande takinstallation. Studien från Bludau et al., (2014) visar på samma uppfuktande trend som för parameterstudien av det varma taket i denna studie. Förutsättningar för det enskilda fallet kan skilja mycket från vad som undersökts för dessa konstruktionstyper.

Solceller kan hjälpa till att avskärma det långvågiga strålningsutbytet med himlen under natten vilket resulterar i en högre temperatur under solcellerna och därmed reducerar risken för kondensation mot yttre delar av konstruktionen. Frågan som då ställs är om det finns tillräcklig data för nattutstrålning som underlag för simulering. Vid simuleringar i WUFI finns det inget stöd i klimatfilen för data gällande det långvågiga strålningsutbytet mot en klar natthimmel, programmet antar ett molnindex på 0.66 för att sedan estimerar strålningsförhållandet under natten. Om solceller minskar risken för kondensation mot råsponen under klara nätter, hur påverkas uttorkningsförmågan av samma råspon av en 20 till 25 gradig temperaturminskning en klar sommardag? Är lösningen av den ena problematiken tillräcklig för att utesluta den andra?

Som vägledning för privatpersonen inför beställning av solceller har bland annat Energimyndigheten tagit fram en checklista, se Bilaga 2, där privatpersoner kan få en uppfattning om fastigheten är lämpad för installation av solceller. Checklistorna behandlar punkter som: väderstreck, lutning på tak, tillgänglighet för ställning eller kranbil, fastighetens elanvändning, möjlighet att koppla på elnät och om taket i fråga behöver renoveras eller bytas då solcellernas livslängd är beräknad att vara 25 till 30 år. Det som utelämnas från samtliga checklistor och leverantörs/installationsföretags hemsidor är hur ditt tak kan komma att påverkas efter installationen. Om varken en myndighet som Energimyndigheten eller de företagen som utför installationen informerar konsumenten om att det kan uppstå problem efter installationen är det svårt för privatpersonen att förutse eventuella framtida problem.

Sett till simuleringarna i denna studie räcker det inte med att endast undersöka skicket på taket innan solcellerna monteras för att tillgodose en hållbar takkonstruktion utan bör också bedömas utifrån dess nya förutsättningar efter montering av solceller. Med det bristfälliga underlaget för att simulera utstrålning bör försiktighet vidtas gällande tillförlitligheten för dess inverkan på konstruktionen.

7.1 Slutsats

Som svar på frågeställningen visar denna studie att varma tak löper en stor risk för att utveckla fuktnrelaterade problem. Studien visar också att parallelltak med i övrigt genomsnittliga fukttekniska förutsättningar och normal luftomsättning i luftspalten är mer lämpade för solceller. Alla tak är unika och har olika förutsättningar. För att med säkerhet kunna installera solceller utan att riskera att fuktproblem uppstår bör taket utvärderas av en sakkunnig inför installation. Även efter montering bör taket kontinuerligt undersökas för att säkerställa att konstruktionen inte når kritiska värden. För att med större tillförlitlighet testa känsliga konstruktioner och skuggningens inverkan behövs mer utförlig strålningsdata användas.

7.2 Fortsatta studier

Med denna rapport och de tidigare nämnda studierna Luvall et al., (2011) och Bludau et al., (2014) fortsätta utreda problematiken i kalla tak med mer exakt strålningsdata och klimatdata för vindsutrymmet. För att fastställa vilka faktorer och tak som är förenade med risk genomföra långtgående mätningar på existerande tak och med mer utförlig mätdata som underlag och utreda problematiken ytterligare. I försäkrings och garantiärenden som berör fuktskador i tak bör det registreras vilka tak som har solceller monterade för att skapa mer underlag för fortsatta studier.

8 Referenser

Arfvidsson, J., Harderup, L. E., Samuelson, I. (2017). Fukthandbok (4 uppl.). Svensk byggtjänst.

Bludau, C., Kölsch, P. (Juni 2014). Verschattung von Holzflachdächern. Fraunhofer Institut für Bauphysik.

<https://wufi.de/literatur/Bludau,%20K%C3%B6lsch%202014%20-%20Verschattung%20von%20Holzflachd%C3%A4chern.pdf>

Boverket. (22 mars 2023) Risker med nattutstrålning.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-yttervaggar/traregelvagg-luftspalt/risker-med-nattutstralning/>

Boverket. (7 mars 2023). Högsta tillåtna fukttillstånd.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/hogsta-tillatna-fukttillstand/>

Energimyndigheten. (2018) Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem. Delrapport 1 – Scenarier, vägval och utmaningar. (ER 2018:16) Energimyndighetens webbshop (a-w2m.se)

Energimyndigheten. (2019) Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem. Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar. (ER 2019:06) Energimyndighetens webbshop (a-w2m.se)

Energimyndigheten. (27 oktober 2022). Solceller.

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/>

Energimyndigheten. (2021). Solcellsguide – från idé till färdig anläggning. [Broschyr]

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=158022>

ET2019:9. ISSN 1404-3342. ISBN 978-91-89184-99-2. Reviderad upplaga, maj 2021.

Folkhälsomyndigheten. (3 mars 2023). Tillsynsvägledning inom hälsoskydd.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/>

Hallgren, A., Israelsson, S., (2018). Ventilation i flerbostadshus - Hur fungerar den ur ett fuktperspektiv? [Examensarbete, Linneuniversitetet].

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1229640/FULLTEXT01.pdf>

Luvall, J., Dominguez, A., & Kleissl, J. (2011). Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer (DOI: 10.1016/j.solener.2011.06.010) University of California, San Diego, Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Nasa, Marshall Space Flight Center, AI 35812, USA.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X11002131>

Regeringen. (10 november 2022). Förstärkt skattereduktion för installation av solceller. Prop. 2022/23:15 <https://regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2022/11/prop.-20222315>

Regeringen. (12 april 2018). Energipolitikens inriktning. Prop. 2017/18:228

<https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2018/04/prop.-201718228>.

Sandin, K. (2010). Praktisk Byggnadsfysik (10 uppl.). Studentlitteratur.

SMHI. (10 maj 2023). Luftfuktighet.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet>

SMHI. (28 januari 2022). Solstrålning.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/stralning/solstralning-1.4186>

Strandberg, B., & Lavén, F. (2018). Bygga hus (3 uppl.). Studentlitteratur.

Svensksolenergi. (10 maj 2023). Certifiering av solcellsmontörer.

<https://svensksolenergi.se/certifiering-av-solcellsmontorer/>

T. Carlund. Personlig kommunikation (28 april 2023).

Wallentén, P. (2018). RäknaF – Stöd för kombinerade värme- och fuktberäkningar i byggnadsdelar (Rapport TVBH-3063). Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknologi.

https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/RaeknaF_2018.pdf?fbclid=IwAR1SEipJtqFFfQG30OagNsykGy8P1TsUI4j0XSRCmQruImdoulX_6ckG69w

WUFI. (22 maj 2023). Creating weather files. <https://wufi.de/en/service/downloads/creating-weather-files/>

9 Bilagor

9.1 Bilaga 1 – Statistik solcellsanläggningar

5/10/23, 11:22 AM

Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016 -. PxWeb



Energimyndigheten | Statistikdatabas

[/ Nätanslutna solcellsanläggningar](#) / [Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016 -](#)

Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016 -



Sveriges officiella statistik

Resultat

Solcellsanläggningar, antal Installerad effekt, MW			
2016 00 Riket	< 20 kW	8 543	64,99
	20 kW - 1 000 kW	1 460	70,72
	> 1 000 kW	3	4,32
	Totalt	10 006	140,03
2017 00 Riket	< 20 kW	12 885	103,84
	20 kW - 1 000 kW	2 407	119,38
	> 1 000 kW	6	7,76
	Totalt	15 298	230,99
2018 00 Riket	< 20 kW	21 535	189,24
	20 kW - 1 000 kW	3 941	204,73
	> 1 000 kW	10	17,08
	Totalt	25 486	411,06
2019 00 Riket	< 20 kW	37 656	347,12
	20 kW - 1 000 kW	6 277	332,41
	> 1 000 kW	11	18,52
	Totalt	43 944	698,05
2020 00 Riket	< 20 kW	56 689	543,95
	20 kW - 1 000 kW	9 108	491,31
	> 1 000 kW	22	53,97
	Totalt	65 819	1 089,23
2021 00 Riket	< 20 kW	80 208	789,39
	20 kW - 1 000 kW	12 093	675,25
	> 1 000 kW	57	113,38
	Totalt	92 358	1 578,02
2022 00 Riket	< 20 kW	131 298	1 347,35
	20 kW - 1 000 kW	16 329	892,93
	> 1 000 kW	64	143,36
	Totalt	147 691	2 383,64

https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Nätanslutna_solcellsanläggningar/-/END123_1.px/table/tableViewLayout2/

1/1

9.2 Bilaga 2 – Solcellsguide för privatpersoner

För att ta reda på om solceller passar dig rekommenderar vi att du läser igenom Solelportalens olika avsnitt på www.solelportalen.se. Solelportalen är Energimyndighetens webbplats där vi samlat relevant information om solel. Om du kommer fram till att du vill installera solceller så finns det ett antal steg du behöver ta. För att det ska bli så enkelt som möjligt kan du använda dig av checklistan nedan.

1 Undersök förutsättningarna

- ☐ Är ditt tak i gott skick eller behöver det renoveras? Om du behöver renovera är det smidigast att göra det först eftersom solcellsanläggningen troligen kommer att finnas kvar på taket länge. En generellt beräknad livstid för en solcellsanläggning är 25–30 år.
- ☐ Ta reda på vilket väderstreck ditt tak vetter mot, vilken lutning det har och om taket skuggas av träd eller liknande.
- ☐ Uppskatta hur stor yta du har att placera solcellerna på.
- ☐ Kontrollera om du behöver bygglov. För att ta reda på om du behöver bygglov, samt för att ansöka om bygglov, behöver du ta kontakt med kommunens byggnadskontor.
- ☐ Ta reda på vad du har för taktyp och om det finns plats för en kranbil eller byggnadsställning intill huset. Du kan behöva uppgive den informationen vid en offertförfrågan.
- ☐ Tänk igenom hur din budget ser ut och hur mycket pengar du vill investera. På Solelportalen kan du läsa mer om vilka stöd och intäkter du kan få.
- ☐ Ta reda på hur stor din elanvändning är och hur stor huvudsäkring är. Det är utgångspunkten för att välja hur stor solcellsanläggning du vill installera.
- ☐ Kontrollera att det finns kapacitet att ansluta din solcellsanläggning till elnätet innan du går vidare med inköpet. Läs mer på Solelportalen.

Tänk på att det kan tillkomma kostnader och ta längre tid att installera din solcellsanläggning om du behöver höja din säkring mer än vad din nuvarande anslutningskapacitet tillåter.



2 Kontakta leverantörer

- ☐ Hitta en leverantör. På Solelportalen hittar du mer information om certifierade leverantörer. För att hitta leverantörer i ditt område kan du gå via branschorganisationen Svensk Solenergi.
- ☐ Gör en offertförfrågan. På Solelportalen finns en mall som du kan använda dig av.
- ☐ Ta in offerter. En rekommendation är att ta in minst tre stycken offerter.
- ☐ Jämför offerterna. En bra tumregel är att jämföra priset på anläggningen baserat på installerad effekt (kr/kW). Se också över:
 - leveranstid och leveransvillkor
 - kostnader för montering, samt lyft av material och/eller byggnadsställning
 - att fabrikat och modellnummer för solcellspaneler, växelriktare och montagesystem är med i offerten.
- ☐ Du kan få stöd av din kommuns energi- och klimatrådgivare om du behöver hjälp att utvärdera offerterna. Det kostar inget att ta hjälp av energi- och klimatrådgivaren och hen ger opartisk information och råd. På Solelportalen hittar du kontaktuppgifter till energi- och klimatrådgivare i hela landet.

Svensk Solenergi:
www.svensksolenergi.se > Medlemsföretag

Energi- och klimatrådgivare:
www.solelportalen.se > Kom i kontakt med lokal rådgivare

Kontrollera elnätskapacitet: www.solelportalen.se > Så undersöker du förutsättningarna för solel



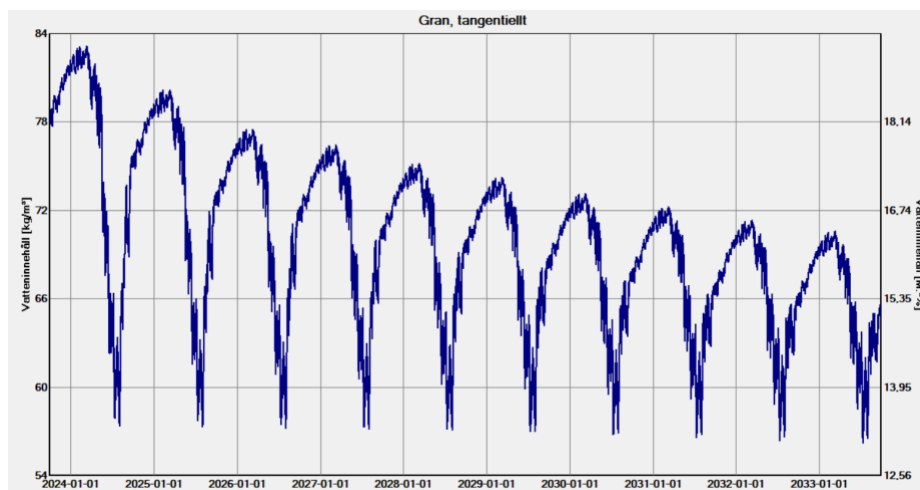
9.3 Bilaga 3 – Takuppbyggnader och materialegenskaper

Varmt tak								
Material	Typ	Tjocklek [mm]	Skrym densitet	Porositet [m3/m3]	Specifikvärme kapacitet	Värmeledning sförmåga,	Diffusionsm otstånd [-]	Temp-ber. Värmeledning.
Roofmembrane V13	Bitumenpapp	1	2400	0,001	1000	0,5	100000	$2,00 \cdot 10^{-4}$
Gran, Tangentiellt	Råspont	22	430	0,73	1600	0,14	83,3	$2,00 \cdot 10^{-4}$
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	220	21	0,95	840	0,035	1	$2,00 \cdot 10^{-4}$
PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	PE-Folie	1	130	0,001	2300	2,3	50000	$2,00 \cdot 10^{-4}$
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	70	21	0,95	840	0,035	1	$2,00 \cdot 10^{-4}$
Gipsskiva invändig	Gips	13	625	0,73	850	0,2	8,33	$2,00 \cdot 10^{-4}$

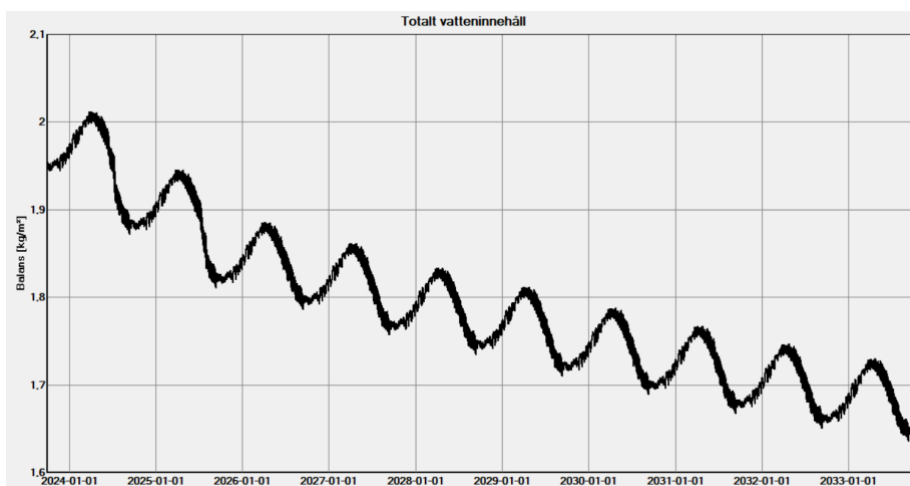
Parallelltak								
Material	Typ	Tjocklek [mm]	Skrym densitet	Porositet [m3/m3]	Specifikvärme kapacitet	Värmeledning sförmåga,	Diffusionsm otstånd [-]	Temp-ber. Värmeledning.
Roofmembrane V13	Bitumenpapp	1	2400	0,001	1000	0,5	100000	$2,00 \cdot 10^{-4}$
Gran, Tangentiellt	Råspont	22	430	0,73	1600	0,14	83,3	$2,00 \cdot 10^{-4}$
Air Layer 30mm	Luftspalt	30	1,3	0,99	1000	0,18	0,46	-
Duk av Laminert polypropylen	Vindspärr/vind	1	130	0,001	1500	3	25	$2,00 \cdot 10^{-4}$
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	220	21	0,95	840	0,035	1	$2,00 \cdot 10^{-4}$
PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	PE-Folie	1	130	0,001	2300	2,3	50000	$2,00 \cdot 10^{-4}$
ISOVER GW Integra ZKF - 035	Mineralull	70	21	0,95	840	0,035	1	$2,00 \cdot 10^{-4}$
Gipsskiva invändig	Gips	13	625	0,73	850	0,2	8,33	$2,00 \cdot 10^{-4}$

9.4 Bilaga 4 - Varmt Tak - Fall 1

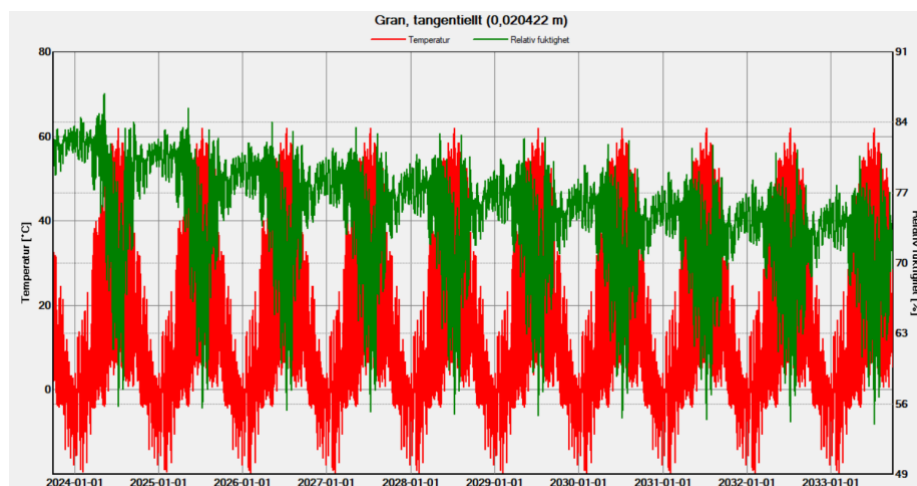
Fall 1: Grundfall – Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



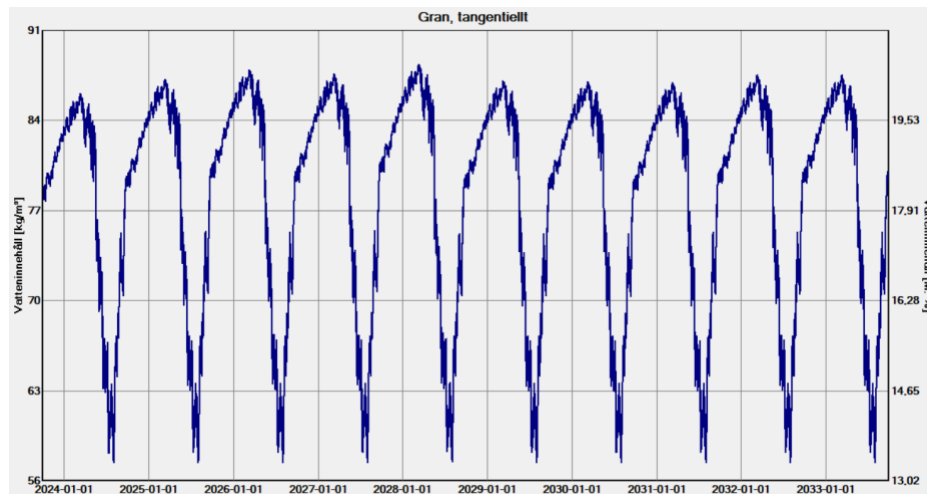
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



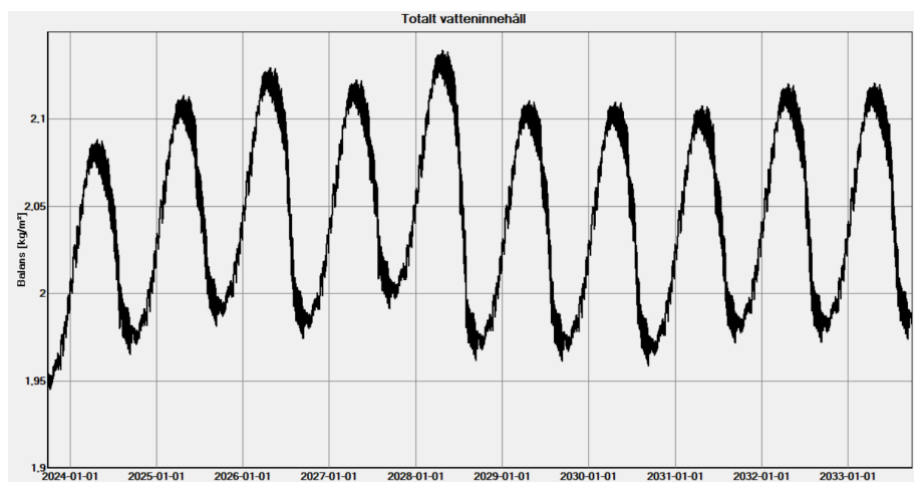
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.5 Bilaga 5 - Varmt Tak - Fall 2

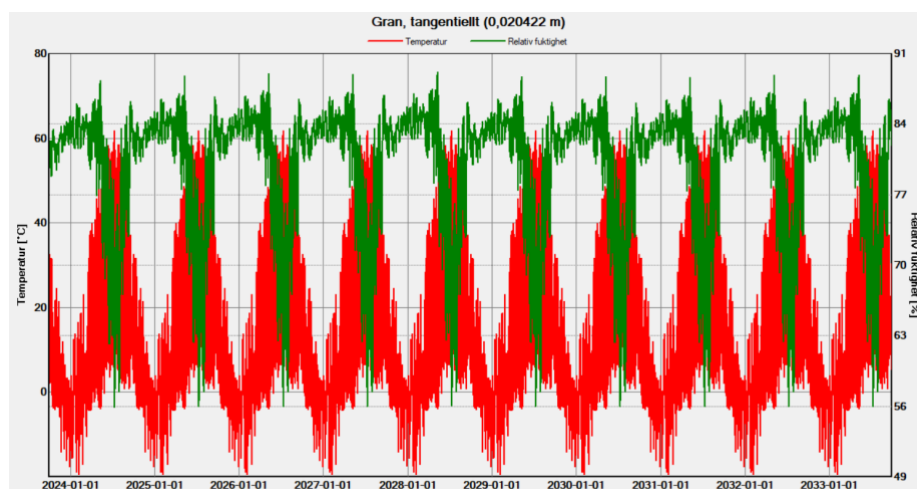
Fall 2: Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



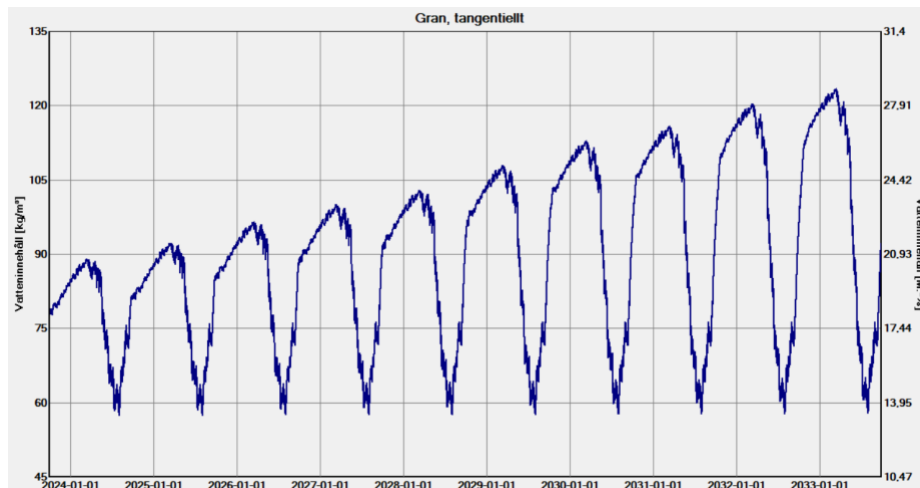
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



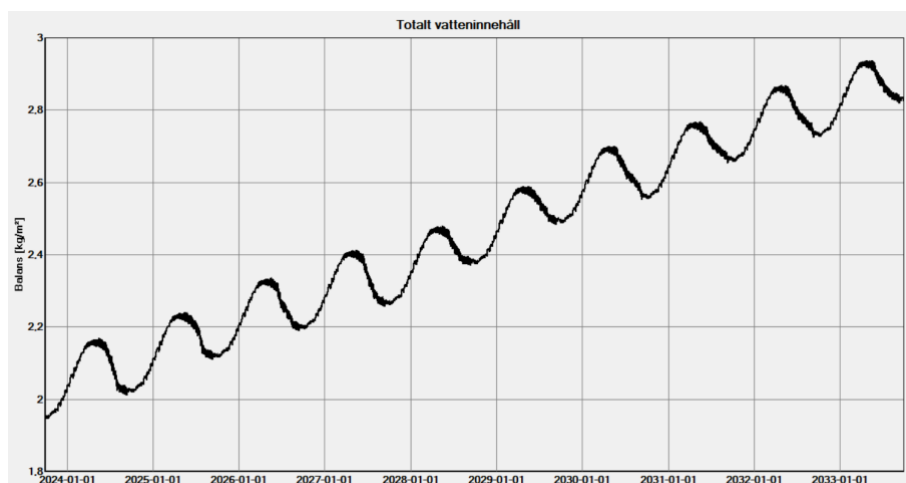
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.6 Bilaga 6 - Varmt Tak - Fall 3

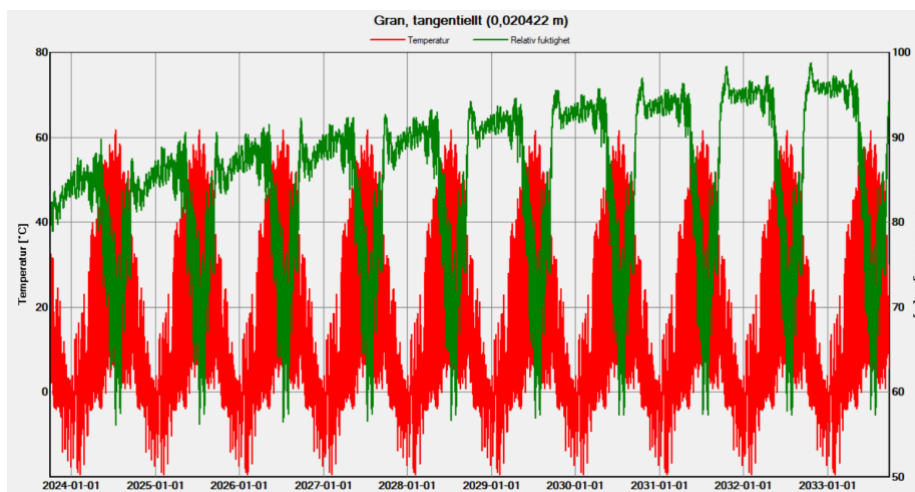
Fall 3: Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, inställning för rackmonterade PV-moduler utelämnas. Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



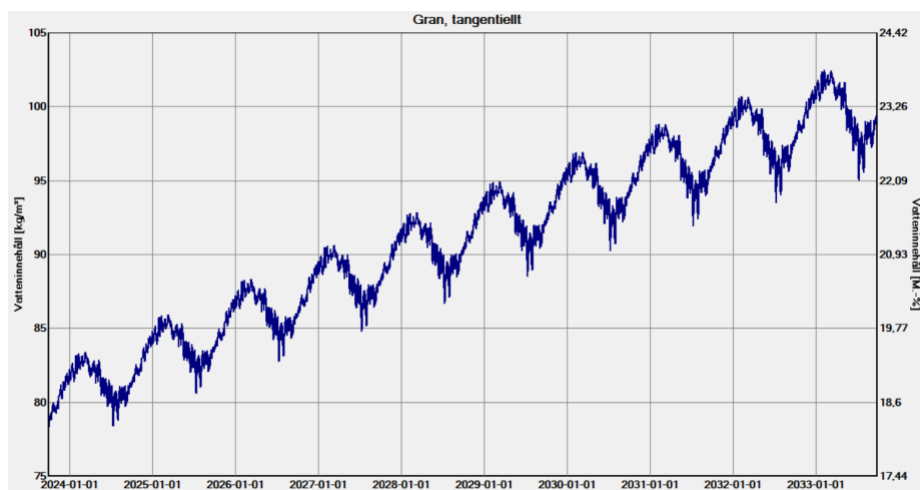
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



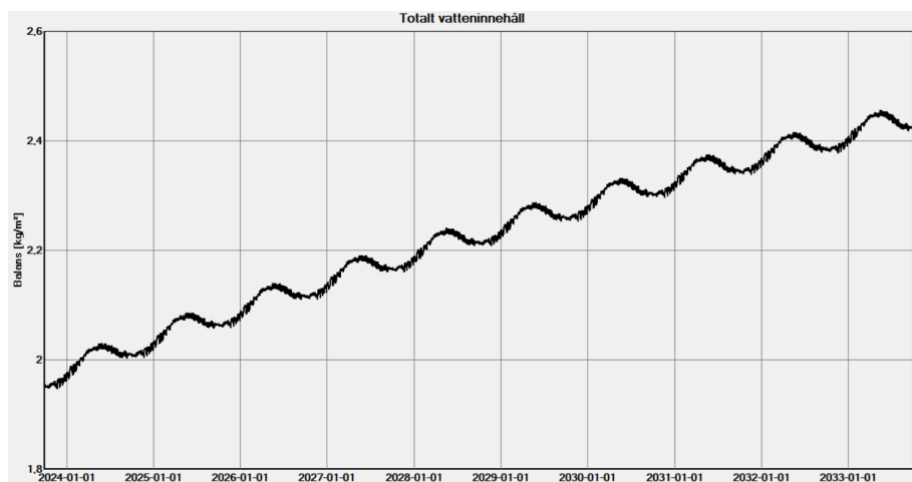
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.7 Bilaga 7 - Varmt Tak - Fall 4

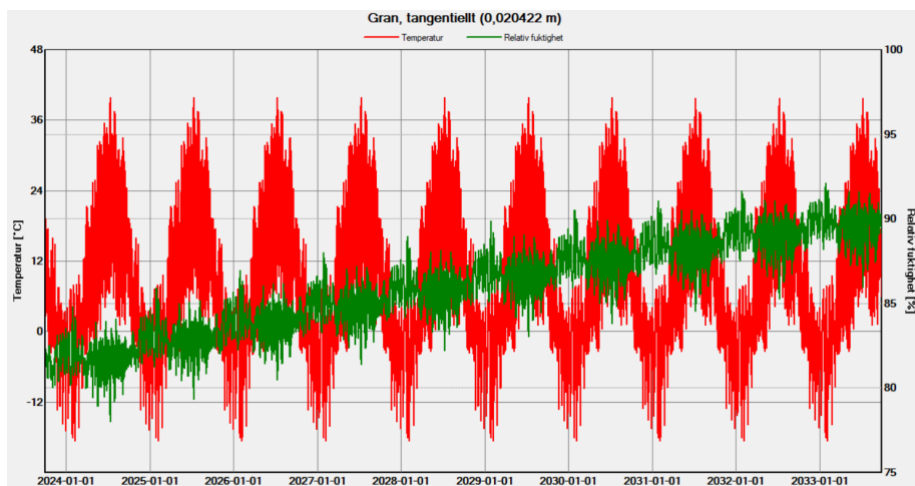
Fall 4: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



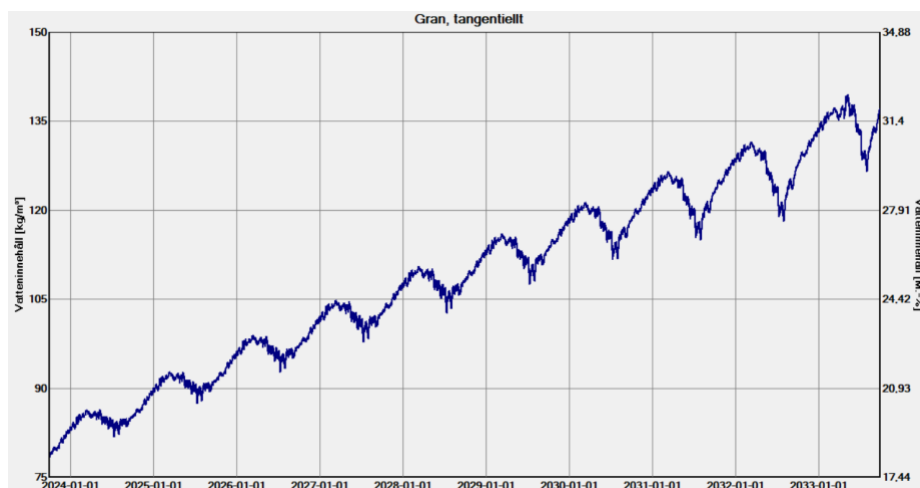
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



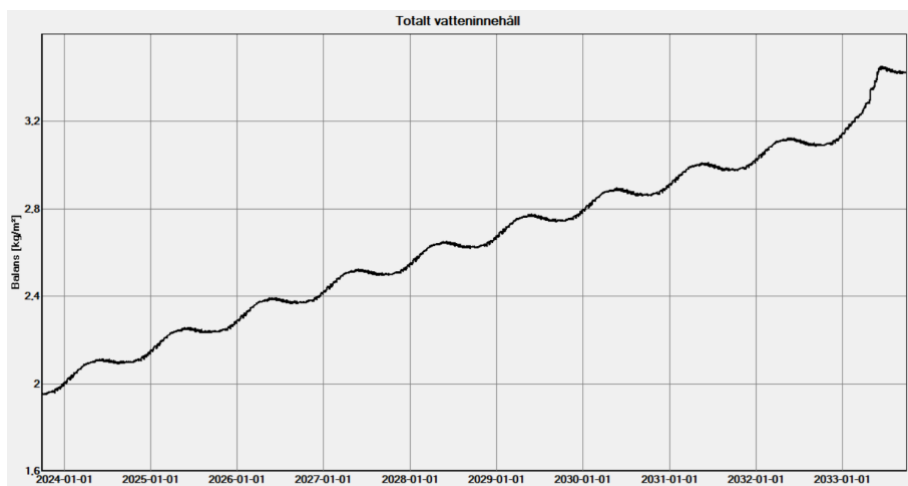
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.8 Bilaga 8 - Varmt Tak - Fall 5

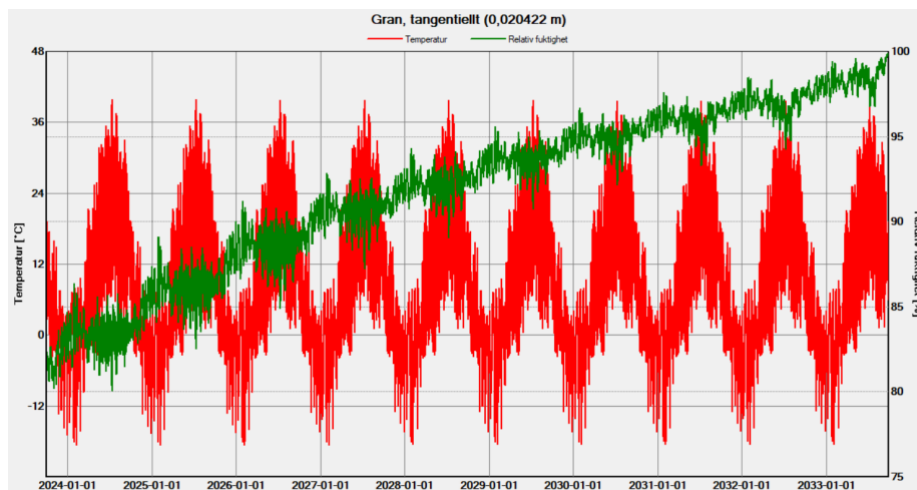
Fall 5: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



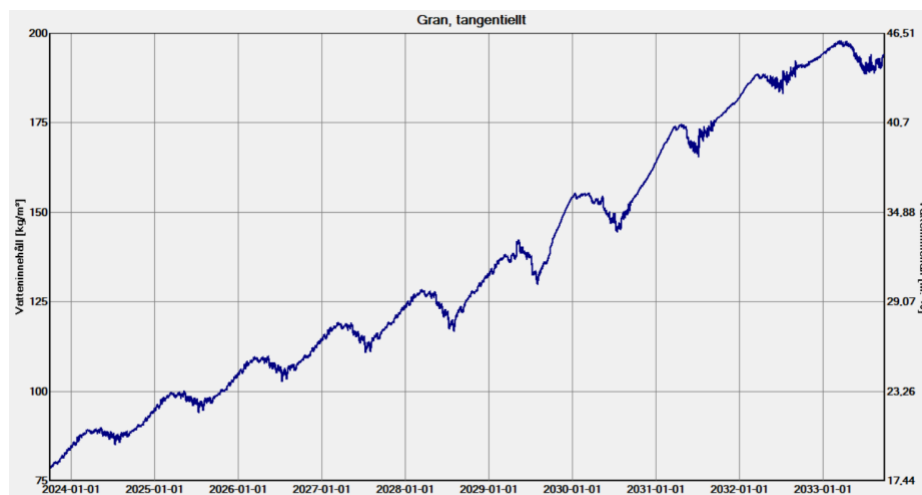
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



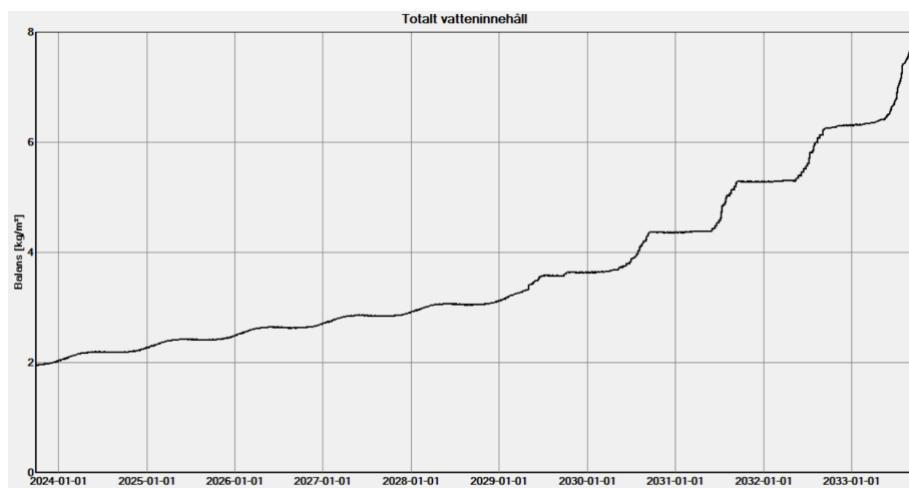
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.9 Bilaga 9 - Varmt Tak - Fall 6

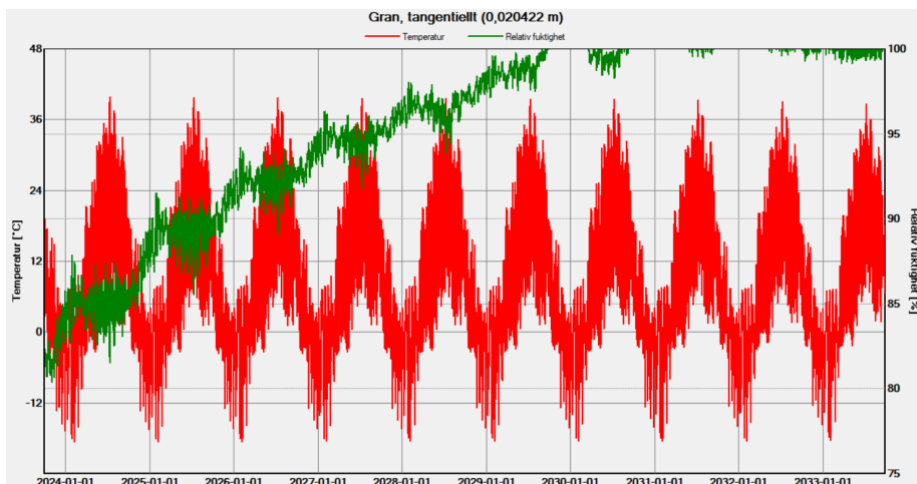
Fall 6: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



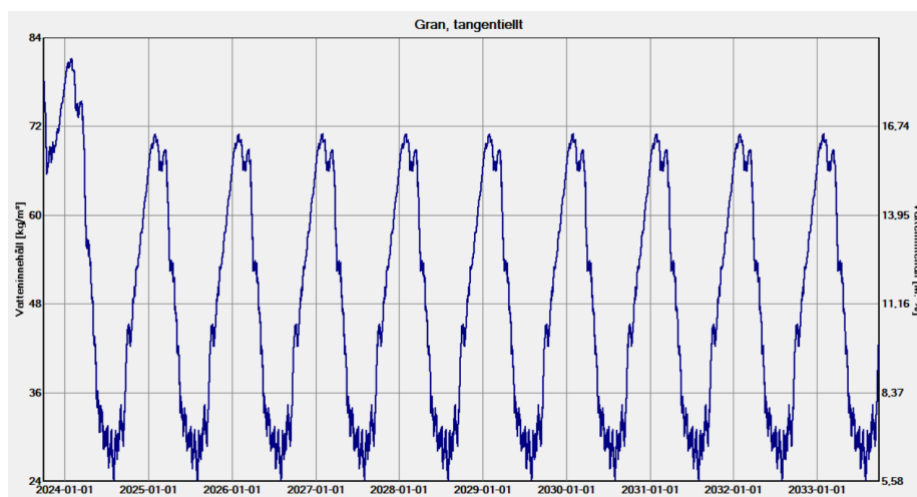
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



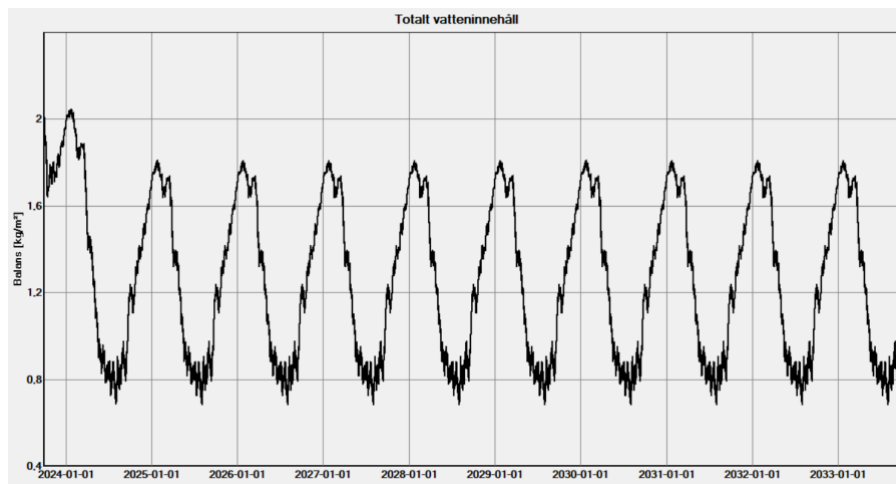
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.10 Bilaga 10 - Parallelltak - Fall 1

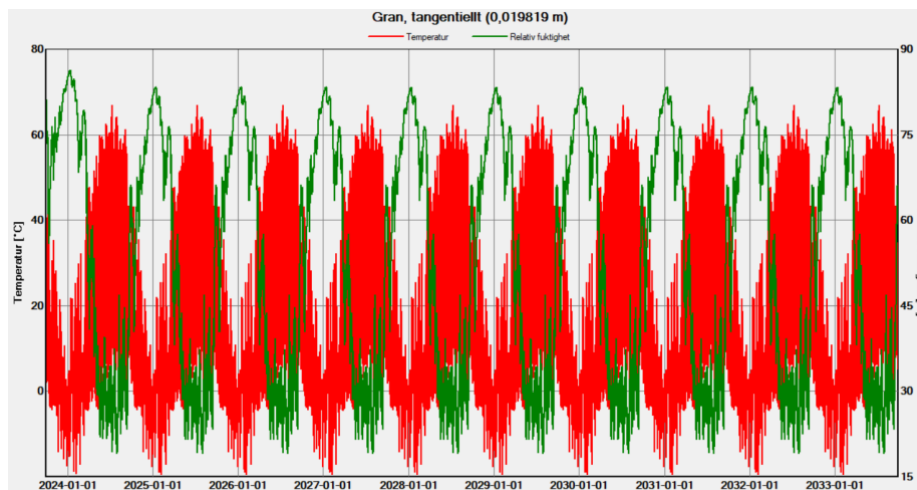
Fall 1: Grundfall - Inga reduktionsfaktorer till följd av skuggning, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



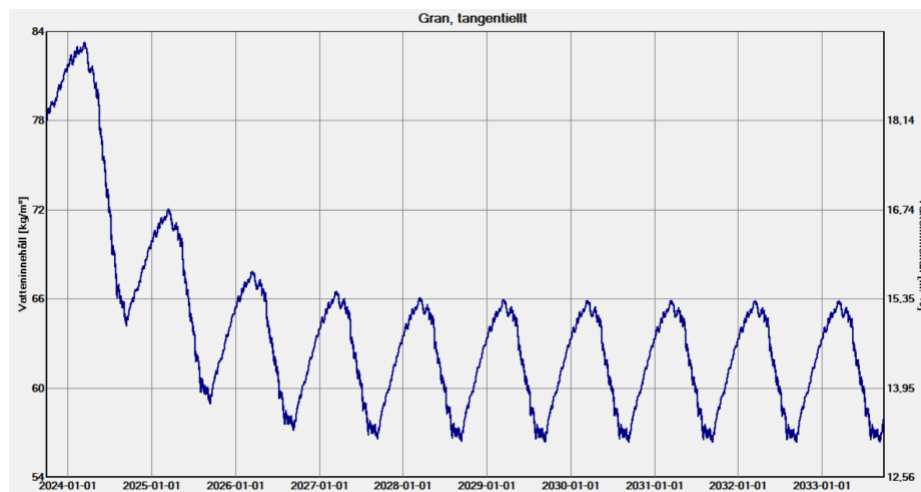
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



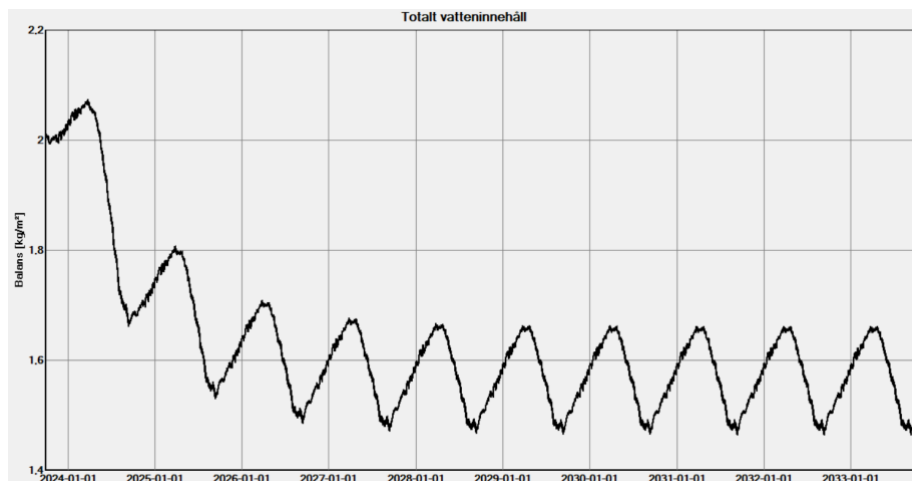
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.11 Bilaga 11 - Parallelltak - Fall 2

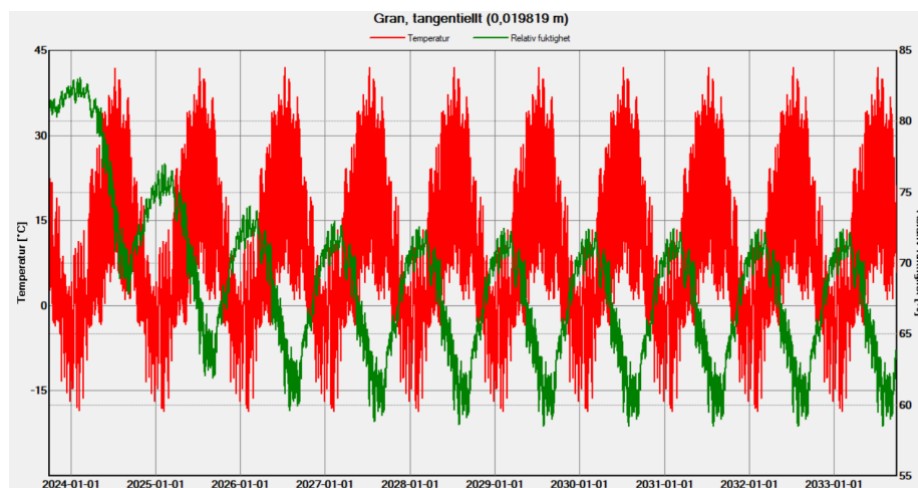
Fall 2: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



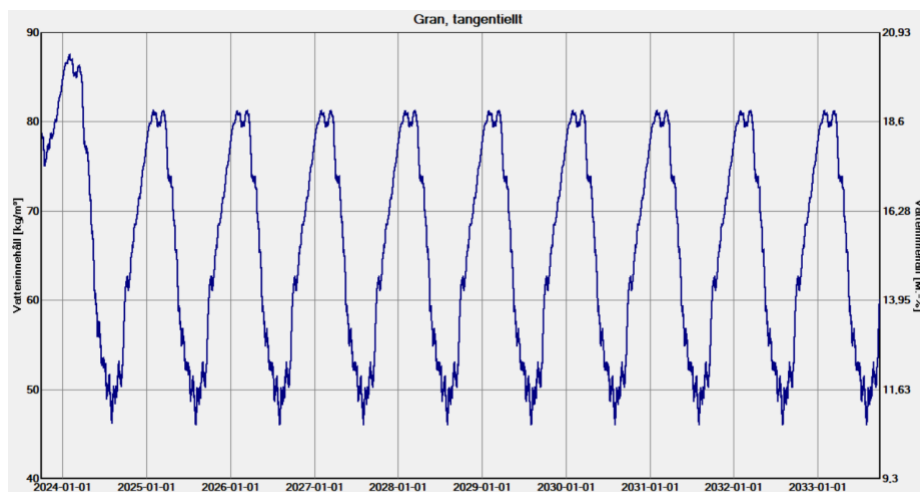
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



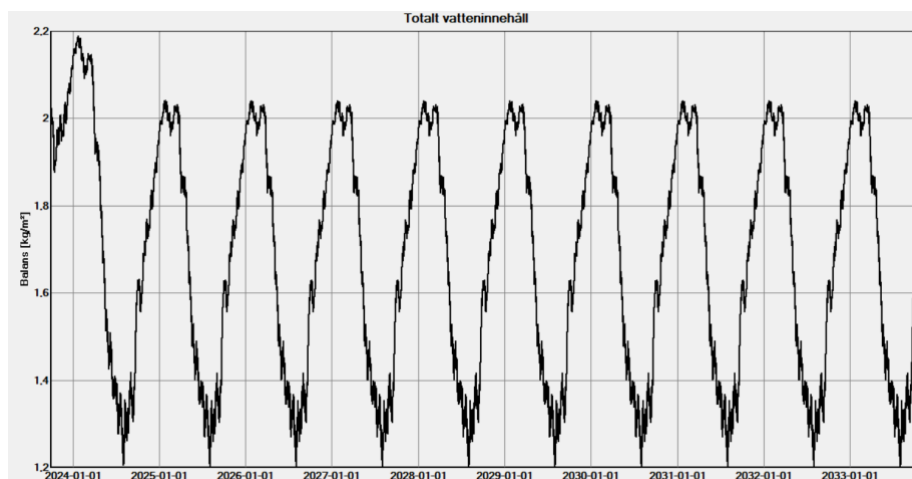
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.12 Bilaga 12 - Parallelltak - Fall 3

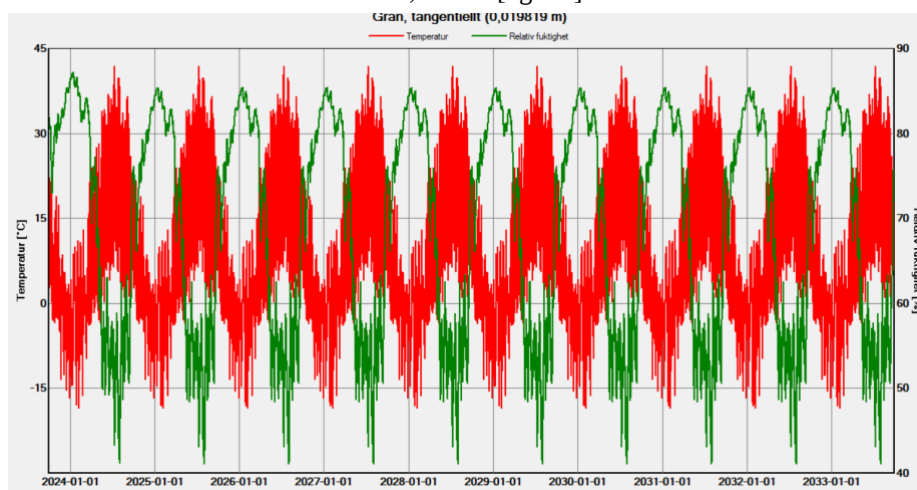
Fall 3: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



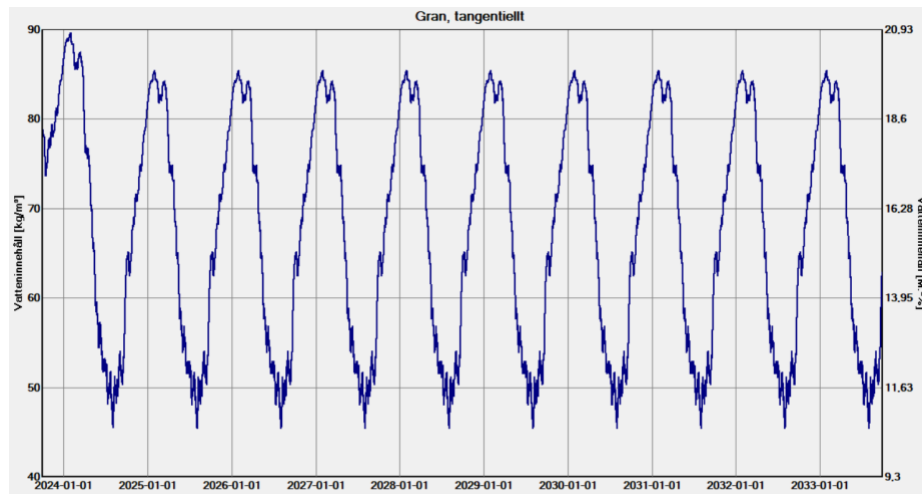
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



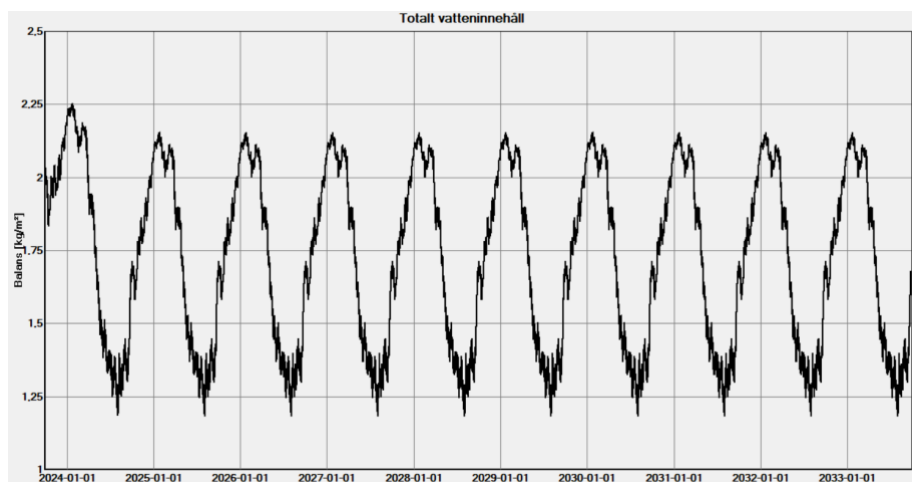
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.13 Bilaga 13 - Parallelltak - Fall 4

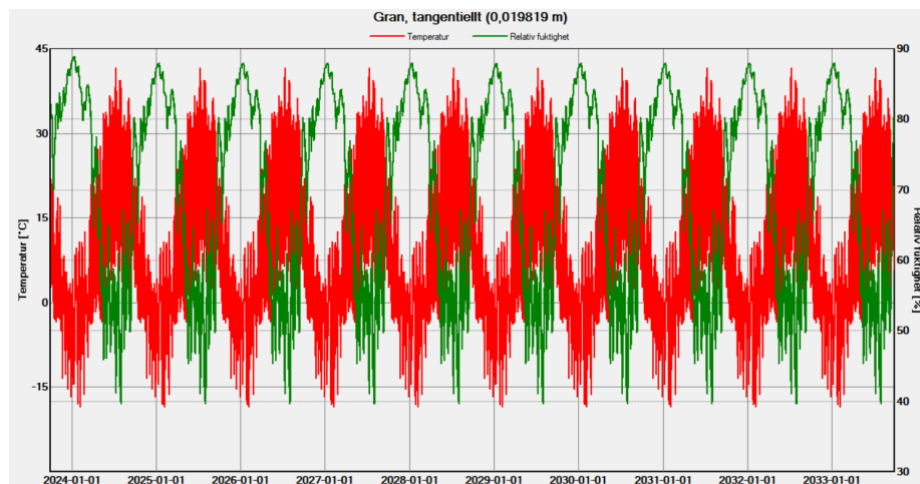
Fall 4: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass A.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m3], [%]



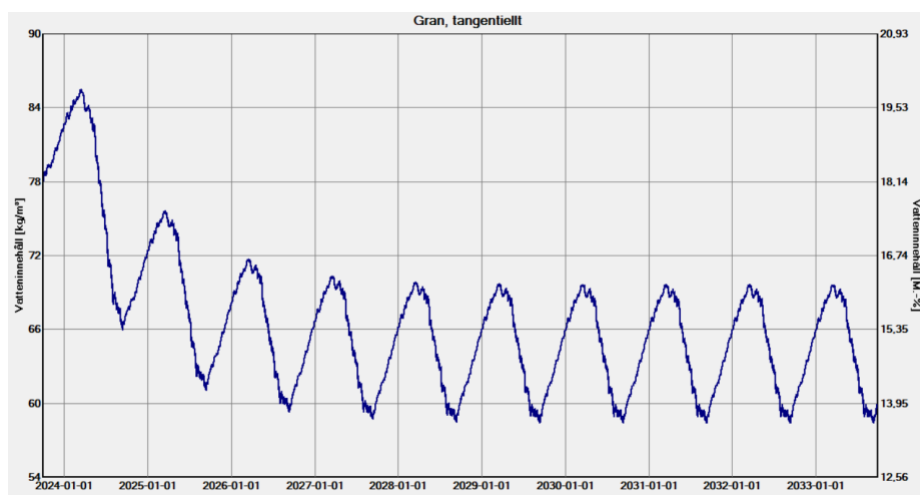
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m2]



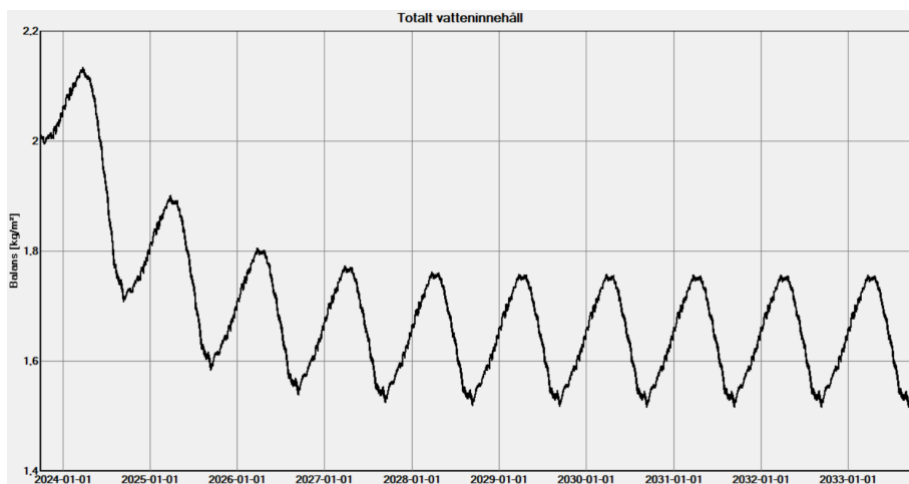
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.14 Bilaga 14 - Parallelltak - Fall 5

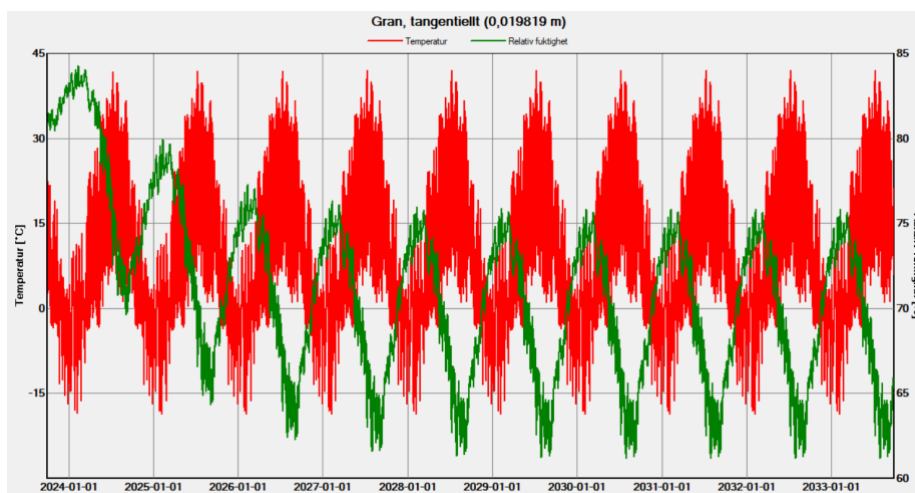
Fall 5: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



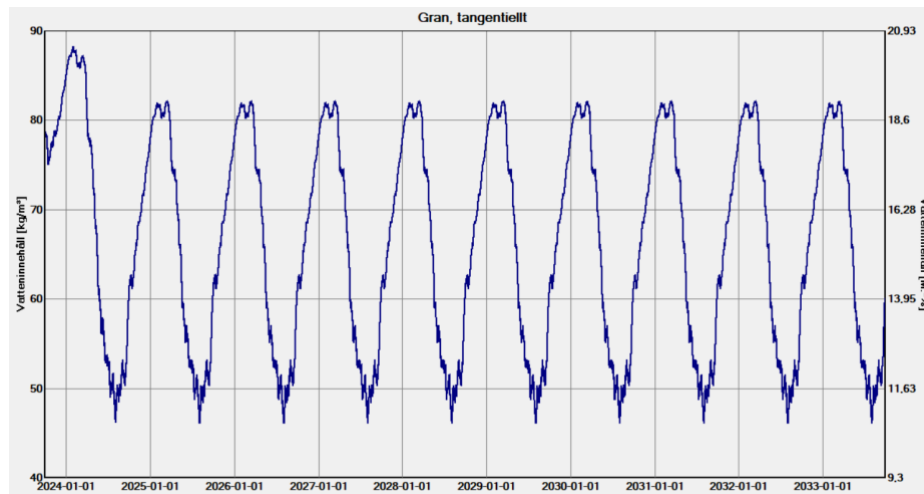
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



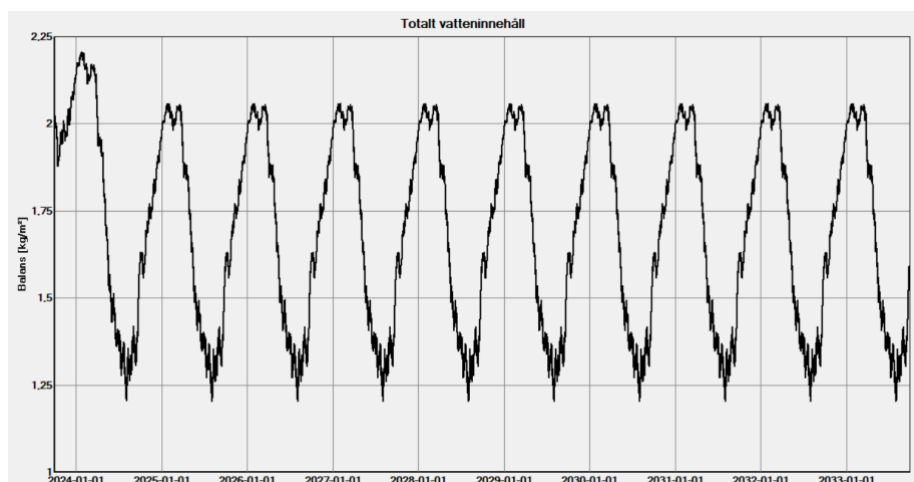
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.15 Bilaga 15 - Parallelltak – Fall 6

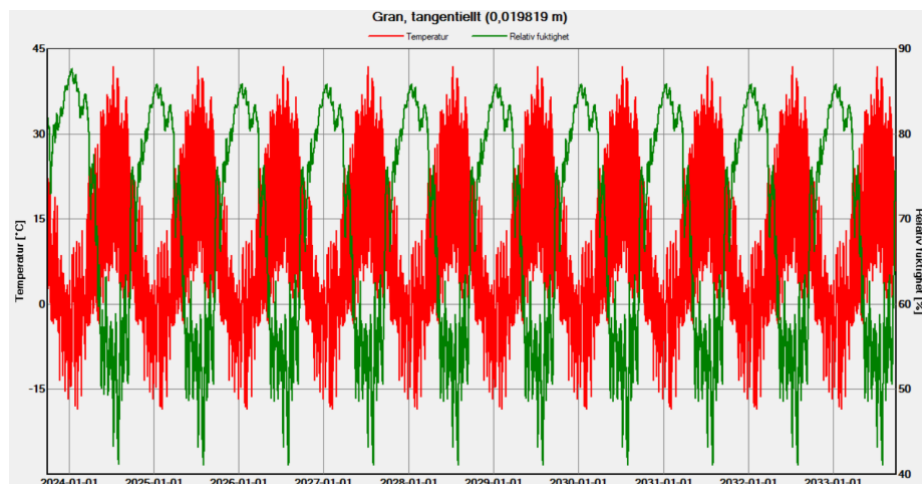
Fall 6: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



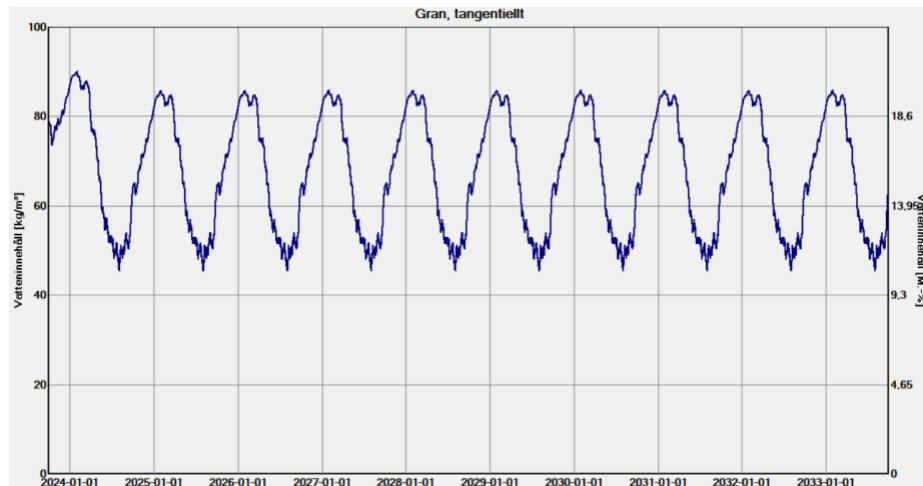
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



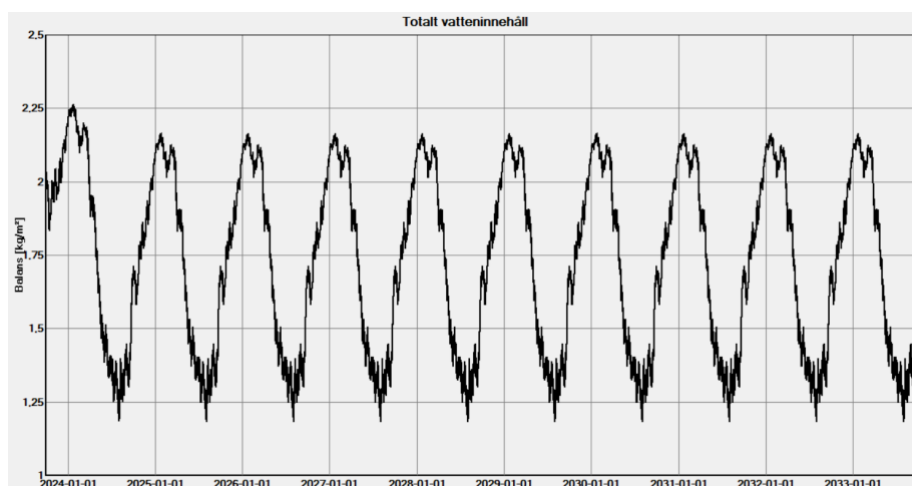
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.16 Bilaga 16 - Parallelltak - Fall 7

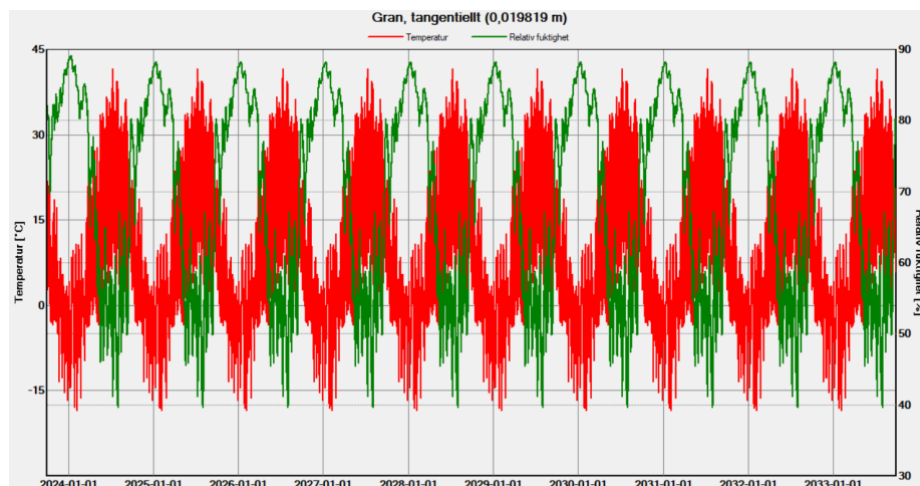
Fall 7: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass B



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



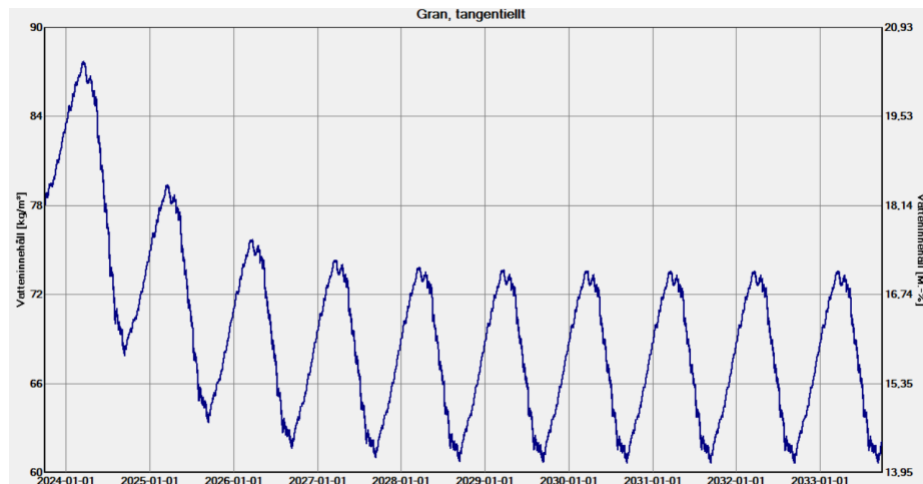
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



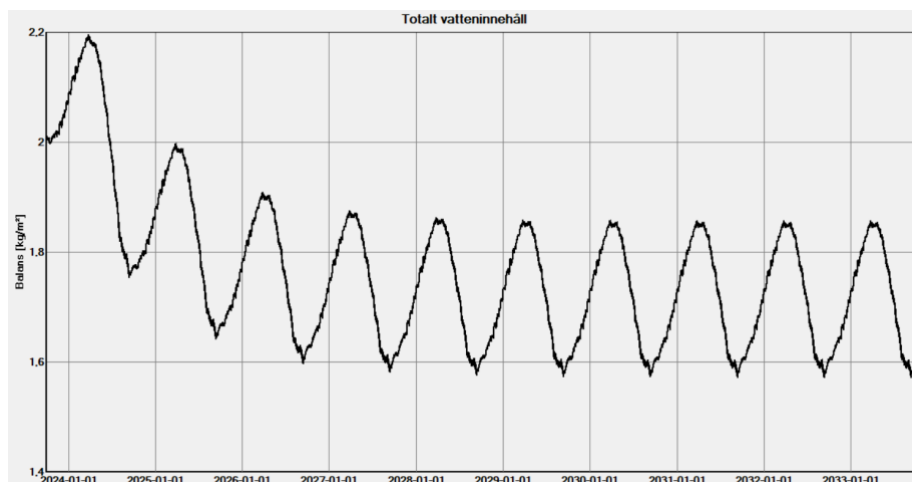
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.17 Bilaga 17 - Parallelltak - Fall 8

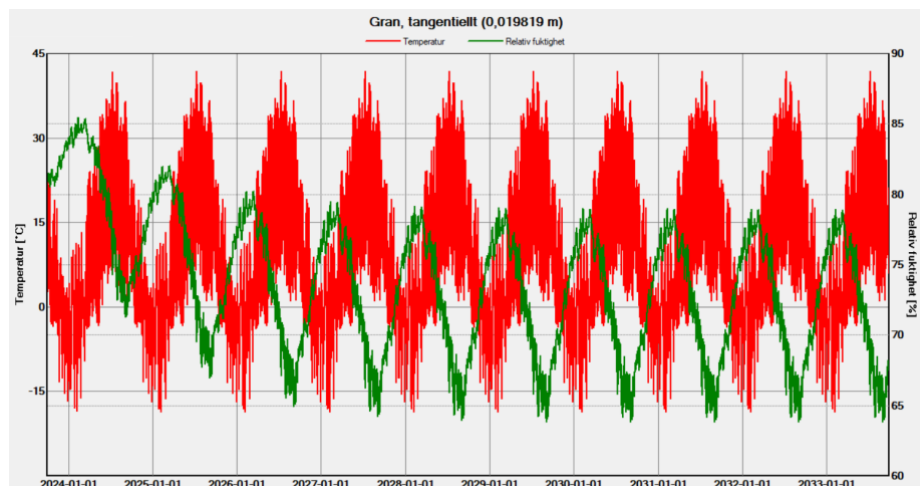
Fall 8: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 1 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



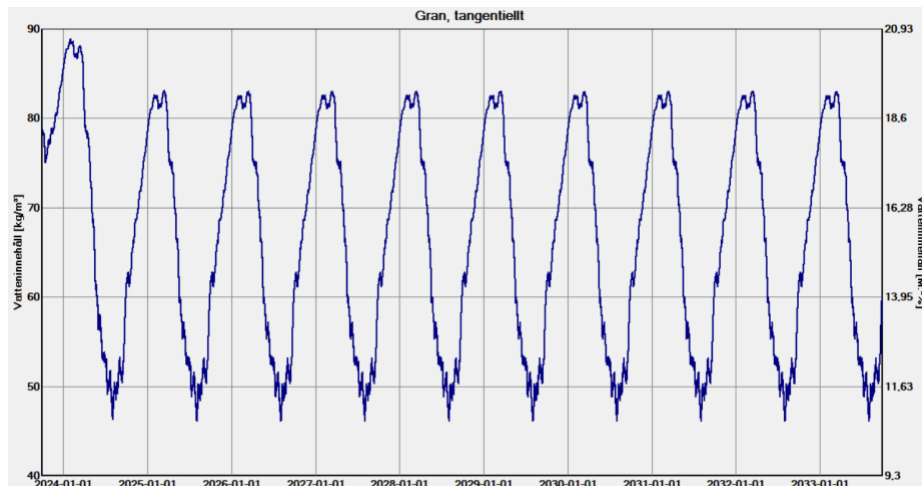
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



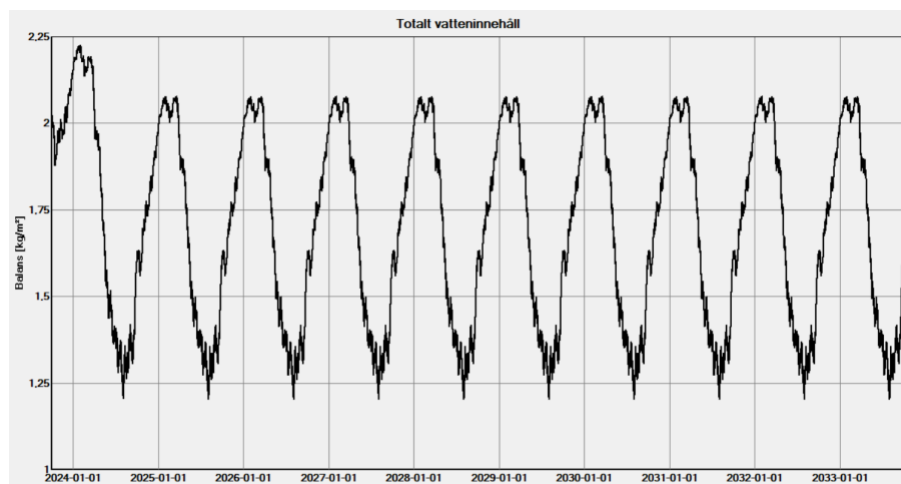
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.18 Bilaga 18 - Parallelltak - Fall 9

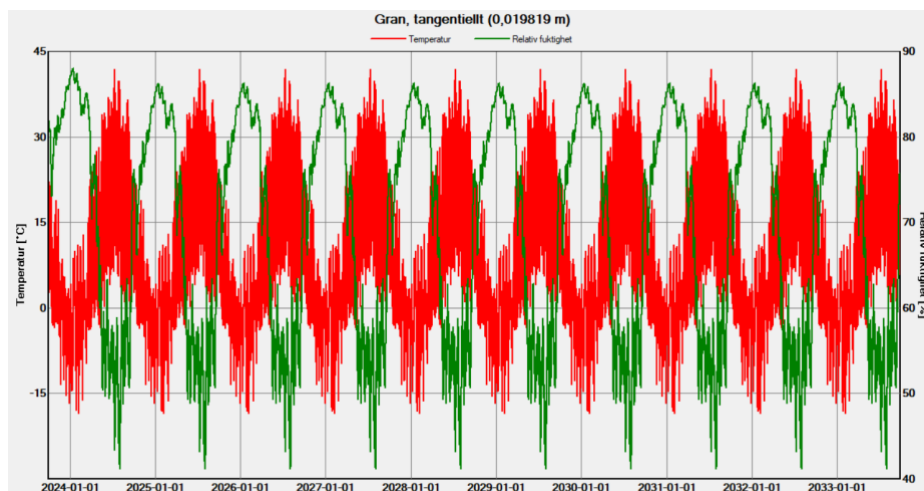
Fall 9: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 20 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



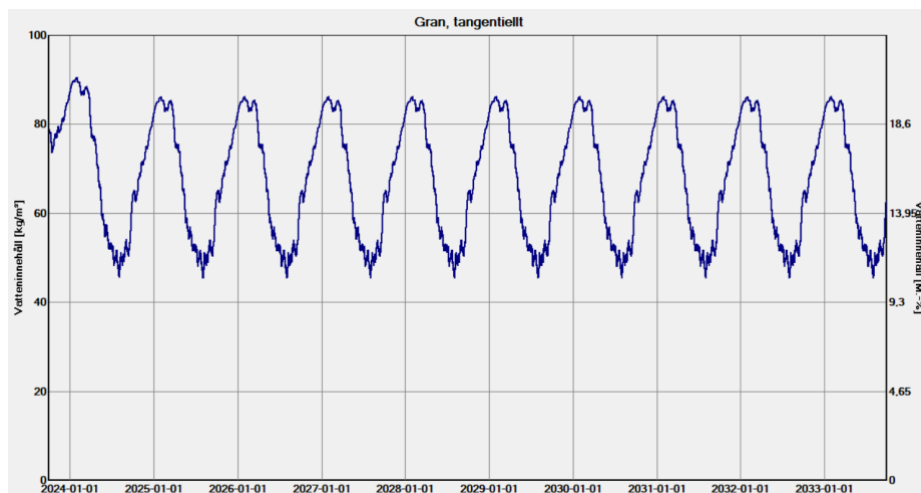
Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



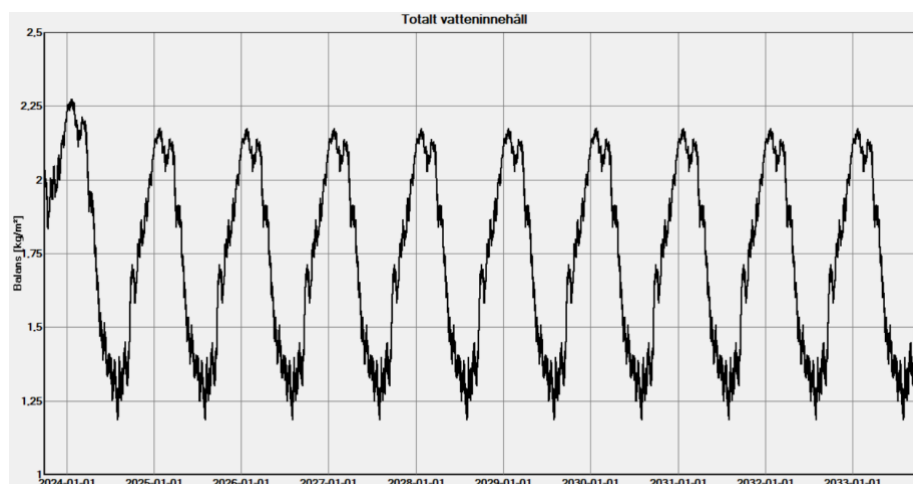
Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]

9.19 Bilaga 19 - Parallelltak - Fall 10

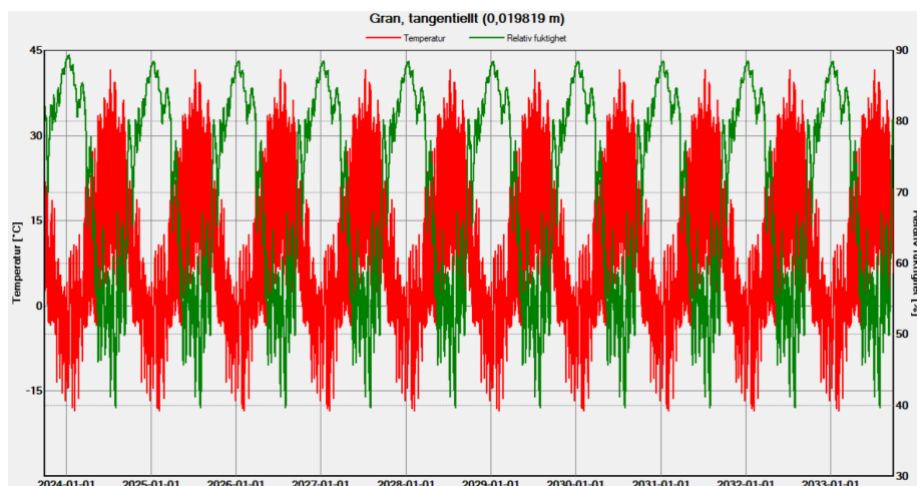
Fall 10: Reduktionsfaktorer till följd av skuggning - Rackmonterade PV-Moduler, 40 oms/h i luftspalt, Luftinfiltrationsmodell IBP Klass C.



Vatteninnehåll i gran, tangentiellt. [kg/m³], [%]



Totalt vatteninnehåll i konstruktionen, balans [kg/m²]



Relativ fuktighet och temperatur i gran, tangentiellt [°C], [%]