



**CHALMERS**

# Solceller som byggnadstak

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammen Maskinteknik och Teknisk design

HANNES ALVEHEIM  
LINNÉA JOHANSEN  
EVELINA KARLSSON  
CARL LEWERTH  
LYNNE SLEIBI  
GUSTAF STRÖM

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP**  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

---

Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

IMSX16

KANDIDATABETE

---

## Solceller som byggnadstak - Slutrapport

---

Hannes Alveheim

Linnéa Johansen

Evelina Karlsson

Carl Lewerth

Lynne Sleibi

Gustaf Ström

8 maj 2024

## Abstract

This report explores the potential and implementation of integrated solar cell solutions in roofing, with a specific focus on Swedish villas. Against the backdrop of growing interest in renewable energy and with aesthetic considerations, this study aims to develop solar roof concepts that are not only functional but also visually appealing. The main goal of the concepts was to enhance the aesthetic and functional aspects of solar roofs compared to traditional solar panel roofing solutions.

The main goals of the project are to study the possibilities of solar cell integrated roofs and translate them into concepts and then evaluate them according to the interests of the identified stakeholders. The ultimate goal is to then compare the proposed concepts with the solution of today.

The development process consisted of identifying stakeholders and their needs, generating concepts through brainstorming and later processing them through evaluation and elimination based on several criteria. The derived concepts were part of three separate categories; integrated roof cladding, environmentally adaptive solar modules and solely solar cell solutions. The results indicate that integrated solar solutions can offer significant advantages, such as increased energy efficiency and improved visuals on the building. With promising new technologies such as thin-film solar cells, the possibilities that the future may provide prove to be exciting.

The report also highlights the importance of further research and development in the field, especially regarding system integration, to further improve the performance, durability, lifespan and aesthetics of solar roofs. Future studies should focus on further developing concepts and installation techniques as well as exploring new materials that can enhance the durability and reduce the environmental impact of solar roofs.

## Sammanfattning

Denna rapport utforskar potentialen och implementeringen av integrerade solcellslösningar i byggnadstak, med specifikt fokus på svenska villor. Med hänsyn till det växande intresset för förnybar energi och med hänsyn till estetiska faktorer, syftar denna studie till att utveckla integrerade solcellslösningar för byggnadstak som inte bara är funktionella, utan också visuellt tilltalande. Det främsta målet med koncepten är att förbättra de estetiska och funktionella aspekterna av solcellstak, jämfört med de traditionella solpanelslösningen för tak.

Projektets huvudmål är att utforska möjligheterna med integrerade solcellstak och utveckla dem till koncept för att sedan utvärdera dem utifrån de identifierade intressenternas önskemål. Det slutliga målet är sedan att jämföra de föreslagna koncepten med dagens lösning.

Utvecklingsprocessen bestod av att identifiera intressenter och deras behov, samt generera koncept genom idégenerering och senare bearbeta dem genom utvärdering och eliminering baserat på diverse kriterier. De framtagna koncepten tillhörde tre separata kategorier; solceller integrerade i taktäckningen, miljöanpassade solmoduler och enbart solcellslösningar. Resultaten indikerar att solcellsintegrerade byggnadstak kan erbjuda betydande fördelar, såsom ökad effekt och förbättrat utseende på byggnaden gentemot dagens lösning. Med lovande ny teknologi såsom tunnfilmsolceller är framtidens möjligheter spännande.

Rapporten lyfter också vikten av fortsatt forskning och utveckling inom området, särskilt gällande systemintegration, för att ytterligare förbättra prestanda, hållbarhet, livslängd och estetik för solcellstak. Framtida studier bör fokusera på att vidareutveckla koncept och installationsmetoder, samt utforska nya material som kan förbättra hållbarheten och minska miljöpåverkan av solcellstak.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1	Inledning . . . . .	1
1.2	Bakgrund . . . . .	1
1.3	Syfte . . . . .	1
1.3.1	Målformulering . . . . .	1
1.4	Avgränsningar . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Metodik</b>	<b>3</b>
2.1	Tidigare forskning . . . . .	3
2.2	Dagens lösning . . . . .	3
2.3	Kundundersökning . . . . .	3
2.4	Funktionsanalys . . . . .	3
2.5	Krav . . . . .	4
2.6	Idégenerering av koncept . . . . .	4
2.6.1	Brainstorming . . . . .	4
2.6.2	Braindrawing . . . . .	4
2.6.3	Morfologisk matris . . . . .	5
2.7	Eliminering av koncept . . . . .	5
2.7.1	Pughmatris . . . . .	5
2.7.2	Kesselringmatris . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Teknisk bakgrund</b>	<b>6</b>
3.1	Solceller . . . . .	6
3.1.1	Solcellstekniker . . . . .	7
3.2	Tak . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Intressenter</b>	<b>9</b>
4.1	Definiera intressenter . . . . .	9
4.2	Kundens röst . . . . .	9
4.2.1	Enkät . . . . .	9
4.2.2	Intervju . . . . .	10
4.3	Intressentbehovslista . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Funktionsanalys</b>	<b>11</b>
5.1	Funktionsträd . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Krav och önskemål</b>	<b>14</b>
6.1	Kriterier . . . . .	14
6.1.1	Kriteriebeskrivning . . . . .	15
6.2	Verifieringmetoder . . . . .	16
6.3	Kravspecifikation . . . . .	16
<b>7</b>	<b>Framtagning av koncept</b>	<b>18</b>
7.1	Iteration I . . . . .	18
7.1.1	Idégenerering konceptkategorier . . . . .	18
7.1.2	Sällning . . . . .	19
7.1.3	Beslut . . . . .	21
7.2	Iteration II . . . . .	21
7.2.1	Idégenerering . . . . .	21
7.2.2	Sällning . . . . .	22
7.2.3	Beslut . . . . .	27
7.3	Beskrivning av framtagna koncept . . . . .	28
<b>8</b>	<b>Utvärdering</b>	<b>31</b>
8.1	Analys . . . . .	31
8.2	Måluppfyllelse . . . . .	32
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>34</b>

9.1	Projektets gång . . . . .	34
9.2	Framtiden för koncepten . . . . .	34
9.2.1	Framtida problemställningar . . . . .	34
9.2.2	Vidareutveckling . . . . .	35
<b>10</b>	<b>Slutsats</b>	<b>36</b>
	<b>Referenser</b>	<b>37</b>
<b>A</b>	<b>Enkät</b>	<b>38</b>
<b>B</b>	<b>Intervju sammanfattning med Malte Rungård</b>	<b>47</b>
<b>C</b>	<b>Intervju transkribering med Oskar Öhrman</b>	<b>48</b>
<b>D</b>	<b>Morfologisk matris</b>	<b>49</b>
<b>E</b>	<b>Konceptkatalog</b>	<b>50</b>
<b>F</b>	<b>Grovskisser</b>	<b>51</b>

# 1 Introduktion

Nedan ges en introduktion till projektet, dess bakgrund, syfte och avgränsningar, för att ge en inledande förståelse till vad projektet grundar sig i och varför det har genomförts. Denna förståelse gör det lättare att följa med i arbetets gång.

## 1.1 Inledning

Projektet ämnar att undersöka möjligheten att ha solceller som byggnadstak och därmed vilka för- och nackdelar det skulle innebära. Intresset för solceller på privata tak växer alltmer, men de estetiska och ekonomiska aspekterna bromsar den potentiella tillväxten. I dagsläget är solcellerna i stor utsträckning utformade som solpaneler i större moduler och passar sällan in rent estetiskt på husen. Några av anledningarna till detta är att solpanelerna läggs ovanpå det befintliga taket, att utseendet av solpanelerna inte matchar stilen på taket och att de ser klumpiga ut. Investeringsaspekterna med framför allt anskaffningspriset för solpaneler kan också vara avskräckande för många.

## 1.2 Bakgrund

Att använda solceller som byggnadstak kan potentiellt medföra flera fördelar, även om inte alla fördelar är fullständigt utforskade eller dokumenterade i praktiken. Det hade exempelvis kunnat vara ekonomiskt fördelaktigt att ha solcellerna integrerade i taket när man ska bygga om eller bygga nytt tak. Anledningen bakom denna potentiella ekonomiska fördel är att kostnaderna för det integrerade solcellstaket jämförs med de sammanlagda kostnaderna för både tak och solpaneler. Utöver detta kan den troligtvis större arean på det integrerade solcellstaket innebära ytterligare en fördel. I ett solcellstak finns även möjligheten att integrera flera funktioner, antingen genom att anpassa befintliga takfunktioner eller genom att införa helt nya innovativa lösningar. Funktionerna skulle kunna ge ett mervärde för taket eller innebära ett större ekonomiskt incitament för kunder, beroende på om funktionerna är logiskt och tekniskt genomförbara.

Solenergi är en intermittent energikälla vilket betyder att solceller endast kan producera en betydande mängd energi när det är soligt. Under dessa soltimmarna kan solcellerna generera tillräckligt med el för att driva hushållsapparater och andra elektriska enheter eller till och med överstiga husets behov, vilket skapar ett överskott av energi. Villaägarna kan välja att införskaffa batterier och därmed spara det potentiella överskott som fås under timmar med mycket sol, för att sedan använda under solfattiga timmar. Villaägaren kan även välja att sälja sitt överskott av el till en annan aktör för att sedan köpa el när solcellerna inte genererar tillräcklig mängd el. I takt med att samhället går mot en ökad elektrifiering av produkter och processer, finns det enligt E.ON (2024) en risk för överbelastning i elnätet i stora delar av Sverige. Genom att installera fler solceller kan belastningen på elnätet minskas till följd av större andel lokalproducerad el, vilket mycket väl kan underlättas med hjälp av integrerade solcellstak.

Solenergi är i dagsläget en viktig punkt i hela Europa. EU Solar Energy Strategy, European commission (2022) som är en del av EU initiativet REPowerEU är en ny energipolitisk plan med syfte att förändra energiförsörjningen inom EU. Denna plan innehåller en rad förslag, flera av dem handlar om att öka tillgången och produktionskapaciteten, samt utveckla solceller, detta främst genom initiativet European Solar Industry Alliance, European commission (2022).

I Sverige räknas solceller som solenergianläggningar och det krävs generellt sett inte bygglov för att installera dessa på en byggnad enligt Boverket (2022). Detta kan dock komma att ändras, då ett annat förslag med särskild relevans är European Solar Rooftops Initiative. Från 2029 finns ambitionen att alla nya bostadshus över en viss storlek ha solceller på sina tak enligt European commission (2022). Bygglövsprocesserna för installation av solceller på redan befintliga byggnader skall även förenklas och förkortas.

## 1.3 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka möjligheterna med solceller som byggnadstak och hur estetiken kan utvecklas och förändras. Därefter är syftet att jämföra fördelar och nackdelar med solcellslösningarna gentemot dagens lösningar, för att se vilka fördelar och nackdelar som solcellerna för med sig i jämförelse med tak som finns idag.

### 1.3.1 Målformulering

Det primära målet med projektet är att undersöka möjligheterna för solceller som byggnadstak, samt utveckla dessa till koncept. Sekundärt är målet att jämföra och utvärdera de framtagna koncepten med identifierade

intressenters önskemål. Det tertiära målet är att jämföra de framtagna koncepten med dagens lösning.

## 1.4 Avgränsningar

Projektet avgränsas till utvecklingen av solcellslösningar för byggnader i Sverige. Att begränsa undersökningen till solceller i Sverige ger bättre möjligheter till en djupgående analys och underlättar genomförandet av kundundersökningar. Insamling och analys av datan sker över en relativt homogen grupp vilket medför ett mer representativt resultat, som i sin tur underlättar utformningen av krav och funktioner. Denna avgränsning är även nödvändig för projektet, eftersom det vore för tidskrävande att utföra projektet med hänsyn till ett större geografiskt område, givet tidsramen.

Sverige är ett relevant land för att utforska solcellslösningar, eftersom Sverige i nuläget inte utnyttjar solenergi till dess potential. Enligt Naturskyddsföreningen (2021) hade solenergi idag kunnat stå för en tredjedel av landets elproduktion istället för 1% som den står för idag. Utöver detta, finns det även ett starkt nationellt engagemang för miljöfrågor som bland annat tagit sig uttryck i ambitiös klimatpolitik med dels klimatlagar och klimatpolitiskt ramverk, se Naturvårdsverket (2024). Att forska kring solceller i Sverige ligger i linje med landets mål för hållbarhet, då solenergi representerar en hållbar och förnybar energikälla som kan bidra till landets miljömål.

En ytterligare avgränsning som gjorts är att utvecklingen av solcellslösningen ska begränsas till takinstallationer på villor, vilket förenklar undersökningen då bara en typ av byggnad utvärderas. I sin tur möjliggör detta en mer djupgående analys. Dessutom blir målet mer avgränsat så att fokuset på projektet kan hamna mer på solcellstekniker och deras implementering. Projektet kommer att fokusera på att undersöka solceller som en del av byggnadstak för villor både för nybyggnation och renovering, för att undersöka ett brett spektrum av perspektiv och möjligheter inom detta område.

Projektet avgränsas även till undersökning och utveckling inom den definierade systemgränsen, som i detta fall är hela byggnadstaket på ett hus, vilket inkluderar strukturellt tak, isolering, undertak och yttertak med taktäckning. Denna avgränsning är viktig för att skapa ett tydligt mål vilket underlättar arbetet och utveckling av projektet.

Projektet begränsas av en tidsram på cirka 4 månader för att generera koncept även om dessa inte kan realiseras i nuläget, men potentiellt i framtiden. Vilket innebär att projektet inte enbart avgränsas till nuvarande tekniska möjligheter utan även inkluderar antaganden om framtida decenniers möjligheter, där innovationer och teknologiska framsteg kan implementeras. Detta perspektiv utvidgar projektets omfång och potential, samtidigt som det erkänner begränsningarna i nuvarande produktionsteknik och marknadsförhållanden.

## 2 Metodik

Följande avsnitt beskriver de olika metoderna som används genom projektet. Beskrivningen av metodernas tillvägagångssätt beskrivs nedan, följt av en mer ingående redogörelse för exakta arbetsgången och resultaten presenteras senare då metoden används. En systematisk produktutvecklingsmetodik tillämpas, där metoderna används för att säkerställa en grundlig och effektiv framtagning och utveckling av olika koncept. Metoderna tillämpas iterativt för att kontinuerligt förbättra koncepten och anpassa dem till projektets mål. Vardera iteration erbjuder djupare förståelse av problemen och möjlighet att testa och anpassa idéerna baserat på feedback från tidigare iterationer.

### 2.1 Tidigare forskning

I den inledande fasen av projektet genomfördes en omfattande litteraturstudie för att etablera en teoretisk grund och förstå de nyckelaspekter som definierar samspelet mellan solcellstekniker och byggnadstak. Denna process inkluderar en granskning av befintliga rapporter och vetenskapliga artiklar, vilket möjliggör identifieringen av brister och bidrar till en fördjupad förståelse. Informationen från denna litteraturstudie presenteras i den tekniska bakgrunden, där den fungerar som en referenspunkt för resten av rapporten.

### 2.2 Dagens lösning

En ”dagens lösning” definierades av projektgruppen, dengenom projektet användes som referenspunkt för att kunna avgöra huruvida genererade koncept mäter sig gentemot den etablerade marknaden för solceller. Projektgruppen definierar dagens lösning som ett villatak med monterade solpaneler ovanpå en fastskruvad metallram, liknande figur 1.



Figur 1: Dagens lösning

### 2.3 Kundundersökning

Empiriska data samlades in genom enkäter och intervjuer. Enkäterna genomfördes för att få en bredare förståelse för kunders åsikter om solcellstak, i detta fall villaägare. Enkätmetoden erbjuder fördelen av att kunna samla in en stor mängd data från många respondenter på ett effektivt sätt. Enkäterna utfördes digitalt och skickades via olika forum för att nå ut till en bredare målgrupp och underlätta deltagandet för respondenterna.

Intervjuer genomfördes också för att samla in kvalitativ data riktad mot installatörer och experter på solceller. Intervjuerna möjliggjorde användning av öppna frågor, vilket underlättade en djupare diskussion och gav en mer detaljerad förståelse av respondenternas perspektiv och erfarenheter. En nackdel med intervjuer är att det kan vara svårt att tolka den kvalitativa datan, det är även tidskrävande och det kan vara svårt att få tillgång till relevanta personer som är villiga att delta. Digitala verktyg användes för att spela in och transkribera intervjuerna, vilket säkerställde att all information kunde dokumenteras och analyseras.

### 2.4 Funktionsanalys

En funktionsanalys är en metod för att undersöka och förstå ett systems funktioner. Genom att analysera systemets beståndsdelar och relationer syftar den till att ge insikt och möjlighet till förbättringar. Analysen upptäcker även potentiella problem och hjälper till med design genom användning av verktyg såsom funktionsträd.

Ett funktionsträd är en hierarkisk struktur som börjar med en huvudfunktion och sedan grenar ut i flera delfunktioner. Varje delfunktion kan sedan vidare delas upp i underfunktioner för att ge en detaljerad översikt över hur systemet eller produkten fungerar. På detta sätt ger funktionsträdet en systematisk och strukturerad visualisering av olika funktioner och deras hierarkiska relationer inom systemet. Det hjälper till att organisera och analysera komplexa processer eller system på ett överskådligt sätt.

## 2.5 Krav

En kravspecifikation är en detaljerad dokumentation av krav och önskemål för en produkt. Syftet är att definiera förväntningarna och guida utvecklingen mot ett gemensamt mål. Kravspecifikationen används som referenspunkt och vägledning under utvecklingen för att säkerställa att produkten uppfyller kraven. Kravspecifikationen kan också användas för utvärdering och verifiering av mål vid projektets slut.

Kriterier identifieras genom en brainstormingprocess där relevanta kriterier diskuteras och utvecklas. Funktionsträdet används även för att strukturera och fördjupa diskussionen kring vilka kriterier som är nödvändiga, samtidigt som intressenternas åsikter och behov beaktas. Kriteriebeskrivningar används som underlag för att bestämma huruvida kriteriet ska vara ett krav (K), ett önskemål (Ö) eller om både ett krav och önskemål (K/Ö) behövs. Vidare används beskrivningarna även för att kunna sätta relevant målvärde samt enhet. För ett flertal kriterier krävs efterforskning för att ta reda på en relevant och rimlig enhet samt ett målvärde. Målvärdet kan vara en siffra, ett intervall eller binärt med ja eller nej. Krav är nödvändiga för systemets grundläggande funktionalitet och måste uppfyllas, medan önskemål är riktlinjer mot ett ideal. Målvärdet ger en konkret referenspunkt för bedömning av hur väl kravet eller önskemålet uppfylls. Denna kvantifiering möjliggör en objektiv utvärdering och underlättar beslutstagandet genom att ge en konkret grund för att bedöma prestanda eller kvalitet hos produkten.

## 2.6 Idégenerering av koncept

Olika metoder har använts för framtagningen av koncept. Under processen har metoderna använts iterativt, vilket innebär att de har använts igenom flera steg där varje steg bygger på och följer det föregående. Genom att använda metoderna iterativt för idégenereringen möjliggjordes gradvis fördjupning av idéerna över tid.

### 2.6.1 Brainstorming

Brainstorming användes av gruppen för att ta fram idéer genom hela projektet. Det är en kreativ metod där alla i gruppen fritt genererar idéer för att lösa problem utan att kritisera. Förberedelse och planering är viktigt inför sessionen. Det krävs tydlig måldefiniering för att gruppmedlemmarna ska kunna förbereda sig genom att reflektera över ämnet och generera initiala idéer. Vid sessionens start introduceras deltagarna till brainstormingprocessen och dess regler, skapande av en miljö för fri idédelning utan rädsla för kritik. Efter introduktionen ges deltagarna den specifika frågan att utforska och generera idéer kring. Under sessionen uppmuntras kreativt och spontant tänkande, där alla idéer välkomnas. Efter brainstorming-sessionen diskuteras de genererade idéerna tillsammans. De kan även gruppera, kategorisera eller bedöma idéernas relevans och genomförbarhet. Sessionen avslutas med en sammanfattning där anteckningar används för att dokumentera resultaten.

### 2.6.2 Braindrawing

Braindrawing användes som en kreativ metod för att generera idéer och lösa problem under framtagning av koncepten. Metoden följer en given process där syftet och målen definieras innan mötet, vilket underlättar förberedelse genom reflektion över ämnet och övervägande av potentiella idéer och lösningar. När sessionen startar får gruppmedlemmarna en introduktion till processen, där alla förstår hur sessionen genomförs och vilka regler som gäller.

Under Braindrawing-sessionen ges tid att skriva och rita tankar och idéer relaterade till uppgiften. Det är viktigt att skapa en miljö där alla känner sig fria att uttrycka sina tankar utan rädsla för kritik. När Braindrawing-sessionen är klar får deltagarna möjlighet att dela med sig av sina skisser och idéer till resten av gruppen. Detta sker vanligtvis genom en gemensam diskussion där varje deltagare presenterar och förklarar sina tankar och resonemang bakom sina skisser. Under diskussionen kan även idéer kombineras samt utvecklas i samarbete mellan gruppmedlemmarna. Sessionen avslutas med en reflektion där deltagarna diskuterar och sammanfattar de idéer och insikter som genererades under sessionen.

### 2.6.3 Morfologisk matris

En morfologisk matris användes i tidigt utvecklingskede och är ett verktyg för att utforska och strukturera dellösningar och sedan generera koncept. Konceptgenerering i morfologisk matrisen bygger på att generera dellösningar som löser delfunktioner som identifieras i funktionsanalysen. Dessa dellösningar placeras i en tabell för att enkelt kombineras med varandra och bilda nya koncept. Morfologiska matriser hjälper till att öka sannolikheten för att hitta lämpliga lösningar som löser alla delfunktioner.

## 2.7 Eliminering av koncept

För att eliminera bort olika koncept och idéer som inte uppfyller projektets syfte eller viktiga kriterier, användes olika matriser i sällningssyfte. Matriserna möjliggör en systematisk borttagning av de koncept som inte uppfyller kriterier och därmed inte uppfyller projektets mål. Användning av matriser underlättar en systematisk urvalsprocess, vilket ökar projektets sannolikhet att resultera i relevanta koncept.

### 2.7.1 Pughmatris

Pughmatrisen användes som ett verktyg för att jämföra flera koncept med en referenslösning, vilket möjliggör välgrundade beslut baserade på skillnaden mellan koncept med avseende på förutbestämda kriterier. Efter att kriterierna är fastställda väljs referenslösningen, vanligtvis en redan befintlig lösning eller den bäst lämpade lösningen. Varje lösning jämförs sedan med referenslösningen med avseende på varje kriterium genom att tilldela ett ”+” om lösningen överträffar referensen, ett ”-” om den underpresterar jämfört med referensen, eller ”0” om de är likvärdiga. Efter att alla lösningar har bedömts för varje kriterium summeras poängen för att få en total poäng för varje lösning. Sedan rangordnas lösningarna med siffror från bäst till sämst och en beslut görs angående deras fortsatta deltagande och utveckling i processen. Pughmatrisen upprepas vanligtvis för att validera resultaten i föregående matris.

### 2.7.2 Kesselringmatris

Kesselringmatrisen är ett verktyg som användes för att ranka olika koncept baserat på hur väl de uppfyller kriterier. Processen börjar med att man viktar varje kriterium genom att jämföra två kriterier mot varandra. I jämförelsen ges poängen 0 om ett kriterium bedöms sämre, 0,5 om det anses likvärdiga, och 1 om det är bättre. Dessa poäng summeras sedan för varje kriterium och delas med den totala summan av alla kriteriers vikter. Viktningen säkerställer att projektgruppens åsikter reflekteras i kriteriernas vikter. När viktningstabellen är färdigställd implementeras Kesselringmatrisen genom att tilldela varje koncept ett värde mellan 1 och 5 för varje kriterium. Dessa värden multipliceras sedan med de tidigare fastställda vikterna för varje kriterium, och sedan summeras till ett totalvärde. Kategorierna rankas därefter baserat på dessa totalvärden, där koncept med högst totalvärde rankas som nummer ett.

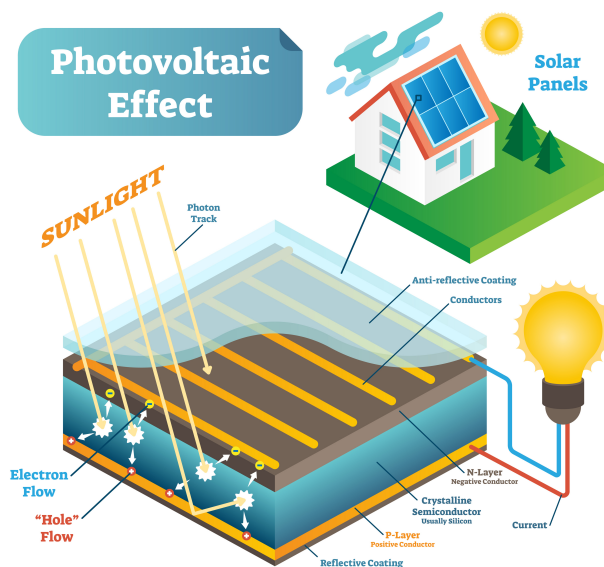
### 3 Teknisk bakgrund

Följande kapitel presenterar den tekniska bakgrunden och tidigare studier om solceller och tak. Genom att utforska de komplexa komponenterna och de innovativa teknikerna som driver solenergi, ges en djupare förståelse för att skapa en grund för hur solceller kan konstrueras som byggnadstak.

#### 3.1 Solceller

Polykristalina eller monokristalina kiselbaserade soleller är de vanligast förekommande solcellerna på marknaden idag. De inbördes komponenterna som en sådan solcell går att se i figur 2 och är uppbyggd av är följande:

- Främre kontakt
- Antireflekerande beläggning
- En negativt dopad sida av kiselhalvledaren
- En P/N - övergång
- En positivt dopad sida av kiselhalvledaren
- Bakre kontakt



Figur 2: Beskuren solcell

Den elgenererande egenskapen hos cellerna förekommer som en konsekvens av att den yttre negativt dopade sidan av halvledaren penetreras av fotoner som sedan når en region som kallas P/N-övergången. Denna region har en negativ, samt en positiv sida som befinner sig mellan halvledarens poler, som bildar ett elektriskt fält över sig. Fria elektroner kan inte befinna sig i P/N-övergången, men när fotonerna exciterar elektronerna och de frigörs, förflyttas elektronerna av det elektriska fältet i övergången, från den negativa sidan av P/N-övergången till den negativa (främre) sidan av halvledaren. Detta orsakar elektroner från den positivt dopade sidan av halvledaren hoppa till övergången för att ersätta den saknade elektronen. Denna kedjereaktion fortsätter och bygger upp en negativ samt en positiv laddning i den främre respektive bakre delen av halvledaren. Detta resulterar i en ström från den negativt dopade sidan till den positiva. Denna kedjereaktion fortsätter genom den bakre kontakten som i sin tur kopplar till den främre kontakten och således resulterar i en ström genererad inom cellen (Trevor M. Letcher, Vasilis M. Fthenakis, 2018).

På grund av hur solceller genererar elektricitet innebär det också att alla hinder, vare sig det är smuts eller ett fönster, sänker effektiviteten hos solcellen genom att reflektera en del av ljuset som skulle ha träffat cellen. Det är därför viktigt att en solcell hålls ren, men även att de yttersta skikten på cellen är så transparenta som möjligt, så att så mycket ljus som möjligt tillåts att nå in i cellen. Enligt solpanelsinstallatören, North East Solar (2023) minskar ett standardfönster solinstrålningen till en solcell med 50%. Däremot påstår de även att

en studie från energiteknologi institutet i Storbritannien påvisar att särskilda solglas kan släppa igenom upp till 90% av solinstrålning.

Solceller alstrar strålningsenergi från solen, av denna konverteras vanligtvis mellan 19-22% till elektricitet enligt Hemming (2023), varav resten blir värme. Denna värme behöver avledas för att solcellen ska fortsätta kunna generera elektricitet. Detta då solcellen får minskad effekt och kortare livslängd vid högra temperaturer. Dessutom kan solceller vid extrema temperaturer utgöra en brandrisk då de kan fatta eld, detta om värmepåverkan enligt Peninsula Solar (u.å.).

### 3.1.1 Solcellstekniker

Nedan listas, samt beskrivs de solcellsteknikerna som har varit mest aktuella under utvecklingsarbetet:

- **Kiselbaserade mono- och polykristallina solceller** - Denna typ av solceller är den vanligast förekommande sorten, särskilt den polykristallina versionen som under en lång tid dominerat solcellsmarknaden och hade 70% av marknaden 2015 enligt statistik från University of Calgary (u.å.). Denna solcellsteknik utnyttjar tunna skivor av kiselkristaller som halvledare i cellen. Monokristallina celler är dyrare, då tillverkningen är mer tidskrävande och arbetsintensiv för att producera en homogen kristall, men har en högre verkningsgrad på 15%-20% gentemot polykristallina som typiskt har en verkningsgrad på 13%-16% enligt Gennex technologies (2020). Polykristallina solceller har en blå färg medan monokristallina celler har en svart färg, detta som konsekvens av kiselkristallerna cellen består av.
- **Tunnfilmssolceller** - Tunnfilmssolceller kommer primärt som fyra olika sorter, kadmiumtellurid (CdTe) (5.1% marknadsandel), koppar-indium-gallium-selenid (CIGS) (2% marknadsandel), amorft kisel (a-Si) (2% marknadsandel) och gallium-arsenid (GaAs) (<1% marknadsandel), i ordning av marknadsandel från störst till minst, med mono- (36% marknadsandel) och polykristallina (54.9% marknadsandel) solceller som gör upp resterande del av marknaden, enligt uppgifter från Solar Magazine (2022). En viktig skillnad mellan tunnfilms- och kristallina solceller är att tunnfilmssolceller inte bygger på kiselkristaller, detta gör att de inte behöver ha ett tjockt stelt underlag för att kiselkristallerna inte skall gå sönder, Trevor M. Letcher, Vasilis M. Fthenakis (2018). I sin tur blir tunnfilmssolcellerna mer flexibla och mycket tunnare, som i sin tur minskar materialåtgången, tillverkningskostnaden och gör cellerna mindre ömtåliga.

Ytterligare en tunnfilmsteknik som dykt upp på senare år är perovskit solceller. Denna typ av solcell har väckt stort intresse på grund av dess höga potentiella verkningsgrad, som konsekvens av dess unika komposition som tillåter cellen att generera el utav en större del av ljusspektrumet gentemot konkurrerande tekniker, detta enligt Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (u.å.). Viktigt att notera är att denna teknik enligt Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (u.å.) fortfarande lider av många svårigheter gällande stabilitet och slitage på grund av fukt, luft, värme och förlängd exponering till solen och att dess högsta uppmätta verkningsgrad på 29.8%, ska noteras är inom en kontrollerad labbmiljö då alla dessa miljöfaktorer har eliminerats.

Fördelarna med tunnfilmssolceller är dess versatilitet, särskilt inom BIPV (building integrated photovoltaics) implementationer. Enligt Gill (2023) gör solcellernas storlek, flexibilitet och lätta vikt att det blir möjligt att integrera i flertalet olika områden och lösningar, allt från tak och fordon till båtar, även i rymden. Han påstår även att en investering i tunnfilmssolceller tidigare kommer återbetala investeringskostnaden för kunden, men även att kunden då behöver täcka en 50% större yta med solceller för att uppnå samma effekt som ett standard solcellssystem av mono- eller polykristallina solpaneler. En ytterliggare fördel med tunnfilmssolceller är att de har en högre effekt och mindre effektförlust vid höga temperaturer påstår även Gill (2023). En stor nackdel med tunnfilmssolceller är däremot dess korta livslängd som ligger mellan 10-20 år, men även dess låga verkningsgrad som ligger på 7%-18%, detta enligt uppgifter från American Solar Energy Society (2021).

- **Organiska solceller** - Organiska solceller är semitransparenta och består av lager av polymer och kan produceras relativt billigt i hög volym, men har en stor nackdel i dess låga verkningsgrad, livslängd och hållfasthet, allt detta enligt University of Calgary (u.å.). Enligt National Renewable Energy Laboratory (u.å.) är framtiden för organiska solceller lovande, med en stigande livslängd som idag är mer än 10 år i icke-inkapsulerat tillstånd, samt med en verkningsgrad på 18.2%. National Renewable Energy Laboratory (u.å.) fortsätter även med att påstå att organiska solceller kan vara extra attraktiva för BIPV implementering med avseende på deras unika egenskaper gällande möjliga färgval och transparens. Enligt Trevor M. Letcher, Vasilis M. Fthenakis (2018) är tillverkningen även mindre energikrävande och materialanvändningen lägre för en organisk solcell jämfört med vanliga kristallina kiselceller, exempelvis krävs endast ett 1 µm tjockt lager polymerhalvledare jämfört med 100 µm för kiselhalvledare. Enligt Trevor M. Letcher,

Vasilis M. Fthenakis (2018) kan en organisk solcell ha en tjocklek på mindre än 1 mm, vidare behövs väldigt få miljö- och hälsofarliga ämnen vid tillverkningen som exempelvis bly och kadmium, vilket gör organiska solceller till ett mer miljömässigt hållbart alternativ jämfört med övriga tunnfilmstekniker. Trevor M. Letcher, Vasilis M. Fthenakis (2018) hävdar också att med förbättrade tillverkningsmetoder och ökad effektivitet kommer organiska solceller att användas i mycket högre grad och därtill vara den mest hållbara solcellstypen på grund av sin låga materialkostnad, tunnhet, flexibilitet, genomskinlighet, samt att den varken kräver miljöfarliga tungmetaller eller sällsynta jordartsmetaller för att tillverkas.

### 3.2 Tak

Olika byggnader och byggnadstyper skiljer sig från varandra i vilket material och vilken struktur de är byggda i och detta inkluderar även tak. I sin takguide, beskriver Björk (2005) grundläggande fakta bakom takbyggnad. Takets struktur måste anpassas efter vilket material det är byggt i, en övergripande bild av hur tak är uppbyggda går att se i figur 3. De vanligaste materialen är betong, sten, trä och stål eller annan metall som grundmaterial med en rad olika material, exempelvis tegel, papp eller takplåt som täckningsmaterial. Grundmaterialen används främst för att skapa en beständig struktur, vanligtvis ett fackverk som sedan täcks med ett ytterlager. Ytterlagrets huvudsakliga roll är att skydda byggnaden från regn, snö och liknande, men också behålla och reglera värme. Taktäckningsmaterialen måste därför vara vattentäta och miljöbeständiga samt ha en isolerande förmåga.

Även om det går att bygga tak i ett enda material, exempelvis aluminium eller betong är det vanligt att olika material kombineras eller används i olika delar av taket, exempelvis trä som struktur med tegel och papp som taktäckning. Strukturen på taket bestämmer formen på ytterlagret, därav kommer denna kommer vara avgörande för hur en eventuell solcellslösning kommer se ut, speciellt om solceller skall användas som byggmaterial.



Figur 3: Takstruktur

## 4 Intressenter

Följande kapitel identifierar projektets intressenter. Genom att identifiera och analysera varje intressents specifika behov och förväntningar med hjälp av en kundundersökning kan projektet skraddarsys för att tillfredsställa alla inblandade parter intressen.

### 4.1 Definiera intressenter

Projektet innefattar flera olika intressenter såsom villaägare, installatörer, fastighets- och byggtutvecklare, arkitekter och byggnadsdesigners, energiföretag, samt regulatoriska organ. Även tillverkning och transport utgör en del av projektet. De intressenter som kommer att ha störst fokus i projektet och under undersökningarna är villaägare, installatörer och regulatoriska organ då dessa förväntas leda till störst betydande förändring jämfört med tidigare lösningar. De övriga intressenterna inklusive tillverkning och transport kommer inte att ha lika stort fokus eftersom deras roller är mindre specifikt relaterade till projektets mål och har ingen betydande skillnad mot tidigare lösningar i detta skede.

Villaägare är centrala i projektet eftersom de är slutanvändare och har direkta ekonomiska och estetiska intressen. Det är viktigt att förstå deras behov och preferenser eftersom de är avgörande för produktens efterfrågan.

Installatörers kunskap och kompetens är viktigt för att säkerställa att installationen är korrekt utförd, säker och effektiv. Att involvera deras kunskap tidigt i projektet kan ge värdefull information om faktorer som bör beaktas under processens gång för att säkerställa att den framtagna koncepten möter både installationsvänlighet och tekniska krav.

Regulatoriska organ, som omfattar offentliga myndigheter och institutioner på alla nivåer från kommun till Europeiska Unionen, spelar en avgörande roll i fastställandet av normer och regler för byggnadsutformning. De regulatoriska organen är viktiga för projektet för att säkerställa att de framtagna koncepten är genomförbara samt utformade enligt bestämmelser.

Dessa intressenter spelar alla en central roll för projektets framgång och kommer att undersökas noggrant för att säkerställa att deras unika behov och förväntningar tas i beaktande under utvecklingen av estetiskt tilltalande solcellslösningar för villor.

### 4.2 Kundens röst

Efter att intressenterna definierats genomfördes en enkät samt intervjuer med experter. Den insamlade datan har varit till grund för att säkerställa att koncepten möter kunders behov på bästa möjliga sätt. Dessutom har den insamlade data spelat en central roll för att skapa både intressentbehovslista och för att ta fram kriterierna.

#### 4.2.1 Enkät

En enkät genomfördes för att få en djupare förståelse och analys av intressenterna. Enkäten riktades mot villaägare och skapades med hjälp av Microsoft Forms då det är ett enkelt och effektivt sätt att samla in data. Enkäten publicerades i olika Facebook-grupper som ansågs vara relevanta för att få så många svar som möjligt. Efter att enkäten legat ute i två veckor hade 76 stycken svar samlats in och det beslutades då att stänga den för fler svar, svaren går att se i bilaga A. Svaren på enkäten sammanfattades och en lista över kundbehov genererades utifrån detta.

Resultaten från enkätundersökningen visar att en majoritet av de som svarade antingen redan hade solceller installerade eller var intresserade av att skaffa dem. Anledningarna till att de som ännu inte hade solceller valt att avstå var främst på grund av höga kostnader eller att man var boende i lägenhet utan inflytande över taket, se bilaga A.

När det gäller synen på hur traditionella solceller påverkar takets utseende, var åsikterna delade. Vissa ansåg att solceller inte påverkade utseendet, medan andra menade att det försämrade takets estetik. I frågan om vikten av att solcellerna smälter in i takets stil och estetik, angavs i genomsnitt 6.49 på en skala 1 till 10, se bilaga A.

En intressant observation var att majoriteten uttryckte ett intresse för en lösning där solcellerna är mindre synliga på taket, se bilaga A. Detta tyder på att det finns ett ökat intresse för estetiskt diskreta alternativ för solceller på byggnader.

Flera potentiella problem med att ha solceller som byggnadstak identifierades. Kostnaden framstod som ett betydande hinder, med högre installationskostnader och mindre effektivitet jämfört med traditionella solcellstak. Dessutom noterades brister i vädersäkerhet och takläckage, vilket de menade inte täcks av försäkringen. Bärighet,

teknisk komplexitet, reparationer samt integreringen av solcellerna i takets estetik utgjorde också bekymmer, se bilaga A. Dessa frågor understryker vikten av noggrann planering och forskning för att tackla de tekniska, ekonomiska och estetiska utmaningarna med solcellstak.

Enligt enkätsvaren finns det flera fördelar med att ha solceller som byggnadstak. Många ansåg att solceller integrerade som takmaterial var estetiskt mer tilltalande än traditionella lösningar. Utöver det identifierades fördelar såsom maximalt utnyttjande av takytan som även kan öka fastighetens värde över tid. Dessutom uppmärksammades miljövänliga aspekter såsom minskat behov av fossila bränslen och därmed minskad miljöpåverkan, se bilaga A. Dessa fördelar belyser den potentiella förmågan för solcellstak att vara en funktionell lösning för både energiproduktion och estetiskt tilltalande byggnadsdesign.

I den sista frågan i enkäten, där intressanta åsikter om solceller skulle lyftas, framkom ett antal intressanta synpunkter. Bland annat lyftes bristfälliga ekonomiska modeller för att beräkna återbetalningstid. En annan respondent valde att placera sina solceller på marken för att undvika framtida problem med taket och förbättra kylningen. En tredje respondent uttryckte intresse för vertikala solceller på väggar för att underlätta undanröjande av snö på vintern. Idén om en kombinerad sol-, vind- och vattendriven cell väckte också intresse för att öka energiproduktionens effektivitet. Vissa respondenter förespråkade att solceller borde vara obligatoriska på alla tak och att det borde finnas mer krav och incitament för installationen. Frågor om lönsamhet, kostnadsminskning och miljöpåverkan diskuterades också, se bilaga A.

#### 4.2.2 Intervju

Intervjuer genomfördes med två experter inom solceller och installationstekniker. Målet med intervjuerna var att få en bredare förståelsen för ämnet genom att ta del av respondenternas erfarenheter. För att möjliggöra samtal trots geografiska avstånd, ägde intervjuerna rum över telefon. Intervjuerna underlättade identifiering av kundens behov genom att samla åsikter från intervjuade personer samt genom att dela insikter om vad villaägaren föredrog baserat på deras erfarenheter.

Den första intervjun genomfördes med Malte Rungård, anställd hos Husägarna där han arbetar som byggnadstekniker och rådgivare. Under genomförandet av intervjun uppstod tekniska svårigheter med ljudinspelningssystemet, vilket förhindrade en korrekt inspelning av samtalet. På grund av dessa oväntade omständigheter kunde ingen audiovisuell dokumentation skapas. Istället baseras den dokumenterade informationen från intervjun på omfattande anteckningar som gjordes av intervjuaren under mötet. Anteckningarna från intervjun sammanfattades till en text som omfattar de centrala frågeställningarna som diskuterades under mötet, se bilaga B.

Den andra intervjun utfördes med Oskar Öhrman, som är anställd hos Svensk Solenergi och har en utbildningsbakgrund som civilingenjör inom energisystem från Mälardalens universitet. Denna intervju var inriktad på att inhämta specialiserade insikter om solceller. För att säkerställa noggrannhet i datainsamlingen spelades intervjun in, vilket möjliggjorde en detaljerad genomgång av de diskuterade punkterna vid senare analys. Efter inspelningen transkriberades intervjun för att underlätta en systematisk granskning av det insamlade materialet, se bilaga C.

### 4.3 Intressentbehovslista

Genom en enkätundersökning (se bilaga A) samlades information om vilka behov och förutsättningar de som svarade hade angående integrerade solcellstak. De framgick att pris och boendeförhållanden var avgörande för om de som svarade hade installerat solceller eller var beredda att göra det. Vidare ansåg en majoritet av de tillfrågade att de skulle vara intresserade av en solcellslösning där solcellerna var mer diskreta. En stor del av de tillfrågade ansåg att ”traditionella” solpaneler försämrade utseendet på hus.

Grundläggande intressenters behov är följande:

- Ett tak som överensstämmer med byggnormen.
- Ett tak där solcellerna ”smälter in” i hustaket.
- Ett tillräckligt lågt pris för att konkurrera med etablerade solcellslösningar och kostnader för takbyte eller takets kostnad vid nybyggnation av hus.
- Minimera negativ miljöpåverkan

## 5 Funktionsanalys

I detta kapitel fördjupas kunskaperna om funktionerna som ingår i ett tak. Ett funktionsträd på hur ett tak fungerar tas fram för att sedan kunna ställa relevanta krav på ett solcellstak. Funktionerna kommer sedan att användas för brainstorming av kriterier till kapitel 6.

### 5.1 Funktionsträd

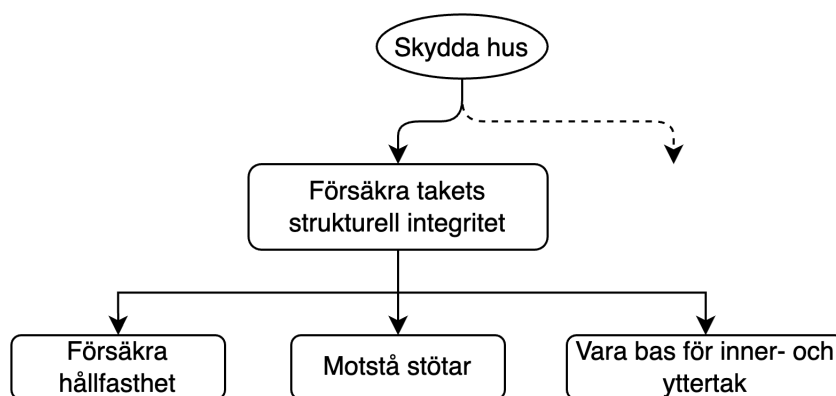
Ett funktionsträd (se kapitel 2.4) av taket valdes som analysverktyg, då takets alla delar anses vara uppbyggt av flera stödjande underfunktioner. Taket har flera delsystem med respektive huvudfunktioner som trädet delas upp i. Huvudfunktionen "Skydda hus" är högst upp och eftersom trädet är brett med många underfunktioner så delas denna upp för att enklare kunna visualiseras i figurerna nedan. Funktionerna har olika nivåer där den underordnade funktionen "bygger upp" den överordnade funktionen. Alltså kräver den lägsta nivån i varje gren en egen dellösning.

Systemgränsen för lösningen beslutades att omfatta hela taket med alla dess beståndsdelar, från innertak till taktäckning och även solcellerna som ska integreras. De övergripande underfunktionerna anses vara följande:

- Försäkra takets strukturella integritet
- Täcka hus
- Isolera hus
- Ventilera hus
- Dränera tak

#### Försäkra takets strukturella integritet

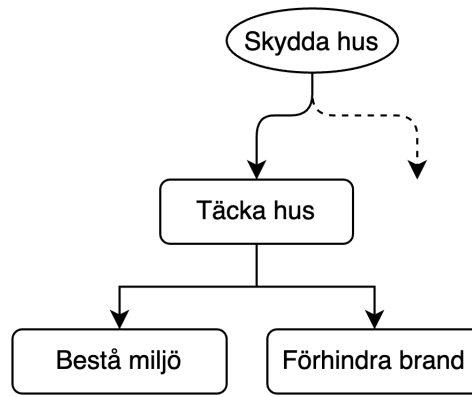
Det ställs flera krav på hållfastheten för tak från Boverket i Sverige och motsvarande i andra länder. Enligt Björk (2005) handlar hållfasthetskraven kortfattat om bärförmåga och stadga vilket kan sammanfattas med funktionen "Försäkra takets strukturella integritet", se figur 4. Det strukturella taket tar även upp stötar, exempelvis om grenar faller på taket, vilket blir funktionen "Motstå stötar". En sista underfunktion till det strukturella taket är att vara bas för yttertaket genom att förse inner- och yttertaket med infästning och flödesnätverk (kabeldragning och ventilation).



Figur 4: Funktionsträd: Försäkra takets strukturella integritet

#### Täcka hus

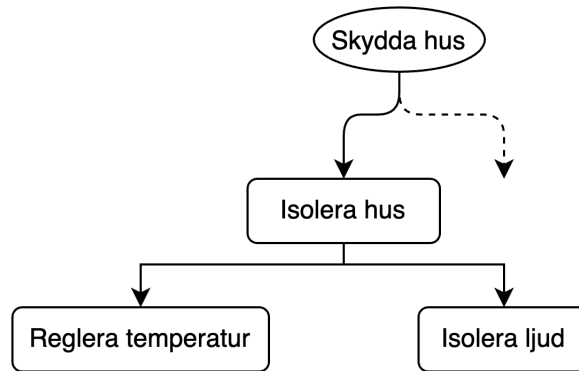
Taket måste kunna bestå användningsmiljön (vatten och strålning), därav skapas funktionen "Bestå miljö", se figur 5. Även "förhindra brand" blir underfunktion till "Täcka hus" då detta är ett av taktäckningens viktiga funktioner..



Figur 5: Funktionsträd: Täckta hus

### Isolera hus

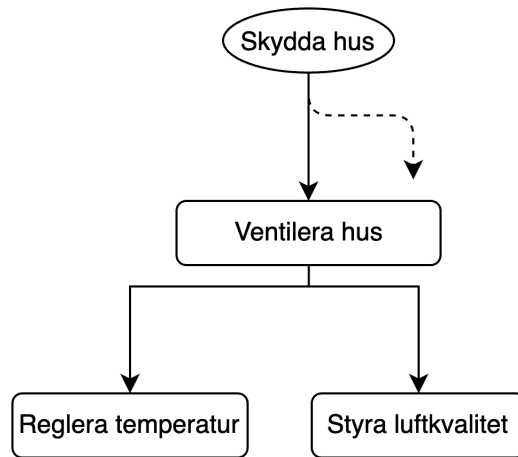
Enligt Björk (2005) kan ett tak vara kallt eller varmt vilket medför olika krav. Dock behöver den gemensamma funktionen "Isolera hus" alltid vara där med olika utsträckning. Underfunktionerna till denna anses vara "Reglera temperatur" och "Isolera ljud", se figur 6 för funktionsträdet.



Figur 6: Funktionsträd: Isolera hus

### Ventilera hus

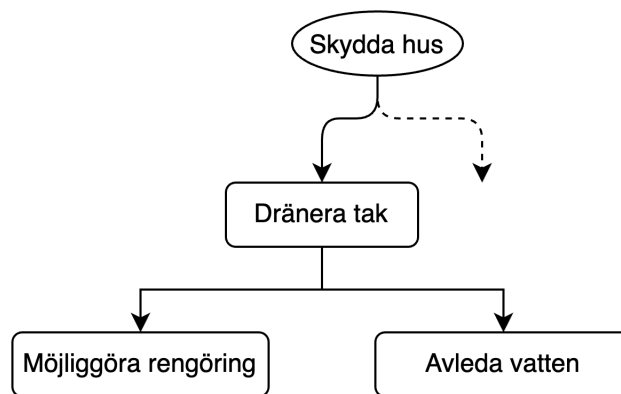
Beroende på om taket är kallt eller varmt behöver huset ventileras genom taket på olika sätt enligt Björk (2005). Funktionen "Ventilera hus" är viktigt för både luftkvalitet och temperaturreglering och som resulterande av dessa även regleringen av fukt, se figur 7 för tillhörande funktionsträd.



Figur 7: Funktionsträd: Ventilera hus

### Dränera tak

För att kunna förebygga fukt i taket, möjliggöra rengöring av solcellerna samt avleda vatten skapas funktionen "Dränera tak", se figur 8.



Figur 8: Funktionsträd: Dränera tak

## 6 Krav och önskemål

I detta avsnitt sätts krav och önskemål på alla koncept som kommer att vara till grund för utvärdering. Först används brainstorming för att upptäcka kriterier som ska ställas på koncepten. Kriterierna bör inkorporera hela konceptens livscyklar från alla väsentliga intressenter enligt kapitel 4.1. Beskrivningar av alla kriterier ges för att skapa en klar bild av vad de avser. Efter att kriterierna har definierats skapas en kravspecifikation (se kapitel 2.5) där även målvärde och verifieringsmetod står med.

### 6.1 Kriterier

I Tabell 1 listas alla kriterier som anses vara aktuella för givna intressenter samt konceptens livscyklar. Till vänster i tabellen numreras kriterierna och till höger listas tillhörande intressent. Några aspekter som var i åtanke under brainstormings-momentet var produktens livscyklifaser (anskaffning, tillverkning, användning och avfall), funktionsmål och intressentbehov. Meningen med att sätta kriterier på koncepten är för att styra utvecklingsarbetet i en önskad riktning och samtidigt försöka uppnå de funktionsmål och intressentbehov som ställts på dem. Värt att notera är att dessa kriterier sätts i det första skedet av utvecklingsarbetet med hög abstraktionsnivå och kriteriernas detaljnivå följer samma osäkerhet. Desto längre utvecklingen fortgår desto mer specifika och detaljerade kommer kriterierna bli.

Tabell 1: Framtagna kriterier

Nummer	Kriterium	Intressent
1	Livslängd på solcell	Användare
2	Livslängd på strukturellt tak	Användare
3	Livslängd på taktäckning	Användare
4	Arbetstemperatur solceller	Användare
5	Temperaturintervall användningsmiljö	Användare
6	Taktäckning vattenresistens	Användare
7	Taktäckning stöttålighet	Användare
8	Ljudisolering	Användare
9	Fukt i taket	Användare
10	Förorening från solceller	Regulatoriska organ
11	Demontering	Installatör
12	Underhåll	Användare/installatör
13	Underhåll åtkomlighet	Användare/installatör
14	Rengöring	Användare
15	Hanterbarhet taktäckning	Installatör
16	Vikt komponent	Installatör
17	Transparens yttre skikt	Användare
18	Miljöbeständigt material	Användare
19	Temperaturreglering	Användare
20	Brandsäkerhet	Användare/regulatoriska organ
21	Elsäkerhet	Installatör/användare
22	Läckage av farliga ämnen	Regulatoriska organ
23	Elgenerering	Installatör/användare
24	Hållfasthet	Användare
25	Återvunnet material	Regulatoriska organ
26	Återvinningsbarhet	Regulatoriska organ

### 6.1.1 Kriteriebeskrivning

1. Livslängd solcell - Kriteriet avser en årlig procentuell degradering av solcellens nominella effekt.
2. Livslängd strukturellt tak - Kriteriet avser en viss tidsperiod som det strukturella taket ska bibehålla hållfasthet samt funktionalitet.
3. Livslängd taktäckning - Kriteriet avser en viss tidsperiod som taktäckningen ska bibehålla dess funktionalitet.
4. Arbetstemperatur solceller - Kriteriet avser ett accepterat temperaturintervall som solcellerna klarar av för att bibehålla en viss procent av nominell effekt.
5. Temperaturintervall användningsmiljö - Kriteriet avser ett accepterat temperaturintervall där solcellerna inte tar skada, exempelvis genom brand eller sprickor.
6. Taktäckning vattenresistens - Kriteriet avser mängd vatten som taktäckning släpper igenom.
7. Taktäckning stöttålighet - Kriteriet avser en viss brottseghet. Tillräcklig för att klara av naturligt förekommande objekt som stöter till ytterskiktet, exempelvis fallande grenar och hagel, utan att taket tappar sin funktionalitet.
8. Ljudisolering - Kravet avser den högsta ljudnivå i dB som får förekomma utan att särskilt ljudisolerande åtgärder behöver vidtas.
9. Fukt i taket - Det måste gå att ventilerat innertaket och det får inte samlas fukt mellan ytter- och innertaket. Kravet avser att förhindra fuktuppsygnad.
10. Förorening från solceller - Kriteriet avser en viss mängd av farliga ämnen som får läcka ut i naturen under hela livscykeln.
11. Demontering - Kriteriet avser att produkten ska vara designad för att kunna demonteras i återvinning- eller reparations syfte i slutet av sin livscykel.
12. Underhåll - Det skall gå att utföra underhåll och reparationer på enskilda komponenter.
13. Underhåll åtkomlighet - Samtliga delar ska vara åtkomliga för underhåll och därav kunna klara egentyngden av en person.
14. Rengöring - Solcellerna ska kunna rengöras av vatten och all smuts ska falla av.
15. Hanterbarhet taktäckning - Det skall vara möjligt för två installatörer att installera och reparera komponenter som ska hanteras manuellt, detta för att underlätta installation och reparation/underhåll.
16. Vikt komponent - Detta kriterium avser varje komponents vikt som två installatörer ska manuellt kunna lyfta tillsammans.
17. Transparens yttre skikt solcell - Detta kriterium avser procent av ljus som släpps igenom.
18. Miljöbeständigt material - Kriteriet avser att alla material som utsätts för utemiljön ska klara av miljön utan någon betydande degradering eller förlust av funktion under dess förutsatta livslängd.
19. Temperaturreglering - Kriteriet avser en viss nivå av isolering från utemiljön.
20. Brandsäkerhet - Kriteriet avser takets förmåga att kunna självantändas eller propagera en brand.
21. Elsäkerhet - Kriteriet avser att taket samt solcellsinstallationen ska lyda de standarder som finns.
22. Läckage av farliga ämnen - Kriteriet avser att minska risken av potentiella farliga ämnen läcker ut i naturen vid defekter eller skador till solcellens strukturella integritet.
23. Elgenerering - Kriteriet avser anläggningens totala elgenerering i effekt/yta.
24. Hållfasthet - Kriteriet avser att taket skall ha hållfasthet enligt rådande byggstandard, gällande självlast, yttre last samt att en människa ska kunna gå på taket utan att det går sönder.
25. Återvunnet material - Kriteriet avser att en andel använt material ska vara återvunnet material från början.
26. Återvinningsbarhet - Kriteriet avser att en andel av materialet som ska kunna återvinnas.

## 6.2 Verifieringmetoder

För att kunna verifiera målvärdet och dra en slutsats huruvida konceptet nådde målvärdet krävs en specifik metod. För att kunna verifiera vikt krävs 3D modeller i Computer-Aided Design (CAD) och materialets densitet. Nedan listas alla verifieringsmetoder som används och i kapitel 6.3 fördelas dessa till tillhörande kriterium.

- Hållfasthetssimulering
- Finit Element Metod (FEM) simulering
- Fysiskt test
- Materialspecifikation
- Design for assembly (DFA) analys
- CAD

## 6.3 Kravspecifikation

För att sammanställa ovan avsnitt skapas kravspecifikationen där alla krav och önskemål ställs på en slutlig produkt. Kravspecifikationen ett levande dokument och kommer förändras längre in i utvecklingsarbetet och med lägre abstraktionsnivå. Naturligt uppkommer en problematik med den valda tidshorizonten då särskilda kriterier som ställs nu kanske inte är relevanta när koncepten är mogna. Dessa kriterier kan till exempel innefatta teknisk utveckling, som kriteriet om "Livslängd solcell" där degraderingen kanske sänks med tiden om framsteg inom tekniken sker.

Önskemålen rangordnas på grunden av relevans enligt projektgruppen för att prioritera vilket av önskemålen som bör fokuseras på först. Den första kravspecifikationen kan ses nedan i tabell 2.

fystest CAD/fystest

Tabell 2: Kravspecifikation

Kriterium	K/Ö	Rank	Målvärde	Enhet	Verifieringsmetod
<b>1. Livslängd</b>					
Livslängd solcell	Ö	2	1	%	
Livslängd strukturellt tak	K		50	år	Hållfasthetssimulering
Livslängd strukturellt tak	Ö	1	100	år	Hållfasthetssimulering
Livslängd taktäckning	K		30	år	Hållfasthetssimulering
<b>2. Användningsmiljö</b>					
Arbetstemperatur solcell	K		-40 – 65	°C	FEM simulering
Temperatur användningsmiljö	K		-40 – 85	°C	FEM simulering
Taktäckning vattenresistens	K		0	%	Fysiskt test
Taktäckning stöttålighet	K		5400	Pa	Hållfasthetssimulering
Ljudisolering	K		56	dB	Fysiskt test
Fukt i taket	K		18	%	Fysiskt test
Förorening från solceller	K		Ja/Nej		Materialspecifikation
<b>3. Underhåll</b>					
Demontering	K		Ja/Nej		DFA analys
Underhåll	K		Ja/Nej		
Underhåll åtkomlighet	K		1473	N	CAD och hållfasthetssimulering
Rengöring	Ö	6	5	%	CAD
<b>4. Storlek</b>					
Hanterbarhet taktäckning	K		Ja/Nej		CAD
Vikt komponent	K		30	kg	CAD
<b>5. Material</b>					
Transparans yttre skikt solcell	K		1000	$W/m^2$	Materialspecifikation
Miljöbeständigt material	K		Ja/Nej		Materialspecifikation
Temperaturreglering	Ö	4	0.33	$W/m^2$ K	Materialspecifikation
<b>6. Säkerhet</b>					
Brandsäkerhet	K		Ja/Nej	B-s1,d0	Fysiskt test
Elsäkerhet	K		Ja/Nej		
Läckage av farliga ämnen	Ö	5	Ja/Nej		Materialspecifikation
<b>7. Prestanda</b>					
Elgenerering	Ö	3	150	$(kWh/m^2)/\text{år}$	Fysiskt test
Hållfasthet	K		Ja/Nej		Hållfasthetssimulering
<b>8. Återvinning</b>					
Återvunnet material	Ö	8	30	%	Materialspecifikation
Återvinningsbarhet	Ö	7	80	%	Materialspecifikation

## 7 Framtagning av koncept

I följande avsnitt beskrivs de olika stegen och processerna som genomförts för att välja de mest passande koncepten. Det inkluderar en översikt över hur olika idéer och förslag har framtagits, utvärderats, testats och utvecklats genom två iterationer. Avsnittet ämnar att säkerhetsställa att koncepten är välgrundade och genomtänkta för vidare utveckling och realisering.

Ett antal kriterier valdes ut med utgångspunkt i kravspecifikationen, Tabell 2. Dessa kriterier användes som riktlinjer i matriser för att utvärdera olika koncept baserat på hur väl de uppfyller kriterierna. Vissa av de valda kriterierna modifierades på grund av svårigheten att bedöma huruvida kraven kan uppfyllas, med avseende på hur oförutsägbara framtida möjligheter är. Nedan presenteras kriterierna som kommer att användas under Iteration I och Iteration II.

- **Elgenerering:** mängden elektricitet som systemet genererar.
- **Installation:** en bedömning av hur enkelt och snabbt systemet kan installeras eller integreras i befintliga strukturer.
- **Kostnad:** den totala ekonomiska investeringen som krävs för att köpa och installera systemet.
- **Estetik:** systemets utseende och hur väl det passar in i den omgivande miljön.
- **Reparation:** frekvensen och komplexiteten av reparationer som kan krävas under systemets livstid.
- **Underhållsbehov:** hur mycket underhåll som krävs för att hålla systemet i drift.
- **Hållfasthet:** systemets förmåga att koncepten innan den går sönder.
- **Tillverkning:** en bedömning av hur svår det är att tillverka det framtagna koncepten.
- **Livslängd:** förväntad tid innan systemet behöver ersättas.
- **Stöttålighet:** systemets förmåga att hantera stötar eller kollisioner utan att ta betydande skada.
- **Innovation:** grad av nyskapande teknik eller design som systemet erbjuder jämfört med befintliga alternativ.
- **Brandsäkerhet:** systemets förmåga att motstå brand.
- **Rengöring:** en bedömning av hur lätt systemet är att rengöra och underhålla för att hålla det i gott skick.
- **Tilläggsfunktioner:** eventuella extrafunktioner eller fördelar som systemet erbjuder utöver grundläggande funktioner.
- **Anpassningsbar:** systemets flexibilitet och möjlighet att anpassa sig till olika tak oberoende av dess form.

### 7.1 Iteration I

Följande avsnitt beskriver arbetsgången för att ta fram, utvärdera och sälla konceptkategorier för solceller som byggnadstak. Det innefattar både att generera olika koncept och att välja ut de mest lovande för vidare utveckling, samt att sälla bort mindre lämpliga alternativ.

#### 7.1.1 Idégenerering konceptkategorier

Med stöd från Funktionsträdet som går att se i figur 4 - 8 identifierades ett antal delfunktioner som sedan användes i en Morfologisk matris (se bilaga D). Det idégenererades sedan fram flera alternativa lösningar för varje delfunktion som sedan kombinerades för att skapa olika koncept som sammanställdes i en koncept katalog (se bilaga E). Under processens gång framkom det att det var en ineffektiv strategi att fokusera på att utveckla specifika koncept enskilt. Därför omvärderades användningen av den Morfologiska matrisen, som istället för att generera specifika koncept, enbart användes för att strukturera hela konceptkategorier och således skapa en strukturerad idégenerering. Koncepten med liknande egenskaper grupperades alltså inom samma kategori. Detta resulterade i åtta olika konceptkategorier som representerar olika strategier och metoder för att använda solenergi i byggnadstak, vilka presenteras nedan.

- **Integrera Täckning:** Denna kategori omfattar solcellslösningar där solcellerna är integrerade direkt i byggnadsmaterialet, såsom tegelpannor eller takplåt. Kategorin fokuserar på estetiskt tilltalande design som smälter in med dagens tak, samtidigt som det effektiviserar installationen och minimerar synligheten av solcellerna.

- **Försänkt:** Denna kategori innefattar solcellssystem där panelerna/solcellerna är monterade i en försänkt position på taket, vilket skapar en slät och enhetlig yta. Denna teknik gör det möjligt att integrera solcellerna direkt i takets struktur utan att påverka byggnadens yttre profil. Försänkta solcellsinstallationer erbjuder en diskret och effektiv lösning för elproduktion på tak med särskilda estetiska krav.
- **Enbart solceller:** Denna kategori definierar system där solceller självständigt gör upp hela byggnadstaket. I detta upplägg är näst intill hela takets ytor täckta av solceller. Användning av enbart solceller maximerar ytan för elproduktion, samtidigt som det tillför en hållbar struktur som även är miljöbeständig.
- **Tak på tak:** I denna kategori implementeras en konstruktion där taket består av två separata lager, med det undre lagret bestående av solceller. Denna design tillåter solcellerna att vara fullt integrerade men täckt med ett skyddande lager. Denna kategori innebär en multifunktionell lösning som inte bara genererar el utan också erbjuder förbättrad isolering och skydd mot väderpåverkan. Dubbellagrade solcellstak är särskilt lämpliga för områden med hårt väder.
- **BautaPanel:** Denna kategori beskriver en innovativ metod där taket täcks av en enda stor solpanel istället för flera mindre paneler. Genom att använda en enda stor solpanel, eller en BautaPanel", kan man skapa en enhetlig och kontinuerlig yta som täcker hela taket. Denna kategori ökar arean täckt av solceller samt effektiviteten genom att eliminera mellanrum mellan panelerna och minimera förluster relaterade till skuggning och kabellängder.
- **Miljöanpassat:** Denna kategori fokuserar på solcellssystem som är utformade för att anpassa sig efter och skydda sig mot den lokala miljön. Dessa system utrustas med teknologier och designlösningar som gör dem resistenta mot väderpåverkan såsom stark vind, kraftig nederbörd och temperaturväxlingar, samtidigt som de optimeras för att dra maximal nytta av solljuset under de viktigaste soltimmarna. Miljöanpassade solcellssystem inkluderar även smarta positioneringslösningar som automatiskt kan justera vinkeln på solpanelerna för att optimera solljusexponeringen under olika tider på dagen och årstider.
- **Spegel:** Denna kategori omfattar solcellssystem som använder speglar för att koncentrera solstrålning mot solcellerna och därigenom öka elproduktionen. Med hjälp av denna tekniken fokuseras solljus intensivt på en mindre yta med hög-effektiva solceller, vilket ska optimera energiutvinning och minska behovet av material såsom tungmetaller. Dessa system är särskilt effektiva i solrika områden och minimerar både kostnad och miljöpåverkan.
- **Utöka cellarean:** Denna kategori innefattar strategier för att maximalt utnyttja och eventuellt utöka tillgängliga ytor för installation av solceller. Målet är att placera så många solceller som möjligt på befintliga ytor eller att skapa nya ytor där solceller kan installeras. Genom att öka antalet solceller kan man effektivt öka elproduktionen. Denna metod är en passande lösning för tak med en tillsynes otillräcklig yta.

### 7.1.2 Sällning

De åtta konceptkategorierna som tidigare identifierades under processens gång genomgick en utvärdering med hjälp av en Pughmatris, se kapitel 2.7.1. Varje konceptkategori jämfördes med en referenslösning utifrån relevanta kriterier. Referenslösningen utgjordes av dagens lösning med takmonterade solpaneler. Denna lösning valdes som referens eftersom den uppfyller de mest relevanta kriterierna enligt kravspecifikationen. Egenskaperna hos referenslösningen jämfördes sedan med förväntad prestanda inom varje kriterium, för varje konceptkategori, för att säkerställa en noggrann och rättvis utvärdering. En nettovärdering av antalet "+" och "-" beräknades för varje konceptkategori och alla kategorier rangordnades sedan från 1 till 9, där 1 representerade den bästa och 9 den sämsta lösningen. Därefter fattades beslut om vilka konceptkategorier som skulle tas vidare i processen och vilka som skulle sällas bort. Efter sammanställning av hela Pughmatrisen (Se Tabell 3) beslutades det att arbetet skulle fortsätta med kategorierna "Integrera Täckning", "Försänkt", "Enbart solceller", "Miljöanpassat" och "Utöka cellarean". De kategorier som sällades bort var "Tak på tak", "BautaPanel" och "Spegel", på grund av deras låga betyg och avsaknad av förbättringar gentemot dagens lösning. Dessutom ansågs de sällade kategorierna stöta på fysiska utmaningar gällande teoretisk genomförbarhet.

Tabell 3: Pugh-matris 1

Kriterium	Alternativ								
	Dagens lösning	Integrerad täckning	Försänkt	Enbart solceller	Tak på tak	Bauta-Panel	Miljö-anpassat	Spegel	Utöka cellarean
Elgenerering	R	+	+	+	-	+	0	+	+
Installation	E	-	-	+	-	-	0	-	-
Kostnad	F	0	-	+	-	-	-	-	0
Estetik	R	+	+	+	+	+	+	-	0
Reparation	E	0	-	-	-	-	-	-	-
Underhålls-behov	F	0	+	0	+	0	-	-	-
Hållfasthet	R	+	+	-	-	-	+	-	-
Tillverkning	E	-	0	0	-	-	-	0	0
Livslängd	F	-	-	-	0	0	0	-	-
Stöttålighet	R	0	+	-	+	-	-	-	-
Innovation	E	+	+	+	+	+	+	+	+
Brand-säkerhet	F	-	-	-	-	-	0	-	-
Rengöring	R	+	+	+	+	+	+	-	+
Tilläggs-funktioner	E	+	+	0	-	-	+	0	0
Anpassningsbar	F	0	0	-	-	-	+	+	+
$\sum +$	0	6	8	6	5	4	6	3	4
$\sum 0$	15	5	2	3	1	2	4	2	4
$\sum -$	0	4	5	6	9	9	5	10	7
Nettovärde	0	2	3	0	-4	-5	1	-7	-3
Rangordning	4	2	1	4	7	8	3	9	6
Beslut									

Efter den första Pughmatrisen genomfördes ytterligare en utvärdering med hjälp av en andra Pughmatris (Se Tabell 4) för att kontrollera validiteten av resultaten från den första omgången, med en annan referenslösning denna gång. Endast de kvarvarande konceptkategorierna från första Pughmatrisen genomgick den andra omgången av matrisen, eftersom tre stycken hade sållats bort efter första. De kvarvarande lösningarna jämfördes med den som rankades högst i den första omgångens Pughmatris, alltså användes Försänktsom referens. Efter utvärderingen av den andra Pughmatrisen beräknades ett nettovärde för varje konceptkategori. Det framkom att kategorin "Utöka cellarean"erhöll betydligt lägre poäng jämfört med andra alternativ och det beslutades därför att även den kategorin skulle sållas bort.

Tabell 4: Pughmatris 1.2

Kriterium	Alternativ				
	Integrerad täckning	Försänkt	Enbart solceller	Miljöanpassat	Utöka cellarean
Elgenerering	0	R	+	-	+
Installation	0	E	+	0	-
Kostnad	-	F	0	0	-
Estetik	+	R	+	0	-
Reparation	+	E	-	-	-
Underhållsbehov	-	F	0	-	0
Hållfasthet	0	R	-	0	-
Tillverkning	-	E	-	0	0
Livslängd	0	F	0	+	0
Stöttålighet	0	R	-	-	-
Innovation	+	E	+	+	+
Brandsäkerhet	0	F	+	+	0
Rengöring	-	R	0	0	-
Tilläggsfunktioner	-	E	-	0	-
Anpassningsbar	+	F	-	+	+
$\sum +$	4	0	5	4	3
$\sum 0$	6	15	4	7	4
$\sum -$	5	0	6	4	8
Nettovärde	-1	0	-1	0	-5
Rangordning	3	1	3	2	5
Beslut					

### 7.1.3 Beslut

Följande fyra konceptkategorier valdes att vidareutvecklas: "Integrera Täckning", "Försänkt", "Enbart solceller" och "Miljöanpassat".

## 7.2 Iteration II

Följande avsnitt beskriver arbetsgången för den andra iterationen av idégenerering, där flera koncept inom varje konceptkategori genereras och sedan utvärderas.

### 7.2.1 Idégenerering

Genom skisser och brainstorming genererades flera koncept inom varje konceptkategori för att utforska olika lösningsgångar och idéer. För varje kategori genomfördes en individuell session där varje medlem i gruppen skissade sina idéer och presenterade dem för resten av gruppen, se bilaga F. Därefter beskrevs varje koncept kort i text, vilket presenteras här nedan.

#### Integrera Täckning

- I1: Plåtplåster - Vanligt metallplåtstak med solceller av tunnfilm ovanpå. Mellan plåten kan det finnas skårar att gå på.
- I2: Kamouflerad tegelpanna - Solceller av kisel som är monterade på takpannor med ett litet staket eller böld som täcker självaste solcellen.
- I3: Pannplåster - Tegelpannor med vågprofil med solceller av tunnfilm klistrade över sektioner av takpannor.
- I4: Täckning=Solcell - Varje del eller panna av taktäckningen utgör en individuell solcellsmodul och består helt av solceller.

#### Försänkt

- F1: Försänkta sektioner - Några områden på taket är försänkta och utrustade med solcellspaneler medan resten av taket kan ha annat utseende, exempelvis takpannor. På så sätt är solcellerna icke synliga för

åskådare som betraktar taket från marknivå.

- F2: Ramar - Ramar tillverkade av material som exempelvis metall, innehåller försänkta solceller. Genom att integrera solcellerna i ramarna och genom fogning skapas en jämn yta, där ramens färg anpassas efter solcellen för att smälta in och dölja gränsen mellan dem.
- F3: Duschbrunnen - Taket är utformat med lutande sidor som riktar sig mot mitten och sluttar neråt för att leda vattnet till en central ränna i taket.
- F4: Jeep - Designa taket så att det liknar solpanelernas stil istället för att göra det omvända, och sedan kan flera tilläggsfunktioner läggas till, likt på en Jeep med dess multifunktionalitet.

### Enbart Solceller

- E1: Växthus - Använda organiska solceller i en konstruktion som liknar ett växthus.
- E2: Celltak - Designa strukturen likt ett växthus men utan att solcellerna är genomskinliga, vilka kan vara monokristallina solpaneler.
- E3: 4-i-rad - Ett skelett av aluminium där solpaneler kan skjutas in mellan profilerna. Panelerna förses med en gummitätning för att säkerställa tätning och skydd. Profilerna erbjuder utrymme för anpassningar och ytterligare modifieringar, såsom installation av innertak, ledningar och isolering mot isbildning.

### Miljöanpassat

- M1: Rullgardin - Likt en rullgardin bestående av tunnfilm som kan rullas ut på en liten räls när solen skiner och sedan rullas in när det exempelvis regnar eller blåser. Rullgardinen kan potentiellt dras ut på båda sidor av taket för ökad flexibilitet.
- M2: Flip - Små solceller som kan vändas 180 grader för att undvika påverkan från exempelvis vinden, alternativt utformade som persienner.
- M3: Tågräls - Ett antal solpaneler som täcker en sida av taket och kan gradvis förflyttas via räls till den andra sidan när solen förflyttar sig från ena sidan till den andra.
- M4: Slide - Solpanelen framträder från undersidan av taktäckningen och täcker panelen under den, som i sin tur täcker den underliggande panelen. Dessa kan sedan fällas in igen vid behov.
- M5: Laptop - Utfällbara solpaneler, placerade med intervall på ungefär varannan rad och fälls ut, likt hur en laptop öppnar upp runt ett gångjärn, detta under fördelaktiga väderförhållanden. När de är infällda efterliknar de utseendet av ett normalt tak.
- M6: Följ solen - Gradvis rörelse för att följa solen, eventuellt med hjälp av hydraulik eller tryckluft kring ett gångjärn.

### 7.2.2 Sällning

Efter den andra iterationen genererades 17 olika koncept som sedan gick igenom en sällningsprocess med hjälp av två olika matriser, Pughmatris och Kesselringmatris (se kapitel 2.7.1 och 2.7.2). Dessa matriser användes för att genomföra jämförelser mellan koncepten. Elimineringsprocessen inleddes med två iterationer av Pughmatrisen. Vid första iterationen (Se Tabell 5) användes dagens lösning som referenslösning. Denna lösning är relevant som referens eftersom att den representerar dagens lösning som kan utvecklas. I Pughmatrisen jämfördes koncepten med den referenslösningen baserat på flera kriterier. Efter den första iterationen av Pughmatrisen eliminerades de sju koncept som erhöll de lägsta nettovärdena vilka var I4, F2, F3, M2, M3, M4 och M6. Konceptet I2, försänkta sektioner, fick det högsta nettovärdet.

Tabell 5: Pughmatris 2.1

Kriterium	Alternativ																	
	Dagens lösning	I1	I2	I3	I4	F1	F2	F3	F4	E1	E2	E3	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Elgenerering	R	0	-	0	+	0	+	0	0	0	+	+	-	0	+	-	0	+
Installation	E	+	0	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Kostnad	F	0	-	0	-	0	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Estetik	R	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	0	+	-	+	+	+
Reparation	E	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	0	0	-	-	0	0	-
Underhållsbehov	F	0	-	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
Hållfasthet	R	+	0	+	-	0	0	-	-	0	0	0	0	-	-	0	0	0
Tillverkning	E	-	-	-	0	0	0	-	-	0	+	+	-	-	-	-	-	-
Livslängd	F	-	-	0	-	0	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-
Stöttålighet	R	-	0	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	0	0	0	0	-
Innovation	E	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Brand-säkerhet	F	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	+	-	-	-	-	0
Rengöring	R	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	0	0	-	-	0	0
Tilläggsfunktioner	E	+	0	0	-	0	-	-	+	-	-	-	+	-	-	0	0	0
Anpassningsbar	F	+	+	+	+	0	0	-	0	0	0	0	+	-	0	+	+	-
$\sum +$	0	8	4	7	5	3	3	3	6	5	7	7	6	2	2	3	3	3
$\sum 0$	15	5	4	5	1	8	5	2	3	6	4	5	5	3	2	4	6	4
$\sum -$	0	3	7	3	9	4	7	10	6	4	4	3	4	10	11	8	6	8
Nettovärde	0	5	-3	4	-4	-1	-4	-7	0	1	3	4	2	-8	-9	-5	-3	-5
Rangordning		1	9	2	11	8	11	15	7	6	4	2	5	16	17	13	9	13
Beslut																		

Pughmatrisen implementerades återigen (Se Tabell 6) med en ny referens, koncept I1, eftersom den erhöll det högsta nettovärdet i Pughmatris 2.1, Tabell 4. Konzepten jämfördes mot samma kriterier som användes i tidigare Pugh-matriser. Efter rangordning av koncepten eliminerades de lösningar som erhöll de tre lägsta nettovärdena vilka var I2, F1 och F4. De kvarstående lösningarna från Pughmatris 2.2 var I3, E1, E2, E3, M1 och M5.

Tabell 6: Pughmatris 2.2

Kriterium	Alternativ									
	I1	I2	I3	F1	F4	E1	E2	E3	M1	M5
Elgenerering	R	-	-	-	+	-	+	+	-	+
Installation	E	-	0	-	-	+	+	+	0	-
Kostnad	F	-	0	-	+	0	+	+	-	-
Estetik	R	0	0	0	-	+	0	0	-	0
Reparation	E	+	0	-	-	-	-	-	0	-
Underhållsbehov	F	-	0	0	0	0	0	0	-	-
Hållfasthet	R	0	0	0	-	0	-	-	0	-
Tillverkning	E	-	-	0	0	-	0	0	-	-
Livslängd	F	-	-	-	-	-	-	-	0	0
Stöttålighet	R	+	0	+	-	0	0	0	0	+
Innovation	E	0	0	-	0	+	0	0	+	+
Brand-säkerhet	F	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Rengöring	R	-	-	-	0	+	+	+	0	-
Tilläggsfunktioner	E	0	0	0	-	-	-	-	+	+
Anpassningsbar	F	0	0	-	0	-	-	-	+	0
$\sum +$	0	2	0	1	2	4	4	4	3	4
$\sum 0$	15	5	10	5	5	5	5	5	7	3
$\sum -$	0	8	5	9	8	6	6	6	5	8
Nettovärde	0	-6	-5	-8	-6	-2	-2	-2	-2	-4
Rangordning		7	6	9	7	1	1	1	1	5
Beslut										

Därefter implementerades en Kesselringmatris för att jämföra de kvarstående kategorierna med avseende på de olika kriterierna och deras viktning. För att underlätta användningen av Kesselringmatrisen skapades en tabell som visar graderingen för varje kriterium. I denna tabell beskrivs varje gradering från 1 till 5 (Tabell 7). För vissa kriterier var graderingarna endast beskrivna för värdena 1, 3 och 5, där 2 och 4 representerar mellanliggande värden. Till exempel, i kriteriet *A. Elgenerering*, indikerar ett värde på 1 låg grad, medan 5 indikerar en hög grad. Värdet 2 representerar här ett tillstånd någonstans mellan låg och medel, medan 4 ligger mellan medel och hög elgenerering.

Tabell 7: Gradering för Kesselringmatrix

Kriterium	Värden				
	1	2	3	4	5
A. Elgenerering	Låg		Medel		Hög
B. Installation	Svårt		Medel		Enkelt
C. Kostnad	Hög		Medel		Låg
D. Estetik	Ful	Ganska ful	Medel	Ganska Fin	Fin
E. Reparation	Svårt		Medel		Lätt
F. Underhållsbehov	Ofta	Ibland	Medel	Sällan	Aldrig
G. Hållfasthet	Låg		Medel		Hög
H. Tillverkning	Komplex		Medel		Simpel
I. Livslängd [år]	< 25	30	35	40	≥ 45
J. Stöttålighet	Låg		Medel		Hög
K. Innovation	Lite		Medel		Mycket
L. Brandsäkerhet	Låg		Medel		Hög
M. Rengöring	Svår		Medel		Enkel
N. Tilläggfunktioner [Tillämpningsbarhet]	Låg		Medel		Hög
O. Anpassningsbar	Inte alls	Lite	Medel	Mycket	Allt

Viktningen för Kesselringmatrixen (Se Tabell 9) genomfördes för att säkerställa en genomförlig bedömning av vikten av varje kriterium. I denna process jämfördes olika kriterier med varandra. Viktningen för varje kriterium presenteras i den sista kolumnen i tabellen, betecknad med  $\sum$  rel.

Tabell 9: Viktning för Kesselringmatrix

Kriterium	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	$\sum$	$\sum$ rel
A	-	1	0.5	0	1	0.5	0	1	0.5	0	0.5	0	1	1	1	8	0.076
B	0	-	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0	1.5	0.014
C	0.5	1	-	0	0.5	0.5	0	1	0.5	0	0	0	0.5	0	0.5	5	0.048
D	1	1	1	-	1	0.5	0	1	0.5	0.5	0.5	0	1	1	1	10	0.095
E	0	0.5	0.5	0	-	0	0	1	0	0	0.5	0	0.5	0.5	1	4.5	0.043
F	0.5	1	0.5	0.5	1	-	0	1	0.5	0.5	1	0	1	0.5	1	9	0.086
G	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	0.5	1	1	1	13.5	0.129
H	0	0.5	0	0	0	0	0	-	0	0	0.5	0	0.5	0	1	2.5	0.024
I	0.5	1	0.5	0.5	1	0.5	0	1	-	1	0.5	0	1	1	1	9.5	0.090
J	1	1	1	0.5	1	0.5	0	1	0	-	0.5	0	1	1	1	9.5	0.090
K	0.5	1	1	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5	-	0	1	1	1	8	0.076
L	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	-	1	1	1	13.5	0.129
M	0	0.5	0.5	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	0	-	0.5	1	3.5	0.033
N	0	1	1	0	0.5	0.5	0	1	0	0	0	0	0.5	-	0.5	5	0.048
O	0	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	-	2	0.019
																105	1.000

Efter viktning och gradering av kriterierna genomfördes Kesselringmatrisen (Se Tabell 11), där alla kvarstående koncept från Pughmatris 2.2 inkluderades. Dessa koncept bedömdes enligt varje kriterium och multiplicerades med dess respektive kriterieviktning, vilket resulterade i att varje koncept tilldelades olika poäng.

Under genomförandet av Kesselringmatrisen konstaterades det att koncepten E2:celltak och E3:4-i-rad uppvisade signifikanta likheter. Vidare analys av denna observation ledde till slutsatsen att E3:4-i-rad representerar en vidareutveckling av E2:celltak. På grund av detta integrerades båda lösningarna till ett sammanhållet koncept benämnt E3:4-i-rad.

Efter en bedömning beslutades det att vidare utforska de fyra koncept som erhöll de högsta vikterna i Kesselringmatrisen. Beslutet fattades med hänsyn till det dåvarande antalet återstående koncept.

Tabell 11: Kesselring

Kriterium	w(vikt)	Alternativ													
		Ideal		I1		I3		E1		E3		M1		M5	
		v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Elgenerering	0.08	5	0.38	4	0.30	3	0.23	2.00	0.15	5	0.38	2	0.15	3	0.23
Installation	0.01	5	0.07	4	0.06	3	0.04	2	0.03	4	0.06	4	0.06	1	0.01
Kostnad	0.05	5	0.24	3	0.14	4	0.19	2	0.10	4	0.19	3	0.14	2	0.10
Estetik	0.10	5	0.48	4	0.38	4	0.38	5	0.48	3	0.29	2	0.19	3	0.29
Reparation	0.04	5	0.22	4	0.17	4	0.17	1	0.04	3	0.13	4	0.17	3	0.13
Underhållsbehov	0.09	5	0.43	5	0.43	5	0.43	5	0.43	5	0.43	2	0.17	1	0.09
Hållfasthet	0.13	5	0.65	4	0.52	4	0.52	4	0.52	3	0.39	4	0.52	3	0.39
Tillverkning	0.02	5	0.12	4	0.10	3	0.07	1	0.02	4	0.10	2	0.05	2	0.05
Livslängd	0.09	5	0.45	5	0.45	5	0.45	2	0.18	2	0.18	5	0.45	5	0.45
Stöttålighet	0.09	5	0.45	3	0.27	2	0.18	4	0.36	3	0.27	3	0.27	3	0.27
Innovation	0.08	5	0.38	2	0.15	3	0.23	5	0.38	2	0.15	5	0.38	4	0.30
Brand-säkerhet	0.13	5	0.65	4	0.52	3	0.39	4	0.52	2	0.26	4	0.52	2	0.26
Rengöring	0.03	5	0.17	4	0.13	3	0.10	3	0.10	4	0.13	3	0.10	2	0.07
Tillägsfunktioner	0.05	5	0.24	4	0.19	4	0.19	1	0.05	1	0.05	3	0.14	3	0.14
Anpassningsbar	0.02	5	0.10	5	0.10	5	0.10	2	0.04	2	0.04	4	0.08	3	0.06
T (Totalt viktat värde)		100	5.00	59	3.91	55	3.66	43	3.39	47	3.03	50	3.39	40	2.82
$T/T_{ideal}$		1.00		15.11		15.02		12.70		15.50		14.77		14.17	
Medel		5.00		3.93		3.67		2.87		3.13		3.33		2.67	
Std-avvikelse		0.00		0.80		0.90		1.50		1.20		1.00		1.00	
Median		5.00		4.00		4.00		2.00		3.00		3.00		3.00	
Antal svaga punkter		0		0		0		3		1		0		2	
Rangordning				1		2		3		5		3		6	

### **7.2.3 Beslut**

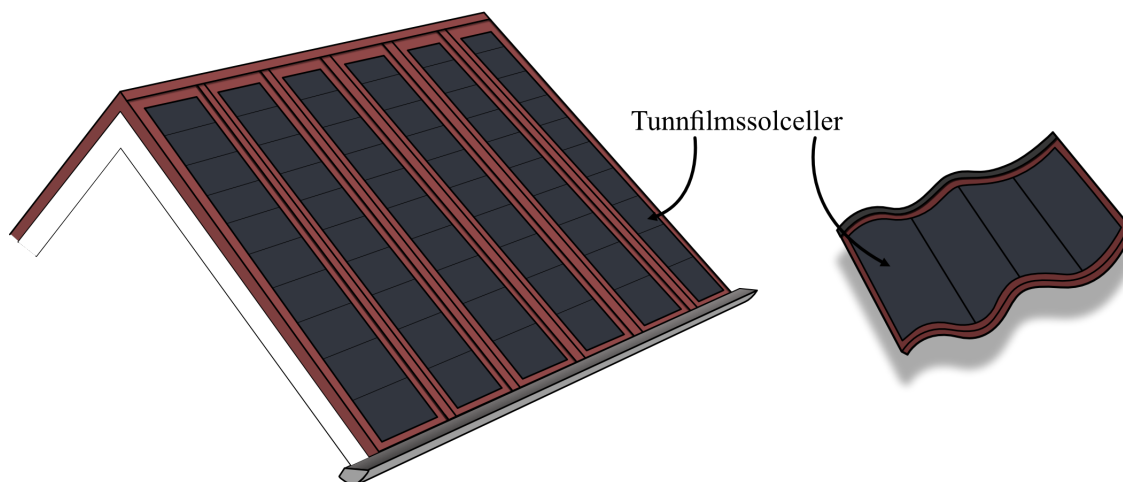
Efter den andra iterationen beslutades att fortsätta utvecklingen av följande koncept: I1: Plåtplåster, I3: Pannplåster, E1: Växthus, och M1: Rullgardin. Konzepten I1 och I3 valdes för vidare utveckling tillsammans, eftersom de visade sig ha liknande applikationer.

### 7.3 Beskrivning av framtagna koncept

Nedan beskrivs samt vidareutvecklas de kvarstående koncepten efter sållningsprocessen. Efter beskrivningen ritas dessa koncept.

#### Koncept I1: Plåtplåster och I3: Vågpanna

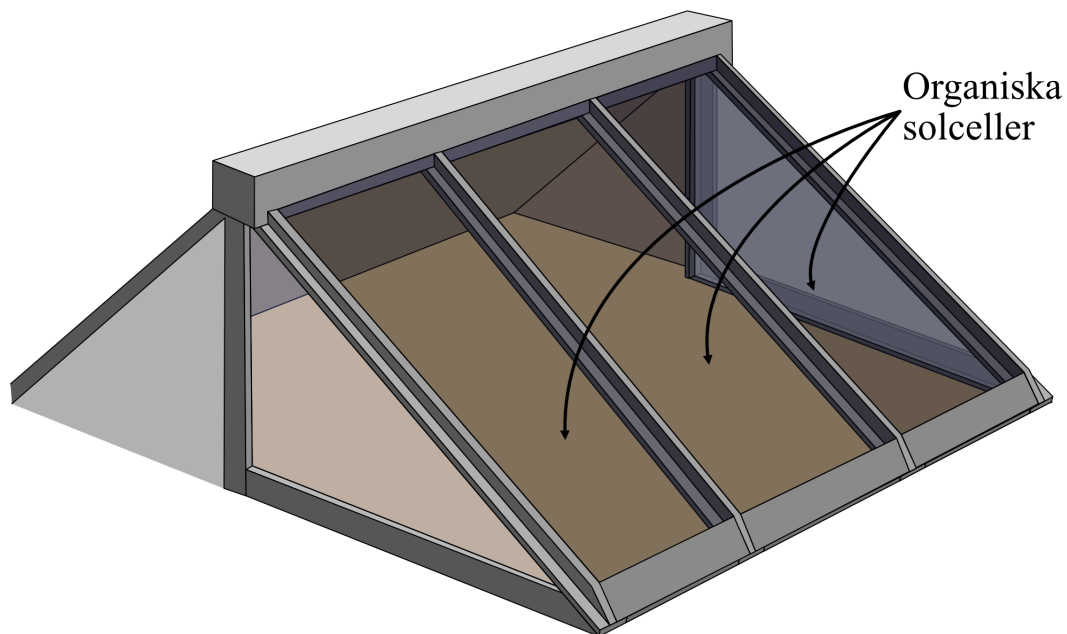
Koncepten I1 och I3 (se figur 9) ponerar en typ av tunnfilmssolceller som går att klistra på taktäckning, för I1 plåttak och för I3 takpannor. Båda koncepten kräver ett befintligt tak. I fallet för I1 är det mest logiskt att installera på ett färdigbyggt plåttak eftersom plåttaket kan behöva efterbearbetas vid installation. Installationen för I3 kommer ske lite annorlunda då det är fördelaktigt att förmontera solcellerna på takpannorna innan takinstallationen. Takpannorna med påklistrade solceller kan sedan läggas som vanliga takpannor förutom kabeldragningen som tar extra ansträngning utöver att lägga taket. Tillverkningen av dessa koncept är i princip endast styrda av tunnfilmssolcellernas tillverkning, med ett litet undantag för monteringen av solcellerna på takpannorna för I3 innan installation på taket.



Figur 9: Koncept I1: Plåtplåster och I3: Vågpanna

#### Koncept E1: Växthuset

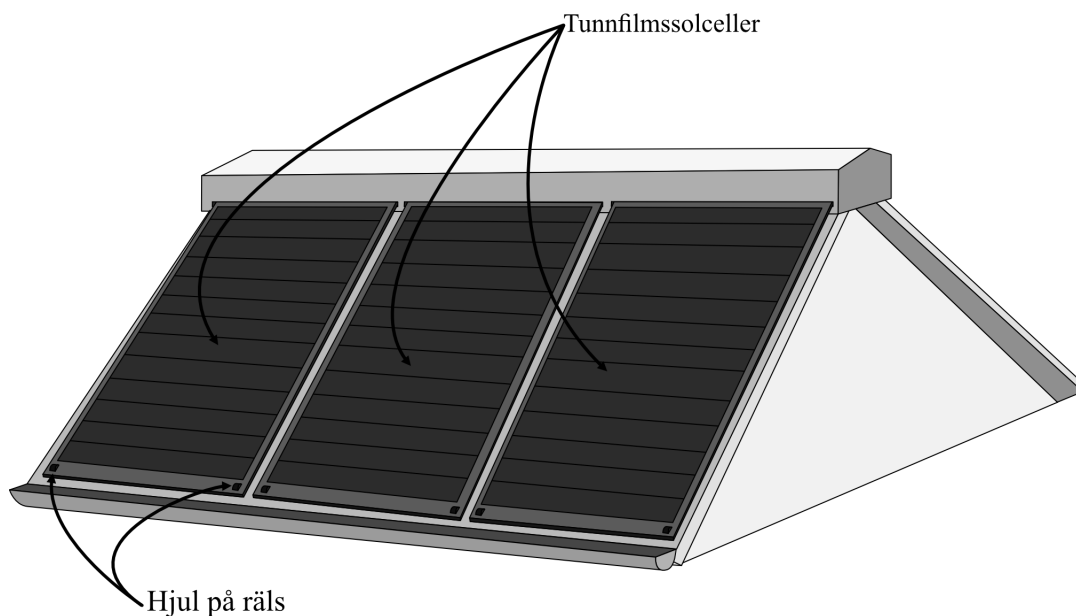
Denna lösning kallas Växthuset (se figur 10) och som namnet antyder är det en växthusliknande konstruktion, med genomskinliga solceller integrerade i glasskivor. Grundstrukturen är uppbyggd av stålbalkar vilket tillför en god hållfasthet, varefter stora glaspartier med integrerade organiska solceller sedan installeras i strukturen, dessa fönster kommer vara ett par kvadratmeter stora. Denna lösning bygger på att solcellerna är närmast genomskinliga för att efterlikna ett utseendet på ett glastak. De solceller som har bäst förutsättningar för detta är därför organiska tunnfilms-solceller. Dessa solceller är tunna och semitransparenta, vilket ger den önskade effekten. Byggandet och installationen är tänkt att utföras på samma sätt som liknande projekt med stora glassektioner installeras idag. Skillnaden är att varje glasparti konstrueras så att det är möjligt att byta ut enbart solcellen när den förlöpt sin livslängd.



Figur 10: Koncept E1: Växthus

### Koncept M1: Rullgardinen

Denna lösning kallas Rullgardinen (se figur 11). Den baseras på tunnfilmssolceller som placeras på ett tunt och mycket flexibelt underlag i plast som sedan kan rullas ihop. Ett långt brett skyvke med påklistrad solcellsfilmen fästs i ena änden vid en roterande axel försedd med en elmotor. Den andra änden fästs i en vagn och en räls som är installerad på taket. Vagnarna drar ut gardinen medan axeln används för att rulla upp den igen. Rullen och övriga rörliga delar placeras i en låda på eller nära taknocken. Idén bakom konceptet är att solcellerna ska kunna avlägsnas från taket vid behov, därav är det under kategorin "miljöanpassat", men även att så stor takyta som möjligt ska kunna täckas av solceller.



Figur 11: Koncept M1: Rullgardin

En faktor som kan avskräcka från installation av solceller är att dessa blir en permanent del av taket. Till skillnad från tidigare koncept behöver endast få permanenta ingrepp göras på taket. Det enda som krävs är

installation av rullen, dess räls och mekanik, sedan kan solcellerna rullas ut och in efter behov. Vidare blir denna anpassningsbarhet nödvändig då konstruktionen måste rullas in vid svåra väderförhållanden då den inte har hållfastheten som krävs för att klara större yttre krafter, såsom starka vindar eller kraftigt hagel.

Tunnfilmssolceller ska placeras på en värmebeständig plast. Plasten skall vidare vara tunn och flexibel för att behålla mobilitet. Huruvida lösningen skall vara dubbelsidig är obestämt, det hade potentiellt varit önskvärt att samma system skulle kunna användas på bägge sidor av samma tak. Denna tanke medför ett antal fysiska svårigheter på grund av takets geometri, givet att det inte går att utgå från att alla tak har samma form.

## 8 Utvärdering

I följande avsnitt genomförs en granskning av de olika koncepten som har presenterats. Syftet är att identifiera och bedöma både styrkor och svagheter hos varje koncept samt att utforska möjligheter för förbättringar. Bedömningen avser även att utvärdera hur väl varje koncept lyckas uppfylla de uppställda målen.

### 8.1 Analys

Genomgående för dessa lösningar är att de bygger på tunnfilmssolceller, dessa skiljer sig från dagens lösningar då de är mindre, mer flexibla och alstrar mindre värme, samtidigt som de är mindre temperaturkänsliga. Storleken och värmekänsligheten har varit det som i stor utsträckning styrt valet av dessa koncept, då brandsäkerhet och svårigheten med att kyla takintegrerade solpaneler sågs som svåra.

Nackdelarna med tunnfilmssolceller är att det idag inte är en särskilt utvecklad teknik och presterar sämre än mono- och polykristallina. Forskning pågår på området och tunnfilmens egenskaper som effektivitet och livslängd kan mycket väl öka markant inom den närmaste framtiden.

#### I1 och I3

Båda koncepten finns redan på marknaden idag, vilket innebär att det finns dokumentation och redan kända för- och nackdelar. Det intressanta är dock hur dessa koncept kan prestera i framtiden för den långa tidshorisonten.

Installationen av I1 är förhållandevis enkel om man jämför med dagens vanliga lösningar med solpaneler. Anledningarna till detta är enligt Robins (2017) enkel montering med klister, kabeldragning som underlättas av plåttakets geometri, få installatörer, få komponenter och låg vikt. Lösningen går även att montera på redan befintliga tak. Dessutom möjliggörs täckning av en större yta med solceller en mer effektiv utnyttjande av solinstrålningen och därmed mer elgenerering.

Konceptet I3 liknar i stora drag I1 men kräver särskild anpassning på grund av takpannans unika geometri, vilket innebär att systemet måste monteras vågrätt. Utöver detta krävs det att elsystemet för I3 utformas annorlunda än i I1, återigen på grund av takpannans geometri och takets utformning, vilket påverkar hur eldragningen kan genomföras.

Denna fördel påverkar även andra delar av I1:s livscykel, exempelvis att byta ut solcellerna vid skada är relativt enkelt. Koncepten för I1 och I2 inkluderar små lättviktsdelar vilket är ytterligare en fördel jämfört med dagens solpaneler som ofta är tunga och otympliga. Denna minskning av vikt underlättar inte bara installationen utan också logistiken och hanteringen på plats.

En möjligt förbättring med koncepten I1 och I3 är sammankopplingen mellan takpannorna. Exempel på sammankopplingen kan vara koppling genom användning av en klickkontakt, vilket kan vara önskvärt för att effektivisera installationsprocessen och underhållsarbetet. Klickkontakten kan erbjuda en snabb och säker montering, där varje takpanna enkelt kan "klickas" på plats i anslutning till närliggande pannor. Denna metod eliminerar behovet av traditionella fästelement såsom skruvar och spikar, vilket minskar risken för skador på takmaterialet och snabbar på monteringsprocessen.

#### E1

Lösningens fokus har varit på estetik, att anpassa tekniken efter ett önskat utseende och det bedöms lösningen ha lyckats med. Själva tillverknings- och konstruktionsprocessen är arbetsintensiv och dyr jämfört med dagens alternativ eftersom de organiska solcellerna ska byggas som stora glaspaneler. På grund av att konceptet endast består av få komponenter är den inte särskilt komplicerad. Det finns redan en mängd befintliga och väl beprövade tekniker för tillverkning och installation av glastak och takfönster som kan användas.

Det stora problemet med lösningen är att organiska solceller är oprövade och har stora brister. Organiska solceller är ömtåliga, har kortare livstid, sämre elgenererande egenskaper och är i dagsläget svårare att tillverka än andra tunnfilmssolceller. Att hela eller nästan hela takytan kan användas för att generera el kompenserar endast delvis för detta. Ett annat problem med lösningen är de olika materialens livslängd. Själva glastaket har en nästan obegränsad livslängd, medan organiska solceller har i dagsläget en mycket begränsad livslängd. Lösningen måste alltså konstrueras så att solcellerna enkelt kan bytas ut utan att glasskivorna skadas.

Då denna lösning inte kommer vara ett traditionellt tak med ett isoleringslager mellan tak och hus kommer problem uppstå med värmeflöde in och ut ur taket. Värme kommer stråla igenom glaset och värma upp huset. Utan ventilation kan detta ge mycket höga temperaturer vid starkt solljus. Vid låga utomhustemperaturer kommer värme strömma från huset och ut genom taket. Glastakets konstruktionen måste därför göras med hänsyn till glasets isolerande förmåga. Olika lösningar som exempelvis flerglas eller vakuumsfönster kommer vara nödvändiga för att taket skall fungera. I taguiden Björk (2005), beskrivs hur takutformningen bör göras

för att undvika ”varma tak”, att ett oisolerat tak värms upp av huset vilket kan få snö och is på taket att smälta och orsaka snöras samt att smältvattnet bildar istappar och isvallar. De traditionella lösningarna för att undvika detta har varit luftspalter i takets ytterlager och ett isolerande innanlager som leder uppvärmd luft uppåt och ut genom taknocken. Denna lösning kommer inte fungera här utan andra metoder måste utvecklas.

### **M1**

Idén bakom lösningen är att solceller delvis ska vara ett val. En permanent installation kan potentiellt avskräcka, men möjligheten att ta bort solcellerna åtgärdar detta. Det skall kunna stängas av eller plockas bort vid behov. Denna lösning klarar av detta och lösningens fasta delar kan kamoufleras på taket. Den kommer även vara enklare att installera än övriga solcellslösningar, samt kräver inte att taket modifieras vilket gör att den kommer kunna användas på många olika sorters tak.

Givet att inga delar är integrerade i taket förutom själva rälsen kommer reparationer kunna genomföras utan några större ingrepp på taket. Om exempelvis solcellerna i rullen skadas går de att byta ut genom att öppna lådan och skruva loss rullen, det samma gäller för rälsen och vagnen som drar ut rullen.

Den här lösningen har ett lägre kylningsbehov jämfört med dagens standardlösningar och övriga framtagna koncept. Tunnsfilmen lagrar inte energi på samma sätt som mono-poly Si paneler eller tunnsfilmspaneler på tak, då den här lösningen inte är fästad på taket utan hänger fritt.

Lösningen har förutom ovan nämnda fördelar ett antal problem. Förutom att tekniken är oprövad kommer elgenereringen vara låg jämfört med alternativa lösningar, att lösningen kan täcka en relativt stor yta kompenseras endast delvis detta. Vidare är lösningen tämligen underhållsintensiv. Det finns flera rörliga delar som måste hanteras, inklusive elmotorer och kontrollsystem. Ett annat problem är att smuts som fastnat på tunnsfilmen kan rullas in och repa eller skada tunnsfilmen. Det är även osäkert huruvida tunnsfilmen kommer kunna hantera deformationen under inrullning och om degradering kommer påverkas eller inte.

## **8.2 Måluppfyllelse**

I detta avsnitt utvärderas hur väl de valda koncepten uppfyller de önskade målen, vilket inkluderar både specifika kriterier och krav som ställts för projektet. Utvärderingen fokuserar på att bedöma i vilken utsträckning varje koncept möter förväntningarna på förbättring jämfört med nuvarande lösningar. Granskningen tar hänsyn till aspekter såsom energieffektivitet, hållbarhetsmål och användarvänlighet, vilka är centrala i projektets målformulering.

### **I1 och I3**

Att integrera solceller direkt i taket kommer förbättra utseendet jämfört med dagens lösning. Tunnsfilmssolceller är såpass tunna att de kan smälta in i taket på ett annat sätt. En fördel med tunnsfilmssolceller är deras jämförelsevis låga vikt, ökade flexibilitet och ökad stöttålighet jämfört med dagens lösning. Dessa egenskaper ger inte bara taket förbättrad hållfasthet utan gör även installation och reparation av solcellerna enklare och mer kostnadseffektivt. Vidare är det värt att observera att tunnsfilmssolceller inte har samma problem med värmelagring som dagens lösning, vilket trots integrationen i takstrukturen bibehåller en hög nivå av brandsäkerhet.

Även om tunnsfilmssolceller har lägre effekt än dagens lösning, möjliggör integreringen på taket täckning av en större yta. Dessutom har tunnsfilmssolceller fördelen att vara billigare att producera, främst på grund av betydligt lägre material- och energiförbrukning under tillverkningsprocessen jämfört med dagens lösning. Det bör noteras att materialkostnaden för takplåten förblir i stort sett densamma som för ett konventionellt tak.

En nackdel med tunnsfilmssolceller är deras kortare livslängd jämfört med dagens lösning. Dessutom är tillverkningskostnaderna för närvarande högre på grund av teknikens relativt nya natur.

### **E1**

Solcellstaket har ett unikt utseende, med tunna genomskinliga solceller som täcker hela taket. Konstruktionen består av stålbalkar och stora tjocka glasskivor vilket ger god hållfasthet och stöttålighet men gör tillverkningen svår och kostnaden hög. Vidare blir installationen mycket krävande på grund av delarnas tyngd och storlek. Lösningens brandsäkerhet är också god då den inte består av några brandfarliga material.

Organiska solceller genererar mindre elektricitet jämfört med dagens lösning och andra tunnsfilmstekniker. Dessutom har de en kortare livslängd och lägre hållfasthet. Organiska solceller valdes för denna lösning på grund av deras möjlighet att vara genomskinliga. Dock uppstår ett optimeringsproblem mellan elgenerering och genomskinlighet, då ökad genomskinlighet leder till minskad absorption av strålning och därmed minskad elproduktion.

Lösningen förväntas vara i stort sett underhållsfri, men reparation av taket kan bli utmanande på grund av storleken och tyngden hos dess komponenter. Dessutom har organiska solceller en begränsad livslängd, betydligt

kortare än glastaket. Detta skapar utmaningar vid byte av solceller, vilket kräver att taket konstrueras för att möjliggöra byte utan att behöva avlägsna glaspanelerna. Å andra sidan kommer glasytan underlätta rengöring av taket, men eftersom taket är av glas kommer smuts synas mer tydligt än på andra typer av tak, vilket ökar behovet av rengöring.

#### M1

Denna lösning är innovativ inom takinstallerade solcellssystem. Trots utmaningar uppfyller lösningen effektivt de flesta mål den är avsedd att nå. Återigen är systemet baserat på tunnfilmssolceller med sämre effektivitet än dagens lösning men systemet möjliggör att en mycket stor yta kan täckas av solceller vilket kompenserar för detta. Systemet är lättviktigt och enkelt att installera. Dessutom kan det monteras på de flesta typer av tak utan behov av stora ingrepp, förutom installation av räls och låda.

Denna lösning kräver betydligt mer underhåll än både dagens lösning och de andra alternativen ovan, då den innehåller flera rörliga delar, elmotorer och relativt känsliga solceller. Å andra sidan kommer reparationer vara enkla att genomföra eftersom systemet inte är integrerat i taket och dess ingående delar är relativt okomplicerade. Livslängden begränsas av solcellerna, men eftersom systemet inte är integrerat i taket kan solcellsrullen enkelt bytas ut när den når slutet av sin livslängd eller om den går sönder.

Taketets hållfasthet påverkas inte märkbart då systemet är lätt och placeras på taknocken. Dock är systemets egna hållfasthet och stöttålighet inte särskilt bra men eftersom solcellerna kan rullas in vid behov minskar risken för skador. Brandsäkerheten påverkas på liknande sätt där elmotorer kan utgöra en risk för brand. Om solcellerna blir för varma kan de rullas in, och eftersom de inte är integrerade i taket har de bättre kylning än dagens lösning eller integrerade tunnfilmslösningar.

Estetiskt sett är lösningen inte särskilt tilltalande, men möjligheten att rulla in och dölja solcellerna kompenserar för detta. Denna förmåga minskar också behovet av rengöring då solcellerna är exponerade under kortare perioder.

## 9 Diskussion

I följande kapitel ges en diskussion om hur projektets mål har uppfyllts. Dessutom ges en inblick i de utmaningar som kan uppstå i framtiden, samt identifieras möjligheter för vidareutveckling.

### 9.1 Projektets gång

Under projektet har de primära, sekundära och tertiära målen uppfyllts, vilket bekräftar att projektets syfte har uppnåtts helt och hållet. Denna slutsats understryker att genomförd forskning och analyser har varit vägledande och viktiga för att metodiskt uppfylla de uppsatta målsättningarna.

I detta projekt utforskades potentialen att använda solceller som byggnadstak genom att utveckla flera innovativa koncept som sedan kategoriserades i olika områden. Utveckling av dessa koncept genomfördes i två iterationer, där den första fasen innebar en övergripande undersökning av de större kategorierna för att identifiera de mest lovande områdena. I den andra fasen fördjupades analysen genom att utforska möjligheterna inom varje kategori. Detta ledde till att det primära målet med projektet uppnåddes genom undersökning och utveckling av möjligheterna för användning av solceller som byggnadstak.

För att uppfylla det sekundära målet implementerades olika matriser, vilka systematiskt användes för att bedöma och jämföra de framtagna koncepten. Dessa matriser möjliggjorde en subjektiv men systematisk analys baserad på fördefinierade kriterier som reflekterar intressenternas specifika förväntningar och krav.

Under utvärderingsprocessen genomfördes en jämförelse mellan de framtagna koncepten och dagens lösning. Denna jämförelse innefattade en utvärdering av de respektive konceptens för- och nackdelar i förhållande till egenskaper som hållfasthet, energiproduktion och estetisk utformning. Denna analytiska jämförelse ledde till en djupgående förståelse för de potentiella fördelarna med de nya koncepten i jämförelse med dagens lösning, och därmed uppfylldes det tertiära målet.

Utvecklingen av varje koncept, inklusive forskningen kring möjliga tekniker för de olika koncepten kunde ha varit mer ingående. Dock begränsades detta arbete av den tillgängliga tiden och budgeten vilket förhindrade konstruktionen av prototyper. Denna tidsbegränsning förhindrade en fullständig forskning kring potentiella lösningar, vilket hade varit fördelaktigt för projektet. Tidsbristen under projektet berodde delvis på den begränsade tiden och delvis på att tiden inte användes effektivt vid projektets början. Mycket tid lades på områden som inte direkt bidrog till projektets primära mål, vilket berodde på en bristande klarhet kring önskat resultat. Det blev uppenbart i efterhand att en omfördelning av denna tid skulle gynnat projektet.

Arbetsprocessen justerades flera gånger under projektets gång för att bättre anpassas till projektets avgränsningar och tidsramar. En av de anpassningar som genomfördes var att pausa de initiala teoretiska undersökningarna, som planerades att slutföras före idégenereringen och istället återuppta dessa vid ett senare skede. Denna strategi visade sig vara både effektiv och tidsbesparande. Anpassningen möjliggjorde en fokuserad insamling av relevant fakta, istället för att omfattande tid spenderades på att utforska bredare och mindre relevanta områden.

Under projektets genomförande identifierades vissa brister i utförandet av kundundersökningen. Det hade varit fördelaktigt om undersökningen hade fokuserats exklusivt på husägare i frågorna om de eventuellt hade solceller och om svaret var nej, även anledningen till det. Resultaten påverkades av inkluderingen av svar från individer bosatta i lägenheter, vilket kan ha bidragit till en skevhet i datainsamlingen. Vidare skulle en förbättring av enkäten kunna uppnås genom att formulera mer relevanta frågor som är direkt kopplade till projektets syfte och målgruppens specifika behov och förutsättningar.

### 9.2 Framtiden för koncepten

Framtida forskning och utveckling av produktionstekniker kommer sannolikt ändra förutsättningarna för koncepten, dels ekonomiskt med lägre produktionskostnader för vissa tekniker, men även hållfasthets- och hållbarhetsmässigt, med eliminering av skadliga ämnen och bättre struktur. Vid fortsatt arbete med projektet är det viktigt att undersöka olika aspekter för att säkerställa att de nya koncepten för solceller som byggnadstak kan implementeras och fungera på ett optimalt sätt.

#### 9.2.1 Framtida problemställningar

Fortsatt forskning och utveckling behövs för att förbättra tekniken för solceller. Vilket kan innefatta att undersöka nya material, produktionsmetoder och designkoncept för att öka effektiviteten och hållbarheten hos solcellerna.

Solceller producerar varierande mängder elektricitet beroende på olika faktorer såsom tillämpad teknik och exponering för solen. När produktionen från solcellerna överstiger det aktuella behovet av elektricitet, kan förmågan att lagra elöverskott bli avgörande för att ett koncept som inte alltid producerar tillräckligt med el ska bli självförsörjande. Att utveckla koncepten så att de kan hantera varierande elproduktion och efterfrågan blir ett problem för framtiden.

### 9.2.2 Vidareutveckling

En patentundersökning skulle kunna vara en nödvändig del av vidareutvecklingen. Det är viktigt att fastställa om det finns några existerande patent som kan utgöra hinder för utvecklingen av de nya koncepten. Samtidigt kan en patentundersökning även identifiera möjligheter för att bygga vidare på och förbättra koncepten.

Simuleringar och tester i verkliga miljöer är avgörande för att bekräfta konceptens prestanda och funktionalitet, särskilt när det gäller att testa hållfastheten på taket. Det är särskilt relevant för konceptet M1 eftersom det är en innovativ lösning som ännu inte finns på marknaden och inte har testats i praktiken. Genom att simulera olika scenarion och utföra tester på prototyper kan man bedöma deras beteende under olika förhållanden och identifiera eventuella brister eller förbättringsmöjligheter.

För att säkerställa att koncepten uppfyller alla relevanta krav och önskemål för att fungera effektivt som solceller på byggnadstak, är det även nödvändigt att genomföra tester. Eventuella senare revideringar samt konceptspecifika kravspecifikationer behövs när solcellstaken går närmare mognad. Detta inkluderar tester för hållbarhet, säkerhet, effektivitet och överensstämmelse med regler och standarder för att kunna användas.

Vid vidareutveckling kan analyser vara nödvändigt. Riskanalyser för att identifiera potentiella risker och osäkerheter kan bidra till en större förståelse för konceptens styrkor och svagheter. Hållbarhetsanalyser för att bedöma miljöpåverkan, hållbarheten och för att få en förståelse för konceptens livscykel kan en livscykelanalys (LCA) genomföras. Genom att utvärdera energi- och resursförbrukning, utsläpp och avfallshantering över hela livscykeln för solceller som byggnadstak kan man få en helhetsbild av deras miljöpåverkan och identifiera möjligheter till förbättringar. Denna analys kan göras som en jämförelse mellan dagens solcellslösningar.

Som en del av processen för att verifiera och validera koncepten kan prototyper tas fram och presenteras för intressenter. Det skulle ge möjlighet till feedback och verifiering av konceptens prestanda och funktionalitet. Intressenterna och kunderna kan då även bedöma om estetiken är tillfredsställande eller inte. Baserat på feedback från intressenterna kan sedan anpassningar och förbättringar göras för att säkerställa att koncepten möter deras behov och önskemål på bästa sätt.

## 10 Slutsats

Nedan följer de mål som sattes upp innan projektet påbörjade och sedan en reflektion kring hurvida de uppnåtts eller inte.

- Primära målet med projektet är att undersöka möjligheterna för solceller som byggnadstak, samt utveckla dessa till koncept.
- Sekundärt är målet att jämföra de framtagna koncepten med identifierade intressenters önskemål.
- Tertiära målet är att jämföra de framtagna koncepten med dagens lösning.

Syftet med projektet har uppnåtts efter genomförandet av två iterativa idégenereringsfaser samt undersökning av potentiella tillämpningar för solceller som byggnadstak. Genom att utvärdera koncepten med hjälp av olika beslutsmatriser, baserade på kundundersökningar och övriga fastställda krav, har fyra koncept valts ut för vidare utveckling. Dessa är M1, I1, I3 och E1. Koncepten I1 och I3 beslutades att integreras till en gemensam lösning på grund av deras liknande applikationer.

Jämfört med dagens lösning erbjuder de utvecklade koncepten både fördelar och nackdelar. De framtagna lösningarna utnyttjar en större yta av taket, vilket kan vara fördelaktigt. Koncepten baserades på användandet utav tunnfilmssolceller då de är mer flexibla och mindre temperaturkänsliga än traditionella solceller. Pågående forskning syftar till att förbättra effektiviteten och livslängden hos denna teknik, vilket kan stärka deras position på marknaden framöver. Till följd av den snabba teknikutvecklingen är det svårt att göra en fullständig jämförelse idag, men det finns en stor möjlighet till framtida förbättringar.

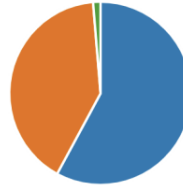
## Referenser

- American Solar Energy Society. (2021). *Thin-Film Solar Panels*. <https://ases.org/thin-film-solar-panels/>
- Björk, F. (2005). *Takguide*. Institutionen för byggvetenskap, Kungliga Tekniska Högskolan.
- Boverket. (2022). *Solfångare och solcellspaneler*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/anmalningsplikt/bygglovbefriade-atgarder/sol/#>
- E.ON. (2024). *Sverige elektrifieras – för klimat och hållbar tillväxt*. <https://www.eon.se/om-e-on/kapacitetsbristen>
- European commission. (2022). *EU Solar Energy Strategy*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3AFIN&qid=1653034500503>
- Gennex technologies. (2020). *Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels: Know The Difference*. <https://gennextechnologies.com/monocrystalline-and-polycrystalline-solar-panels-know-the-difference/>
- Gill, T. (2023). *The complete guide to thin-film solar panels*. <https://www.theecoexperts.co.uk/solar-panels/thin-film>
- Hemming, S. (2023). *Verkningsgrad för solceller 2024: Allt om effekt för solpaneler!* <https://hemsol.se/solceller/verkningsgrad-effekt/>
- National Renewable Energy Laboratory. (u.å.). *Organic Photovoltaic Solar Cells*. <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>
- Naturskyddsföreningen. (2021). *Solenergin flödar – men var finns solcellerna?* <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/solenergin-flodar-men-var-finns-solcellerna/>
- Naturvårdsverket. (2024). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. Sveriges%20klimatm%C3%A5l%20och%20klimatpolitiska%20ramverk
- North East Solar. (2023). *Will Solar Panels Work Through Glass or Windows?* <https://northeast solar.co.uk/blog/will-solar-panels-work-through-glass-or-windows/>
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (u.å.). *Perovskite Solar Cells*. <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells>
- Peninsula Solar. (u.å.). *How Hot do Solar Panels Get?* <https://peninsula-solar.com/learn-solar/mechanics/solar-panel-heat/>
- Robins, M. (2017). *Flexible Thin-Film PV for Metal Roofs*. <https://www.metalarchitecture.com/articles/flexible-thin-film-pv-for-metal-roofs/>
- Solar Magazine. (2022). *Thin-Film Solar Panels: An In-Depth Guide | Types, Pros Cons*. <https://solarmagazine.com/solar-panels/thin-film-solar-panels/>
- Trevor M. Letcher, Vasilis M. Fthenakis. (2018). *A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems*. Academic Press.
- University of Calgary. (u.å.). *Types of photovoltaic cells*. [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types\\_of\\_photovoltaic\\_cells#cite\\_note-peake-3](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_photovoltaic_cells#cite_note-peake-3)

## A Enkät

1. Hur bor du?

● Hus/villa	44
● Lägenhet	31
● Other	1



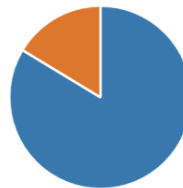
2. Har du solceller på ditt tak?

● Ja	24
● Nej	52
● Other	0



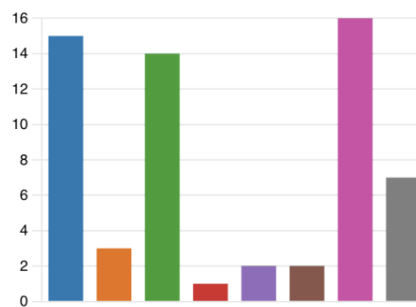
3. Om du svarade nej på förra frågan,  
Hade du varit intresserad av att skaffa solceller?

● Ja	46
● Nej	9



4. Hur kommer de sig att du inte har solceller?

● Bor i bostadsrätt där föreningen...	15
● Passar inte husets utseende	3
● Kostsamt	14
● Inte intresserad	1
● Takets läge gör de olägligt	2
● Väntar på bättre teknik	2
● Bor i hyresrätt	16
● Other	7



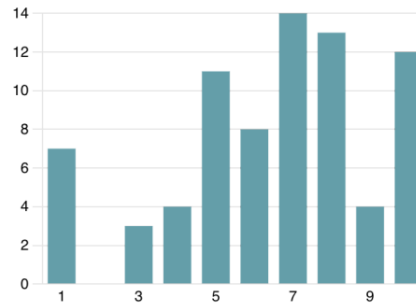
Figur 12: Enkätfrågor 1-4

5. Hur tycker du att traditionella solceller påverkar utseendet på tak idag?



6. På en skala från 1 till 10, hur viktigt är det för dig att solcellerna smälter in i takets estetik och stil?

6.49  
Average Rating



7. Skulle du vara intresserad av en solcellslösning som är mindre synlig på ditt tak?



Figur 13: Enkätfrågor 5-7

8. Vad tror du kan vara potentiella problem med att ha solceller som byggnadstak?

56 Responses

1	anonymous	Dyrt, inte lika vädersäkert som ett traditionellt tak
2	anonymous	kWp per kvadratmeter kan vara mindre. Installations-kostnad per kvadratmeter kan vara högre
3	anonymous	Det blir varmt, risk för takläckage som inte ingår i försäkringen.
4	anonymous	Läckage
5	anonymous	Möjligen bärighetsproblem. Kan säkert förbättras med ny teknik.
6	anonymous	Kylning av celler
7	anonymous	Obeprövad konstruktion
8	anonymous	Risk för läckage, elfel och brand samt svårare att byta ut om något går sönder. Det blir även sämre effekt per kvadratmeter.
9	anonymous	Har svart tegel, så de svarta solcellerna påverkar inte.
10	anonymous	Vet inte
11	anonymous	Strukturellt hållbart, hållbart över tid, vindkänsligheten
12	anonymous	Pris
13	anonymous	Svårt med service /utbyte av en panel
14	anonymous	Inget
15	anonymous	Irreversibelt
16	anonymous	Elteknik i kombination med aluminium och glas har kortare hållbarhet än betong.
17	anonymous	Bärighet
18	anonymous	Effekt förluster vid varma dagar
19	anonymous	Inga!
20	anonymous	Täthet, reparationer
21	anonymous	När jag räknat på erbjudna alternativ har de snygga varit dyrare och mindre effektiva vilket gjort lönsamheten för dålig.
22	anonymous	Säkert många så det gäller att det är en väl beprövad/forskad/framtagen metod Hållbarhet Fukt Underhåll/reparation

23	anonymous	Elektromagnetiska fält
24	anonymous	Håligheter i tätskikt(papp)
25	anonymous	Vet ej
26	anonymous	Svårt att byta om en solcell går sönder. Känns som det kan vara för integrerat som själva taket om det inte är lätt att reparera.
27	anonymous	Problemet med befolkningens säkerhet i händelse av naturkatastrofer
28	anonymous	Snötäckt, skuggning, sotning
29	anonymous	Tätheten
30	anonymous	Då värme i huset.
31	anonymous	Bärigheten kanske? Inte så insatt
32	anonymous	Dyrare
33	anonymous	Vet ej
34	anonymous	Jag tycker kan vara en bra lösning för folk som inte tycker om hur solcellerna ser ut på taket.
35	anonymous	Kostnad och utseende
36	anonymous	Möjligen försvårar det underhållet av solcellerna då nedmontering av dessa också skulle innebära en nedmontering av vatten/vind-skyddet. Kanske måste solcellerna kompletteras med en underliggande vattentät duk?
37	anonymous	Inget problem
38	anonymous	Hög kostnad
39	anonymous	Om det lägger sig mycket snö ovanpå dem, att de är känsliga för mycket hårda vindar och regn.
40	anonymous	Tror inte det skulle vara nån problem
41	anonymous	Inte anpassad till Sveriges miljö, väder osv
42	anonymous	Allt
43	anonymous	Dyrt
55	anonymous	Vet ej
56	anonymous	Utseende

44	anonymous	Svårt att laga den
45	anonymous	Ekonomi
46	anonymous	Det kan vara kostnaden och underhållsbehovet.
47	anonymous	Pris, hållbarhet, reservdelar på sikt
48	anonymous	Fukt skador
49	anonymous	Att folk är ovana vid detta helt enkelt.
50	anonymous	Ingen problem
51	anonymous	De beror på om de kan ventileras bra eftersom solpaneler genererar värme så måste de finnas möjlighet att hålla panelerna inom rätt värme för att kunna hålla både länge och inte bli dåliga för att de blir för varma utan att kunna ha ventilation
52	anonymous	Hållbarhet, kanske svårt att få till täta ytor.
53	anonymous	Isolering
54	anonymous	Isolering
55	anonymous	Vet ej
56	anonymous	Utseende

Figur 14: Enkätfråga 8

9. Vad tror du det kan finnas för fördelar med att ha solceller som byggnadstak?

54 Responses

1	anonymous	Endast estetiskt
2	anonymous	Estetiskt mer tilltalande än traditionell lösning
3	anonymous	Solcellens konstruktion måste anpassas som takmaterial. Denna typ av solcell finns redan på marknaden!
4	anonymous	Ja, men behöver finnas ett ordentligt tak under.
5	anonymous	Tak och solceller måste medföra billigare tak om man vill ha solceller.
6	anonymous	Minskat beroende av elpriser
7	anonymous	Mindre vindfång och snyggare. Inte behöva tegelstenar
8	anonymous	Utnyttjar alla kvadrat på taket
9	anonymous	Större yta kan nyttjas och sparar in på material.
10	anonymous	Ge el.
11	anonymous	Vet inte
12	anonymous	Billigare, snabbare installation, mindre snö som belastar taket
13	anonymous	Maximal yta
14	anonymous	Dubbla tak
15	anonymous	Kostnadseffektivt på sikt om takbyte krävs
16	anonymous	Fint
17	anonymous	Ett ytskikt, istället för två!
18	anonymous	Slipper byta tak först
19	anonymous	Få egen energi!
20	anonymous	Förutom att det producerar el?
21	anonymous	Sparar markyta att vara på tak. Och galet att ha tre tak. (Underlagstak, tak, solceller)
22	anonymous	En komponent mindre i husskalet
23	anonymous	Lägre elkostnader
24	anonymous	Ökat värde

25	anonymous	Utnyttja utrymmet och få ner sin energi/vattenkostnad
26	anonymous	Jaa, solceller som är stöttåliga fungerar både som tak och energikälla. Detta sparar material :))
27	anonymous	Utnyttja improduktivt utrymme
28	anonymous	Nja
29	anonymous	Fördelen är att ha solceller är att kunna få värmen i sig och kunna överleva för de.
30	anonymous	Smälter in bättre
31	anonymous	Snyggare
32	anonymous	Ja
33	anonymous	Mindre kostnader än att ha vanlig tak och sen solceller på.
34	anonymous	Fördel om taket byggs in vid nybyggnad
35	anonymous	Att de smälter in rent optiskt. I grund och botten är nog fördelarna bara estetiska.
36	anonymous	Fördelar att vi har alltid värme och varmvatten inomhus
37	anonymous	Ren energi
38	anonymous	Att det skulle förhoppningsvis ge mycket tillbaka
39	anonymous	Sparar energi
40	anonymous	Modernt, billigt för de som äger hus
41	anonymous	Inga fördelar
42	anonymous	Ekonomi
43	anonymous	Att det generera ren och förnybar energi som bidrar till sänkning på elkostnaderna genom att producera egen el.
44	anonymous	Estetiskt
45	anonymous	Plats och enklare ställning
46	anonymous	Genom att ha solceller visar man att man bryr sig om miljön för kommande generationer.

47	anonymous	Mindre betalning
48	anonymous	Halverar elräkningen
49	anonymous	Att man får de mer estetiskt. Man har med vikten när man bygger taket vilket gör att man då vet att hela taket klarar snö och vindlasten utan att hustaket kan gå sönder.
50	anonymous	Bra att man kan täcka stora ytor och samla ihop mycket solenergi.
51	anonymous	Ser bättre ut
52	anonymous	Mindre kostnad på el pris
53	anonymous	Bra och billig el
54	anonymous	Bra för miljön ?

Figur 15: Enkätfråga 9

## 10. Har du någon intressant åsikt om solceller?

### 34 Responses

1	anonymous	Ekonomiska modeller som beräknar återbetalningstid, är bristfälliga. Det gäller även modellen som presenteras av Energimyndigheten
2	anonymous	Jag placerade mina på marken för att undvika framtid problem med taket, Dessutom bättre kylning.
3	anonymous	Jag undrar varför det inte monteras mer vertikala solceller. Alltså på väggar. Jag håller på och utrustar en energicontainer med solceller på tsk och väggar. Med de uppgifter jag fått ger vertikala solceller 80 % effekt mot ordinära. Jag vet att en del större byggnader utrustas med vertikala solcellspaneler. En fördel med detta måste också vara att det inte blir samma problem med snön på vintern. Mvh Leif Strand, Innovation i Granhed.
4	anonymous	En kombinerad sol-, vind- och vattendriven cell hade väl varit ännu bättre, om det går att lösa.
5	anonymous	Nej
6	anonymous	Borde vara obligatorisk på alla tak!
7	anonymous	Borde finnas mer krav runt installationen!
8	anonymous	Borde finnas på alla tak!
9	anonymous	Är det lönsamt?
10	anonymous	Borde förbjudas annat än på tak. För att spara mark.
11	anonymous	Borde kunna kosta mindre, känns som många ska sko sig på slutpriset
12	anonymous	Ett enkelt sett att kunna ta vara på egen energi utan elnätet.
13	anonymous	- Definitivt en framtidsprodukt, men frågor om solstormar, klimatförändringar, om (delar av) jorden blir mörk av ett vulkanutbrott... hur det påverkar? - Återvinning av materialet, när teknik uppgraderas eller går sönder. Hur ser det ut?
14	anonymous	Noo
15	anonymous	Ja, dra nytta av naturlig energi istället för el, gas och olja
16	anonymous	Bra för energin
17	anonymous	Nja
18	anonymous	Projektet verkar relevant för privatpersoner, inte fabriker/företag med stora byggnader
19	anonymous	Bra energi alternativ

20	anonymous	Nej
21	anonymous	Nej
22	anonymous	Inte riktigt
23	anonymous	Bra för oss
24	anonymous	Helt katastrof
25	anonymous	Ja
26	anonymous	Nej
27	anonymous	Värdelöst utan batteri
28	anonymous	Egentligen är det underligt att vi inte har kommit längre i tanken, vi människor, att solen är gratis. Vi tänker bara på den initiala kostnaden.
29	anonymous	Nej
30	anonymous	Solceller är bra och kan användas i många olika områden.
31	anonymous	Solceller är en investering för framtiden.
32	anonymous	Nej
33	anonymous	Nej
34	anonymous	Vår bästa investering

Figur 16: Enkätfråga 10

## B Intervju sammanfattning med Malte Rungård

Intervjun med Rungård, en expert på solceller, gav insiktsfulla perspektiv på användningen och installationen av solceller, särskilt när det gäller bostadshus. Ett centralt tema som Rungård belyste var behovet av att överväga takmaterialets hållbarhet i förhållande till solcellernas livslängd. Detta pekar på vikten av att säkerställa att taket kan hålla lika länge som solcellssystemet för att undvika framtida problem. Solcellspanelerna, ofta kopplade med kontakter, framhävs som effektiva men kräver noggrann planering för att uppnå långsiktig effektivitet och säkerhet.

Under intervjun diskuterades vårt projekt om att använda solceller som byggnadens tak, en idé som vi förde fram och frågade Rungård om. Han tyckte att idén är bra och kan ha många positiva konsekvenser men kan medför ökade risker, särskilt beträffande potentiell fuktbildning och en möjlig minskning i verkningsgraden på grund av användandet av olika material. Rungård lyfte fram ett inspirerande exempel från Norge, där en kyrka har förvandlats genom implementeringen av solceller över hela sitt tak, formande ett unikt 'skivtak'. Han rekommenderade oss att närmare undersöka detta fall, vilket demonstrerar hur solceller kan integreras fullständigt i byggnadens arkitektur, inte bara som en energikälla utan även som en del av den estetiska utformningen.

En alternativ lösning som diskuterades var möjligheten att installera solcellerna på marken istället för på taket. Detta skulle kunna avhjälpa många av de risker som är förknippade med installationer på tak och kan vara ett mer lämpligt alternativ i vissa fall.

När det gäller elproduktion och förbrukning, framhöll Rungård att en villa med högt energibehov, speciellt för uppvärmning, kan dra stor nytta av solceller, särskilt under sommarmånaderna då produktionen är som högst. Det finns även möjligheter att sälja överskottselen. I detta sammanhang nämndes lagring av el i batterier som ett effektivt sätt att maximera användningen av producerad energi.

Avslutningsvis noterade Rungård att den vanligaste frågan från kunder ofta rör hur man bäst installerar solceller på taket. Över de senaste sex åren har kundernas frågor utvecklats, vilket tyder på en ökande medvetenhet och kunskap om solenergi.

## C Intervju transkribering med Oskar Öhrman

*Hur går installationen till?*

**Svar:** En detaljerad beskrivning finns tillgänglig på vår hemsida.

*Vilka tekniska och praktiska utmaningar möter ni vid installation av solceller?*

**Svar:** Svårigheter kan uppstå vid installation på ojämna eller åldrade tak. Att montera solceller på icke-platta tak kan vara särskilt utmanande. Dessutom kan vikten av solpanelerna skapa utmaningar vid lyft till taket.

*Hur anpassar ni solceller för att matcha estetiska önskemål från kunder?*

**Svar:** Det blir allt vanligare med svarta paneler som estetiskt smälter in bättre. Placering och storlek på taket är också viktigt för det estetiska intrycket.

*Är det vanligt att tänka på det estetiska utseendet när man vill installera solceller på taket?*

**Svar:** Ja, det tror jag.

*Vad för typer av solceller finns det och vilka är framtidsutsikterna för solcellsteknik?*

**Svar:** Både monokristallina och polykristallina solceller är vanliga. Tunnfilmssolceller, exempelvis från Midsommer, är också en del av marknaden. Framtiden ser lovande ut för utvecklingen av nya typer av monokristallina solceller och kombinationer av olika tekniker.

*Hur kopplas solcellerna ihop?*

**Svar:** De kopplas ihop med kablar.

*Vad för begränsningar finns det vid förändring av utseendet och utformning?*

**Svar:** Användningen av monokristallina solceller kräver ofta en fyrkantig form, vilket kan vara en begränsning. Tunnfilmspaneler har inte denna begränsning.

*Vad gör att en solcell får lägre verkningsgrad över tid och hur kan livslängden förlängas?*

**Svar:** Degradation kan orsakas av solstrålning. Aktiv kylning kan förlänga en solcells livslängd genom att minska riskerna för överhettning.

*Kan man få solceller som inte alstrar så mycket värme?*

**Svar:** Ja, genom att implementera kylsystem eller använda vita bakfilter för att hålla solcellerna svalare.

*Hur stor roll spelar skyddsglasat i hur mycket energi som solcellen kan generera?*

**Svar:** Skyddsglasat är viktigt, men jag har tyvärr inte stor kunskap om detta.

*Vad tycker ni om idén att ha solceller som byggnadstak?*

**Svar:** Det låter som en bra idé med många fördelar.

*Vad kan det finnas för nackdelar med att ha solceller som byggnadstak?*

**Svar:** Det kommer att vara stora krav på lösningen. Problem med kylning kan uppstå. Lösningen kan bli komplex om man ska beakta alla aspekter.

## D Morfologisk matris

Tabell 13: Morfologisk

Delfunktioner	Möjlig applikation												
	Tunntunnfilm			Organiskt baserade		Traditionella		Nanoteknikbaserad					
Generera el	<i>Amorf - Si</i> (tunntunnfilm)	<i>CdTe</i> (tunntunnfilm)	CIGS tunntunnfilm	Polymer (plast)	Organisk	<i>Mono - Si</i>	<i>Poly - Si</i>	Quantum dot nano-kristal					
Täcka tak	Keramiska pannor			Övriga									
	Stenplattor	Plattpannor	Vågpannor	Metallplåt	Solceller	Träplankor (kanske urfräst)		Glaspartier	Absorberande lager	Växttak			
Fästa Taktäckning	Fog		Mekaniska förband				Friktion				Övriga		
	Lim	Kitt	Spika	Clip-on	Haka på/i	Skruvförband	Friktion	Resår	Krympförband	Pressförband	Flexxar	Magnet	Ram
Koppla solceller	Kablage				Kontakt mellan celler				Övriga				
	Individuell kabel (independent action)		Central enhet (seriekoppling)	Dammsugs-kabel	Moduler	Lego-koppling	Bajonettkoppling		Ljusslingekontakt		Nätverksgridförinstallerad		
Isolera tak	Block			Övrigt									
	Glasfiber	Frigolit	Stenull	Sprayisolering		Plast/polymer		Metallthermos		Ingen isolering			
Rengöra tak	Självrengörande		Automatisk				Extern rengöring						
	Självrengörande	Preventiv behandling	Sprinkler	Vatten rörligt munstycke	Tryckluft	Vindrutetorkare	Borstar (biltvätt)	Extern rengöring (vattenslang, trasa)					
Reglera cellens temperatur	Aktiv kylning					Passiv kylning							
	Luft			Vatten kylslingor			Ledning		Naturlig konvektion		Heat sink		
Dränera tak	Övrigt												
	Rännor i taket			Helt slätt tak med lutning				Konkav avrinning			Överlapp pannor		
Reglera fukt	Aktiv reglering					Passiv reglering							
	Ventilation		Fläkt	Uppvärmning		Avfuktare		Vakuum		Isolera mera		Fritt flöde	
Täta tak	Fog			Övrigt									
	Fog (sillikon)		Tejp	Tätt underlag		Press med fett		Tak på tak	Överlappande lutning			Gummilist	
Takstruktur	Övrigt												
	Fog (Fackverk)				Betongskelett					Balkar			

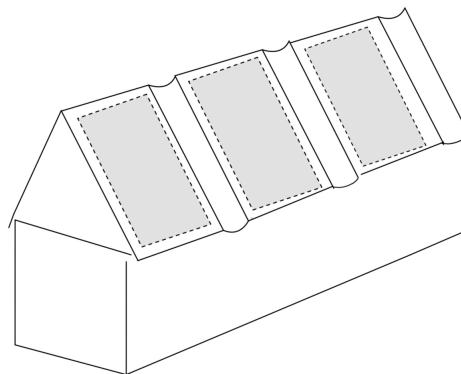
# E Konceptkatalog

Tabell 15: KonceptKatalog

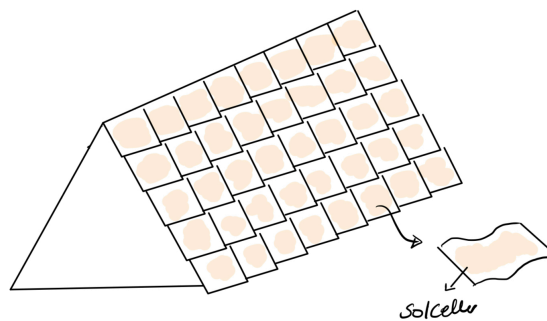
Kategorier	Konceptnamn	Generera el	Täcka tak	Fästa Taktäckning	Koppla solceller	Isolera tak	Rengöra tak	Reglera cellens temperatur	Dränera tak	Reglera fukt	Täta tak	Takstruktur
Försänkt	Försänkt		Solceller	Haka på/i	Individuell kabel	Sprayisolering	Sprinkler	Vatten kylslingor	Helt slätt tak med lutning	Fritt flöde	Tätt underlager	
	KyrkanTaket	Mono-Si	Metallplåt	Clip-On	Legokoppling	Frigolit	Rörligt vatten munstycke	Vatten kylslingor	Rännor i tak	Fläkt	Överlapp	Balkar
	Konkav	Tunnsfilm	Solceller	Lim	Legokoppling	Sprayisolering	Själv-rengörande	Heat sink	Konkav avrinning	Fritt flöde	Tätt underlager	Fackverk
Integrera Täckning	Osynlig	Polymer (plast)	Plattpannor	Lim	Legokoppling	Sprayisolering	Extern rengöring	Naturlig konvektion	Överlapp pannor	Vakuum	Fog	Fackverk
	PlåtPläster	Tunnsfilm	Metallplåt	Skruvförband	Central enhet	Glasfiber	Preventiv behandling	Vatten kylslingor	Slätt tak	Fritt flöde	Tätt underlager	Fackverk
	PannPläster	Tunnsfilm	Plattpannor	Haka på/i	Central enhet	Sprayisolering	Preventiv behandling	Vatten kylslingor	Slätt tak	Ventilation	Fog	Fackverk
	Taggtak	Tunnsfilm	Solceller	Magnet	Legokoppling	Frigolit	Själv-rengörande	Naturlig konvektion	Rännor	Fritt flöde	Tätt underlager	Fackverk
Enbart solceller	Fönstertak	Organisk	Glaspartier	Ram	Nätverksgrid	Ingen isolering	Själv-rengörande	Ingen	Slätt tak	Ingen	Fog	Balkar
	Paket	Mono-Si	Solceller	Ram	Legokoppling	Ingen isolering	Odef.	Naturlig konvektion	Slätt tak	Ingen	Gummilist	Balkar
Tak på tak	Tak på tak	Mono-Si	Glas/plast	Skruvförband								
	Tak på tak 2	Miljö-anpassat	Gardin	Tågräls	Flip							
Miljö-anpassat	Gardin solcell	Tunnsfilm	Plattpannor	Odef.	Central enhet	Odef.	Tryckluft	Ingen	Takränna	Ingen	Tätt underlager	Fackverk
	Gardin tak	Mono-Si	Plattpannor	Odef.							Tätt underlager	Fackverk
	Tågräls	Mono-Si	Plattpannor	Skruvförband							Tätt underlager	Fackverk
	Flip	Mono-Si	Plattpannor	Skruvförband							Tätt underlager	Fackverk
	BautaPanel											

# F Grovskisser

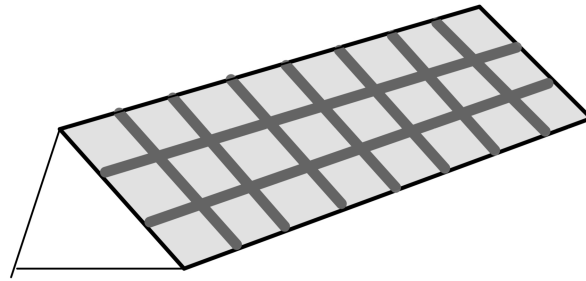
Integrera täckning:



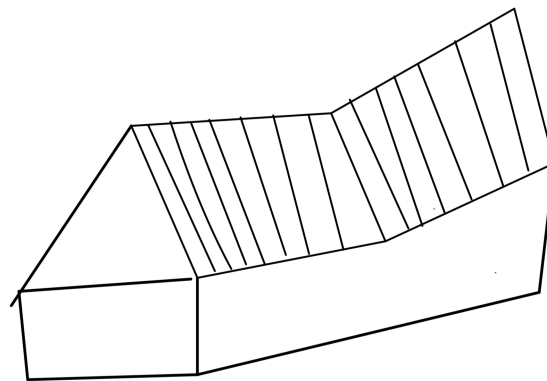
Figur 17: I1: Plåtplåster



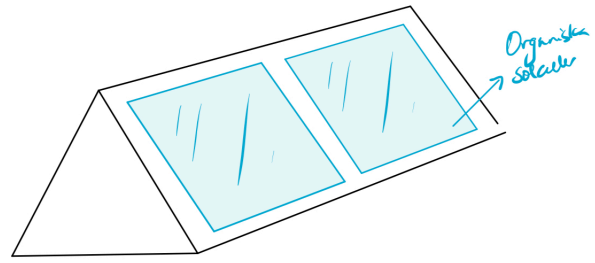
Figur 18: I2: Kamouflerad tegelpannor



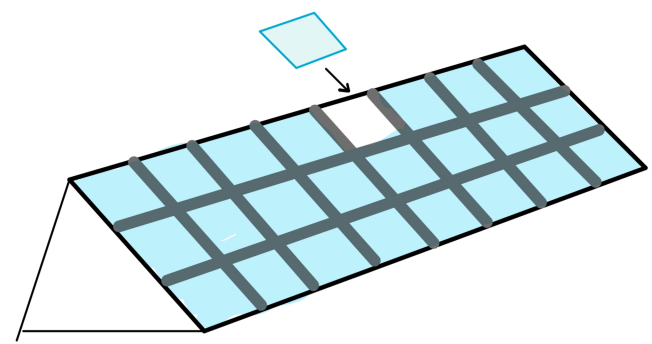
Figur 19: F2: Ramar



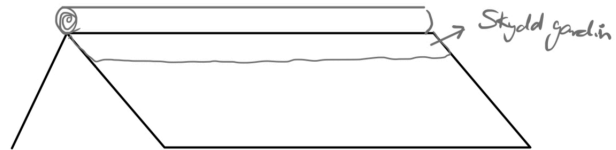
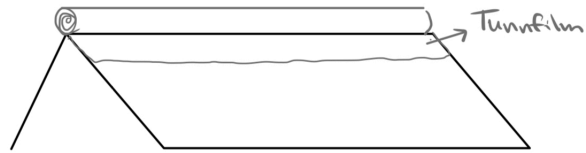
Figur 20: F3: Dushbrunnen



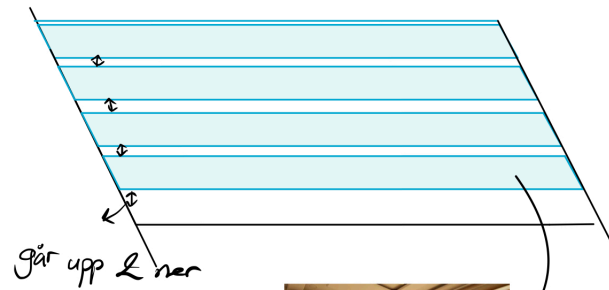
Figur 21: E1: Växthus



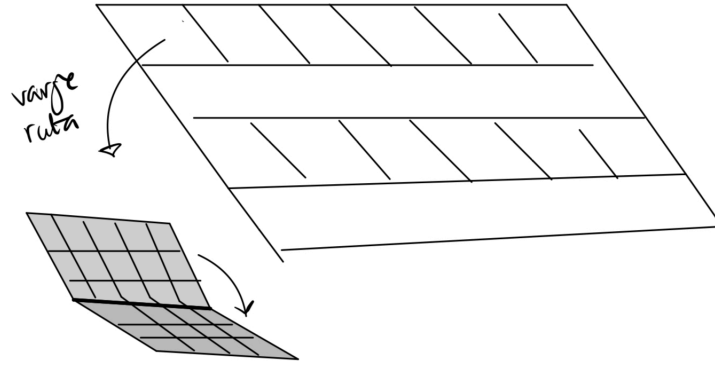
Figur 22: E3: 4-i-rad



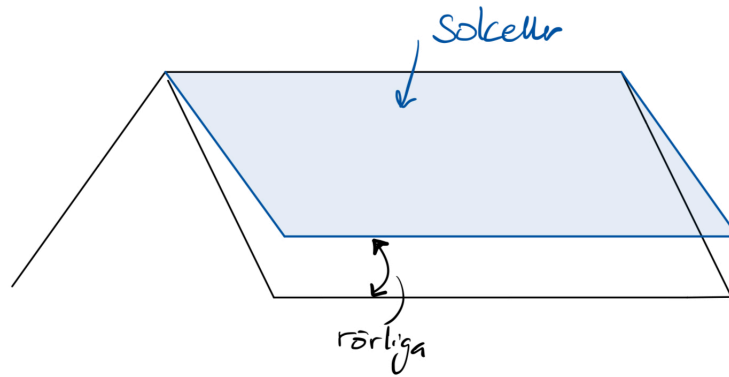
Figur 23: M1: Rullgardin



Figur 24: M2: Flip



Figur 25: M5: Laptop



Figur 26: M6: Följ solen

**INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH  
MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**