

Avdelningen för Installationsteknik  
Examensarbete TVIT—19/5068  
Lund 2019

---

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Carl Asp  
Henrik Melin



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Carl Asp  
Henrik Melin

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

© Carl Asp och Henrik Melin

ISRN LUTVDG/TVIT – 19/5068 – SE(168)  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 LUND

## Sammanfattning

Öresundsregionen växer och i takt med en ökad befolkning och nyetablerade industrier blir behovet av el allt större. Samtidigt som elbehovet ökar är elnätet bristande och med en kärnkraft som håller på att avvecklas hotas områden i södra Sverige av elbrist. För att kunna möta de framtida utmaningar som samhället står inför har Malmö Stad inlett ett projektsamarbete vid namn M21 tillsammans med näringslivet. Projektet handlar om att skapa ett off grid område, dvs ett bostadsområde som är helt bortkopplat från omgivande el-, vatten- och värmenät.

Idag finns det flera olika energilösningar tillgängliga på marknaden som kan försörja ett off grid hus med energi, men konceptet är sällan hållbart ur ett ekonomiskt perspektiv. Det finns däremot andra motiv till att leva off grid som till exempel att reducera det ekologiska fotavtrycket eller minska beroendet till de som äger näten. En byggnad har ett konstant el- och värmebehov som olika energilösningar i varje sekund måste tillgodose. Om de inte klarar av det uppstår effektbrist. Off grid boenden använder intermittenta energikällor till exempel sol och vind vilket gör att det krävs lagrad energi vid tillfällena då solen inte skiner eller när det är vindstilla. Extra problematiskt blir det under vinterhalvåret när det uppstår effekttoppar. Topparna är svåra att täcka med enbart off grid baserade energilösningar och kräver kombinationer av olika lösningar.

I detta examensarbete utvärderas möjligheten att tillgodose el- och värmebehovet för ett off grid flerbostadshus under året genom att enbart utnyttja förnybara energikällor. Huset är uppbyggt av moduler och fungerar som ett referenshus vars energianvändning jämförs med i senare resultat. Byggnadens uppvärmda area är 1309 m<sup>2</sup> vilket innefattar trapphus och 16 lägenheter som är jämnt fördelade på fyra våningar. I dagsläget är det uppkopplat på nätet och har ett totalt energibehov på 110 138 kWh/år. I arbetet kommer olika energilösningar som både finns tillgänglig på den kommersiella marknaden och som idag är i ett mindre moget utvecklingsstadium presenteras. Ett begränsat antal lösningar väljs ut och utreds vidare för att appliceras på referensbyggnaden. De olika delar som utreds är tekniker för ett effektivare klimatskal, metoder för el- och värmeproduktion samt lagring av energi genom batterier och vätgas. Det förbättrade klimatskalet appliceras på referensbyggnaden och ger ett nytt uppvärmningsbehov som beräknas i Vip-Energy. Resultatet visar att en tilläggsisolering på 10 cm i yttervägg, grund, och vindsbjälklag och förbättrat U-värde på fönsterna minskar uppvärmningsbehovet med 14%.

Sju valda produktions- och lagringstekniker fördelas och appliceras i olika kombinationer på tre fallstudier. Teknikerna sammanställs i olika konstellationer och bildar ett system i syfte att säkerställa energiförsörjningen till byggnaden. Systemet dimensioneras efter rådande förutsättningar och ska kunna garantera byggnaden en tillförlitlig energiförsörjning under hela året samt täcka dess effekttoppar.

Fall A innehåller ett system bestående av solceller, ett mindre värmekraftverk med en stirlingmotor, vätgas och bergvärmepump. Lösningarna kompletterar varandra bra och systemet kan under hela året förse byggnaden med en pålitlig energiförsörjning. Problemet är att det är ett komplext system med många större lösningar. Kostnaden uppskattas till 4 737 000 kr.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Fall B innehåller ett system bestående av solceller, ett mindre värmekraftverk med en stirlingmotor, batterier och solfångare. Systemet är väldigt beroende av kraftverket vilket gör det sårbart vid eventuella störningar. Kostnaden uppskattas till 2 300 000 kr.

Fall C innehåller ett system bestående av vindkraft, vätgas, batterier, solfångare och bergvärmepump. Värmeförsörjningen är stabil över hela året men elproduktionen är helt beroende av att det blåser kan det uppstå problem om det är vindstilla under längre perioder. Kostnaden uppskattas till 4 263 000 kr.

Resultatet från fallen visar att det är möjligt att utforma ett off grid system med förnybara energikällor. En stor utmaning ligger i att ha en stabil energiförsörjning över hela året trots att majoriteten av energikällorna är intermittenta. Systemet måste dimensioneras för att täcka både energibehov över året och effekttoppar. Det innebär att systemet i många fall blir överdimensionerat eftersom effekttopparna endast inträffar ett fåtal gånger under året. Säsongsbaserad energilagring kommer att vara en viktig del vid utformandet av off grid boenden och användandet av intermittenta energikällor.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

- Titel:** Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus
- Författare:** Henrik Melin och Carl Asp
- Handledare:** Birgitta Nordquist, universitetslektor vid Avdelningen för Installations och klimatiseringslära. Lunds tekniska högskola
- Examinator:** Petter Wallentén, universitetslektor vid avdelningen för Byggnadsfysik
- Bakgrund:** För att kunna möta de framtida utmaningar som samhället står inför har Malmö Stad skapat ett projekt med representanter från näringslivet. Projektet kallas M21 och har som syfte att ta fram och testa innovativa lösningar för att främja stadens utveckling. Som del i projektet skall det byggas ett off grid hus.
- Syfte:** Syftet med detta examensarbete var att redovisa och utreda off grid energilösningar för värme och elektricitet för ett flerbostadshus i Malmö
- Metod(er):** För att granska vilka lösningar som finns tillgängliga genomförs en litteraturstudie. Vidare har det hållits intervjuer med sakkunniga för information och handledning kring de olika tekniker och metoder som presenteras i rapporten. Det har utförts både hand- och datorberäkningar ibland annat programmen Vip-Energy, SAM, PVGIS och HEAT2.
- Slutsatser:** Resultaten visar att det är möjligt att utforma off grid system för energiförsörjning av ett flerbostadshus. Under sommaren uppfylls energibehoven med förnybar energi och dygnslagring. Under vintern krävs det någon form av säsongslagring för energi eller att det sker en kontinuerlig el- och värmeproduktion.
- Nyckelord:** Off grid, Off grid flerbostadshus, Energieffektivitet, Förnybar energi, Småskalig energiproduktion, Småskalig energilagring, Energibehov, Effektbehov.

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



## Abstract

The Öresund region is expanding with a growing population and newly established industries which leads to an increased demand of electricity. At the same time as the demand of electricity is increasing there are deficiencies in the power grid and a dismantling of nuclear power which creates a situation where parts of southern Sweden are threatened by power shortage. In order to prepare for future challenges that the society is facing, Malmö Stad has initiated a project collaboration called M21 together with the business sector. The purpose of the project is to create an off grid district, i.e. a residential area which is entirely disconnected from surrounding electricity, water and heat grids.

In today's market there are multiple different energy solutions to provide an off grid house with energy, although the solutions are rarely sustainable from an economical perspective. There are however other motives to living off the grid. This could be to reduce your ecological footprint or to lessen your dependency of the grids. A building has a constant demand of electricity and heat which the energy solution has to provide in every second. If the solutions can't provide enough there will be a power shortage. Off grid houses is dependent on intermittent energy sources such as sun and wind which results in a need of stored energy in times where the sun doesn't shine or the wind doesn't blow. This becomes particularly problematic when power peaks appear during winter. The peaks are hard to meet with technology based solely on off grid energy solutions and requires combinations of different solutions.

In this master thesis, the possibility of providing enough yearly energy for an off grid apartment building through renewable energy sources is evaluated. The building is a modular building and serves as a reference building which energy use is used as a reference for the results of the energy solutions. It has an area of 1309 m<sup>2</sup> and consist of 16 apartments located in 4 floors. Today the building is connected to the grids and has a total energy demand of 110 138 kWh/year. The thesis will present energy solutions which are commercially available on the market today and solutions that is in a stage of development. A number of these energy solutions will be investigated further and applied to the reference building.

The solutions that are investigated further are improvement of the climate shell, techniques for electricity and heat production and also storage of energy through batteries and hydrogen. The improved climate shell is applied to the reference building which results in a new heating demand that is calculated in Vip-Energy. The result is showing that an additional insulation of 10 cm in the outer walls, foundation and the attic as well as a lower U-value for the windows reduces the heating demand by 14%.

There are 7 different production and storage techniques that is applied to the reference building in various combinations, these are investigated in 3 case studies. The techniques are put together in various constellations to create a system to secure the supply of energy to the building. The system is designed to be able to supply in a reliable way the energy demand of the building during a full year and meet the power peaks.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Case A consists of a system made up of solar cells, a small heating-power plant with a stirling engine, hydrogen and a geothermal heat pump. The solutions complement each other well and the system is able to reliably provide the building with energy. The problem is that the system is complex and consists of a lot of larger solutions. The cost of the system is approximately 4 737 000 kr.

Case B consists of a system made up of solar cells, a small heating-power plant with a stirling engine, batteries and solar collectors. The system is largely dependent on the energy supply of the power plant which makes it vulnerable to interference. The cost of the system is approximately 2 300 000 kr.

Case C consists of a system made up of wind power, hydrogen, batteries, solar collectors and a geothermal heat pump. The heating supply from the system is stable throughout the year but the electricity production is based solely on the wind power which makes the system vulnerable during longer periods of windless days. The cost of the system is approximately 4 263 000 kr.

The result from the case shows that it is possible to design an off grid system with renewable energy sources. One of the biggest challenges is to provide the building with a stable energy supply over the year even though the energy sources are intermittent. The system has to be designed to meet both the energy need and the power peaks. This amount to that there is a risk that the system design becomes oversized since it's designed to meet the power peaks which only occur a few times a year. Seasonal storage of energy is an important part in the design of off grid housing and the use of intermittent energy sources.

## Förord

Detta examensarbete har skrivits av Carl Asp och Henrik Melin som den avslutande delen inom civilingenjörsprogrammet i väg- och vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola våren 2019. Examensarbetet har genomförts i samarbete med BoKlok Housing AB. Arbetsprocessen har varit mycket lärorik och vi känner att våra kunskaper inom energieffektivisering och energiteknik har blomstrat likt en skånsk rapsång som välkomnar sommaren. För detta vill vi tacka de personer som har hjälpt oss på denna långa men ack så berikande väg. Vi vill tacka BoKlok Housing AB i Malmö och vår handledare Refik Salievski för ett trevligt bemötande, intressanta diskussioner och god handledning. Vi vill även passa på att tacka Jerker Lessing som introducerade oss till BoKlok och idén om examensarbetet samt Stefan Ferrari som bidragit med underlag och assistans inom energiberäkningar. För input inom diverse områden vill vi tacka Jörgen Svensson för hans vägledning inom vindkraftens komplicerade värld, Henrik Davidsson för hans behjälplighet med SAM, Saqib Javed för hans expertis inom värmepumpar, Stephen Burke som bidragit med tips inom reducering av köldbryggor och Elisabeth Kjellsson som bidragit med sin kunskap inom solceller och lagringstekniker. Slutligen vill vi tacka vår härliga handledare på LTH, Birgitta Nordquist som bidragit med massor av energi (i dubbel bemärkelse), kunskap och hjälpt oss att följa den röda tråden genom arbetet.

*Lund, juni 2019*

*Henrik Melin*

*Carl Asp*

## Innehåll

1	Introduktion .....	1
1.1	Bakgrund och frågeställning .....	2
1.2	Syfte .....	2
1.3	Avgränsningar .....	3
1.4	Metodik för examensarbete .....	4
1.5	Disposition för examensarbete .....	4
2	Teori .....	5
2.1	Off grid hus .....	5
2.2	Befintligt off grid .....	5
2.3	BoKlok .....	6
2.4	Lokal värme- och elproduktion för bostäder .....	7
2.5	Energianvändning .....	9
2.6	Effektbrist .....	10
2.7	Byggnadens förluster och behov .....	11
2.8	Energikrav på byggnad .....	14
2.9	Värmeförlusttal .....	15
2.10	Effektbehov tappvarmvatten .....	17
3	Tekniska lösningar .....	19
3.1	Vindkraftverk .....	19
3.2	Solceller .....	21
3.3	Biobränsle .....	23
3.4	Solfångare .....	25
3.5	Värmepump .....	27
3.6	Värmeåtervinning .....	30
3.7	Lagring .....	33
3.7.1	Termisk energilagring .....	34
3.7.2	Kemisk värmelagring .....	35
3.7.3	Mekanisk energilagring .....	35
3.7.4	Kemisk energilagring .....	36
3.7.5	Elektrokemisk lagring .....	39
3.7.6	Elektrisk lagring .....	40
4	Utformning av hus och övriga lösningar .....	43
4.1.1	Klimatskal .....	44
4.1.2	Köldbryggor .....	46
4.1.3	Luftläckage .....	48
4.1.4	U-värde .....	48
4.2	Isoleringsmaterial .....	48
4.3	Balkonger .....	51
4.4	Inglasning .....	52
4.5	Gemensamma lösningar .....	53
4.6	Övriga lösningar .....	53
5	Studie av referensbyggnad .....	57
5.1	Referensbyggnad .....	57
	Värmebehov för tappvarmvatten .....	65
5.1.1	Totalt effektbehov för värme .....	67
5.1.2	Totalt effektbehov för el .....	73

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

6	Lösningsförslag och resultat.....	75
6.1.1	Supermatris .....	75
6.2	Vindkraft .....	79
	Miniverk .....	80
	Gårdsverk.....	81
	Stor anläggning.....	83
6.3	Solceller.....	85
6.4	Stirlingmotor kombinerad med kraftvärme.....	91
6.5	Solfångare .....	92
6.6	Bergvärmepump.....	95
6.7	Lagring .....	96
6.7.1	Kemisk lagring.....	96
6.7.2	Elektrokemisk lagring - Batterier .....	98
6.7.3	Värmelagring .....	100
6.7.4	Vätgas .....	100
7	Utformning och resultat.....	103
7.1	Utformning av hus – energieffektiviserande åtgärder.....	103
7.1.1	Reducering av köldbryggor .....	106
7.1.2	Elbehovsminimering.....	107
7.2	Motivering till varför vissa åtgärder och lösningar inte utreds vidare .....	109
8	Applicering på referenshus .....	113
9	Presentation av fall .....	117
9.1	Fall A.....	118
9.2	Fall B.....	124
9.3	Fall C.....	130
10	Diskussion .....	137
10.1	Fall A, B, C. ....	137
10.1.1	Effekttoppar.....	138
10.2	Antaganden, osäkerheter och förutsättningar.....	138
10.2.1	Antaganden.....	138
10.2.2	Osäkerheter i beräkningarna.....	139
10.2.3	Begränsningar vid anpassning till BoKloks moduler.....	140
10.2.4	Begränsningar på grund av brukarbeteenden .....	141
10.3	Möjligheter med andra förutsättningar.....	141
10.3.1	Off grid område .....	141
10.3.2	Möjlighet att koppla upp on grid.....	142
10.4	Vidare studier .....	142
11	Slutsats.....	145
12	Litteraturförteckning.....	147

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

# 1 Introduktion

I samband med växande städer, ökad mängd elberoende kollektivtrafik och nya industrier riskerar elnäten i Skåne-regionen att bli överbelastade. Samtidigt har Malmö dagvattenledningsnät stora svårigheter att hantera större mängder nederbörd. Detta blev tydligt märkbart under exempelvis sommaren 2014 då staden drabbades av översvämningar och extrema vattenflöden (Malmö, 2015). Gällande elbristen är Skåne och andra växande områden i södra Sverige mest utsatta. Det beror till stor del på att mycket av Sveriges el produceras i landets norra delar samtidigt som förbrukningen är störst i söder. Med brister i överföringen och avvecklandet av kärnkraften, en energikälla som förser Skåne-regionen med en betydande elproduktion, blir idag området extra utsatt vid elkrävande tider på året (Kraftnät, 2018).

För att kunna möta de framtida utmaningar som samhället står inför har Malmö Stad valt att skapa ett projekt och en testbädd för urbana innovationer. Till grund för projektet ligger Agenda 2030 - en agenda skapad av FN för förändring mot ett hållbart samhälle där Sverige ska vara ledande i genomförandet av agendan (Regeringskansliet, 2018). Målet med projektet är att tillsammans med representanter från näringslivet ta fram och testa innovativa lösningar som ska främja stadens utveckling på ett hållbart sätt. Samarbetsavtalet kom att kallas M21 och undertecknades i februari 2018 i syfte att "utveckla och testa nya urbana lösningar i relation till nationella initiativ och Agenda 2030". Malmö Stad leder projektet och ska tillsammans med tio företag gemensamt skapa ett bostadsområde med minimal belastning på omgivande värme-, dagvatten- och elnät. BoKlok Housing är en del av samarbetet och kommer att med ett industrialiserat byggande tillhandahålla hållbara bostäder. Resultatet av lösningarna kommer att presenteras i en publik utställning år 2021 (Malmö, 2018).

Idag används ca 40% av den totala energianvändningen i Sverige till att värma och kyla byggnader samt förse dem med el. Större delen av sektorns energianvändning går åt till varmvatten och byggnaders uppvärmning. Detta sker främst genom el och fjärrvärme som sedan 1970-talet nästintill helt ersatt olja för uppvärmning av byggnader (Bokalders & Block, 2014).

Sverige är ett el-exporterande land och producerar, sett under ett år mer el än vad som förbrukas. Problematiken ligger dock inte i att det produceras för lite el sett över året utan utmaningen ligger i att täcka behoven då elproduktionen är låg. Detta beror främst på att klimatet i ett land som Sverige har ett stort uppvärmningsbehov under vinterhalvåret. Med detta följer också ett ojämnt fördelat antal soltimmar med mycket sol på sommaren och lite på vintern. Elen står för den största andelen av energianvändningen i Sverige. Samtidigt som bristen på el blivit ett allt mer uppmärksammat problem är förbrukningen i landet fortsatt hög. I Sverige används lite mer än dubbelt så mycket el per capita jämfört med genomsnittet för EU (Energikommisionen, 2015). Det beror dels på det kalla klimatet men att användningen är hög beror också på ett ytterst lågt och konsumentvänligt pris på el. Det gör att det saknas tillräckliga incitament för hushållen att hushålla med energi. De låga priserna leder också till att få företag har ett intresse i att bygga ut nya nät eftersom lönsamheten i att investera i elproduktion är begränsad (Kellner, 2016). I en rapport från

2018 av Svenska Kraftnät beskrivs den bristande lönsamheten som ett av de största hindren för en utbyggnad av den planerbara elproduktionen. I rapporten förklaras det att annan elproduktion kommer att ha svårt att hinna ersätta kärnkraften i tid. Det kommer leda till ett stort antal timmar med mycket höga elpriser och timmar där effektbalansen inte går ihop (Svenska Kraftnät, 2018).

### 1.1 Bakgrund och frågeställning

I samarbetsavtalet M21 skapades ett pilotprojekt för ett bostadsområde med minimal belastning på omgivande nät. I detta examensarbete undersöktes olika energieffektiva lösningar och tekniker gällande el och värme som applicerades på ett nytt BoKlok flerbostadshus. Huset är under tiden denna studie utförs, inte byggt men kommer att se identiskt ut med ett av BoKlocks befintliga modulhus. Teknikerna som undersöktes och tillämpades på byggnaden dimensionerades för att vara helt off grid och besvarade nedanstående frågeställningar.

Huvudfrågeställning:

- Vad finns det för energieffektiva lösningar på marknaden idag som går att applicera på ett off grid hus baserat på BoKlocks moduler?

Frågeställningar:

- Är det möjligt och hur i så fall går det att producera tillräckligt med lokal energi för att skapa ett självförsörjande hus?
- Hur ser lagringsmöjligheter för överskottsenergi ut? Går det att utnyttja denna energi på ett lämpligt sätt?
- Hur går det att med aktiva lösningar minska värme- och elbehovbelastningen i huset?
- Vad uppskattas kostnaderna till för de undersökta energilösningarna?

### 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att redovisa och utreda off grid energilösningar för värme och elektricitet för ett modulbyggt flerbostadshus i Malmö. I examensarbetet redovisades metoder för energieffektivisering av ett flerbostadshus och dagens tekniker för lokal energiproduktion och lagring sammanställdes. Ett urval av dessa utreddes djupare och applicerades på ett referenshus. Utifrån dessa lösningar presenterades tre fall med kombinationer av de olika lösningar. För varje fall utfördes energiberäkningar för hela systemet med syfte att presentera alternativ på hur det är möjligt att utforma ett off grid energisystem för ett flerbostadshus. Vidare beräknades en enklare kostnadsanalys av systemen.



### 1.3 Avgränsningar

- En noggrannare utredning sker endast på ett urval av de tekniker som presenteras. Detsamma gäller för olika kombinationer av lösningarna.
- I rapporten sker det endast en noggrannare utredning på de lösningar som kan appliceras på en enskild byggnad.
- För de teknikerna som presenteras tas det ingen hänsyn till ekologisk påverkan ur ett livscykelperspektiv.
- I rapporten tas det inte någon hänsyn till vatten och avlopp.
- Teknikerna för energiproduktion som omfattas av arbetet använder endast förnybara energikällor.
- Då det inte finns någon bestämd tomt som den tilltänkta byggnaden skall stå på så antas den ligga på godtycklig plats i Malmö som har normal tomtstorlek och terräng som antas likna förortsmiljö.
- Målsättningen har varit att genomföra en orienterande översikt över ett antal lösningar. Vid ett verkligt fall med mer kunskap om förutsättningar och faktiska förhållanden får en fördjupad analys av möjliga lösningar och dimensionering av dessa göras.
- Värden för energianvändning och ritningar för referensbyggnaden baseras på givna rapporter. Det kommer inte att utföras någon egen studie för att bestämma dessa noggrannare.
- Eftersom lösningarna skall appliceras på ett off grid hus så skall alla lösningar vara möjliga att applicera utan anslutning till större el- eller värmenät.
- Byggnaden antas uppfylla krav från BBR. Ingen vidare utredning av detta görs.
- Ingen hänsyn tas till tillstånd eller krav som finns för att få använda lösningarna.
- För att beräkna de framtagna systemens kostnader utförs endast en övergripande överslagsmässig ekonomisk analys.
- De undersökta metoder och tekniker som appliceras förutsätts inte påverka innemiljön i huset eller ge upphov till eventuella problem gällande exempelvis fukt och bärighet.

## 1.4 Metodik för examensarbete

För att kunna undersöka vilka energilösningar som skulle kunna vara användbara att applicera på byggnaden har det först skett en skanning om vad som finns på marknaden idag. Därför har rapporten baserats på en litteraturstudie för att undersöka vilka lösningar och tekniker som finns tillgängliga. I studien har det hämtats information från rapporter, artiklar, böcker, hemsidor och tidigare examensarbeten som behandlar energieffektivisering, energiproduktion och energilagring. För att söka efter information har olika databaser och sökmotorer använts som till exempel LIBRIS uppsök, LUP Student Papers, LUBcat, Universitetsbiblioteket och sökningar på Google. Vidare har det hållits intervjuer med sakkunniga för ytterligare information och handledning kring de olika tekniker och metoder som presenteras i rapporten. Val av rätt intervjupersoner har gjorts genom rekommendationer från handledare och kunniga på universitetet. Den insamlade fakta utgör en grund och skapar ett underlag inför valet av lösningar som utreds vidare och används i fallstudie och analys.

För att kartlägga byggnadens energibehov och energianvändning utgår beräkningarna från en energirapport utförd av BoKlok. Rapporten är baserad på ett av företagets befintliga flerbostadshus som är beläget i Malmö. På så sätt identifieras de behov som de undersökta energilösningarna i examensarbetet måste uppfylla. Vidare utreds byggnadens klimatskal och energisystem för att undersöka möjliga energieffektiva förbättringsåtgärder. Dessa energieffektiviseringar är nödvändiga för att få ner energianvändningen och därmed minska dimensionerna på energilösningarna som appliceras på byggnaden. Baserat på framtagen information görs ett urval av energieffektiva lösningar som undersöks och utreds noggrannare. När de har utretts noggrannare går det att göra lämpliga val på kombinationer som appliceras på byggnaden i fallstudier. Fallstudierna består av olika lösningskombinationer och dimensioneras så att de klarar av byggnadens energi- och effektbehov. Slutligen utförs en kostnadsuppskattning för varje fall.

För beräkningar kring dimensionering av solfångare har programmet SAM, System Advisor Model som NREL, National Energy Renewable Model ger ut, version 2018.11.11. För väderdata samt dimensionering av solceller har programmet PVGIS version 5 använts. För energiberäkningar som rör klimatskalet har Vip-Energy 4.1.8 använts och för beräkningar av köldbryggor användes HEAT2.

Beräkningar av DVUT, tidskonstant och energibehovsfördelningar har gjorts i Excel.

## 1.5 Disposition för examensarbete

I det första kapitlet sker en genomgång av de förutsättningar som kommer att ligga till grund för arbetet. I kapitlet förklaras vad ett off grid hus är, byggnaders energibehov och lokal energiproduktion vilket är relevant för att förstå resterande delar i arbetet. I nästa del undersöks vad det finns för energilösningar på marknaden idag. Därefter redovisas en referensbyggnad och en noggrannare utredning av ett urval av energilösningar som appliceras på referensbyggnaden. I efterföljande del kombineras energilösningarna i system som appliceras på referensbyggnaden i tre olika fall. Avslutningsvis presenteras slutsatser och diskussion.

## 2 Teori

### 2.1 Off grid hus

Ett off grid hus är ett hus som är helt frånkopplat från omgivande el-, vatten- och värmenät. För att fortfarande kunna tillgodose de behoven som en bostad har idag skall göra så innebär det att huset behöver vara självförsörjande när det kommer till faciliteter som vatten, el och värme (Taggart Vannini, 2014). Detta sker vanligtvis genom nyttjandet av lokal energi- och elproduktion från förnybara energikällor som till exempel solceller.

Innan ordentliga el- och värmenät fanns så levde alla så kallat off grid. Detta var före den allmänna elektricitetens tid. Vanligt för den tiden var att värmeförsörjningen i ett bostadshus istället bestod av en uppvärmd vedspis där färskvatten hämtades från en brunn. I nutidens off grid system används mer sofistikerade metoder för att uppfylla de grundläggande krav som ställs på ett boende idag. I dagens samhälle har det för vissa blivit mer utav en livsstil att leva off grid där människor väljer att flytta till mindre urbana områden och bosätta sig långt ifrån det civiliserade samhället. Det går också att välja olika nivåer på hur off grid boendet ska vara. Det kan till exempel innebära att huset är uppkopplat på VA-nätet men självförsörjande när det kommer till el och värme.

Det finns flera olika skäl till att leva off grid. Ett av de vanligaste är att det finns ett miljömässigt motiv då off grid boende minskar belastningen på omgivande nät och därmed reduceras det ekologiska avtrycket på planeten. Det kan också finnas en ekonomisk vinning i den typen av boende eftersom hushåll som är helt off grid inte behöver köpa el, värme och vatten från myndigheter och då inte heller är beroende av prisförändringar. Det kräver dock att off grid boendet utförs och konstrueras på ett korrekt och välutformat sätt (Wood, 2019). Enligt myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap ska ett hushåll klara sig i 7 dagar utan hjälp från myndigheterna (FIKK, 2019). Detta ger också en anledning till att leva off grid då huset blir mindre sårbart ifall en kris skulle uppstå och de allmänna näten är ur funktion.

### 2.2 Befintligt off grid

Det finns uppskattningsvis 1,7 miljarder människor globalt som lever off grid (Wood, 2019). Stora delar av den populationen utgörs av människor vars hus aldrig har kopplats till näten. Detta gäller främst i utvecklingsländer där vederbörande inte nödvändigtvis har gjort ett val att leva off grid utan har tvingats till att göra det eftersom näten inte är tillräckligt utbredda. I industriländer såsom USA, Kanada och Sverige har människor istället gjort ett aktivt val att leva off grid och valt att flytta in i eller utveckla sina hus för att göra det möjligt att leva bortkopplad från nätet. Utbudet av företag som bygger off grid byggnader på global basis är begränsade. Det finns däremot flera olika arkitektbyråer som ritat hus anpassade för att vara off grid på olika ställen runt om i världen. Ett exempel på detta är två-våningshuset Black Barn som ritades av Studio Bark i östra England. Byggnaden har solceller som tillgodoser elbehovet under dagtid och biobränsle med en generator samt batterier som tillhandahåller el under natten. Utöver det finns det ett värme- och avloppssystem som består av olika värmeåtervinnande tekniker och borrhål (Crook, 2019).

I Sverige så finns det i dagsläget ett mycket litet men varierat utbud av off grid hus. Detta består i allt från ombyggda sommarstugor som aldrig varit kopplade till det kommunala nätet (Bårtås, 2018) till moderna villor med avancerade tekniska lösningar som trots möjligheten valt att vara självförsörjande. Ett exempel på detta är "Villa Skönborg", ett passivhus beläget i närheten av Västerås, som är helt självförsörjande på el. För att åstadkomma detta är huset välisolerat, något som minskar kostnaderna för drift och uppvärmning. Vidare så använder det sig av decentraliserad ventilation med värmeåtervinning, effektivt utnyttjande av solinstrålning och en solcellspark som är kopplad till en batteribank för att kunna använda elen då inte solcellerna producerar någon el. Överskott från batteribanken omvandlas i en multifunktionell varmvattenberedare för att tillgodose behov för tappvarmvatten och golvvärme. Som backup använder sig huset av en stirlingmotor och en kondenserande gasolpanna (Gellenmyr, 2017). Vid moderna lösningar med mer omfattande system som de presenterade ovan så märks oftast knappt någon skillnad mellan att bo i ett sådant hus och ett traditionellt hus som är uppkopplad till näten.

I och med att det är den boende som själv måste tillgodose sitt behov av värme och el så finns det risk att det kan medföra extra arbete och begränsa bekvämligheter i hushållet. Idag finns det inga direkta riktlinjer eller kravspecifikationer gällande off grid boende men ett off grid hus ska precis som vanliga bostäder uppfylla Boverkets allmänna krav och föreskrifter. Hur mycket extra möda ett off grid boende medför beror på vilken utrustning som det finns tillgång till. För vissa sämre isolerade hus med ett mindre omfattande värmesystem krävs en konstant användning av en extern värmekälla, framförallt under vinterhalvåret. Samtidigt krävs en stram hushållning med aktiviteter som kräver ett stort behov av el och värme. Ett exempel på detta är en ombyggnad av en husvagn, där används till exempel T-spritkök, handvevad tvättmaskin och användning av vedspis på vintern (Camping, 2012).

### **2.3 BoKlok**

BoKlok är ett samarbete mellan IKEA och Skanska vars koncept är att genom kostnadseffektiv produktion av nya bostäder erbjuda standardiserade hus till ett billigare pris än den övriga marknaden. Det första BoKlok-området byggdes 1997 och det produceras uppskattningsvis 1200 bostäder varje år (BoKlok, 2019). Fram till idag så har de producerat ungefär 11 000 bostäder i Sverige, Norge, Danmark och Finland. Bostäderna byggs som standardiserade moduler i en fabrik och transporteras till byggarbetsplatsen där de monteras ihop. Arbetet som sker på byggarbetsplatsen är främst grundarbeten, montage av moduler till färdiga bostäder och fasad- och takarbeten.

Med de standardiserade modulerna erbjuds 4 olika lägenheter: 1 RoK, 2 RoK, 3 RoK och 4 RoK. Modulerna sätts ihop till hus som byggs i 2,3 eller 4 våningar som står på platsguten grund. De färdiga husen utrustas med antingen sadeltak eller pulpettak som kläs med antingen svart papp eller betongtakpannor. När det kommer till fasadmaterial är även det standardiserat med ett begränsat antal alternativ. I figur 1 visas en illustrationsbild av ett typiskt BoKlok hus med sadeltak.



Figur 1 - Illustrationsbild BoKlok Plogen (BoKlok, 2017).

I sitt hållbarhetsarbete använder idag BoKlok Ikeas hållbarhetsmodell Democratic design. Där bedöms projekten inom hållbarhet gällande form, funktion, ekologisk hållbarhet, lågt pris och kvalitet. För att minska miljöpåverkan byggs alla BoKlok-hus med en stomme av trä. Genom att stora delar av produktionen sker i fabrik begränsas mängden materialspill och transporter. Dessutom beslutades det att alla lägenheter som BoKlok säljer från och med 1 oktober 2018 ska ha solceller på taket (BoKlok, 2019) vilket är ännu ett steg som de tar mot ett mer hållbart byggande.

### 2.4 Lokal värme- och elproduktion för bostäder

I dagsläget så domineras värme- och elförsörjningen till hushåll och industrier i Sverige av el som distribueras via de större elnäten och värme som kommer från fjärrvärmenät (Energikommisionen, 2015). I ett fjärrvärmenät produceras hett vatten i en större central anläggning. Vattnet distribueras sedan ut till användarna genom välisolerade rörledningsnät i marken för att sedan överföras till byggnadens eget värmesystem (Vattenfall, 2019). Fjärrvärmens används av brukarna för uppvärmning i byggnaden genom till exempel radiatorer. En stor del av den värmen som produceras i de centrala anläggningarna kommer i dagsläget från bibränslen vilket är en stor skillnad från till exempelvis 70-talet då det i stort sett uteslutande kom från fossila bränslen (Energikommisionen, 2015). Elnät är distributionskanaler av el bestående av kablar och ledningar som transporterar elen från centrala kraftverk ut till användarna och förser dem med elektricitet. Elnätet i Sverige består av 48 200 mil ledningar (Vinger, 2013), även om vindkraften har utökats de senaste åren så kommer 83% av den el som produceras i de centrala kraftverken från vattenkraft och kärnkraft (Energikommisionen, 2015). Eftersom off grid handlar om att vara bortkopplad från de stora värme- och elnäten så krävs det att försörjningen av värme och el sker genom alternativa källor som inte är kopplade till näten. Vanligtvis produceras energin lokalt i anslutning till bostaden genom en förnybar energikälla.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Nedan ges en kort uppräknig av tekniker som exempel på sätt att producera energi på egen hand i nära anslutning till sin bostad. Dessa och flera alternativ kommer att utredas mer ingående senare i rapporten.

Genom att använda sig av solfångare utnyttjas solen för att utvinna energi som kan användas för till exempel uppvärmning och tappvatten. Det vanligaste sättet att göra detta är att installera solfångare på taket men det går även att placera på väggar eller ha solfångare som inte sitter på huset (Bokalders & Block, 2014). Ett annat sätt att tillgodose sitt energibehov är genom att ansluta byggnaden till en lågtempererad värmekälla och därmed använda en berg-, sjö-, mark-, frånlufts- eller uteluftsvärmepump. Vilket av alternativen som är mest lämplig att använda beror på förutsättningarna. När det kommer till egen produktion av el så går det att använda sig av solceller för att utvinna elektricitet (Bokalders & Block, 2014). I figur 2 visas BoKlok byggnader där solceller är installerade på taket. Ytterligare ett exempel på att producera el är att utnyttja vindkraften genom att installera en vindsnurra i anslutning till bostaden och på det viset utvinna el (Bolumlid, 2011).



Figur 2 - BoKlok Orangeriet i Vänersborg – med solceller som standard (BoKlok, 2018).

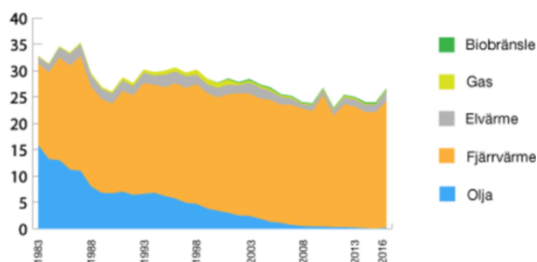
Det finns både för- och nackdelar kopplade till att producera energi nära anslutning till bostaden. En fördel är att det ger en tydlig översikt över var energin kommer ifrån. På så sätt går det att undvika oönskade utsläpp och miljöförstöring i samband med energiutvinning. Vanligtvis vid lokal produktion utvinns energin från en förnybar energikälla vilket är bra ur ett miljömässigt perspektiv. Distributionsförluster mellan produktion och användning minskar då produktionen sker i nära anslutning till brukaren vilket innebär att el- och värme inte behöver färdas långa sträckor genom nätet. Ur ett ekonomiskt perspektiv är det fördelaktigt på många sätt. Dels påverkas ett off grid hushåll mindre av förändringar i energipriserna och dels behöver inte el och värme införskaffas från externa parter. Det finns även andra ekonomiska incitament som till exempel möjligheten att sälja ett eventuellt överskott till elbolagen (Kellner, 2016). Med en egen

produktion skapas också möjlighet att bosätta sig på avlägsna platser och fortfarande ha kvar bekvämligheter såsom värmesystem och elektricitet.

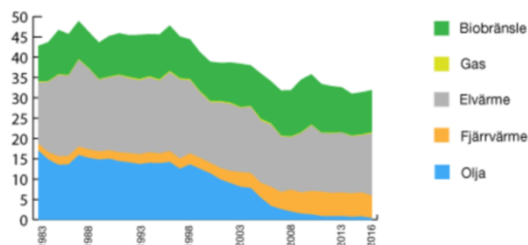
Samtidigt finns det flera nackdelar och utmaningar som är anknytna till off grid boenden. En av de största nackdelarna att bo off grid är att de ofta är beroende av intermittenta energikällor som sol och vind vilket inte är lika pålitliga jämfört med att andra energikällor som är anslutna till ett nät. Om det till exempel är molnigt begränsas utvinningen av solenergi och om det slutar blåsa är det svårt att utvinna energi från vindkraften. Det gör att det kan bli problematiskt att leva off grid under vinterhalvåret när egenproducerad el och värme från förnybara källor är betydligt lägre. För att kunna tillgodose sina behov under dessa perioder så krävs det välfungerande alternativ för energilagring eller möjligheten att producera energi från icke förnybara källor. Ett exempel på ett sådant alternativ är en stirlingmotor som drivs med hjälp av förbränning av pellets (Strive, 2015). En annan nackdel med off grid är att det uppstår en stor engångskostnad eftersom det oftast är dyrt att köpa och installera tekniken. Det finns också en risk att det ger ett estetiskt negativt intryck på byggnaden vid platskrävande installationer.

### 2.5 Energianvändning

Energianvändningen för uppvärmning varierar beroende på vilken typ av byggnad som innefattas. I småhus är el den vanligaste uppvärmningskällan och för lokaler samt flerbostadshus är uppvärmning med fjärrvärme det mest förekommande alternativet, se figur 3 och 4 (Energikommisionen, 2015). För att kunna använda fjärrvärme krävs det ett vattenburet värmesystem i byggnaden. Ungefär 90% av den totala energianvändningen för en konventionell byggnad med en beräknad livslängd på 50 år går åt för uppvärmning, kylning och drift av huset. Övriga 10% utgörs främst av material och transport i samband med produktion och rivning av byggnaden. Det innebär att det finns ett stort mervärde i att skapa byggnader med god isolering och välutformat klimatskal eftersom det leder till minskade energiförluster (Bokalders & Block, 2014). I samband med senare tids ökade utomhustemperaturer och allt mer energieffektiva metoder och tekniker har energibehovet minskat. Kraven för nya byggnader har också skärpts - sett ur ett energisparande perspektiv vilket har gjort att energianvändningen minskat ytterligare (Energikommisionen, 2015).



Figur 3 - Energianvändning för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshus, från 1983 TWh (Energimyndigheten, 2016).

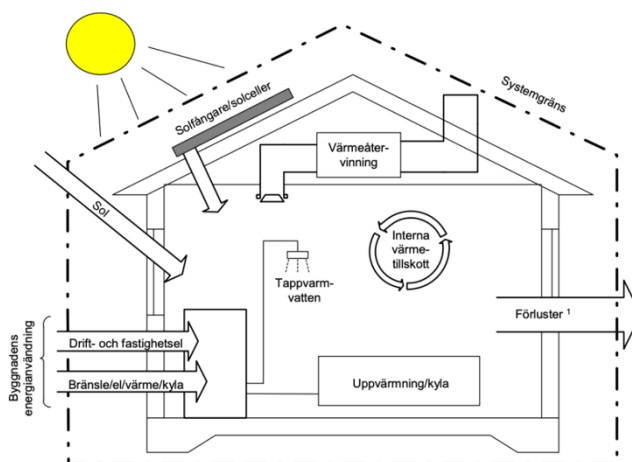


Figur 4 - Energianvändning för uppvärmning och varmvatten i småhus, från 1983 TWh (Energimyndigheten, 2016).

## 2.6 Effektbrist

Effektbrist eller elbrist uppstår då elen inte räcker till. Det kan inträffa under en kall dag när många hushåll behöver mycket el samtidigt. Effektbehovet är skillnaden mellan effektförluster och effekttillskott hos en byggnad och blir stort under kalla perioder (Carlsson, 1985). Det är främst vid de kritiska timmarna, dvs vid dimensionerande vinterutetemperaturen, DVUT, som det skapas ett underskott av el och därmed uppstår effektbrist. Sett över ett år produceras det i Sverige mer el än vad som förbrukas (Kellner, 2016). Det är när det är som kallast som en byggnad behöver mest energi. Det är samtidigt då efterfrågan att leverera energi är som störst vilket skapar ett stort effektbehov i samhället (Upphandlingsmyndigheten, 2018). Svenska kraftnät ser till så att det timme för timme alltid finns ett utbud av el som motsvarar efterfrågan. Med hjälp av prognoser framtagna av elleverantörernas balansansvariga kan de bedöma hur stor elförbrukningen är och avgöra om det behövs importeras eller exporteras el. Om inte prognoserna motsvarar den faktiska förbrukningen finns det risk för effektbrist och därför beräknar Svenska kraftnät den risken för varje timme (Svenska Kraftnät, 2018).

För att få en förståelse över hur en specifik byggnads energibehov kan se ut är det lämpligt att studera byggnadens energiflöden. Energi behövs i en byggnad för att tillgodose de krav som ställs på byggnaden. Boverket har utformat Byggregler, BBR där det finns krav på energi för bland annat uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi. Utöver dessa så finns det även verksamhetsenergi och hushållsenergi som behövs för att driva ett modernt hem eller verksamhet (Boverket, 2017). Exempel på hur en byggnads energianvändning ser ut enligt BBR illustreras i figur 5.



Figur 5 - Systemgränser för byggnadens energianvändning (BBR, 2006).

Vad som har stor inverkan på en byggnads energibehov är vilken typ av uppvärmningssystem som nyttjas. Värmeförlusterna i en byggnad är dels proportionella mot skillnaden i temperatur mellan ute och inne vid normal drift och mot hur tät och isolerad som byggnaden är (Jensen & Warfvinge, 2001). För att undvika och minska förlusterna är det därför viktigt att identifiera energiförlusterna i en byggnad och undersöka möjligheterna till att utföra energieffektiva åtgärder vid dessa anordningar (Bokalders &



Block, 2014). De värmeförluster som sker i en byggnad måste täckas med en lika stor mängd tillförd energi (Jensen & Warfvinge, 2001).

Energi i form av värme kan tillföras genom exempelvis person- och solvärme och kan gå förlorad genom till exempel ett dåligt isolerat klimatskal. Ett tillvägagångssätt att kartlägga en byggnads energiflöden är genom upprättandet av en energibalans. På så sätt framgår det hur energin kommer in i byggnaden och var den försvinner ut (Bokalders & Block, 2014). Energibalansen bestäms av tillförd och bortförd energi enligt ekvation 1 (Abel & Elmroth, 2016).

$$Q_{energi} = Q_{värme} + W = Q_t + Q_i + Q_v + Q_{tvv} + Q_{dr} + W_f + W_h - Q_{vå} - Q_{tillskott} - Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

$Q_{energi}$  = energibehov vid normal och avsedd användning av huset (kWh).

$Q_{värme}$  = värmebehov vid normal och avsedd användning av huset (kWh).

$W$  = elbehov vid normal och avsedd användning av huset (kWh).

$Q_t$  = byggnadens specifika värmebehov för transmissionsförluster (kWh).

$Q_i$  = värmeförluster på grund av luftläckning genom otätheter i klimatskärmen och/eller försakade av vädring (kWh).

$Q_v$  = värmebehov för ventilation, räknad som uppvärmning av uteluft till innetemperatur (kWh).

$Q_{tvv}$  = värmebehov för uppvärmning av tappvarmvatten (kWh).

$Q_{dr}$  = distributions- och reglerförluster inne i huset (kWh).

$W_f$  = elanvändning för att driva motorer till pumpar och fläktar, driftsel till frånluftsvärmepumpar (kWh).

$W_h$  = hushållselanvändning (kWh).

$Q_{vå}$  = värme som kan återvinnas och tillgodogöras huset genom installerade ventilationsvärmväxlare, frånluftsvärmepump, avloppsvärmväxlare eller dylikt (kWh).

$Q_{tillskott}$  = värmertilskott som kan tillgodogöras för att ersätta värmertilförsel i huset från så kallade internlasters såsom värme från personer, från hushållselanvändning, från tappvarmvatten och eventuellt övriga tillskott inom huset (kWh).

$Q_{sol}$  = värmertilskott genom solinstrålning genom fönster som huset kan tillgodogöra (kWh).

## 2.7 Byggnadens förluster och behov

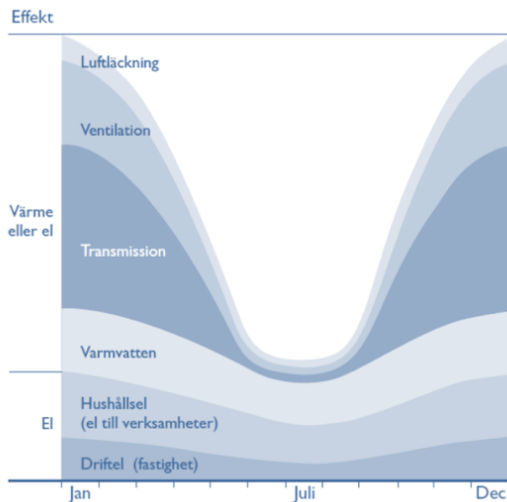
### Transmissionsförluster och luftläckage

När det är varmare inne än ute uppstår en värmetransport från insidan till utsidan.

Transmissionsförluster avser den värmetransport vilken uppstår genom byggnadsdelar som är exponerade mot uteklimatet så som grund, väggar, tak, dörrar och fönster. Storleken på förlusterna beror på hur stor temperaturskillnaden mellan inne och ute är samt hur väl huset är tätat och värmeisolerat (Abel & Elmroth, 2016). Vid luftläckning sker en okontrollerad infiltration av uteluft som minskar möjligheterna till värmeåtervinning och ökar värmeförlusterna då varm luft läcker ut. Förutom luftläckage genom klimatskalet är det också viktigt att ta hänsyn till brukarberoende faktorer som till exempel vädring.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Vädning påverkar inte primärt värmebehovet så länge den minskar övertemperaturer men den kan medföra ökade värmeförluster om temperaturen i rummet sänks väsentligt (Petersson, 2012). I figur 6 illustreras hur en fördelning av värmeförluster kan se ut i en byggnad.



Figur 6 - Värmeförluster (Warfvinge, Dahlblom 2014).

### Ventilationsbehov

Ventilationens huvudfunktion är att tillföra frisk luft och föra bort förorenad luft. Den ska också medverka till att föroreningar inte sprids i byggnaden, skapa ett undertryck inomhus och i vissa fall även värma eller kyla byggnaden. Byggnadens specifika värmebehov för ventilation utgörs främst av hur mycket uteluft som ska värmas upp och rådande utetemperatur (Warfvinge & Dahlblom, 2010). I välisolerade hus utgör ventilationen den största andelen av det byggnadens totala värmebehov. Dimensionering och reglering av ventilationsanläggningen krävs för att erhålla rätt luftflöde och spelar stor roll för energianvändning. Genom att återvinna värmen ur ventilationsluften minskar både byggnadens värmebehov och dimensionerande värmeeffekt (Petersson, 2012).

### Värmebehov för tappvarmvatten

Behovet av värmeenergi för uppvärmning av tappvarmvatten beror på brukarens vanor, byggnadens armatur och tiden det tar för det varma vattnet att nå blandaren. Temperaturen på inkommande kallvatten och utgående tappvarmvatten påverkar också energiåtgången (Sveby, 2012). Förbrukningen är relativt jämnt fördelat över året och vattnet värms antingen upp genom att tillföra el i en värmepump eller från externt bränsle. Under sommaren minskar behovet något och under vinterhalvåret ökar det eftersom vattnet är kallare vilket betyder att det går åt mer värme för att värma samma mängd vatten (Abel & Elmroth, 2016). Rekommenderad årsschablon enligt BEN är  $25 \text{ kWh/m}^2 (A_{\text{temp}})$  för flerbostadshus och  $20 \text{ kWh/m}^2$  för småhus.

### **Distributionsförluster och reglerförluster**

Distributionsförluster omfattar friktionsförluster i ledningar och kanaler samt värmeförluster som uppkommer i distributionsledningar för värme och tappvarmvatten. Förlusternas storlek beror bland annat på ledningarnas längd och värmeisolering. Ledningar där varmvatten cirkulerar under hela året ger upphov till stora distributionsförluster. Den värme som ledningarna ger ifrån sig kan visserligen tillgodoses av huset men det finns också risk att det bidrar till övertemperaturer som behöver ventileras. Sett till en byggnads totala värmebehov utgör distributionsförluster en relativt liten andel av förlusterna i energibalansen (Abel & Elmroth, 2016). Med reglerförluster avses de förluster som uppstår vid en temperaturskillnad mellan önskade och hållna temperaturer. Skillnaden beror på temperaturreglering och värmesystemets utformning, injustering och reglerförmåga. Alla moderna flerbostadshus har idag ett automatiskt reglersystem som säkerställer en jämn och behaglig inomhustemperatur (Abel & Elmroth, 2016).

### **Fastighetsel**

I fastighetsel ingår främst el som behövs för att kunna driva och upprätthålla byggnadens installationer som till exempel fläktar för ventilation och pumpar för cirkulation. Elen ska även täcka användningen av gemensamma funktioner som tvättstugor, hissar och belysning utomhus (Sveby, 2012).

### **Hushållsel**

Med hushållsel avses den el som används för hushållsändamål som belysning, tv, datorer spis och kyl. Elanvändningen varierar mycket beroende på brukarens vanor och på hur effektiv utrustningen är. Hushållselen är normalt högre på vintern än sommaren och utgör en stor andel av energibalansen för en bostad (Abel & Elmroth, 2016).

### **Värmeåtervinning**

Värmeåtervinningen sker vanligtvis på två olika sätt vilka är med värmeväxlare eller med värmepump. Det är framförallt i ventilationen som stora värmeförluster kan besparas genom att återvinna värmen i frånluften. Den inkommande uteluften värms upp av den varmare utgående luften och gör att en värmeväxlare kan återvinna upp till 85% av värmen ur frånluften (Pettersson, 2012), (Swegon, 2016). Med en frånluftsvärmepump skapas också möjligheten att ta tillvara på värmen i frånluften. Värmen som pumpen alstrar kan användas för att värma tappvarmvatten eller värma en byggnad via ett vattenburet värmesystem (Abel & Elmroth, 2016).

### **Passivt värmetillskott och solinstrålning**

Passivt värmetillskott innefattar den värme som tillgodogörs från personer, belysning, utrustning, solinstrålning och tappvarmvatten. Detta leder till att värmebehovet i en byggnad reduceras av tillskottet under uppvärmningssäsong men det finns risk att det kan leda till övertemperaturer under sommaren. Ett rekommenderat medelvärde för personvärme är 80W per person. All personvärme kan tillgodogöras fullt ut i en byggnad om det finns ett värmebehov (Sveby, 2012). Ungefär 70–80% av hushållselen kan omvandlas till värme som byggnaden kan använda, motsvarande siffra för tappvarmvatten är ca 20%. Resterande del utgörs av förluster genom exempelvis spisfläkt och avlopp (Pettersson, 2012). Solinstrålningens effekt på byggnadens värmebehov beror på byggnadens utformning och placering av fönster.

I jämförelse med kontor och lokaler så behöver bostäder mycket energi för uppvärmning och tappvarmvatten. Detta beror på att kontor och andra lokaler får stora energitillskott från utrustning, processer och personer vilket gör att det till och med kan bli för varmt och istället uppstå ett kylningsbehov på sommaren. Behovet för tappvarmvatten är också lägre. I och med att dessa kylningsmetoder ofta kräver el så ökar detta byggnadens energibehov ännu mer under varma perioder (Energimyndigheten, 2019).

## 2.8 Energikrav på byggnad

För att säkerställa tillräcklig energieffektivitet hos byggnader så har Boverket satt upp krav på en byggnads energianvändning. Byggnadens energianvändning (se ekvation 2),  $E_{bea}$ , definieras som den energi som normalt levereras till en byggnad under ett normalår. Kraven innefattar BBRs definition av en byggnads energianvändning vilken innefattar energi för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi (Boverket, 2011). I definitionen ingår alltså inte energi för hushållsel.

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \quad [\text{kWh/år}] \quad (2)$$

$E_{uppv}$  = energi till uppvärmning, kWh/år

$E_{kyl}$  = energi till komfortkyla, kWh/år

$E_{tvv}$  = energi till tappvarmvatten, kWh/år

$E_f$  = fastighetsenergi, kWh/år

### Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor

BBR ställer dessutom krav på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar enligt tabell 1 och köldbryggor,  $U_m$ . Detta är ett värde på hur bra isolerad som byggnaden är. Ett lågt värde på  $U_m$  betyder att klimatskärmen är mer isolerad än vid ett högt värde.

$U_m$  beräknas enligt ekvation 3.

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^{l_k^m} \psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j}{A_{om}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (3)$$

$U_i$  = värmegenomgångskoefficient för byggnadsdel  $i$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ).

$A_i$  = arean för byggnadsdel  $i$  area mot det uppvärmda utrymmet.

$\psi_k$  = värmegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan  $k$  ( $\text{W/mK}$ ).

$l_k$  = längden av den linjära köldbryggan  $k$  (m).

$\chi_j$  = värmegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan  $j$  ( $\text{W/K}$ ).

$A_{om}$  = sammanlagd area för omslutande byggnadsdelarytor mot uppvärmt utrymme ( $\text{m}^2$ )

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 1 - BBR:s krav på den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten.

	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ) [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Bostäder</b>		
<b>Småhus</b>	4,5 + 1,7x ( $F_{geo}-1$ )	0,40
<b>Småhus där <math>A_{temp}</math> är mindre än 50 m<sup>2</sup></b>	Inget krav	0,33
<b>Flerbostadshus</b>	4,5 + 1,7x ( $F_{geo}-1$ )	0,40

## 2.9 Värmeförlusttal

För att undersöka när värmebehovet i en byggnad är som störst beräknas ett värmeförlusttal. Värmeförlusttalet beskriver byggnadens värmeförlust vid dimensionerande vintertemperatur för respektive ort och med en bestämd tidskonstant, till exempel med en tredygns-konstant. Tidskonstanten beror på hur bra byggnaden kan lagra värme genom t.ex. en stomme med bra värmelagringsförmåga. Ett lågt värmeförlusttal innebär en minskad belastning på byggnadens energisystem då det är som mest ansträngt och ger en god indikation på hur energieffektiv byggnaden är. Talet tar inte hänsyn till den inverkan som solenergi och spillvärme har på byggnadens värmebehov och tar inte i beaktning den inverkan på energianvändningen som kan variera beroende på de boendes beteende och verksamheter. Värmeförlusttalet tar endast hänsyn till värmeförlusterna som sker genom klimatskärm och ventilation (Upphandlingsmyndigheten, 2018).

### Beräkning av värmeförlusttal (VFT)

VFT beräknas som summan av byggnadens förluster via transmission, ventilation och infiltration (luftläckning via klimatskärm) (FEBY, 2019). Värmeförlusttalet beräknas genom ekvation 4.

$$VFT_{DVUT} = \frac{[H'_T \cdot (21 - DVUT) + (U_{mark} A_{mark} + \psi_{mark} l_{mark}) (21 - T_{mark})]}{A_{temp}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

DVUT väljs för respektive ort och bestämd tidskonstant.  $A_{temp}$  är den uppvärmda golvarean och  $H'_T$  är byggnadens värmeförlustkoefficient [W/K] exklusive förlusterna mot mark och beräknas enligt följande ekvation:

$$H_T = U_m \cdot A_{omsö} + \rho \cdot c \cdot q_{läck} + \rho \cdot c \cdot q_{vent} (1 - v) \quad [\text{W/K}] \quad (5)$$

$$H'_T = H_T - U_{mark} A_{mark} - \psi_{mark} l_{mark} \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

$U_m$  är klimatskärmens genomsnittliga U-värde och inkluderar värmeförlusterna via mark. Värmeeffektörluster på grund av luftläckning, luftens densitet och värmekapacitet samt systemets verkningsgrad och relativ drifttid beräknas enligt ekvation 5. I ekvation 6 tas hänsyn till köldbryggor och värmeförluster via mark.

Där:

$\rho$ , luftens densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c$ , luftens värmekapacitet	[J/kg K]
$q_{läck}$ , luftläckning (enligt ekvation 7)	[m <sup>3</sup> /s]
$d$ , relativ drifttid	[W/K]
$v$ , systemets verkningsgrad	[%]

Luftläckningen,  $q_{läck}$ , för ett FTX-system beräknas med hänsyn till byggnadens läge och ventilationens balansering, enligt EN ISO 13789:2008. Balanserade till- och frånluftsflöden antas.

$$q_{läck} = q_{50} * A_{oms1} * e \quad [l/s] \quad (7)$$

där  $q_{50}$  är läckflödet vid 50 Pa tryckskillnad mellan inne och ute [m<sup>3</sup>/s m<sup>2</sup>] och  $e$  är en vindskyddskoefficient enligt tabell 2.

Tabell 2 - Vindskyddskoefficienter enligt FEBY12.

Vindskyddskoefficienter $e$	Flera sidor exponerade	En sida
Koefficient $e$ för avskärmningsklass exponerad		
Ingen avskärmning. Öppet landskap eller höga byggnader i staden	0,10	0,03
Måttlig avskärmning. Förortsmiljö, landskap med träd och andra byggnader	0,07	0,02
Kräftig avskärmning. Byggnad i skog eller med genomsnittshöjd i city	0,04	0,01

### Tidskonstant

För att få ett mer korrekt värde på DVUT beräknas byggnadens tidskonstant. Tidskonstanten beror på byggnadstyp och material och beskriver hur lång tid inomhustemperaturen i en byggnad svarar på en hastig temperaturförändring utomhus. Vanligtvis används ett schablonvärde för att få fram ett värde på tidskonstanten.

Enligt FEBY gäller:

Lätt byggnad: 3 dygn (lätt konstruktion och krypgrund)

Halvlätt byggnad: 6 dygn (lätt konstruktion, betongplatta på mark)

Halvtung byggnad: 12 dygn (tung konstruktion, bjälklag av betong, lätta utfackningsväggar)

Tung byggnad: 12 dygn

Vid fall där byggnaden kan klassas i flera kategorier beräknas tidskonstanten fram för hand med ekvation 8:

$$\tau_b = \sum(m_i * c_i) / H_T \quad [s] \quad (8)$$

$$\sum(m_i * c_i) \quad \text{byggnadsdelarnas värmekapacitet, för alla skikt som ligger innanför isoleringsskiktet, inklusive inneväggar och bjälklag upp till 10 cm [J/K]}$$

Därefter interpoleras den framtagna tidskonstanten för att få fram ett värde på DVUT.

## 2.10 Effektbehov tappvarmvatten

För att ta reda på det maximala effektbehovet för uppvärmning krävs det att effekten för tappvarmvatten beräknas. Effekttoppen kommer att inträffa när flest boende använder tappvarmvatten vilket vanligtvis inträffar på morgonen eller på kvällen. Variationen för tappvarmvattenflöde har tagits fram i en rapport där tappvarmvattenanvändandet undersökts i 1000 lägenheter under 6 år. Flödet redovisas i figur 7. Det dimensionerande flödet når sitt max under eftermiddagen på vardagar då det uppgår till 0.17 l/h BOA och på morgonen under helgerna uppgår det till 0.22 l/h BOA. För att beräkna effektbehovet används ekvation 9. Vid bestämning av effektbehovet för en värmeväxlare vid direktväxling från fjärrvärmenätet kan normalt ett dimensionerande varmvattenflöde på 0,4 l/s för de 16 lägenheterna användas (Svensk fjärrvärme, 2014). Effektbehovet här beror på hur dimensionering av ackumulatortank och eventuell tappvarmvattenprioritering görs. I detta examensarbete används ett uppmätt flöde från en forskningsstudie, vilket är lägre än flödet för direktvärmväxling, men detta måste studeras djupare vid en verklig dimensionering.

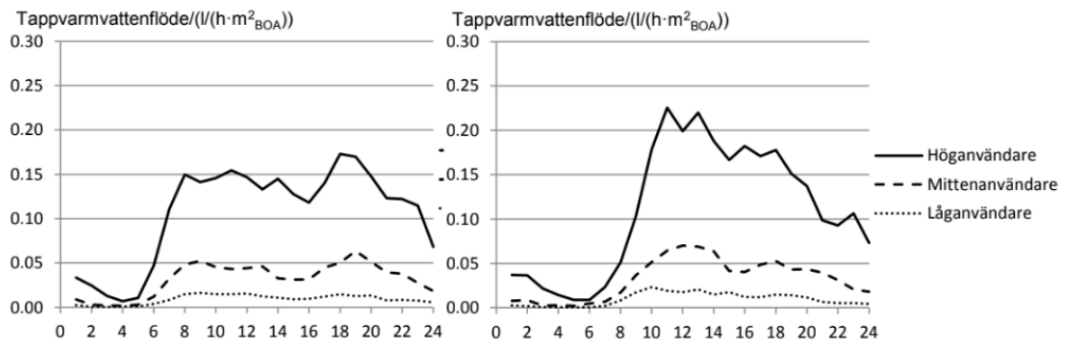
$$P = q * \rho * c * (T_{vv} - T_{in}) \quad [W] \quad (9)$$

$P$ , dimensionerande effekt	[W]
$\rho$ , vattnets densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q$ , flöde	[l/s]
$T_{vv}$ , varmvattnets temperatur	[°C]
$T_{in}$ , kallvattnets temperatur	[°C]
$c$ , vattnets värmekapacitet	[kJ/(kg·C)]

Kravet på lägsta accepterade temperatur dvs 50°C måste vara uppfyllt. 55°C används som standard för temperatur på varmvatten. BBRs krav på 60°C vid stillastående varmvatten ska dock beaktas. Kallvattnets temperatur är densamma som medeltemperaturen över året och beräknas till 8°C.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

BOA uppskattas motsvara  $A_{temp}/1,25$ .



Figur 7 - Variation under dygnet under vardagar (till vänster) och helgdagar (till höger) under november till och februari (Bagge, 2015.)



## 3 Tekniska lösningar

I avsnittet utreds olika energieffektiva lösningar och tekniker. Avsnittet är uppdelat så att det till en början behandlar tekniker för el- och värmeproduktion. Därefter utreds metoder för lagring. Syftet med samtliga utredningar i kapitlet är att det ska fungera som underlag till att välja lämpliga lösningar att undersöka vidare. De valda lösningar presenteras i en övergripande bild vilket illustreras i figur 46, 47 och 48.

### 3.1 Vindkraftverk

Vindrörelser uppstår genom att solenergi värmer luft vilket får olika temperatur på olika platser på jorden. Dessa temperaturskillnader ger upphov till över- och undertryck vilket bildar vindrörelser. Vindrörelser påverkas inte bara av solen utan även av eventuella hinder, byggnader och hur landskapet ser ut (SMHI, 2017). Vindkraft är en förnybar energikälla som utnyttjar vindens rörelse. Energin utvinns med hjälp av ett vindkraftverk som omvandlar rörelseenergi till elektrisk energi genom att låta vinden sätta rotorblad i rörelse. Rotorbladen driver i sin tur en generator som producerar el och skickas ut till brukarna (Vattenfall, 2019).

År 2017 stod vindkraft för 17,5 TWh av elproduktionen i Sverige (Energiföretagen, 2018). Detta är en ökning på 10% från föregående år och motsvarar ungefär 11% av landets totala elproduktion (SCB, 2018). Vindkraftverken i Sverige är idag främst placerade i södra Sverige och runt kusterna eftersom dessa områden erbjuder goda vindförhållanden för vindkraft. På senare år så har det även blivit populärt att bygga vindkraft ute till havs, på fjällområden och i skogsområden. Detta förutsätter dock höga vindkraftverk som reser sig över trädtopparna (Nationalencyklopedin, 2019). Den här typen av vindkraftverk benämns i rapporten som större anläggningar. I kategorien större anläggningar ingår vindkraftverk med en höjd på minst 150 meter. Verket utvinner energi då det blåser mellan 4–25 m/s och är som effektivast vid vindhastigheter mellan 12–14 m/s. Vindhastigheter under 4 m/s är vanligtvis för låga för att ett vindkraftverk skall kunna utvinna någon energi och vid hastigheter över 25 m/s stoppas elproduktionen för att förhindra slitage (Vattenfall, 2019). Det krävs både tillstånd från länsstyrelsen och ett godkännande från kommunen för att få upprätta ett vindkraftverk i den storleken (Länsstyrelsen, 2010). Livslängden på ett vindkraftverk är ungefär 25 år (Vasa Vind, 2014).

Alla vindturbiner har någon form av starthastighet som vinden minst måste uppnå för att rotorbladen ska börja snurra och verket därigenom kunna utvinna elektrisk energi från vindens rörelser. Ett modernt vindkraftverk som är placerat högt upp i luften tar tillvara på ungefär 50% av vindens energi (Jämtkraft, 2019). Ett mindre verk med rotor upp till 3 meter har något lägre verkningsgrad. Hur effektiv en turbin är beror främst på hur rotorbladen är utformade. Den maximala energin som maximalt går att få ut ur vinden rent teoretisk är enligt Betz' lag 59% men aerodynamiska och mekaniska förluster i turbinen gör att verkningsgraden i praktiken blir lägre (Eon, 2009).

#### Småskalig vindkraft

Utöver större anläggningar kommer småskalig vindkraft att behandlas i rapporten vilken delas in i miniverk och gårdsverk. I småskalig vindkraft ingår alla vindkraftverk med en märkeffekt upp till 100 kW. För villa och fritidshus är det vanligt med miniverk vilka har

en maximal totalhöjd på 20 meter och en rotordiameter på max 3 meter. Den utvunna effekten beror på flera parametrar som till exempel vindens förutsättningar, vindkraftverkens storlek och vart de är placerade. Vanligtvis varierar effekten för ett miniverk mellan 0,5–3 kW (Kfsk, 2015). Småskaliga vindkraft i anslutning direkt till bostaden behöver godkännas av elnätsföretaget och kan anslutas direkt till elmätaren. Elmätaren kan utbyta eventuellt under- och överskott med andra hushåll som är anslutna till samma nät eller befinner sig i ett nära grannskap med bostaden. Om bostaden inte är ansluten till elnätet så är det ett vanligt alternativ att ansluta vindkraftverket till ett batteri som lagrar energi. Om bostaden dessutom har solceller installerat kan den anslutas till samma batteri (Vu, 2016). Bygglov krävs om rotordiametern är större än 3 m, den är över 20 meter hög, den monteras på en byggnad eller om den uppförs på ett avstånd från tomtgränsen som är mindre än verkets höjd. Om dessa inte uppfylls så är klassas den som ett miniverk och det behövs alltså inte något bygglov (Vindlov, 2017).

### Gårdsverk

Gårdsverk definieras som verk med en höjd på minst 20 meter över markytan och kräver bygglovs för att få anläggas. Rotordiametern är minst tre meter och effekten varierar mellan 10–50 kW (Byggahus, 2014). Generellt är det viktigt vid placering av vindkraftverk att beakta bullerproblem och säkerhetsavstånd till närliggande bebyggelse då det finns risk att is kan lossna från vindkraftverket. Om verket placeras på byggnader så kan det också finnas risk att vibrationer uppstår (Bokalders & Block, 2014).

### Beräkning

Energien som ett vindkraftverk producerar över året beräknas med hjälp av vindens hastigheter och variationer samt verkets rotordiameter. Rotordiametern är diametern på cirkeln som bildas när rotorbladen roterar ett varv. Olika vindturbiner producerar olika mycket elektrisk energi, beroende på hur mycket det blåser. För att beräkna hur mycket el som ett verk kan utvinna ur vindens energi skattas sannolikheten för att en viss vindhastighet ska uppnås. Skattningen av vindens hastigheter för ett specifikt område beskrivs genom en Weibullfördelning. Fördelningen baseras på medelvindhastigheten och redovisar sannolikheten för att varje vindhastighet ska uppnås (Farhadian, 2014). På så sätt går det att anpassa varje vindkraftverk utefter vindens förutsättningar i området. Utöver sannolikheten för vindens hastigheter behöver också vindens variationer över året tas med i beräkningen. Därefter går det att beräkna mängden energi som produceras över ett år. Ekvation 10 är förenklad men ger en god uppskattning av det verkliga värdet (Svensson, 2019).

$$E_w(U) = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3 * n * C_p(\lambda * \beta) * K_e * time \approx 7 * R^2 * U^3 \text{ [kWh/år]} \quad (10)$$

$R$  = Rotordiameter

$U$  = Vindhastighet

Formeln ger en genomsnittlig årlig energiproduktion som sen fördelas över varje specifik månad och varierar med respektive månads variationskonstant. Värdet korrigeras därefter utefter vindkraftverkets startvinds-förutsättningar och slutligen beräknas en månadsproduktion som tar hänsyn till sannolikheten för att vindens startnivå ska uppnås.

## 3.2 Solceller

Solceller skall inte förväxlas med solfångare eftersom solceller genererar elektricitet och solfångare endast värme. I en solcell omvandlas solenergi i form av ljus till elektricitet. En principiell solcell består av en tunn skiva av ett halvledarmaterial. När solcellen träffas av solljus uppstår det en elektrisk spänning mellan framsidan och baksidan av solcellen. Spänningen driver elektroner i en viss riktning och på det viset uppstår ström som samlas in på solcellens framsida. Den genererade elen är till en början likström som i solcellen omvandlas till växelström med hjälp av en växelriktare eller batteri. Strömmen leds ut ur solcellen med hjälp av ledningar. För att skapa en solcellsmodul så seriekopplas flera solceller ihop. Syftet med detta är att uppnå högre spänning, göra den mer robust, lätthanterlig och beskydda solcellen (Energimyndigheten & Boverket, 2005).

Utvecklingen av solceller brukar delas upp i tre olika generationer. Solceller som använder kiselteknik, tunnfilmssolceller och nanostrukturerade solceller. Den sistnämnda befinner sig dock fortfarande i utvecklingsstadiet (Bokalders & Block, 2014). Solceller som är baserade på kiselteknik är mest vanligt förekommande vilket främst beror på att den har en högre verkningsgrad än tunnfilmssolceller. Verkningsgraden i det här fallet motsvarar hur stor andel solenergi som cellen klarar av att omvandla till elektricitet (Kellner, 2016).

Kiselsolceller är antingen uppbyggda av monokristallint kisel eller polykristallint kisel. Monokristallint kisel har en högre verkningsgrad jämfört med polykristallint kisel men är dyrare att framställas. Tunnfilmssolceller innehåller amorft kisel vilket tillverkas av tunna skikt halvledare som har förångats på glasplattor eller andra substrat såsom kapron eller rostfritt stål. En fördel tunnfilmssolceller har gentemot kiselsolceller är att de fungerar bättre i diffust ljus (Bokalders & Block, 2014). Verkningsgraden är däremot något lägre, 5–10% i förhållande till kiselsolceller som har en verkningsgrad på 12–15% (Energimyndigheten & Boverket, 2005).

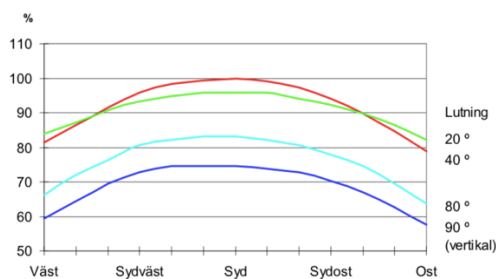
De nanostrukturerade solcellerna använder sig av en process som liknar fotosyntesen hos gröna växter. I detta fallet är halvledarmaterialet titandioxid. Den stora skillnaden mot vanliga solceller är att ena sidan av halvledarmaterialet är täckt av ett färgämne och att elektriskt ledande vätska används som elektronbärare istället för metall som används i vanliga solceller. Fördel med dem är att de är billiga att tillverka, återvinningsbara och att de fungerar bra även när det är molnigt (Bokalders & Block, 2014).

Fram till 2000-talet användes i stort sett bara solceller till objekt som inte är anslutna till elnätet som exempelvis segelbåtar, mindre off grid boenden och husvagnar. Marknaden har vuxit sig stark i Sverige sedan dess och i slutet av 2016 fanns det 15 gånger fler solcellslösningar kopplade till elnätet än de som inte var det. Andelen utgörs främst av solceller som är installerade på tak. 2016 så var 32% av solcellerna privatägda och installerade på småhus, 62% var installerade på tak kopplade till företags, lantbruksbyggnader och offentliga byggnader. Resterande 6% utgörs av solceller installerade direkt på mark (Energimyndigheten, 2016). Det är också möjligt att placera solceller likt ett solskydd vilket illustreras i figur 8. Av Sveriges totala elproduktion utgjorde solceller 2017 endast 0,14% vilket kan jämföras med 11% från vindkraft och ca 40% från vatten- respektive kärnkraft (SCB, 2018).

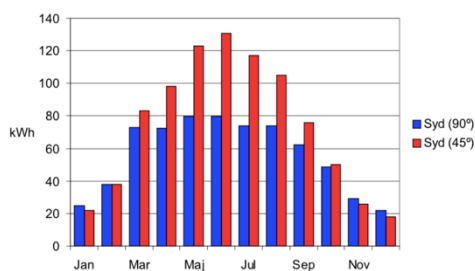


Figur 8 - Solceller placerade på solskydd (Svensksolenergi, 2016).

För att till fullo utnyttja solcellers potential är det viktigt att de anordnas och monteras på ett korrekt sätt. Viktiga faktorer som bör övervägas vid placeringen är solcellernas lutning, orientering, skuggning, temperaturer och vilket spektrum det är på ljuset. Den optimala vinkeln att placera solceller i Sverige för att optimera elproduktionen är omkring 45° lutning i sydlig riktning. I figur 9 och 10 redovisas solcellers potential i olika lutningar. Vid en placering i sydväst eller sydost sker en marginell försämring av verkningsgraden hos solcellen, detsamma gäller för vinklar inom 20–60° (Umeå Energi, 2019). Det har på senare år utvecklats en teknik för att optimera orienteringen genom att det har tagits fram rörliga solceller som följer solens bana. Ett problem med solceller är att dess verkningsgrad sjunker om temperaturen blir för hög. För att förebygga problemet installeras vanligtvis en ventilerad luftspalt bakom solcellen.



Figur 9. Solcellers maximala årsproduktion i % vid olika lutning och riktning. PVGIS



Figur 10. Energiproduktion fördelat över året för 1 kW solceller i söderläge med olika 45° och 90° lutning. PVGIS

En annan nackdel med solceller är att elproduktionen blir kraftigt begränsad om den skuggas. Om bara en del av solcellen är skuggad kan den icke skuggade delen producera el. Om det är mulet kan solcellen fortfarande producera el men inte i samma utsträckning som vid strålning sol (Bokalders & Block, 2014). Enligt energimyndigheten kan en ny solcellsanläggning på 7 m<sup>2</sup> producera 950 kWh/år om den är placerad på en oskuggad yta

och med en lutning mellan 30 till 50° (Energimyndigheten, 2015). Det går att jämföra med en icke eluppvärmd villa som i Sverige har en normal elanvändning som är 5000 kWh/år (Energimarknadsbyrån, 2019). Livslängden för solceller är lång och uppgår normalt till 25–30 år (Solarregion, 2015).

### 3.3 Biobränsle

#### **Biobränsle till el, värme och lagring**

Biobränslen är en gemensam namnbeteckning på förnybara bränslen som producerats av organiskt material. Bränslena innehåller kemisk lagrad solenergi som har förenats i materialets biomassa genom fotosyntes (Svebio, 2018). Utifrån den underliggande råvarans ursprung delas dagens biobränslen in i de fyra undergrupperna trädbränsle, avlutat, jordbruksgrödor och åkerbränslen. Av de biobränslen som används i Sverige idag kommer ungefär 90% från skogssektorn (Kellner, 2016). Biobränslen anses inte bara vara en förnybar energikälla eftersom det kontinuerligt bildas nytt utan den betraktas också som koldioxidneutral. Vid förbränning av biobränsle avges koldioxid på liknande sätt som sker vid förbränning av fossila bränslen. Skillnaden är att koldioxiden binds i ny biomassa och återanvändas till bränsle. Nettotillskottet av den frigjorda koldioxiden förblir oförändrat och bränslet anses därför vara koldioxidneutralt (Naturskyddsföreningen, 2014).

#### **Biobränsle i kondenskraft**

Biobränsle kan nyttjas på olika sätt och med olika tekniker. Ett vanligt förekommande användningsområde är att producera el genom att förbränna biobränsle i ett kondenskraftverk. Tekniken är lik den som används i dagens kärnkraft men med biobränsle som energikälla. Ånga stiger vid förbränningen av bränslet och elektricitet genereras med en turbin som kopplats till en generator. El producerad med biobränsle är efter vattenkraft, kärnkraft och vindkraft den fjärde största formen av elproduktion i Sverige. Totalt utgör biobränsle ungefär 7% av Sveriges totala elproduktion (Svebio, 2018).

#### **Biobränsle i kraftvärme**

Biobränsle används idag i huvudsak som bränsle till kraftvärmeverk där både elkraft och värme kan produceras samtidigt, se figur 11. Potentialen för biobränslebaserad el- och värmeproduktion beror till stor del på tillgången på bioråvara och vilken teknik som utnyttjas (IVA, 2015). Tekniken när elkraft och värme produceras samtidigt från biobränsle ger en hög verkningsgrad och kan uppgå till 85%. Något som kan jämföras med ett kärnkraftverk där två tredjedelar av energin går ut som spillvärme och kyls bort (Andersson, 2017). Värmen som kraftvärmern genererar kan tillämpas inom flera användningsområden som till exempel i fjärrvärme eller kopplas direkt till en värmemotor. Biobränsle kan dessutom fungera som en lagring av energi och förbrännas vid kritiska tidpunkter när effektbehovet är stort (Kellner, 2016).

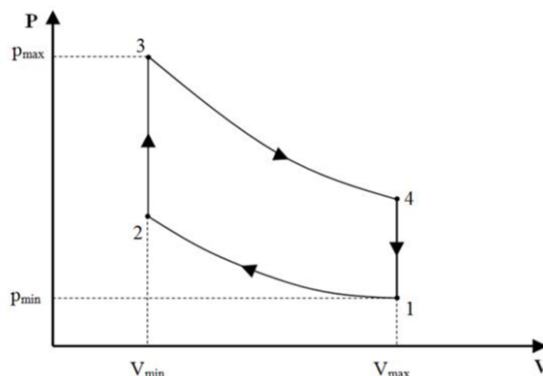


Figur 11 Illustrationsbild hur kraftvärme fungerar (Energiforetagen 2018).

### Stirlingmotor kombinerad med kraftvärme

I mindre skala lämpar sig inte ångturbiner för kraftvärmeproduktion utan då passar annan teknik, till exempel en stirlingmotor bättre. Stirlingmotorn är en kolvmotor där förbränningen av bränslet sker utanför cylindern. I motorn finns ett arbetsmedium, vanligtvis helium eller vätgas som genom uppvärmning och nedkylning antingen komprimeras eller expanderas. Detta skapar en rörelse hos kolven. Kolven kopplas till en vevaxel som driver en turbin och vidare till en generator som producerar elektricitet (SLU, 2011). Tekniken är fördelaktig eftersom stirlingmotorn kan drivas av värme från de flesta värmekällor, har lång livslängd och goda delast-egenskaper.

Stirlingmotorns arbetsgång illustreras i figur 12. I processen mellan punkt 1 och 2 komprimeras arbetsmediet under lågt tryck och låg temperatur. Därefter tillförs värme i systemet vilket leder till att temperaturen stiger och trycket höjs. Mellan punkt 3 och 4 expanderar gasen och energi kan tas ut ur systemet i form av el och värme. I steget 4–1 sjunker både temperatur och tryck (Eriksson, 2009).



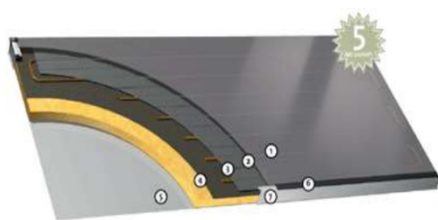
Figur 12 - Stirlingmotorns processer (Mangion Mucat et al, 2014)

Idag är utbudet för småskaligt kraftvärmeverk för villor och hemmabruk begränsat. Endast enstaka varianter av tekniken finns på marknaden. I ett fall har ett svenskt företag tagit fram en stirlingmotor som under 600–900°C och maximal kapacitet kan generera en effekt på 12 kW värme och 5 kW på el. Det är även möjligt att seriekoppla motorerna för att uppnå en ännu större effekt vilket kan vara aktuellt för flerbostadshus. Stirlingmotorn kan drivas av biobränsle och har en hög total verkningsgrad som kan uppgå till 90% varav 30% blir el och 60% värme. Tekniken lämpar sig för hushåll med vattenburen värme och stirlingmotorn kopplas då till en ackumulatortank som i sin tur värmer upp systemet (Schultz, 2018).

### 3.4 Solfångare

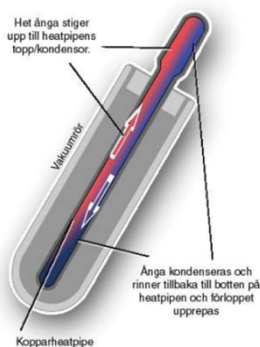
Solfångare samlar upp och tar till vara på solens energi. När solens strålar träffar solfångaren omvandlas energin till värme. Värmen transporteras eller lagras i ett medium vilken vanligtvis består en vattenbaserad vätska. Den soluppvärmda vätskan cirkulerar runt i systemet med hjälp av en pump och förs vidare till en ackumulatortank där ett värmeutbyte sker. Den kvarvarande nedkylda vätskan pumpas tillbaka ut i solfångaren och värms återigen upp av solens strålar (Lindström, 2016). Vanligtvis placeras solfångare på taket och gärna med en lutning för att optimera användandet av solens strålningsenergi. Solvärmern kan antingen användas i en varmvattenberedare för tappvarmvatten eller i ett kombisystem med en ackumulatortank. Tekniken är ett lämpligt komplement till en annan värmekälla och användningsbar för byggnader och anläggningar med behov av uppvärmning och tappvarmvatten under sommarhalvåret. I Sverige så producerar solfångare mellan 300–700 kWh/m<sup>2</sup> varje år och har en livslängd på 30–50 år (Bokalders & Block, 2014).

Idag används främst plana solfångare, koncentrerande solfångare och solfångare med vakuumbor. Plana solfångare är den vanligaste typen av solfångare och illustreras i figur 13. Där värms vatten eller olja upp i absorbatörer som är placerade i isolerade lådor bakom täckskivor av glas eller plast. Tekniken fungerar likt exemplet ovan där en vätska cirkulerar runt i ett system och vidare till en ackumulatortank där värmeutbytet sker (Bokalders & Block, 2014).



1. Härdat prismslipat glas.
2. Teflonfilm
3. Absorbator av aluminium.
4. Isolering med dammspär.
5. Bakstycke i aluminium.
6. List av EPDM gummi.
7. Bärande aluminium ram.

Figur 13 - Illustrationsbild plan solfångare (Kjellsson 2018).

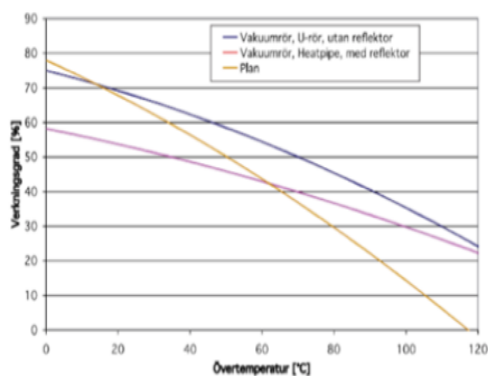


Figur 14 - Illustrationsbild vakuumsolfångare (Kjellsson 2018).

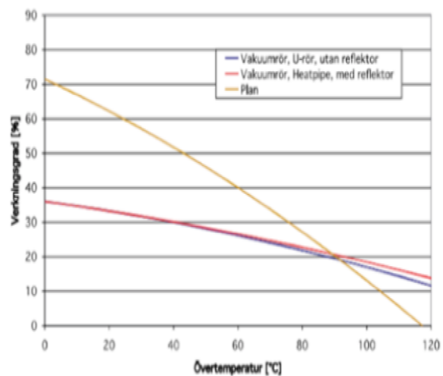
## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

En annan vanlig teknik är vakuumsolfångare i vilken avlånga glasrör är monterade bredvid varandra, se figur 14. Inuti glasrören finns en absorbatör som är innesluten i vakuum för att minska värmeförlusterna. Vakuumsolfångare används i princip på samma sätt som plana solfångare men lämpar sig bättre på ytor med begränsad plats eftersom dess aperturyta är relativt låg i förhållande till byggytan (Bokalders & Block, 2014). Vakuumsolfångare kan vara uppbyggda med U-rör och heat-pipe. I U-röret går ett kopparrör ner och vänder i vakuumsröret vilket formar ett u. När solfångaren värms upp kyler en värmebärare, vanligtvis bestående av en glykolblandning ned vakuumsröret och transporterar värmen till en ackumulatortank. I heat-pipen förs en kopparpistong innehållande en vätska ner i vakuumsröret. När vätskan hettas upp förångas den och transporteras till den övre änden av pistongen som är kopplad till en värmeväxlare. Vätskan kyls ned och kondenseras tillbaka ner i solfångaren och värmen förs vidare till en ackumulatortank (Solar teknik, 2019).

Den största skillnaden mellan teknikerna är hur dess effektivitet förändras vid olika temperatur, se figur 15 och 16. Vakuumsolfångare är inte lika känsliga för övertemperaturer eftersom vakuumet ger en god isoleringsförmåga och fungerar därför bättre vid höga temperaturer. Däremot har plana solfångare generellt en högre verkningsgrad vilket är en av anledningarna till att de i Sverige är mer förekommande (Svensk solenergi, 2009).



Figur 15 - Effektiviteten hos en solfångare avtar alltid med stigande arbetstemperatur. För vakuumsör är detta beroende, inte lika starkt som hos plana solfångare. Här visas effektiviteten för tre olika solfångare baserat på aperturarea (Svensk solenergi 2009).



Figur 16 - Effektiviteten hos tre olika solfångare med stigande övertemperatur. Här visas effektiviteten baserat på byggarea. Alla tre solfångarna har ungefär samma årsutbyte vid 90 graders övertemperatur, sett per m<sup>2</sup> byggarea (Svensk solenergi 2009).

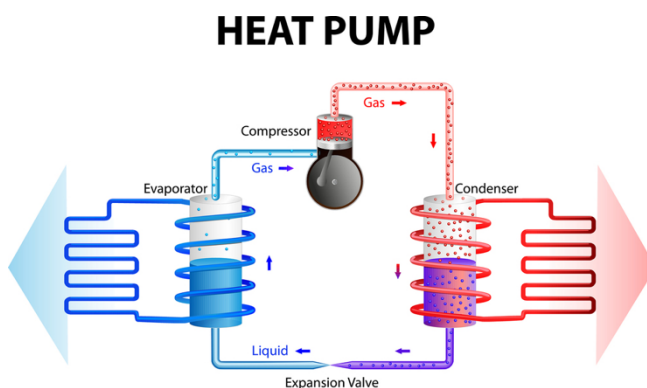
En annan teknik för att generera värme genom solens energi är med koncentrerande solfångare. Genom att rikta solreflekterande speglar eller optiska linser mot en ackumulator kan vatten eller luft hettas upp. I ackumulatortanken finns en ångturbin som kopplas till en generator vilket innebär att både värme och el kan utvinnas. Tekniken är idag under stor utveckling och betydligt mer vanligt i solrikare delar av världen. I Sverige har det tidigare inte fungerat särskilt väl men på senare år har det lanserats koncentrerande solfångare som är effektiva även då solen står lågt (Gunnar Agfors et al, 2014).



Utvecklingen för solfångare har de senaste decennierna varit stor och tekniker för nya användningsområden med förbättrad verkningsgrad har ökat (Energimyndigheten, 2015).

### 3.5 Värmepump

Värmepumpar kan användas både för att värma och kyla en byggnad. Principen för hur en värmepump fungerar visas i figur 17. Den grundläggande tekniken för en värmepump är att den hämtar värme från en lågtempererad värmekälla med hjälp av en köldbärare och leder den till en kompressor där värmen utvinns. Genom att komprimera och öka trycket på ett medium, exempelvis en gas eller vätska vilken är placerad i kompressorn stiger temperaturen kraftigt. Värmen avges via en kondensator ut till värmebärare i husets värmesystem som värmer upp bostaden genom till exempel radiatorer. Köldmediet återgår sedan till flytande form och transporteras genom en expansionsventil tillbaka till förångaren. Vanliga värmekällor som nyttjas med värmepump är till exempel berg, vatten, jord eller luft. Vilken typ av värmepump som är mest lämplig beror på tomtens läge och karaktär (Bokalders & Block, 2014).



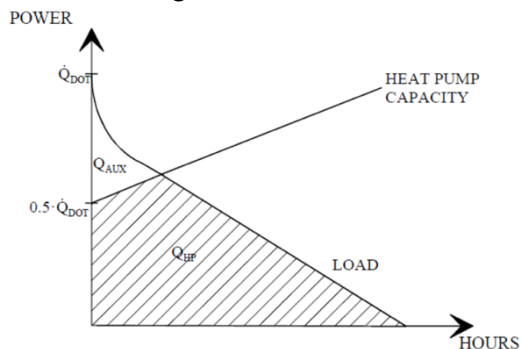
Figur 17 - Illustrationsbild av värmepump (Ekrs, 2010)

Värmepumpar delas upp i två grupper, villavärmepumpar och stora värmepumpar. Av dessa två grupper består 90% av Sveriges värmepumpar av villavärmepumpar. Större värmepumpar utgör en betydligt mindre andel och består främst av stora anläggningar som är kopplade till fjärrvärmenätet.

Villavärmepumpar kan delas in i frånlufts-, utelufts- och bergvärmepumpar.

Bergvärmepumpar kan i sin tur delas in i mark- och sjövärmepumpar. Villavärmepumpar använder sig av naturliga källor som lågtempererade värmekällor, värmen från denna källa kommer ursprungligen från solen och det kan därför betraktas som en förnybar energikälla (Bokalders & Block, 2014). Solens strålar träffar jorden som lagrar värmen i berg, jord och vatten. Värmen samlas in till värmepumpen genom en kollektorslang som innehåller ett medium baserat på köldbärarvätska och en vattenlösning som placeras i den lågtempererade värmekällan. Slangens längd avgör hur mycket värme som tas upp och beror på hur stort värmebehovet för bostaden är. Köldbärarvätskan har som funktion att den hjälper utvinna värme och förhindrar vätskan att frysa till is då vätskeblandningen kan uppnå låga temperaturer.

Vid dimensionering av en värmepump brukar ett riktvärde användas om att 50–60% av pumpens totala effektbehov täcker 85–90% av byggnadens totala energibehov. De övriga 10–15% täcks av en annan värmekälla eller elpatron. En elpatron genererar ett tillskott när värmepumpens effekt inte räcker till (Javed, 2018). Figur 18 illustrerar värmepumpens kapacitet över året. Vid off grid kan möjligen en täckningsgrad på 100% effekt även vara lämpligt beroende på val av lösning.

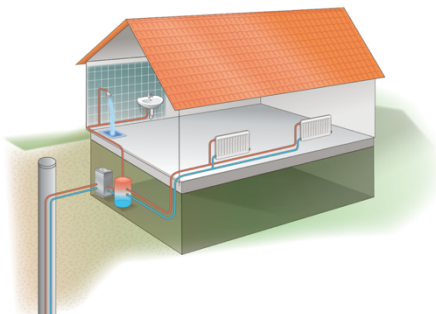


Figur 18 - Värmepumpens energikapacitet (Javed, 2018).

### Bergvärmepump

En bergvärmepump hämtar solvärme som lagrats i berget genom en kollektorslang (Thermia, 2019). Djupet varierar mellan 100–300 meter och beror på bergartens egenskaper och förmåga att leda värme. Sedimentära bergarter, till exempel kalksten som stora delar av Skåne vilar på har sämre ledningsförmåga och kräver djupare borrhål. I områden nära kusten finns det också en ökad risk för att saltvatten ska påverka bergvärmen (Polarpumpen, 2019) (Javed, 2018). Med en bergvärmepump kan energibesparingen för köpt energi uppgå till 65–75% (Energimyndigheten, 2019). Vanligtvis används tekniken med bergvärmepump i ett öppet eller slutet system. I ett öppet system styr vattentillgången mängden energi som går att utvinna. I det slutna systemet värms en vätska i ett rör upp av grundvattnet och går tillbaka in i pumpen som utvinner värme från vätskan.

Bergvärme är en väletablerad teknik och används till exempel av IKEA i Malmö där bergvärmen och pumpen förser byggnaden med både kyla och värme. Riktvärde för att dimensionera borrhålets djup ligger på ungefär 40-50W/m. Då ett borrhål avger en begränsad mängd värme går det att borra flera hål för att systemet ska få en ökad och jämnare värmeupptagning (Javed, 2018). Livslängden för en modern bergvärmepump är över 20 år (Vattenfall, 2019). Figur 19 demonstrerar ett bergvärmesystem.



Figur 19 - Princip för bergvärmepump (Ekrs, 2010).

### Markvärmepump

Markvärmepumpen hämtar värme från en 200–600 m lång kollektorslang som ligger i jorden på frostfritt djup vanligtvis 1 m ner i marken. Slangen är fylld med en köldbärare som lämpar sig för att ta vara på värmen och som inte fryser vid låga temperaturer. Ju längre slangen är desto mer värme kan vätskan ta tillvara på. Solen värmer upp marken och vätskan i kollektorslangen transporterar värmen till värmepumpen. När vätskan kommer in i värmepumpen omvandlas där ett köldmedium till gasform. Gasen trycksätts och värmeenergi skapas och går ut i husets vattenburna värmedistributionssystem. Processen pågår ständigt och värmen lagras i jorden med hjälp av solvärme (Markvärme, 2019). Tekniken fungerar inte fullt lika bra under solfattiga perioder eftersom det krävs att solen värmer upp marken. Det behövs också en stor yta att lägga ut slangen på och jorden behöver ha en hög vattenhalt utan att vara vattenmättad för optimal effektivitet. Besparing för energi ligger på 65–75% (Energimyndigheten, 2019).

### Sjövärmepump

Sjövärmepump tar upp värmen från en kollektorslang som med hjälp av tyngder läggs ut på botten av en sjö (Bokalders & Block, 2014). Ett annat alternativ är att hämta värmen från en brunn och då använda sig av en grundvattenpump. Besparing för en sjövärmepump eller grundvattenpump ligger på 65–75% (Energimyndigheten, 2019).

### Frånluftsvärmepump (FVP)

Med en frånluftsvärmepump upptas värme från frånluften som fungerar som lågtempererad värmekälla och använder den för att värma bostaden. Den kan värma både tappvarmvatten och ge värme till huset eller endast tappvarmvatten. Den som endast värmer tappvatten är en billigare typ av värmepump men den ger också mindre energibesparing. Även om det har gjorts försök att använda sig av frånluftsvärmepumpar i bostäder med självdragssystem så fungerar det bäst i bostäder med mekanisk ventilation (Bokalders & Block, 2014). Det är inte ovanligt att de kombineras med kortare borrhål eller markslingor för att kunna tillgodose en större del av energibehovet (Energimyndigheten, 2019).

Det är viktigt att inte förväxla en frånluftsvärmepump med ett FTX-system då den inte använder kompressor och köldmedium för att återvinna värmen från frånluften. Besparingen för en frånluftsvärmepump uppgår till 40–60% av köpt energi (Energimyndigheten, 2019).

### Uteluftsvärmepump

Uteluftsvärmepumpar tar till vara på värmen i uteluften. Ju varmare uteluften är desto effektivare är värmepumpen vilket betyder att vid lägre temperaturer och kallare klimat är den inte fullt lika effektiv. Det kan därför uppstå problem när utetemperaturen sjunker till  $-10^{\circ}$  eftersom värmepumpen då har svårt att avge någon värme till bostaden. Detta gör att de ökar elsystemets effekttoppar då det är som kallast. Det finns två olika typer, en som överför värmen till inomhusluften i en luft-luftvärmepump och en som använder sig av en luft-vattenvärmepump för att överföra värme till bostadens vattenburna värmesystem. En fördel med den som för över värmen till det vattenburna systemet är att den även kan användas för att värma husets tappvarmvatten (Bokalders & Block, 2014). Besparingen för en luft-luftvärmepump ligger på 30–60% medan besparingen för en luft-vattenvärmepump kan ligga på 50–70% (Energimyndigheten, 2019).

### **COP**

En värmepumps verkningsgrad uttrycks som värmefaktorn COP, coefficient of performance. COP beskriver hur mycket värmeenergi en värmepump klarar av att producera i jämförelse med hur mycket elenergi som går åt att driva den. Eftersom verkningsgraden hos en värmepump är beroende av skillnaden mellan ute- och innetemperatur så ger den inte alltid en rättvis bild hur värmepumpen egentligen arbetar (Thermia, 2019). COP kan variera men ligger vanligtvis från 3–5 beroende på vilken energikälla och värmepump som används.

## **3.6 Värmeåtervinning**

Genom en effektiv värmeåtervinning går det att ta tillvara på den värme som annars skulle ta sig ut ur byggnaden som spillvärme. Istället används den till att tillgodose värmebehov för uppvärmning och tappvarmvatten. Detta går att göra på flera olika sätt. Ett exempel som har presenterats är användandet av en frånluftsvärmepump (FVP). Den första tekniken för värmeåtervinning i bostäder som kommersialiserades var från- och tilluftsventilation med värmeväxlare, vardagligt kallas det FTX-ventilation (Bokalders & Block, 2014).

### **FTX-ventilation**

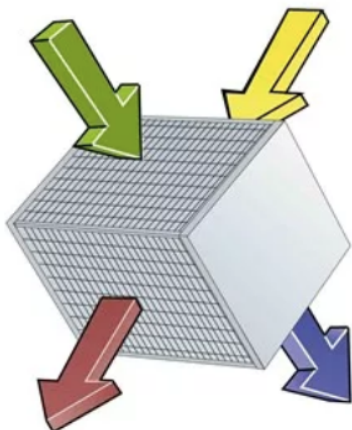
FTX-ventilation använder sig av en värmeväxlare för att återvinna värmen i frånluften och värma tilluften. Ett krav för att kunna göra detta är att ventilationssystemet är ett mekaniskt ventilationssystem. En fördel med FTX-system är att de ofta är reglerbara vilket gör energibesparingar möjliga då systemet kan minska flödet vid låg belastning (Bokalders & Block, 2014).

Det finns tre olika typer av värmeväxlare: plattvärmeväxlare, roterande värmeväxlare och vätskekopplad värmeväxlare (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

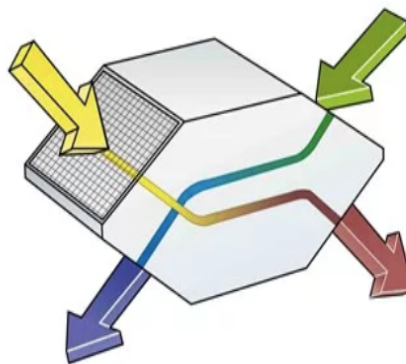
### **Plattvärmeväxlare**

Plattvärmeväxlare förekommer i två olika modeller som bygger på samma princip med skillnaden att luftströmningsriktningarna är olika. Dessa är motströmsvärmeväxlare och korsströmsvärmeväxlare, se figur 20 och 21. Plattvärmeväxlare består av tunna lamellplattor i aluminium som har god värmeledningsförmåga. Dessa bildar luftkanaler mellan lamellerna där den varma frånluften värmer aluminiumet som sedan överför värmen till tilluften på andra sidan lamellplattan. Skillnaden mellan de två är att

mittenpartiet på en motströmsvärmväxlare är parallellt vilket ökar kontaktytan och då också värmeöverföringen. Eftersom tilluft och frånluft aldrig blandas utan är helt frånskilda kan det inte ske något utbyte av föroreningar, lukter eller partiklar. Temperaturverkningsgraden för en plattvärmväxlare är 65–80% beroende på modell (Swegon, 2019) (Warfvinge & Dahlblom, 2010).



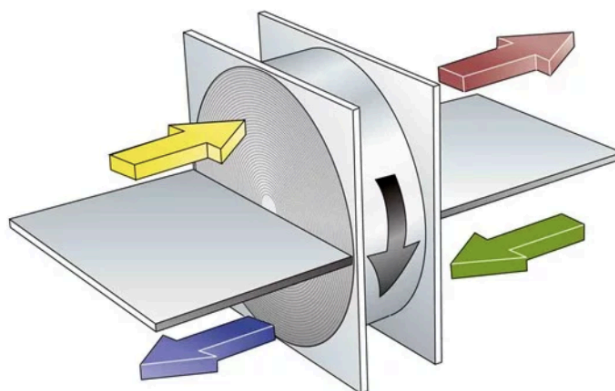
Figur 20 – Korsströmsvärmväxlare (Swegon 2015).



Figur 21 - Motströmsvärmväxlare (Swegon 2015).

### Roterande värmväxlare

En roterande värmväxlare är uppbyggd av ett roterande hjul med veckade kanaler av aluminium (figur 22). Precis som för plattvärmväxlare så värmer den varma frånluften kanalerna på den varma sidan. Kanalerna roterar sedan till den kalla sidan och överför värmen till tilluften. Eftersom det är samma ytor som är i kontakt med till- och frånluft så finns det risk att föroreningar överförs mellan frånluft och tilluft (Svensk Ventilation, 2019). Temperaturverkningsgraden för en roterande värmväxlare kan uppnå 85% (Swegon, 2019).



Figur 22 - Roterande värmväxlare (Swegon 2015).

### **Vätskekopplad värmeväxlare**

Vätskekopplad värmeväxlare kallas även batterivärmeväxlare. Den består av två vätskefyllda batterier som är kopplade till tilluften respektive frånluften. Frånluften värmer vätskan i det ena batteriet som pumpas till det andra batteriet och värmer tilluften. Vätskekopplad värmeväxlare har en temperaturverkningsgrad som är lite lägre än de andra typerna, upp mot 60% (Swegon, 2019).

### **Decentraliserad ventilation**

Företaget Lunos har utvecklat ett ventilationssystem där frånluftens värme återvinns utan att använda sig av ventilationskanaler, de kallar det decentraliserad ventilation. Grundprincipen för systemet är att ventilationssystemet består av 12 volt fläktenheter som sitter inne i tätade rör i väggarna. Inuti varje enhet så sitter det en keramisk sten med mycket bra värmeledningsförmåga. Två av fläktenheterna arbetar parvis tillsammans och växlar riktning var 70 sekund. När den ena fläkten tar in tilluft så tar den andra fläkten ut frånluft. När den varma frånluften går ut ur en av fläktarna så värms den keramiska stenen upp. När fläkten sedan ändrar riktning och tar in tilluft så övergår värmen från den keramiska stenen till tilluften. Enligt Energybuildings hemsida så finns det möjlighet för värmeåtervinningen att vara 90% beroende på fläkthastigheten. För systemet är att det är möjligt att göra rörmontagen direkt i prefabfabriken vid produktion. Fläktarna installeras sedan på plats. Decentraliserad ventilation är ett system som redan har använts vid ett off grid boende i Sverige, Villa Skönborg (Energybuilding, 2019). Risken med systemet är att frånluft och tilluft passerar samma kanal vilket leder till att det kan finnas risk att föroreningar överförs.

### **Avloppsvärmeväxling**

Värme går även till spillo genom tappvarmvatten, den främsta delen av detta går ut genom avloppet. Det går att ta till vara på denna genom att använda sig av en värmeväxlare som använder värmen från det varma vattnet som rinner ut från byggnaden för att värma det kallvatten som kommer in i huset. Eftersom avlopp innehåller mycket smutspartiklar är det viktigt att en sådan avloppsvärmeväxlare är lätt att rengöra. Det går att utforma ett system på flera olika sätt. Ett sätt är att installera det är enligt rör-i-rör principen där ett trycksatt rör med kallvatten som skall in i byggnaden placeras inne i ett rör med lägre tryck med varmt spillvatten utanpå som värmer det inre röret. Eftersom det inre röret har högre tryck så minimeras risken att det läcker in smutsigt vatten i det rena vattnet vid en eventuell läcka (Kellner, 2016). Hinder för användning av avloppsvärmeväxlare är dock att tekniken inte är helt färdigutvecklad och att verkningsgraden är förhållandevis låg. I några fastigheter som avloppsvärmeväxlare har testats på har det endast visat en återvinningsgrad på 10% (Kellner, 2016).

Det finns även möjlighet att återvinna tappvarmvatten från duschen genom t.ex. en duschvarmvattenväxlare. Den återvinner spillvärme ur avloppsvattnet och tillför det till duschvattnet och sparar på det viset energi (Ekologiska Byggvaruhuset, 2019).

### **Dynamisk isolering**

Värme läcker från huset genom isoleringen varvid isoleringen värms av frånluften. Genom att använda sig av dynamisk isolering går det att suga in tilluften genom isoleringen och

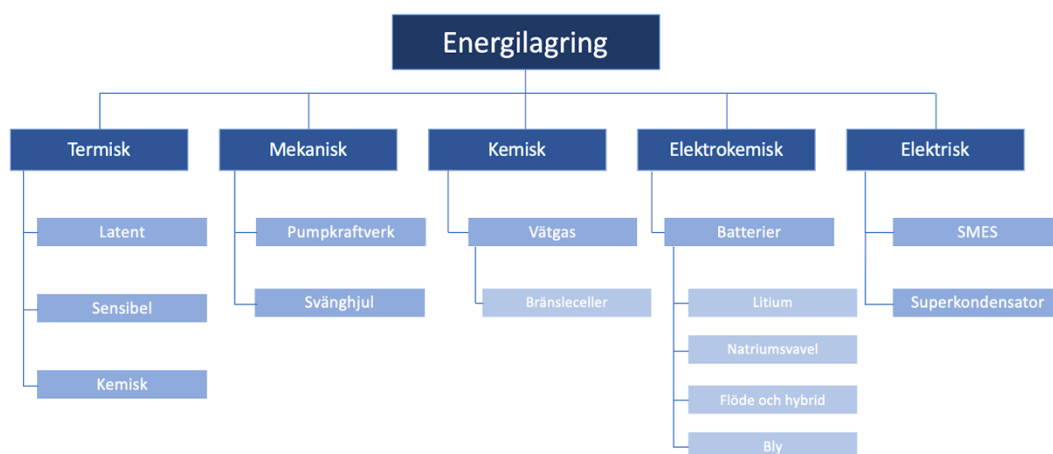
förvärma den med frånluften inuti isoleringen. Då vindtrycket mot väggar är högt så finns det risk att det uppstår problem om denna metoden används för väggar men eftersom vindtrycket är mycket mindre i ett vindsbjälklag så är detta en passande metod att använda där. Hittills så har det främst använts i större byggnader såsom badhallar, ladugårdar och sporthallar då det inte har påvisat en märkbar energibesparing i mindre hus (Bokalders & Block, 2014).

### 3.7 Lagring

I rapporten behandlas och benämns lagring av energi i form av elektrisk energi och värmeenergi.

Möjligheten att kunna lagra energi är av yttersta vikt för att kunna garantera och tillgodose ett off grid hus el- och värmebehov. När beroendet av förnybar energi ökar ställs det högre krav på att lagra och bevara energi. Idag läggs stora resurser och forskning inom ämnet för att kunna möta framtida stora utmaning i att lagra energi. Många av dagens förnybara energikällor är intermittenta vilket kräver att det måste finnas någon form av energilagring som skapar en balans i näten. Genom att förvara energi kan en jämnare effektfördelning uppnås, minskad volatilitet på elnätet och möjlighet till en backup för hushåll vid ett tillfälligt strömbrott. Samtidigt går det att med en effektiv lagring undvika överdimensionering och minska effekttoppar (Monie, 2016).

Metoder för lagring av energi kan delas upp i olika former av lagring beroende på dess teknik och material. Metoderna delas in i termisk lagring avseende lagring av värmeenergi och för lagring av elektrisk energi är det vanligtvis kategorierna kemiska, elektriska, elektrokemiska och mekaniska lagringsmetoder som är mest förekommande, uppdelningen demonstreras i figur 23.



Figur 23 - Uppdelning av energilagring.

### 3.7.1 Termisk energilagring

Termisk värmelagring syftar till lagring av värmeenergi och delas in i huvudtyperna sensibel, latent och kemisk värmelagring. Skillnaderna mellan typerna är att vid sensibel lagring utnyttjas temperaturskillnaden med omgivningen och energin lagras utan att ha genomgått en fasomvandling. I latent lagring har däremot det medium som lagrar energin genomgått en fasomvandling. Vid kemisk värmelagring upptas energi genom en endotermisk reaktion, alltså en reaktion där det måste tillföras energi (Östberg, 2017). Energin avges därefter som värme när reaktionerna reverseras (Energihandbok, 2019).

#### Sensibel värmelagring

Sensibel värmelagring är den mest förekommande och utvecklade metoden för värmelagring. Med tekniken går det att säsongslagra värmeenergi vilket gör det möjligt att ta tillvara på det energiöverskott som vanligt inträffar på sommaren med hjälp av solenergi. Lagringen är en viktig komponent i en off grid byggnation och bidrar med att förnybar energi kan täcka hushållens uppvärmningsbehov under kritiska perioder på vintern (Nationalencyklopedin, 2018).

Den lagrade energin förvaras i ett medium, vanligtvis vatten eftersom det är lätt att tillgå och har en hög specifik värmekapacitet (Persson, 2015). Med fluider som medium lämpar sig lagring i ackumulatörer väl. Idag är den vanligaste metoden för värmelagring i småskaligt bruk att använda sig av ackumulatortank och koppla den till en extern källa, till exempel till solfångare eller ett kraftvärmeverk. Vätskan placeras inne i en isolerad ackumulator som på ett liknande sätt som en termos håller vätskan varm. Andra metoder som nyttjas inom sensibel värmelagring är att använda akviferer och bassänger. Principen är lik den teknik som används i en ackumulator där en uppvärmd fluid hålls varm av omgivande klimat eller med hjälp av isolering. Problemet med dessa metoder är att den relativa värmeförlusten är stor vid mindre lagringsvolym vilket betyder att metoderna behöver stora lagringsvolym för att minska värmeförlusterna (Kjellsson, 2019). För kortvarig lagring är ackumulatortank ett bra alternativ eftersom den har en hög isolerande förmåga och inte kräver lika stora volymer. Däremot lämpar sig tekniken inte lika bra till säsongslagring då värmeförlusterna blir stora över tid (Sandborg, 2006).

En annan teknik för att lagra värme är att använda sig av borrhålslager. I Skåne har tekniken för att lagra värme i borrhålslager provats. Det består av 40 st borrhål på ett djup om 120 meter där vatten transporterar värme från marken upp i byggnaden. Systemet fungerar också som kylning på sommaren då borrhålen är kallare än temperaturen ovanför mark (Offentliga fastigheter, 2017). Vid borrhålslagring är det viktigt att borrhålen placeras så att de är jämnt fördelade för att uppnå en så jämn utbredning av temperaturen som möjligt. Hur djupt borrhålet är beror på vilken bergart det är i men i svenskt urberg är det vanligtvis ungefär 120 m djupt då detta anses bäst ur ett ekonomiskt perspektiv. Problematiken kring borrhålslager är att precis som för bassänger och akviferer så ökar de relativa värmeförlusterna vid mindre volymer (Sandborg, 2006). Värmeenergin kan också lagras i solider vilket används inom tekniker för borrhålslager där sten och grus hålls varma (Energihandbok, 2019).

#### Latent värmelagring

I latent värmelagring kan en större mängd energi lagras per volymenhet jämfört med vad som är möjligt vid en sensibel lagringsmetod. Energi kan också tas upp för att kyla ned och



frigöras när det finns ett behov av uppvärmning vilket gör tekniken flexibel och attraktiv. Lämpliga användningsområden är där det finns ett begränsat utrymme eftersom latent energilager kan göras mindre och lättare än sensibla lager. Vanliga medium för den här typen av värmelagring är till exempel salter och paraffiner (Burman & Johansson, 2011).

### 3.7.2 Kemisk värmelagring

I kemisk värmelagring kan både värme och kyla lagras. Energin utvinns genom en kemisk reaktion då olika ämnen reagerar med varandra och bildar nya. Reaktionen kan antingen vara endotermisk eller exotermisk. Vid en exotermisk reaktion frigörs energi till skillnad från vid en endotermisk reaktion där energi tillförs. Det pågår försök för att utveckla metoden för kommersiell användning men i dagsläget är den varken tillräckligt kostnadseffektiv eller hållbar ur ett miljömässigt perspektiv. Ett användningsområde där kemisk värmelagring används är genom en kemisk värmepumpslagring. Där placeras två tankar med olika temperaturer och innehåll av reaktanter och produkter som skapar en reaktion (Persson, 2015).

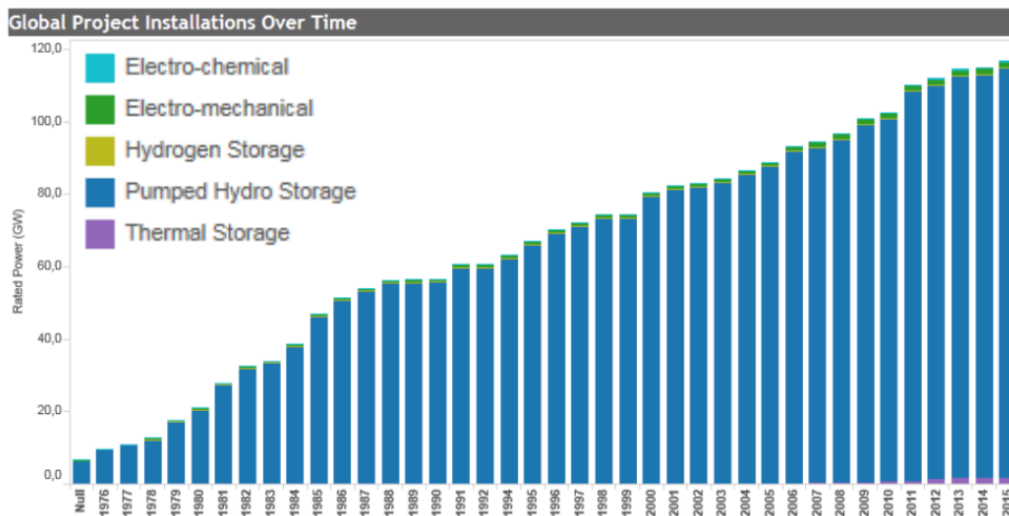
### 3.7.3 Mekanisk energilagring

Tekniker för att kunna lagra elektrisk energi beror till stor del på vilken typ av elproduktion som används. Det kan vara stor skillnad mellan olika tekniker och dess möjlighet att tillämpas i energisystemet där förutsättningarna spelar en avgörande roll om huruvida en teknik anses vara lämplig att användas eller inte. I mekanisk energilagring spelar ofta de geografiska förutsättningarna stor roll eftersom tekniken utnyttjar omvandlandet av lägesenergi och kinetisk energi.

#### **Pumpkraftverk**

Pumpkraft är ett exempel på mekanisk energilagring och är den teknologi som utgör den överlägset största delen av världens energilagring, se figur 24. Metoden är beprövad, kan lagra mycket stora mängder energi och utgör ungefär 90–95% av dagens lagringskapacitet (Elsäkerhetsverket, 2016). I tekniken utnyttjas mekanisk energilagring genom att lägesenergi omvandlas till kinetisk energi. Vatten med låg lägesenergi pumpas upp från en reservoar på låg höjd till en annan reservoar på högre höjd. Därefter kan vattnet ledas tillbaka vid behov och vattnets kinetiska energi omvandlas till elektrisk energi med hjälp av en generator (Anna Nordling et al, 2015). Pumpkraftverk är idag en etablerad metod som är väl anpassad för storskaliga applikationer men inte fullt lika lämpade för småskaligt bruk. Anläggningen kräver vissa geografiska förutsättningar och har en stor påverkan

landskapet. Idag finns det ett begränsat antal platser kvar som är lämpliga för att anlägga ett pumpkraftverk (Anna Nordling et al, 2015).



Figur 24 -Total installerad energilagring globalt (Elsakerhetsverket, 2016).

## Svånghjul

En annan metod för att lagra energi genom att nyttja mekanisk energi är via ett svånghjul. Principen är liknande som för ett pumpkraftverk där elektrisk energi lagras i form av kinetisk energi. Genom att en motor sätter fart på ett svånghjul omvandlas elektrisk energi till kinetisk energi. I svånghjulet bevaras olika mängd energi beroende på konstruktionens massa, form och hastighet (Jernkontoret, 2019). Tekniken för att utvinna elektrisk energi sker i två steg där först en rotor med hög massa och hastighet cirkulerar i svånghjulet. Genom magnetiska kullager minskas energiförlusterna och motståndet i hjulet blir minimalt. Laddningen av svånghjulet sker genom en motor som drivs på elektrisk energi. Därefter bromsas hjulet in och med hjälp av en generator kan den kinetiska energin omvandlas till elektrisk energi. Svånghjul som lagringsteknik är kommersiellt etablerad och finns på ett flertal platser i världen. Den stora fördelen med tekniken är att den kan leverera och absorbera energi på kort tid och används därför ofta som komplement vid tillfälliga strömavbrott (Larsson & Ståhl, 2012).

### 3.7.4 Kemisk energilagring

#### Vätgas

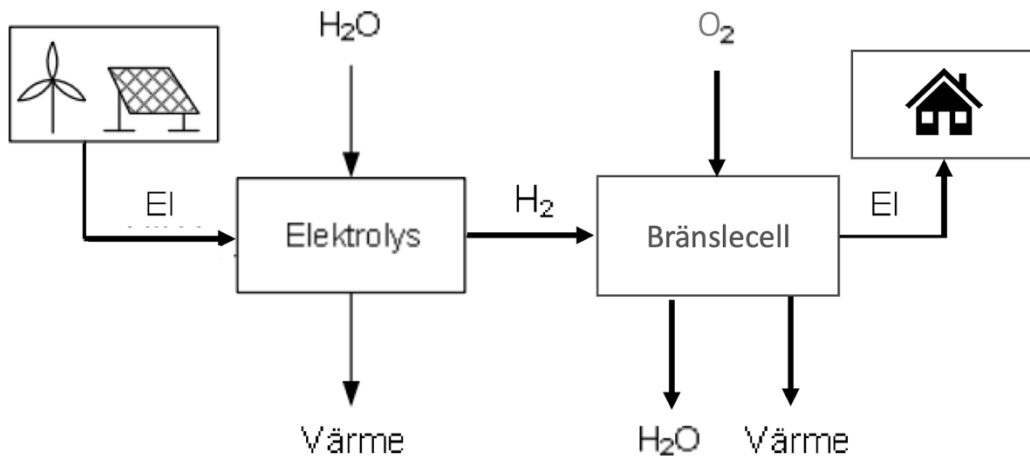
Kemisk energilagring sker i huvudsak genom vätgas. Vätgas är precis som elektricitet en energibärare och kan användas för att lagra, transportera och tillhandahålla energi. Potentialen för tekniken är stor eftersom gasen kan produceras ur alla typer av energikällor samtidigt som restprodukten är oskadlig (Vätgas Sverige, 2013). Vätgasen kan dessutom lagras från sommar till vinter och kräver inga särskilda geologiska förutsättningar. En vanligt förekommande metod för att framställa vätgas på ett hållbart sätt är genom att tillföra elektricitet från en förnybar energikälla som till exempel solenergi och därefter

spjälka vatten genom en elektrolys. Spjälkningen innebär att vatten delas upp i dess beståndsdelar syre och väte (Östberg, 2017). Processen görs möjlig med ett elektrolysrör innehållandes två elektroder i en vattenbehållare som separerar vattnets syre- och vätegas (Parkudden Energi, 2016). Att tillverka vätegas genom elektrolys är idag ett relativt dyrt sätt att producera vätegas på. Cirka 30 - 40% av energin går förlorad vid processen men verkningsgraden ökar kontinuerligt (Vätgas Sverige, 2019).

Om väte behöver lagras förvaras det vanligtvis som gas i en trycksatt behållare eller i vätskefas innan det används och omvandlas till elektricitet. Gasformig lagring kräver större lagringsutrymme än vätskeformig lagring men är mest förekommande eftersom det ger en högre totalverkningsgrad. Väte behöver förvaras i vätskeform och kylas ned till en temperatur på  $-253^{\circ}\text{C}$  vilket ger en energiförlust på cirka 30%. Dessutom sker en avdunstning med tiden, vilket bidrar till ytterligare energiförluster (Vätgas Sverige, 2019). I behållaren kan energi lagras från sommaren till vintern.

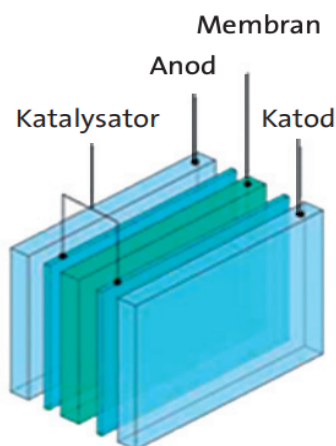
Väte är ett ämne med ett högt energiinnehåll per massenhet och med egenskaper som lämpar sig väl till bränsle i en bränslecell. Bränslecellen är en effektiv energiomvandlare som gör om vätes kemiska energi till elektricitet (Johansson, 2017). Hela processen för lagring av vätegas demonstreras i figur 25. Elen kan till exempel användas för att driva en värmepump vilket kommer att leverera värme till byggnaden. De enda restprodukterna processen ger ifrån sig är vatten och värme vilket gör bränsleceller till ett bra alternativ sett ur ett hållbarhetsperspektiv. Verkningsgraden är dessutom hög, mellan 62–82% och kan kompensera för den energiförlust som uppstår vid den vätegas-skapande elektrolysen (Anna Nordling et al, 2015). Enligt Vätgas Sverige går det åt ca 50 kWh för att producera ett kilo vätegas. Ett kilo vätegas ger i sin tur 33 kWh energi vilket motsvarar 66% av energimängden som först fördes in i systemet (Vätgas Sverige, 2019). I ett fall där tekniken används uppgår den totala verkningsgraden för systemet från sommar till vintern på ca 60%. Det innebär till exempel att om solceller försörjer systemet med 10 kWh går det att utvinna 3 kWh el och 3 kWh värme på vintern (Charlotta von Schultz, 2019). Verkningsgraden inkluderar både utvinnandet av el och värme och innebär att processen att enbart skapa vätegas för att utvinna el uppgår till cirka 30%.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

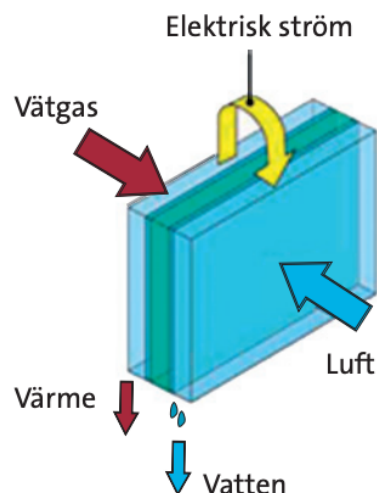


Figur 25 - Illustrationsbild för skapade och användandet av vätgas

Tekniken för bränsleceller är att ett membran placeras på ett sätt så att det separerar en anod- och en katodsida (se figur 26 och 27). När vätgas tillförs delas dess molekyler upp i vätejoner och elektroner. Det separerande membranet gör att elektronerna tvingas ut i en extern krets där de genererar elektricitet. En enskild bränslecell producerar inte särskilt stor effekt men vanligtvis kombineras flertalet separata bränsleceller i så kallade "stackar" och på så sätt kan en större mängd elektricitet utvinnas (Vätgas Sverige, 2013). Lagringen är flexibel då den lagrade energin kan användas antingen direkt eller upp till månader efter det att den har lagrats. Metoden är fortfarande kostnadskrävande men är på väg att bli allt mer kommersiellt gångbar (Anna Nordling et al, 2015).



Figur 26 – Illustrationsbild bränslecellens uppbyggnad (Vätgas Sverige, 2016)

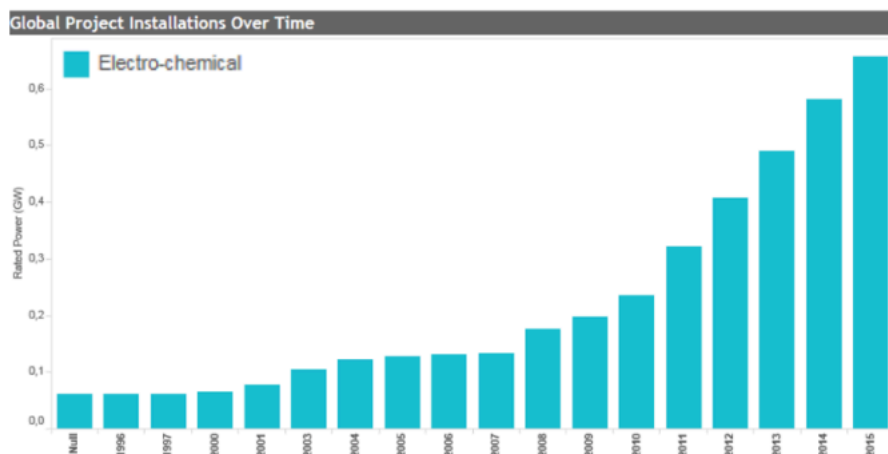


Figur 27 - Illustrationsbild bränslecellens uppbyggnad (Vätgas Sverige, 2016)

I Sverige används idag vätgas och bränsleceller endast i ett fåtal fall som metod för att på ett småskaligt sätt lagra och utvinna el och värme. Ett renoveringsprojekt startade under 2018 där solceller och bränsleceller installerats till ett flerbostadsområde med 142 lägenheter. Det finns även en självförsörjande villa där bland annat solceller och vätgas används för att täcka hushållets el- och uppvärmningsbehov (Sveriges Radio, 2019).

### 3.7.5 Elektrokemisk lagring

Den vanligaste metoden för att lagra elektrisk energi med elektrokemisk teknik är genom batterier. Tekniken är under stor utveckling och den elektrokemiska lagringskapaciteten har kontinuerligt ökat de senaste åren vilket illustreras i figur 28. Ett vanligt uppladdningsbart batteri består av ett antal sammankopplade battericeller som i sin tur består av olika medium som exempelvis en vätska eller elektrolyt samt en anod och en katod. När batteriet laddas tillförs en spänning vilket skapar en elektrokemisk reaktion. Spänningen motsvarar cellens elektromotoriska kraft och blir högre ju större skillnad i energitillstånd det är mellan anoden och katoden. Spänningen bevaras i batteriet till dess att ett elbehov finns. Vid användning går elektroner åt motsatt håll ut i elektrisk krets för att leverera den absorberade energin till önskat användningsområde (Fetahi, 2015).



Figur 28 - Installerad elektrokemisk energilagerkapacitet globalt (Elsakerhetsverket, 2016).

Förenklat går det att dela upp batterier i fyra kategorier:

- Blybaserade
- Litiumbaserade
- Natriumsvavelbaserade
- Flödesbatterier och olika hybridvarianter

#### Blybaserade batterier

Blybaserade batterier är den vanligaste typen av batterier och har legat till grund för startbatterier i bilar de senaste hundra åren. Tekniken bakom är elektroder uppbyggda av en katod av blyoxid och en anod av bly. Svavelsyra fungerar som elektrolyt och reagerar med anoden vilket skapar en kemisk reaktion. Blybaserade batterier används än idag i

huvudsak som bilbatteri och är ekonomisk fördelaktig sett till dess livscykel längd (Borén, et al., 2011). 2016 så fanns det ungefär 40 operativa batterianläggningar som var blybaserade, effektkapaciteten på dessa varierade från 8 kW till 36 MW där den största har en energikapacitet på 27 MWh och är kopplad till en vindkraftspark i Texas, USA (Nilsson, 2016).

### **Litiumbaserade batterier**

Litium-jon batterier anses vara en av de mest lovande teknikerna inom elektrokemisk energilagring. I ett litiumbaserat batteri består vanligtvis katoden av en litium-metalloxid och anoden av kol. Batteriet har en hög energitäthet, verkningsgrad och snabb urladdningshastighet. Användningsområdet är stort främst inom teknologi och litiumbaserade batterier finns idag i de flesta mobiltelefoner och bärbara datorer. Tekniken är under enorm utveckling där framförallt fordonsindustrin investerar stora resurser på att ta fram nya billiga och effektiva metoder för att optimera användandet av litiumbaserade batterier (Larsson & Ståhl, 2012). År 2016 fanns det ungefär 500 större anläggningar installerade i världen som var baserade på litium-jon-teknik. Den största av dessa finns i Japan och har en effektkapacitet på 40 MW och en energikapacitet på 40 MWh, syftet med den är att stabilisera nätverket för frekvensstörningar och fungera som reserv vid strömvabrott. Användningstiden för ett litiumbaserat batteri är 10 h efter det att den laddats och den har en livslängd på cirka 15 år. Verkningsgraden är hög och ligger på 85–100% (Nilsson, 2016).

### **Natriumsvavelbaserade batterier**

Natriumsvavelbaserade batterier är främst intressanta ur ett större elnätsperspektiv. De har en hög energitäthet och används ofta som lastutjämning vid tillfälliga strömvabrott. Anoden består av smält natrium, katoden av smält svavel och elektrolyten är en typ av jonledare innehållandes smält salt (Jernkontoret, 2019). Batteriet lämpar sig för storskalig tillämpning och används bland annat i södra Texas, USA där det finns ett jättebatteri som kan förse 4000 invånare med 4 MW i åtta timmar (Larsson & Ståhl, 2012). Natriumsvavelbatterier har en användningstid som är 10 h efter laddning och livslängden är 12–20 år. Verkningsgraden ligger på 85–90% (Nilsson, 2016).

### **Flödesbatterier och hybrider**

Flödesbatterier finns i olika varianter där de vanligaste är batterier innehållandes vanadin- och zinkbromid. Den generella tekniken är att elektrolyten förvaras i tankar utanför batteriet och transporteras in genom dess celler. Batteriets komponenter kan bestå av olika material och ger en hög kapacitet, lång livscykel och snabb responstid (Jernkontoret, 2019). Flödesbatterier är en teknik som är kommersiellt mogen och det finns ett antal anläggningar över världen som är baserade på flödesbatterier. Storleken på dessa varierar mellan en energilagringkapacitet på 60 kWh och 10 MWh. Exempel som dessa används på i dagsläget är för frekvensreglering av elnät och backup vid strömvabrott (Nilsson, 2016).

### **3.7.6 Elektrisk lagring**

#### **SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)**

SMES lagrar energi i ett magnetfält runt en supraledare. När en ström tillförs i en spole skapas ett magnetfält runt spolen i vilken energi kan lagras (Nilsson, 2016). SMES har en

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

hög effektivitet men då magnetsystem är väldigt tungt så utgör detta en begränsande faktor för hur mycket som det går att skala upp spolen för att öka kapaciteten. Tekniken begränsas också av att det inte går att öka strömmen eller spolens tjocklek på grund av materialets resistans vilket leder till större värmeutveckling och har minskad effektivitet som följd (Byman, 2016). Idag är SMES mest etablerad bland tekniska lösningarna för installationer inom högspänning.

### Superkondensator

En superkondensator fungerar likt en kondensator men med en större förmåga att lagra energi. Lagringen sker genom två elektriskt ledande plattor som är separerade med ett icke ledande lager. Mängden lagring beror på vilken spänning som tillförs och på hur stor potentialskillnaden är mellan de två ledande plattorna. En superkondensator har mycket snabb laddnings- och urladdningstid samtidigt som effektiviteten är hög (Byman, 2016).

En sammanställning av de olika energilagringsteknikerna redovisas i tabell 3.

Tabell 3 - Sammanställning energilagringstekniker

Energilagringsteknik	Kapacitet [MW]	Lagringstid	Verkningsgrad [%]	Svarstid
Pumpkraftverk	<5000	1–24 h +	75–85	s-min
Blybaserade batterier	0,001–50	s-3h	60–95	-
Litiumbaserade batterier	0,001-0,1	min-h	85–100	-
Flödesbatterier (Vanadin)	0,03–7	s-10h	85	ms
Flödesbatterier (Zinkbromid)	0,05–2	s-10h	70–75	ms
Natriumsvavelbatterier	0,5–50	s-h	85–90	-
Svänghjul	0,002–20	s-min	85–95	s-min
Vätgas och bränsleceller	0,001–50	s-månader	20–50	min
Superkondensator	0,01–1	s	85–98	ms
SMES	0,001–10	ms-s	95	ms

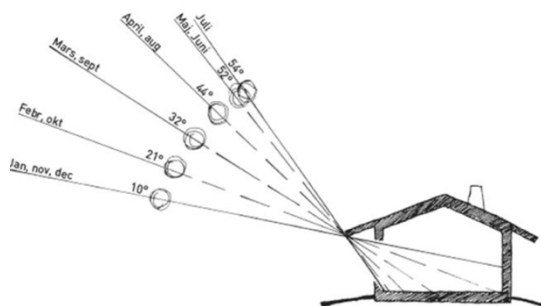




## 4 Utformning av hus och övriga lösningar

För att minska energibehovet i byggnaden behövs det energieffektiva lösningar av byggnadens olika delar. Genom ett minskat energibehov så minskar krav på hur mycket energi som behöver produceras och lagras för att tillgodose byggnadens energikrav.

En väl fungerande arkitektonisk och byggteknisk utformning har stor inverkan på en byggnads energianvändning. Form, hustyp, temperaturzonering och nyttjandet av passiv solvärme är exempel på lösningar som kan påverka hur energieffektiv en byggnad är. Ju större andel ytterväggsyta ett hus har desto större blir värmeförlusterna. Därför är det viktigt med en genomtänkt form och ett våningsantal som reducerar ytan som angränsar mot uteklimat. I teorin är den optimala formen på en byggnadskropp ett klot eftersom det ger den minsta ytterväggsytan mot uteklimat i förhållande till sin inneslutande volym. Det är dock svårt att utnyttja dess volym på ett effektivt sätt vilket leder till att en vanligare byggnadstyp är mer kompakta tvåvåningshus med formen av en kub eller kvadratisk  $1\frac{1}{2}$ -plan med valmade tak (Bokalders & Block, 2014). Ytterligare en relativt enkel energieffektiv åtgärd är att bygga ihop flerfamiljshus som radhus vilket gör det möjligt att reducera antalet ytterväggar och taktytor mot en kall utsida i jämförelse med ett fristående hus. Genom att konstruera hus i tung eller lätt stomme går det att uppnå olika förutsättningar. En tung stomme, uppförd i till exempel betong och tegel har god värmelagrande förmåga vilket kan jämna ut temperatursvängningar i inomhusklimatet över tid. Det tar däremot längre tid att värma upp och kyla ned huset om det blivit kallt respektive varmt. Det motsatta gäller för lätt stomme vilket ger större temperatursvängningar men det går snabbare att värma upp (Adalberth et al., 2010).



Figur 29 - Solinstrålning (Bokalders & Block, 2014).

Fönstrens placering är en viktig del att ta i beaktning då det går att utnyttja den passiva värmen från solen för att värma byggnaden. Passiv solvärme sker i alla hus som har fönster i solrika lägen men genom rätt utformning kan den tas tillvara på olika effektiva sätt. De metoder som har visat sig fungera bäst i svenska klimat är placeringen av fler och större fönster i söderläge utan att öka den totala fönsterarean för huset. Med en öppen och välplanerad planlösning som till exempel med en intern trappa och rum genom flera plan går det att fördela solens värme till större delar av huset och på det viset ta tillvara på solvärmens på ett effektivare sätt. Med hjälp av värmelagrande material inne i huset kan värme lagras och avges så att överskottsvärmen fördelas jämnare över tiden.

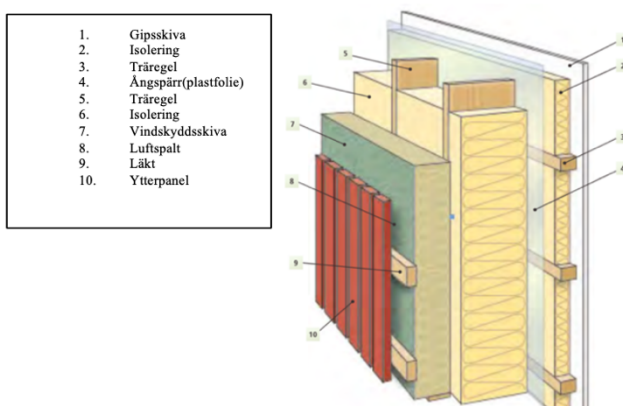
Problematiken med passiv solvärme är att det finns risk att det bli för varmt under sommartid. För att undvika överhettning är det därför nödvändigt att utforma en avskärmning som gör att solinstrålningen begränsas när det finns risk för höga temperaturer och tillgänglig när huset behöver värmas upp. Det går att lösa enligt figur 29 eftersom solen står högre under sommaren vilket gör att det kan vara effektivt att skärma av glaspartier med ett takutsprång, balkong eller skärmtak som avskärmar när solen står högt men inte när den står lägre (Bokalders & Block, 2014). Andra åtgärder för att hindra solvärmeinstrålning genom fönster kan ske genom persienner markiser, solskyddsbeläggning på fönsterglas eller välplacerade träd (Adalberth et al., 2010) (Bokalders & Block, 2014). Att använda lövträd för att skärma av solen från fönsterna är också ett effektivt sätt att undvika övertemperaturer sommartid. På sommaren har träden mycket löv vilket skuggar och på vintern när det är kallare faller löven och mer solvärme släpps in.

### 4.1.1 Klimatskal

Med en byggnads klimatskärm avses de ytor som skiljer innemiljön från uteluften. I denna ingår tak, ytterväggar, dörrar, fönster, grund och andra delar som gränsar mot ouppvärmda utrymmen. Klimatskärmen är det som avgör hur stora transmissionsförluster för byggnaden blir (Abel & Elmroth, 2016).

#### Vägg

Ytterväggar ska klara av klimatets påfrestningar från vind och nederbörd samtidigt som de ska bära upp huset och isolera huset mot utetemperaturer. En yttervägg kan konstrueras på olika sätt beroende på om det är tung eller lätt stomme och vilka krav som ställs på byggnaden, ett exempel på hur den kan utformas illustreras i figur 30. Ett passivhus kräver till exempel en större mängd isolering och därmed tjockare ytterväggar än ett traditionellt bostadshus. I en träpanelfasad kan panelen antingen vara liggande eller stående lockbräda eller lockläkt. För att inte regnvatten ska tränga in mellan brädorna fyller luftspalten en viktig funktion ur ett fuktsäkert perspektiv. Det krävs också att panelen ytbehandlas eftersom den behöver torkas ut efter perioder med omväxlande väta och vind (Petersson, 2018). Är väggen bärande ökas vanligtvis mängden isolering mellan reglarna för att minska värmeförlusterna genom köldbryggor.



Figur 30 - Exempel på träreger-yttervägg med indragen ångspärr (Energikontoret Skåne, 2011).

### Fönster och dörrar

Fönster och dörrar utgör tillsammans med väggar och övriga delar i en byggnads klimatskärm ett nödvändigt skydd mot klimatets påfrestningar. Fönster har som primär uppgift att föra vidare dagsljus i huset och sekundärt en isolerande förmåga vilket gör att det är den del i klimatskalet med högst U-värde. Det innebär att det är viktigt att använda energieffektiva fönster vid utformningen av ett energisnålt hus. Förutom ett U-värde så har ett fönster också ett G-värde som anger hur mycket solen värmer yttemperaturerna i rummet (Pilkington, 2012). Värmetransporten vid fönster är komplicerad och kan ske genom ledning, strålning och konvektion både kring och i fönstret (Petersson, 2018). För att minska värmeförlusterna har det på senare år utvecklats olika tekniker för att effektivisera och förbättra fönsters värmeisolering. Antalet rutor har ökat och är vanligtvis 3- eller till och med 4-glas fönster. Det har också utvecklats beläggningstekniker där glaset täcks med ett lågmissionsskikt av silver eller tennoxid. På så sätt kan värmeigenomsläppligheten minska samtidigt som ljusets genomsläpplighet behålls. Ett annat tillvägagångssätt för att minska värmetransporten genom fönster är att ersätta luften mellan glasrutorna med en ädelgas som till exempel argon eller krypton. Dagens fönster och dess glasdel har en bättre isolerande förmåga än karmen vilket gör att karmen skapar en stor köldbrygga. Bra utformning av anslutningen mellan fönster och vägg har därför stor betydelse för att förebygga både köldbryggor och kallras (Abel & Elmroth, 2016). Ett annat innovativt sätt att minska värmeförluster är att använda sig av nattsolering. Tekniken handlar om att placera isolerande objekt, till exempel fönsterluckor, gardiner eller persienner på fönsterna, att stänga fönsterna på natten och på så sätt minska värmeförlusterna (Bokalders & Block, 2014).

### Grund

När det kommer till grundläggningsmetoder så finns det principiellt fyra utformningar. Dessa är källare, platta på mark, kryppgrund och plintgrund. Grundkonstruktioner utsätts ständigt för höga fuktbelastningar både utifrån i form av markfukt, från inomhusluften och från byggfukt som finns kvar från byggnationen. Värmeisoleringens placering har stor betydelse för framförallt konstruktionens fuktillstånd. Generellt är utvändigt värmeisolering att föredra eftersom det gör grundkonstruktionen varmare och därmed torrare (Petersson, 2018).

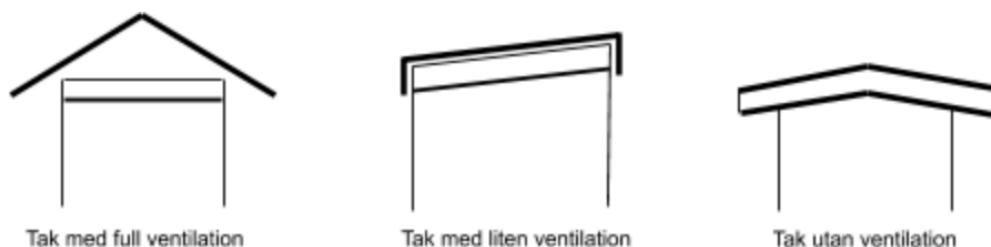
Källare och kryppgrund har historiskt sett råkat ut för mycket fuktproblem. Plintgrund är dåligt ur energisynpunkt eftersom det skapar en stor yta som är i kontakt med uteluften. Vid platta på mark så exponeras byggnaden mot marken istället för mot uteluften vilket är att föredra. Vid platta på mark är kantisolering viktig för att inte frost skall kunna tränga in och skada plattan (Bokalders & Block, 2014). Problematiken med kantisolering är att uppnå en god kantisolering samtidigt som betongplattan skall ha ett tillräckligt upplag för att hantera ytterväggens laster. Isoleringen placeras nästan uteslutande under plattan men det finns en begränsning i hur tjock den får vara med hänsyn till risk för tjällyftning då det under vissa förhållanden måste tillföras en viss mängd värme till marken för att förhindra tjälinträngning (Abel & Elmroth, 2016).

### Tak

Värme stiger vilket innebär att en välisolerad och tät takkonstruktion är viktig för att kunna behålla värmen i huset. Ur ett värmeisolerande perspektiv är taket en ganska okomplicerad konstruktion eftersom det går att isolera på höjden utan att boarean påverkas. Vanligtvis

placeras isoleringen horisontellt på vindsbjälklaget eller i snedtaket om konstruktionen utförs som ett sadeltak. Takets utformning är däremot mer problematiskt ur en fuktsynpunkt. I ett välisolerat tak blir det stora temperaturskillnader mellan ute och inne vilket kan medföra kondens och fuktskador. Med hänsyn till hur ett tak ventileras och hur de termiska och fukttekniska förhållanden ser ut i konstruktionen delas tak in i kategorier beroende på i vilken omfattning de ventileras. Dessa illustreras i figur 31 och är tak med full ventilation, tak med liten ventilation och tak helt utan ventilation (Petersson, 2018).

Tak med full ventilation eller kalltak som tekniken också benämns ventileras under yttertaket. Vindsbjälklaget är värmeisolerat och utrymmet mellan tak och bjälklag består av uteluft. Värme och fukt som tagit sig upp underifrån förs ut ur takkonstruktionen med ventilationsluften och yttertaket förblir kallt. Tekniken är vanligt förekommande men kan medföra fuktproblem under kalla klara nätter då nattutstrålningen kyler ner taket och vattenångan i luften i vindsutrymmet kondenserar på insidan av det kalla yttertaket (Adalberth et al., 2010).



Figur 31 - Illustrationsbild av hustaktyper.

Tak med liten ventilation och ventilationsutrymme är ett mellanting av kalltak och varmtak. Taktyper som ingår i utformningen är till exempel parallelltak och liknande tak med små och låga vindsutrymmen. Ventilationen är begränsad och förutsättningarna annorlunda eftersom det inte går att räkna med att ventilationsluften blir omblandad i ventilationsutrymmet. Det beror på att luftens tillstånd ändrar sig beroende på spaltens längd och hur mycket värme och fukt som luften tillför utefter vägen genom spalten. För att undvika fuktproblem är det viktigt att luftspalten är tillräckligt stor och inte avbryts av avvaxlingar eller andra korsande regler (Petersson, 2018).

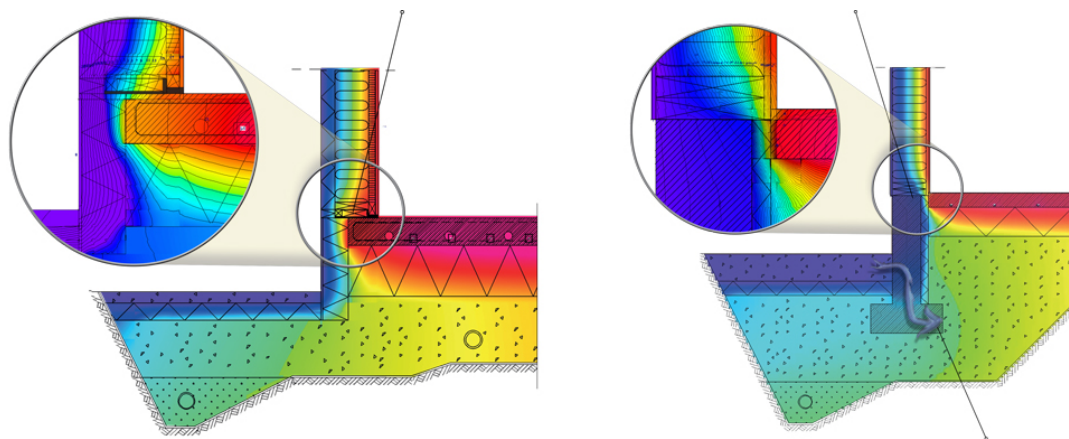
Tak som saknar ventilation kallas varmtak och är uppbyggt av ett antal olika materialskikt som oftast är placerade direkt ovanpå varandra. På så sätt bildas en kompakt takkonstruktion som saknar ventilation. Vanligtvis konstrueras varmtak med en låg lutning där taklutningen erhålls genom att hela taket lutar. Frånvaron av ventilation kräver att konstruktionen är helt tät för att undvika att fuktig och varm inomhusluft tränger upp i taket och medför fuktproblem inne i taket (Petersson, 2018).

### 4.1.2 Köldbryggor

En köldbrygga är en konstruktionsdetalj i ett klimatskal som leder värme från den varmare sidan till den kallare. Ett exempel på en köldbrygga illustreras i figur 35. Värmemotståndet i detaljen är betydligt sämre än motståndet för intilliggande delar vilket skapar ett ökat värmefflöde i jämförelse med sin omgivning. Vanligt är att flödena är flerdimensionella

vilket förstärker effekten ytterligare (Petersson, 2018). Köldbryggor utgör väsentliga svagheter i ett klimatskal och deras relativa betydelse ökar med ökad isolering. Vanliga köldbryggor är då det sker en genomföring i klimatskärmen av ett material med högre värmeledningsförmåga som till exempel vid en utkragande balkong, om tjockleken i klimatskärmen ändras lokalt eller vid ökade ytor mot en kallare sida såsom hörn och anslutningar mellan olika byggnadskomponenter. Inuti själva byggnadsdelarna kan det uppstå köldbryggor i form av regler, balkar eller kramlor. Det finns två olika typer av köldbryggor, linjära köldbryggor och punktformiga köldbryggor. Vid anslutningar mellan till exempel vägg och tak så uppstår det tvådimensionella värmeflöden vilka definieras som linjära köldbryggor per längdmeter. För dessa används enheten linjär värmegenomgångskoefficient  $\psi$  (W/mK), denna beräknas enligt ekvation 11. I punktformiga köldbryggor såsom i hörn så uppstår ett tredimensionellt värmeflöde, i dessa fall används värmegenomgångskoefficient  $\chi$  (W/K) (Petersson, 2018).

En köldbryggas inverkan på ett klimatskal är att det sker en större värmeförlust och att det sker en lokal yttemperatursänkning vilket kan leda till att det sker missfärgningar eller smutsfläckar (Abel & Elmroth, 2016). Den kallare ytan medför också risk för kondensproblem då varmare luft med högre vattenhalt möter en kall yta varvid vattnet, beroende på temperatur- och fuktförhållanden kan kondensera på den kallare ytan. Detta kan medföra röta och skador om väggen till exempel innehåller träreglar (Bokalders & Block, 2014).



Figur 32 - Exempel på åtgärd för att minska köldbrygga (Legalett, 2019).

En köldbrygga i anslutningen mellanbjälklag/yttervägg kan minimeras genom att begränsa bjälklagets inbrytning i ytterväggen, använda högrepresterande värmeisolering vid bjälklagskanten som till exempel PIR-isolering, lägga till ett kontinuerligt skikt med isolering utvändigt eller genom att minska bjälklagshöjden eller byta bjälklagets material till ett material som har en sämre värmeledningsförmåga. Samma princip gäller i anslutning mellan innervägg och yttervägg, se figur 32 (Larsson & Berggren, 2015).

För att beräkna köldbryggorna i en specifik anslutning används datorprogrammet HEAT2. I programmet ritas en modell upp av en anslutning i byggnaden med samma ingående material och tjocklek som den har i byggnadens konstruktion. Då kan programmet beräkna

värmeflödet som uppstår i just den specifika byggnadsdelen vilket används som ett referensvärde. Därefter skapas en ny modell med en energieffektiv åtgärd. En sådan åtgärd skulle till exempel kunna vara en tilläggsisolering eller förbättring av ett materials U-värde. Programmet beräknar den nya modellens värmefflöde och differensen utgör de minskade värmeförluster som sker i samband med de energieffektiva åtgärderna.

$$\Psi = (q_{referens} - q_{förbättring}) * (T_{inne} - T_{ute}) = \quad [W/mK] \quad (11)$$

### 4.1.3 Luftläckage

Luftläckage uppstår när det sker en okontrollerad infiltration av uteluft. Det leder till ett sämre inneklimat eftersom det medför ökade värmeförluster genom konvektion, problem med att kontrollera ventilationen, ojämnt fördelad ventilation mellan rummen, sämre möjlighet till värmeåtervinning av frånluften och risk för drag. Luftläckage av varm inneluft kan också leda till fuktproblem när fuktig inneluft kondenserar mot en kall yta (Abel & Elmroth, 2016).

God lufttätethet uppnås genom att detaljlösningarna är väl genomtänkta. Vad som är speciellt viktigt är att se till så att lösningarna inte är för komplicerade att utföra vilket kan leda till att de utförs på fel sätt. Kritiska områden för detta är anslutningar mellan olika konstruktionsdelar såsom mellan yttervägg-bjälklag, yttervägg-fönster och genomföringar för kanaler och ledningar. Vid anslutningarna är det viktigt att utforma lösningarna så att plastfilmen som används för lufttätning skarvas omlott och att skarvar mellan plastfilmer överlappas och pressas mot varandra. Kvaliteten på fogmassor som används i skarvarna är också en viktig del. Det är svårt att i projekteringsfasen bedöma huruvida en byggnad är lufttät eller inte vilket är varför det krävs att byggnaden tryckprovas vid en tryckskillnad på 50 Pa (Abel & Elmroth, 2016).

### 4.1.4 U-värde

Eftersom uppvärmning står för en stor del av energianvändningen i en byggnad är det viktigt att förluster via transmissioner och luftläckage begränsas. Detta görs främst genom ett lågt U-värde på klimatskärmen, genom att undvika köldbryggor och minimera luftläckage (Adalberth et al., 2010).

Isoleringsförmågan på ett material anges i ett U-värde vilket definieras som materialets värmeledningsförmåga dividerat med dess tjockleken. Enheten för U-värde är  $W/m^2K$ . Bra isoleringsmaterial har ett U-värde på 0,022 - 0,055  $W/m^2K$  (Bokalders & Block, 2014). De flesta isoleringsmaterial har porer innehållandes stillastående luft eller gas vilket ger materialet den värmeisolerande förmågan. De två vanligaste grupperna av värmeisoleringsmaterial är mineralullsmaterial och cellplastmaterial (Pettersson, 2018).

## 4.2 Isoleringsmaterial

### Mineralull

Mineralull är en gemensam beteckning för glasull och stenull. Tillverkningen sker genom att sten eller glas smälts och spinns till tunna trådar som binds ihop med bindemedel.

Mineralull används vanligtvis till isolering av tak och väggar. Det har en låg vikt, är brandbeständigt och har en bra isoleringsförmåga. Lambda-värdet är 0,030–0,045 W/mK beroende på vilken kvalitet det är (Isover, 2019).

### **Cellplast**

Cellplast har låg kapillär stighöjd, är resistent mot mögel och har god isoleringsförmåga. Detta har gjort det till ett vanligt material att använda vid platta på mark. Det tillverkas antingen som EPS eller XPS där båda är uppbyggda av den vanliga termoplasten polystyren (Finja, 2019) (Nationalencyklopedin, 2019). EPS består av expanderad polystyren och XPS består av extruderad polystyren. De tillverkas av små pärlor med en tillsats av pentan som utsätts för värme och expanderar till en kula. Dessa smälts samman till skivor. Lambdavärdet på cellplast är mellan 0,031–0,041 W/mK (Bokalders & Block, 2014).

### **Träfiberisolering**

Träfiberisolering är uppbyggt av träfiber och kan användas inom bland annat väggar och tak. Det är ett hållbart isoleringsmaterial som förhindrar konvektion, har bra värmelagringskapacitet och är 100% återvinningsbart. Fördelen med material som har en hög värmelagringskapacitet är att det ger ett behagligare inneklimat då det avger lagrad värme på vintern och hjälper till att hålla ett svalare klimat på sommaren (Hunton, 2019).

### **PIR-isolering**

PIR-isolering är ett isoleringsmaterial som består av polyisocyanurat och är en plast med slutna celler som är lätt och formstabil. Detta är ett högpresterande isoleringsmaterial som har ett lambdavärde ner mot 0,023–0,027 W/mK, detta möjliggör alternativt att antingen bygga tunnare väggar eller väggar som isolerar bättre (Clase, 2010). Materialet har en livslängd på över 50 år. PIR är brandbeständigt och släpper inte igenom luft eller fukt. Beroende på användningsområde så går det att anpassa egenskaperna så att materialet är t.ex. lätt, mjukt, hårt eller kompakt. Detta gör att materialet bl.a. går att använda vid takläggning, väggar, golv och fönstertätning. Fast PIR är dock det som vanligtvis rekommenderas i byggnadssammanhang. Vid rivning så kan rena prov av materialet återanvändas för att isolera till exempel vindsutrymmen, även krossade skivor kan malas för att göra nya skivor. Om inte materialet är i ren form utan är beblandat med andra material går det att bränna det tillsammans med andra avfall (PU-Nordic, 2019).

### **Vakuumisolering**

Vakuumisolering är ett material med mikroporer och som består till 85% av kiseldioxid och 15% kiselkarbid. Hittills är det ett rätt så utforskat material i Sverige men det har använts i byggnader i Tyskland och Schweiz. I Sverige har det hittills främst använts till kyl- frysfrys och termosar. Speciellt användbart är materialet vid trånga utrymmen då det kan användas som tilläggsisolering. Materialet är inte brännbart men går att återanvända. Nackdelen med materialet är att det är ett ömtåligt material som förlorar stora delar av sin isoleringsförmåga om det punkteras. Livslängden för vakuumisolering är 50 år och det har ett lambdavärde som ligger mellan 0,005–0,010 W/mK (Bokalders & Block, 2014) (Thomsson & Gustafsson, 2012).

## Aerogel

Aerogel är ett syntetiskt och väldigt lätt material. Materialet är väldigt poröst och skapas genom att ta bort vätska från en gel under speciella förhållanden som hindrar materialet från att krympa eller spricka. Detta skapar ett material som till 80–99% består av luftfyllda porer. Något som gör materialet speciellt är att det är ett fast material som släpper igenom solljus (Aerogel, 2019). Aerogel har ett lambdavärde som kan vara ner mot 0,014–0,016 W/mK (Berge & Johansson, 2012). Aerogel förekommer bland annat som isoleringsmatta (se figur 38) vilket kan användas för isolering av golv, väggar, tak eller för att bryta köldbryggor. Det kan också användas för isolering av områden där det är platsbrist eller där det är önskvärt att göra en liten inverkan på den nuvarande konstruktionen (Paroc, 2019).

## Vip-Energy

För att beräkna hur klimatskalet och byggnadskonstruktioners U-värden påverkar byggnadens energibehov används programmet Vip-Energy. Varje byggnadsdel förs in i programmet tillsammans med tjocklek och ingående material.

Simuleringen tar hänsyn till:

- Värmetransmission genom väggar, tak och golv
- Köldbryggor och luftinfiltration
- Mekanisk ventilation inklusive återvinning
- Interna värmebelastningar från datorer, personer och belysning
- Solinstrålning genom fönster inklusive solavskärmning och skuggning
- Värmelagring i väggar, golv och tak till följd av temperaturvariationer över dygnet
- Styrning av radiatorer och kylbafflar med hänsyn till rumstemperaturen

Med ett lägre U-värde går det att minska transmissionsförlusterna som uppstår i klimatskalet. Vip-Energy beräknar det totala värmemotståndet för sammansatta byggnadsdelar med hjälp av U-värdesmetoden. För att få ett mer korrekt U-värde bör U-värdesmetoden kompletteras med lambda-värdesmetoden. De båda metoderna ger ytterligheter och ett mer korrekt svar ligger mellan de beräknade värdena (Sandin, 2010). Ett medelvärde av metoderna används därför och handberäkning som senare matas in i Vip-Energy sker enligt ekvationerna 13, 14 och 15.

## U-värdesmetod

I U-värdesmetoden förutsätts allt värmeflöde ske vinkelrätt mot väggen (Sandin, 2010). För att få fram ett mer korrekt U-värde att använda i Vip-Energy behövs både U- och lambda-värdesmetoden. U-värdesmetoden beräknas enligt ekvation 13.

$$U_u = \alpha * U_{isol} + \beta * U_{regel} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (13)$$

$U_u$  = värmegenomgångskoefficient för hela väggen (W/m<sup>2</sup>K)

$U_{isol}$  = värmegenomgångskoefficient för isolerdelen (W/m<sup>2</sup>K)



$U_{regel}$  = värmegenomgångskoefficient regeldelen (W/m<sup>2</sup>K)

$\alpha$  = ytandel isolering (%)

$\beta$  = ytandel regel (%)

### Lambda-värdesmetoden

I lambda-värdesmetoden förutsätts det att de olika materialen har oändlig värmekonduktivitet i tvärlid vilket innebär att flödet genom väggen kommer att vara detsamma överallt (Sandin, 2010).

$$U_{\lambda} = \alpha * \lambda_{isol} + \beta * \lambda_{regel} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (14)$$

### Värmemotståndets medelvärde

De olika metoderna ger ytterligheter som ligger medan ett mer korrekt svar ligger mellan dem emellan de båda värdena. Ett medelvärde av metoderna används därför och beräknas enligt ekvation 20.

$$U_{med} = (2 * U_{\lambda} * U_u) / (U_{\lambda} + U_u) \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (15)$$

$U_{\lambda}$  = U-värde enligt lambda-värdesmetoden (W/m<sup>2</sup>K)

$U_u$  = U-värde enligt U-värdesmetoden (W/m<sup>2</sup>K)

## 4.3 Balkonger

Balkonger delas in i de tre kategorier beroende på dess utformning. Dessa är öppen balkong, enkel inglasning och klimatiserad inglasning. Med öppen balkong avses den typiska balkongen utan inglasning. En balkong med enkel inglasning har försetts med glas ovanpå, utanför eller innanför räcket och skapar därigenom ett skydd för vind och regn. Det inglasade rummet uppnår inte ett inomhusklimat utan både vatten och snö kan tränga in på balkongen. Vid en klimatiserad inglasning uppfylls däremot byggnormens krav på värmeisolering, ljudreducering etc. och gör att det kan räknas in som boyta (Balkongföreningen Norden, 2019). Ur ett byggtkniskt perspektiv finns det en rad olika typer av infästningar för balkonger. Exempel på infästningar är fast inspänd balkong, pelarbalkong och balkong med dragstag. Balkongens konstruktion varierar och lämpar sig olika beroende på till exempel byggnadens material och stomme samt köldbryggor och lufttäthet (Sjölund, 2002).

### Fast inspänd balkong

Inspända balkonger hänger fritt ut från fasaden och är populär ur arkitektonisk synvinkel eftersom de ger ett lätt luftigt intryck. Det är den vanligaste typen av konstruktionslösningar för balkonger. Balkongelementen är oftast prefabricerade och monteras så att de sitter fast inspänd i bjälklaget. Infästningen sker med hjälp av armering som går genom en betongklack (Dilanson & Shabo, 2014).

### Pelarbalkong

En pelarbalkong bärs upp av pelare vilket gör att husets fasad inte tar upp någon last. I och med att pelaren bär lasten så behöver inte balkongen vara lika mycket inspänd i fasaden vilket leder till att köldbryggan som annars skulle uppstå om balkongen varit inspänd i

fasaden reduceras. Konstruktionen har däremot inte samma frihet och estetik som en fast inspänd balkong har. Det kräver också att arean mellan pelarna ingår i bygglovet byggbara yta (Dilanson & Shabo, 2014).

### **Dragstagad balkong**

Balkonger med dragstag bärs dels upp av ett dragstag som är fäst i elementets främre del och dels av ett upplag i den bakre delen. Infästningen behöver ske i en bärande konstruktion. Detta begränsar balkongens placering men samtidigt undviks större ingrepp i fasaden jämfört med byggnation av en inspänd balkong. Utformningen medför också mindre köldbryggor eftersom balkongens element har färre antal infästningar i förhållande till en inspänd balkong (Dilanson & Shabo, 2014).

## **4.4 Inglasning**

### **Balkonger och loftgångar**

Genom att glasa in en balkong går det att sänka energikostnaden som går åt till uppvärmning av en bostad med 6–12%. Det blir en högre temperatur inne i den inglasade balkongen jämfört med temperaturen utomhus vilket gör att balkongen bidrar till att värma upp intilliggande rum. På så sätt minskar uppvärmningsbehovet i huset (Renman, 2014). Under uppvärmningssäsongen kan däremot energibesparingen minska om balkongdörren hålls öppen och används som ett rum inomhus. Det beror på att balkongens inglasning inte ska ses som en yttervägg eftersom det har sämre isolerande egenskaper jämfört med en vanlig yttervägg (Wallentén, 2019).

Med en inglasad balkong skapas även ett skydd för fasaden som kan stå emot mot regn, vatten och luftföroreningar. Ytterväggen blir därmed inte lika utsatt mot till exempel slagregn och stora temperaturskillnader. Dess livslängd ökar och även beständigheten mot bland annat fukt. Problemet med inglasade balkonger är dels kostnaden men framförallt att det för med sig en ökad risk för övertemperaturer under sommartid. Därför är utformningen viktig så att det finns möjligheter till vädring och solavskärmning. Studier visar att dagens inglasade balkonger inte är optimerade ur ett inomhusklimat- och energiperspektiv utan snarare utformade för att skydda mot väder och utomhusklimat (Hilliaho, 2017).

### **Inglasat klimatskal**

I ett studerat fall där ett inglasat klimatskal omsluter en befintlig tegelbyggnad uppgår energibesparingarna till 9% eller mer. Besparingarnas storlek och variation beror bland annat på vilken energieffektiva åtgärden som används och på glasets U- och G-värde. Samtidigt som klimatskalet gör att väggen inte exponeras mot regn och vind höjs också årsmedeltemperaturen i utrymmet mellan fasaden och klimatskalet. Det ger precis som i exemplet ovan för balkonger positiva effekter för väggen och ökar dess beständighet. Klimatskalets storlek och form har betydelse och bör sättas i rätt förhållande till byggnadens värmebehov (Wallentén & Nordquist, 2017).

### **Inglasad innergård och atrium**

Inglasade innergårdar och atrium ger ett stort tillskott av dagsljus och kan om de geografiska förutsättningarna är rätt, ge energisparande fördelar. Inglasningen kan reducera transmissionsförluster och solens strålar kan skapa ett energitillskott som tillför värme till

omkringliggande utrymmen. För nyproducerade byggnader med ett välisolerat och tätt klimatskal blir det en knappt märkbar skillnad i värmeförlust. Risken blir istället att inglasningen betraktas som en inomhuszon och de boende öppnar dörrar och fönster. Då transporteras mycket av den uppvärmda rumsluften från lägenheten till innergården. Risken för övertemperatur är också stor (Wallentén, 2019). De termiska egenskaperna och nyttan av en inglasad innergård eller atrium kan variera stort beroende på uteklimat, latitud, geometri med mera (Tabesh & Sertyesilisik, 2016). Så länge inte det inglasade utrymmet aktivt värms upp kan energi sparas. Vid uppvärmning är risken stor att det inte blir tillräckligt energieffektivt. Utrymmet kan däremot ha andra goda kvaliteter och vara fördelaktigt ur exempelvis ett socialt perspektiv (Bokalders & Block, 2014).

### 4.5 Gemensamma lösningar

#### Balanserade nät

Byggnader med stora kylbehov som industrier, kontor, butiker etc. ger ifrån sig mycket spillvärme. Genom att koppla samman dessa med bostäder som ofta har ett uppvärmningsbehov går det att ta till vara på spillvärmerna och använda den för uppvärmning av byggnader som är ihopkopplade i samma system samtidigt som lokalerna kyls ner. Detta görs genom att använda ett och samma system för både värme och kyla (Eon, 2019)(Sens, 2019).

#### Närvärme

Genom att koppla samman flera bostäder i ett mycket litet värmenät som drivs av en värmeanläggning så bildas ett närvarmesystem som kan försörja flera byggnader med värme. Värmeanläggningen kan i detta fallet ägas av kommunen, ett energibolag eller bostadsägarna själva. På detta viset är inte bostäderna kopplade till det stora fjärrvärmenätet utan är en del av ett mindre eget nät. Beroende på omständigheter så kan lämpliga värmeanläggningar vara till exempel värmepump, biobränslepanna, elpanna, oljepanna, pelletseldade värmecentraler eller solfångare. Dessa anläggningarna kan också kombineras för att täcka hela årets energibehov (klimatrådgivningen, 2018) (Bokalders & Block, 2014).

#### Micro grid

Ett micro grid är ett elnät som kan kopplas bort från det allmänna elnätet och fungera självständigt genom att använda sig av egna energikällor som vindkraft, solkraft och batterier som är kopplade till dess nät. Målet med nätet är att skapa ett nät som producerar lika mycket el som det gör av med (Lantero, 2014). Användningen av micro grids har på senare tid blivit mer använt inom områden för industri och bostäder för att minska kostnader och erbjuda en pålitligare elförsörjning (Engie, 2019).

### 4.6 Övriga lösningar

#### Eleffektivisering och kapning av effekttoppar

Eleffektivisering handlar inte enbart om att minska elbehovet sett över året utan också att kapa effekttopparna. Effekttoppar uppstår då elanvändningen i byggnaden är som störst, alltså när alla elapparater i byggnaden används samtidigt, varvid byggnaden kräver mycket el. För att kapa effekttopparna kräver det att elanvändningen jämnas ut mer eller att den totala elanvändningen minskar på ett sätt som minskar effekttopparna (smartgrid, 2019).

För att hushålla med elen bör el endast användas för elspecifika behov, alltså då det inte kan ersättas med annat bränsle. En användning av el som inte är elspecifik är till exempel att använda sig av eluppvärmning i byggnaden då detta kan ersättas med andra uppvärmningstekniker.

### **Vitvaror**

De finns ett antal mindre omfattande lösningar som används för att effektivisera en byggnads energianvändning. Vitvaror drar normalt ungefär 50% av hushållselen så genom att använda effektiva vitvaror så minskas elförbrukningen. Hur energieffektiv en vitvara är kan bedömas genom dess energimärkning där A+++ är de mest energieffektiva och G är de som är sämst ur energisynpunkt. Kyl och frys är mer effektiva om de är separerade än om de är kombinerade. Tvättmaskinens elförbrukning beror på vilken temperatur som den tvättar på och hur mycket vatten som används vid en tvätt. Dagens tvättmaskiner använder sig av mycket mindre vatten än äldre modeller och idag finns det typer av tvättmaskiner som använder sig av ett duschsystem vilket gör dem ännu mer vattensnåla. På senare år har det utvecklats väldigt effektiva tvättmaskiner som endast använder sig av kallvatten eller ånga. Elen i en diskmaskin går åt till uppvärmning av vatten, el till motor och torkning av disk. Denna kan göras mer effektiva genom att ansluta den till kallvatten varvid tappvarmvatten endast värms för disk och den sista sköljningen, detta kan minska elförbrukningen med upp till 30%. Det bästa är att ansluta den till både varm- och kallvatten då diskmaskinen själv slipper att värma vattnet (Bokalders & Block, 2014).

### **Fastighets- och driftsel**

Andra källor som drar mycket el är apparater som är påslagna under längre tider som driftsel i form av fläktar, elmotorer, pumpar och elutrustning i form av datorer och TV-apparater. Driftelen går att minska genom användning av elmotorer med bättre verkningsgrad som till exempel permanentmagnetmotorer istället för dagens asynkronmotorer. Dessa kan till exempel användas i cirkulationsmotorer för att minimera dess energianvändning. Energianvändningen för hissar kan minskas med 30–50% med hjälp av modern teknik såsom effektivare motorer, ny drivteknik och smartare stand-by-system när inte hissen används (Bokalders & Block, 2014).

Vidare så går det att byta till effektiva glödlampor eller ersätta behovet av lampor genom att planera för bättre nyttjande av dagsljus i byggnaden eller minska behovet av kyl och frys genom att ersätta det med en jordkällare. Det har även på senare tid utvecklats reglerutrustning som anpassar belysningen efter närvaro och tillgång på dagsljus. Bra dagsljus går att uppnå genom profilerad utformning av spröjsar och bågar och genomtänkt placering av fönsterna genom bland annat högt sittande fönster. Dagsljus kan tas in genom fönster, takfönster och lanterniner. För att uppnå god ljusinstrålning krävs det att det designas så att ljuset kan reflekteras långt in i rummet på väggar, golv och tak (Ander, 2016). En smart lösning är att använda sig av "ljushyllor" vilket är en horisontell plattform som placeras i anslutning i fönstret och som både skyddar mot direkt solljus och reflekterar ljuset upp i taket så att dagsljuset tränger in i byggnaden utan att blända (Palette, 2019). En ny metod har utvecklats för att transportera in solljus i byggnaden genom att använda fiberoptikkablar. En "dagsljusfångare" monteras på byggnadens utsida som leder ljuset i fiberoptikkablar till en belysningsarmatur inne i huset som sprider ljuset i ett ineliggande rum. På detta vis går det att få dagsljus i ett rum utan fönster (Bokalders & Block, 2014).

### **Effektvakt**

Effekttopparna går att minska och reglera genom att använda en effektvakt som ger de olika ellasterna en prioriteringsordning. Det går också att kapa topparna genom att använda sig av billigare eltaxa nattetid, för detta finns det redan befintlig automatisk styrutrustning (Bokalders & Block, 2014).

Ett sätt att spara el är genom behovsstyrd ventilation där ventilationen regleras beroende på aktivitet och behov. En enkel version av detta är en knapp som det går att reglera ventilationen genom beroende på om det är många, några eller inga som befinner sig i huset. Ventilationen kan också styras av koldioxidhalten eller vattenhalten i luften (Byggeologi). Behovsstyrd ventilation sparar både energi genom minskad uppvärmning av luften och genom minskad elanvändning. I jämförelse med ett ventilationssystem med konstant luftflöde och temperatur så går det att spara uppemot 80% av elanvändningen hos ventilationen med ett behovsstyrt system (Swegon, 2019).

Ett sätt att minska elförbrukningen i ett hem är ett så kallat smart hem. Detta är ett hem som är utrustat med belysning, uppvärmning och elektroniska apparater som går att styra på distans med hjälp av dator eller mobil. På detta viset kan de boende styra och reglera uppvärmning och elförbrukning i huset och på det viset minska elanvändningen (Abdallah, 2014).

### **Minskad vattenförbrukning**

Ett sätt att minska energibelastningen för en byggnad är att minska varmvattenförbrukningen i byggnaden. Energiförbrukningen minskas genom att detta minskar varmvattenförbrukningen. På senare tid har det utvecklats vattensnålare tekniker som gör det möjligt att halvera vattenförbrukningen i jämförelse med konventionella tekniker.

Det finns vattenkranar som går ner till normalflöde när handtaget på kranen släpps men samtidigt bibehåller ett flöde som är tillräckligt för handtvätt och diskning. För att uppnå fullt flöde krävs det att tappen lyfts upp till fullt läge. Det finns också varmvattenbesparande kranar som har ett standardläge med en komforttemperatur på vattnet, för att få varmare vatten måste handtaget dras åt det hållet som ger varmare vatten men kranen återgår till den lägre komforttemperaturen om den släpps.

Det finns idag vattensnåla duschar som använder sig av 6 l/min istället för 20 l/min som är vanligt för äldre duschar. Det finns också duschar där vattnet obemärkt pulsas ut, dessa förbrukar ungefär 9 l/min (Bokalders & Block, 2014).



## 5 Studie av referensbyggnad

I kapitlet beskrivs byggnaden mer ingående där mått och exakt utformning presenteras. Därefter redovisas byggnadens energianvändning vilka baseras på befintliga beräkningar i VIP-Energy gjorda av Skanska för en identisk byggnad i Malmö och på schabloner. Vip-Energy tar hänsyn till fördelningar över året. För beräkningar som baseras på schabloner sker denna fördelning med hjälp av variationskonstanter från bl.a. FEBY12. För dessa beräknas först energianvändning och sedan varieras dessa för att ta hänsyn till variationer över året. Dessa beräkningar kommer att utgöra underlag och fungera som referensvärde för off grid huset.

Energianvändningen delas upp i olika delar för att kartlägga vilka faktorer som utgör störst andel av byggnadens totala energianvändning. För att undersöka effekttoppar och när energianvändningen är som störst beräknas och fördelas, främst baserat på schabloner från BEN2, byggnadens el- och värmebehov över årets månader.

Olika lösningsförslag presenteras för att tillgodose och täcka byggnadens el- och värmebehov. Förslagen bidrar med energiproduktion eller energieffektivisering för att uppfylla byggnadens behov. Inför varje förslag görs en motivering till varför lösningen valdes.

### 5.1 Referensbyggnad

Referensbyggnaden är ett flerbostadshus som är uppbyggt av ett så kallat modulsystem. Modulerna tillverkas i en fabrik och fraktas ut till byggarbetsplatserna där de monteras ihop.

Byggnaden är 38,30 meter lång, 9,65 meter bred och har en höjd på 12,83 meter. Den är belägen i Malmö och har balkonger i söderläge och en loftgång i norr. Byggnaden illustreras i figur 33 och består av 4 identiska våningar med 4 lägenheter i varje på varje våning, totalt är det 16 lägenheter. Varje våning består av en 4-RoK-lägenhet, två 3-RoK-lägenhet, en 2-RoK-lägenhet och ett trapphus med en hiss och en rak trappa.



Figur 33 - Planskiss referensbyggnad

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Inträde till lägenheterna sker via loftgången som finns på varje våningsplan. Loftgångarna är 2 m breda och består av gummiduksbeklädda KL-träskivor med trätrall ovanpå. De hålls uppe med hjälp av träpelare som stöder upp i ytterkant. Infästningen i huset sker genom ett vinkeljärn. För att nå de övre våningarna finns det två utvändiga spiraltrappor som går igenom loftgångarna samt en trappa och en hiss i trapphuset.



Figur 34 - Illustrationsbild referensbyggnad

Byggnaden är försedd med en balkong per lägenhet som är belägen längs långsidorna. Balkongen består precis som loftgången av gummiduksklädda KL-träskivor med trätrall ovanpå. Balkongerna är inhängda i byggnaden med hjälp av snedstag, upplaget i nedkant sker genom ett vinkeljärn. Figur 34 och 35 illustrerar referensbyggnaden.

Vinden är utförd som en ventilerad kallvind med isolering i vindsbjälklaget. Taket är 382 m<sup>2</sup> stort, utformat som ett pulpettak-tak och har en lutning på 7° mot norr. Grunden på byggnaden är plintgrund med lager av cellplast emellan. Ur energisynpunkt har den en liknande funktion som platta på mark och därför kommer beräkningar att utgå från en platta på mark.



Figur 35 - Illustrationsbild referensbyggnad

$A_{\text{temp}}$  för byggnaden är 1309 m<sup>2</sup> och våningshöjden för varje våning är 2,5 m. Fönsterarean och balkongdörrsarean som också är i glas för byggnaden är totalt 174,36 m<sup>2</sup> och arean för ytterdörrar är 47 m<sup>2</sup>. 117 m<sup>2</sup> av fönsterna är i söder, 37,7 m<sup>2</sup> i norr och 7,15 m<sup>2</sup> i öster- och västerläge vardera.

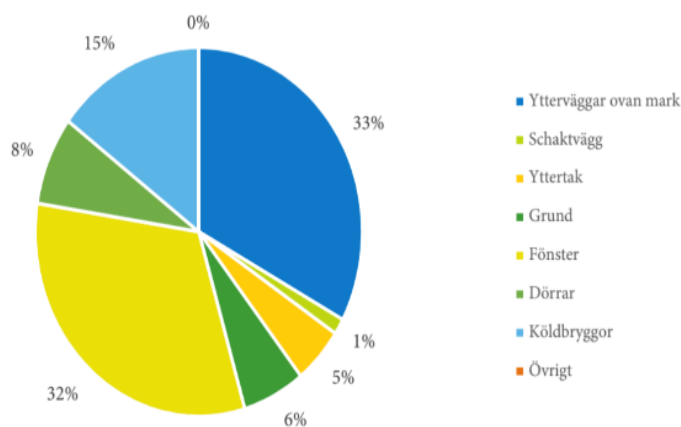


Värmeförsörjning i byggnaden sker med vattenburet värmesystem i radiatorer inne i lägenheterna. Varmvattnet tillförs till byggnaden genom fjärrvärme. Som komplement till värmesystemet finns det ett FTX-system i varje lägenhet som återvinner värmen i frånluften för att värma tilluften. Trapphuset värms med elradiatorer som går igång om temperaturen är för låg. Innetemperaturen i lägenheterna är 21° C medan innetemperaturen i trapphuset är 11° C. I dagsläget är huset anslutet till lokal fjärrvärme och elnät. För att göra huset off grid så kopplas det bort från dessa.

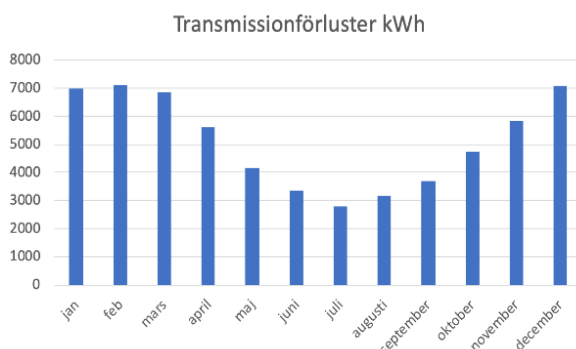
### Transmissionsförluster

Transmissionsförlusterna sker till störst del genom ytterväggar ovan mark och via fönster. Omkring  $\frac{2}{3}$  av de totala transmissionsförlusterna uppstår i samband med de byggnadsdelarna. I övrigt sker transmissionsförluster via köldbryggor i klimatskalet och en mindre del genom dörrar, grund och yttertak. I schaktväggarna, dvs. de ytterväggar som angränsar till ventilationsschaktet uppstår en köldbrygga i klimatskalet eftersom den väggen har ett sämre U-värde än omgivande yttervägg. Däremot utgör schaktväggarna en förhållandevis liten yta vilket gör att transmissionsförlusterna fortfarande är små totalt sett. Fördelning av transmissionsförluster visas i figur 36. Hur förlusterna varierar över året illustreras i figur 37. Uppbyggnaden och byggnadsdelar av referensbyggnadens klimatskal redovisas ingående i tabell 4 och 5.

Transmissionsförluster genom klimatskalet



Figur 36 - Fördelning av transmissionsförluster genom klimatskalet.



Figur 37 - Transmissionsförluster över året.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 4 - Ingående byggnadsdelar i referensbyggnad.

Byggdela	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	Material byggdela	Tjocklek Ut-in. [mm]	Area [m <sup>2</sup> ]
Yttervägg	0,212	Fasad Luftspalt Vindskyddsskiva Träreger m. isolering Invändig gips	22 45 12 220 13 - <b>312</b>	809,3
Schaktvägg	0,440	Fasad Luftspalt Vindskyddsskiva Träreger m. isolering Invändig gips	22 45 12 95 13 - <b>187</b>	54,3
Grundplatta	0,104	Betong Cellplast Luftspalt	100 300 20 - <b>420</b>	327,2
Vindbjälklag	0,084	Mineralull Bjälklag m. isolering Läkt Invändig gips	165 300 28 28 - <b>521</b>	327,2
Övrigt	Genomsnittsvärde		Totalt	
Köldbryggor	0,061	Ψ [W/m <sup>2</sup> K]	1148 meter	
Infiltration	För hela byggnaden 0,35	[l/s*m <sup>2</sup> utvändiga yta]		

Tabell 5 - Ingående byggnadsdelar referensbyggnad.

Fönster och dörrar	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	G-Värde (%)	ST-Värde [%]	Glasandel [%]	Area [m <sup>2</sup> ] Inkl karm
Fönster	0,9	25	25	79	174,36
Balk. dörr	0,9	25	25	79	Ingår i fönster
Dörrar	1,0	0	0	0	47

### Beräknad energianvändning för referensbyggnad

I tabell 7 redovisas energianvändning för referensbyggnaden där de redovisade beräknade värdena baseras på indata från tabell 4, 5 och 6. Beräkningarna är utförda på referensbyggnaden av Skanska. I byggnadens totala energianvändning ingår brukarberoende parametrar som hyresgäst rumsluft och hyresgäst extern vilket gör att den egentliga förbrukningen kan variera från fall till fall. I de fall då det saknas en individuell mätning för varje brukares specifika energianvändning baseras värdena på Boverkets författningssamling BEN2, boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande under ett normalår.

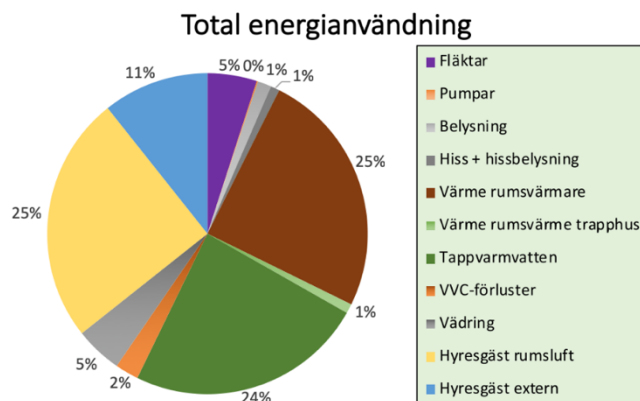
Tabell 6 - Indata för Vip-Energy i Skanskas beräkningar.

			Kommentar
Schablonpåslag		kWh/m <sup>2</sup> år	
	Vädning	4	Enligt BEN2
	VVC-förluster	2	Enligt BEN2
	Tappvarmvatten Flerbostadshus	20,2	Enligt BEN2, inkl återverkningsgrad
Internast laster	Totalt frånluftsflöde köksfläkt [l/s]	(640)	40 l/s per lägenhet 30 min / dygn
	Driftfall personlast	14/7/52 [h/dygn/veckor]	
	Personlast [W/m <sup>2</sup> ]	2,39	Enligt BEN2
	Driftfall hyresgäst	Dygnet runt / året runt	
	Hyresgäst rumsluft [kWh/m <sup>2</sup> ]	21	Enligt BEN2, Internlast
	Hyresgäst extern [kWh/m <sup>2</sup> ]	9	Enligt BEN2, Energi
	Hyresgäst totalt [kWh/m <sup>2</sup> ]	30	Enligt BEN2
	Börvärde rumsvärmare [°C]	21	Enligt BEN2
	Börvärde trapphus [°C]	11	

Den totala energianvändningen redovisas i figur 38 där 57% består av uppvärmning i vilken värme rumsvärmare och tappvarmvatten utgör de största andelarna. Fastighetselen består av fläktar, pumpar, belysning och hissar och motsvarar 7% av den totala energianvändningen. Resterande 36% av energianvändningen är hushållsel och representeras av hyresgäst rumsluft och hyresgäst extern. Fördelningen av byggnadens

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

uppvärmning består av värme rumsvärme, värme rumsvärme trapphus, tappvarmvatten, VVC-förluster och vädring, se figur 39.

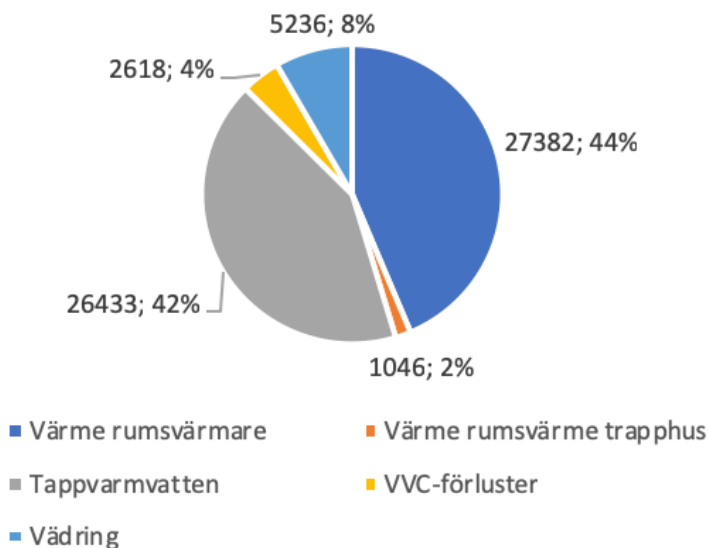


Figur 38 - Fördelning av byggnadens totala energianvändning.

Tabell 7 - Referensbyggnadens energianvändning.

A <sub>temp</sub>	1309	m <sup>2</sup>	
Energianvändare	kWh / år	kWh / (m <sup>2</sup> *A <sub>temp</sub> år)	Kommentar
Fläktar	5493,0	4,2	
Pumpar	140	0,13	Fjärrvärme
Belysning	1520	1,2	
Hiss & hissbelysning	1000	0,8	
Summa fastighetsel	8153	6,2	
Värme rumsvärmare	27 382	20,9	Fjärrvärme
Värme rumsvärme trapphus	1046	0,8	Elradiatorer trapphus
Tappvarmvatten	26 433	20,2	
VVC-förluster	2618	2,0	
Vädring	5236	4,0	
Summa uppvärmning	62 715	47,9	
Summa specifik energianvändning	70 868	54,1	
Hyresgäst rumsluft	27 489	21,0	
Hyresgäst extern	11 781	9,0	
Summa hyresgästel	39 270	30,0	
Total energianvändning	110 138	84,1	

## Uppvärmningsfördelning kWh / år



Figur 39 - Fördelning av uppvärmning.

### Program och föreskrifter som använts vid energiberäkningar

För energiberäkning avseende värme och elenergi för fläktar har programmet Vip-Energy använts av Skanska. Klimatfil för Malmö 1981–2010 och version 1.0 av SVEBY har fungerat som underlag. Modellen delar upp byggnaden i två zoner. Den ena zonen omfattar trapphuset och den andra resterande del av huset. I varje zon används värmebalanser för att beräkna temperaturer och effektbehov. Tidssteget anpassas efter behov. Indata för beräkningar i Vip-Energy redovisas i tabell 8.

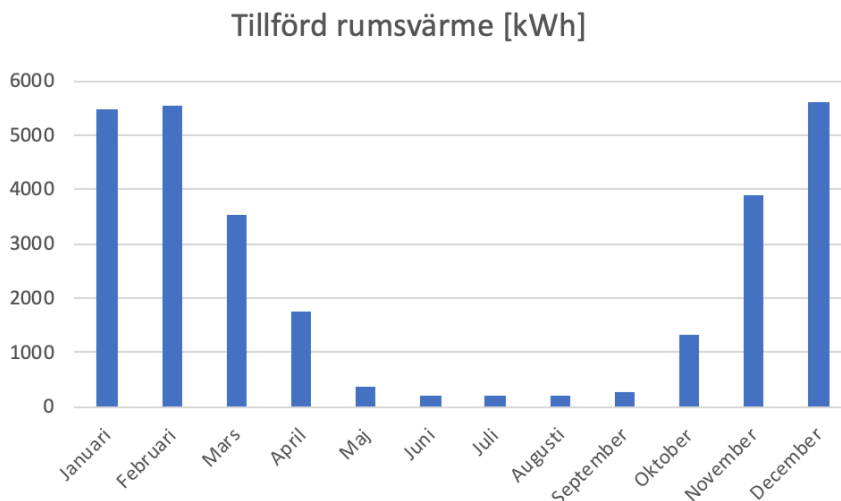
## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 8 - Indata till Vip-Energy

			Kommentar
Värme	Värmekälla	Fjärrvärme	
	Verkningsgrad värme [%]	100	
	Verkningsgrad varmvatten [%]	100	
Eleffekt värme		Effekt [W]	
	Elradiatorer	4000	Uppv. trapphus
	Totalt [W/m <sup>2</sup> ]	3,06	
Luftbehandling	Ventilationssystem	FTX-aggregat	
	Tilluftsfäkt [kW/m <sup>3</sup> /s]	0,72	Ingår i FTX
	Frånluftsfäkt [kW/m <sup>3</sup> /s]	0,72	Ingår i FTX
	Verkningsgrad värmeåterv. [%]	80	
	Avluftstemperatur begränsas till [°C]	-	
	Tilluftstemperatur [°C]	10	
	Köksfäkt	30 min / dygn	
	Driftfall	Dygnet runt/ året runt (10h frånvaro/ dygn)	
	Omsättning tilluft [l/s, m <sup>2</sup> ]	0,41 (0,35)	14 h med 0,41 l/s 10 h med 0,35 l/s
	Omsättning frånluft [l/s, m <sup>2</sup> ]	0,41 (0,35)	14 h med 0,41 l/s 10 h med 0,35 l/s
	Totalt frånluftflöde [l/s]	546 (446)	

### Variation av tillförd rumsvärme

Variation över året av tillförd rumsvärme för referensbyggnaden redovisas i figur 40. Hur behovet fördelas över året baseras på en variation tagen av data från tidigare beräkningar som är utförda av Skanska i Vip-Energy. Värmen tillförs till både lägenheterna och trapphuset. Totalt tillförs 28 428 kWh rumsvärme där det vattenburna systemet som är kopplad till lägenheterna står för 27 382 kWh/år och elradiatorerna i trapphuset bidrar med 1046 kWh/år. Tillförd rumsvärme är som störst under december då det totalt under månaden tillförs 5616 kWh och lägst i juni då förbrukningen summeras till 205 kWh.



Figur 40 - Tillförd rumsvärme fördelat över året

### Värmebehov för tappvarmvatten

Värmebehovet för tappvarmvatten för respektive månad beräknas. Beräkningarna är baserade på årsförbrukningen för tappvarmvatten för referensbyggnaden vilket är 26 433 kWh. Den genomsnittliga förbrukningen per månad beräknas till:

Genomsnittlig månadsförbrukning =  $26\,433 \text{ kWh} / 12 = 2202,8 \text{ kWh/månad}$ .

Den genomsnittliga månadsförbrukningen viktas med variationskonstanter hämtade från FEBY12 som redovisas i tabell 9 och används för att beräkna en viktad månadsförbrukning för respektive månad. Den beräknade förbrukningen av tappvarmvatten redovisas i tabell 10.

Tabell 9 - Månadsvis fördelning av tappvarmvattenflöden enligt BBR.

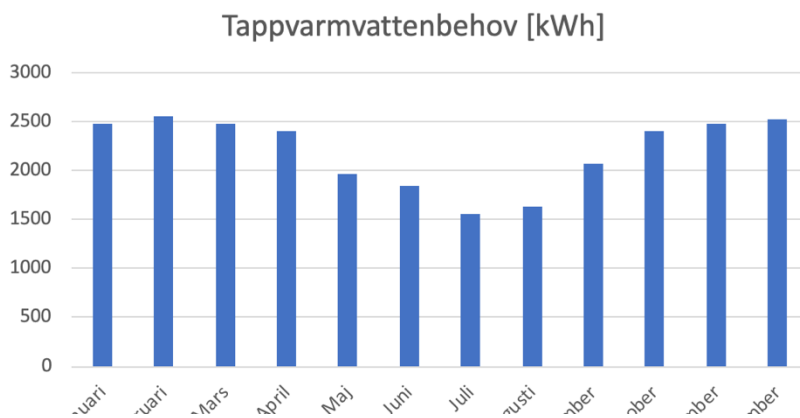
jan	feb	mars	april	maj	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1,13	1,16	1,13	1,09	0,89	0,84	0,71	0,74	0,94	1,09	1,13	1,15

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 10 - Byggnadens behov av tappvarmvatten.

Månad	Genomsnittligt tappvarmvattenbehov [kWh/månad]	Variationskonstant	Tappvarmvattenbehov [kWh/månad]
Januari	2203	1,13	2489
Februari	2203	1,16	2555
Mars	2203	1,13	2489
April	2203	1,09	2401
Maj	2203	0,89	1960
Juni	2203	0,84	1850
Juli	2203	0,71	1564
Augusti	2203	0,74	1630
September	2203	0,94	2070
Oktober	2203	1,09	2401
November	2203	1,13	2489
December	2203	1,15	2533
<b>Totalt:</b>			<b>26 433 kWh/år</b>

Variationen för tappvarmvatten under året är relativt konstant. Dimensionerande månad för tappvarmvattenbehovet är februari månad då det största värmebehovet på 2555 kWh för tappvarmvatten uppstår. Förbrukningen är som störst under vintermånaderna samtidigt som det sjunker något på sommaren. Diagram av tappvarmvattenbehovet redovisas i figur 41.

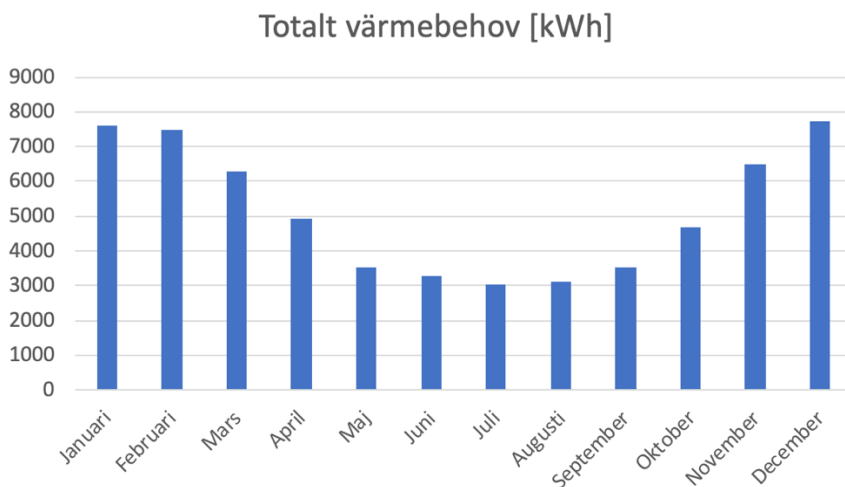


Figur 41 - Fördelning av tappvarmvattenbehov.



### Totalt värmebehov

I det totala värmebehovet ingår rumsvärme för lägenheter, tappvarmvatten, VVC-förluster och vädring. Fördelningen av det totala värmebehovet för referensbyggnaden redovisas i figur 42. Variationen är stor över året där värmebehovet på vintern är tre gånger så stort som behovet på sommaren. Det största uppvärmningsbehovet uppstår i december och är 7712 kWh vilket blir den dimensionerande månaden. Värmebehovet är relativt stort under perioden december till februari. Under sommarmånaderna från maj till september är uppvärmningsbehovet runt 3000 kWh/månad. Under sommaren är behovet för rumsvärme till lägenheterna låg och den tillföra energin går åt till stort del till att värma tappvarmvattnet. Totalt värmebehov för byggnaden under ett år är 61 669 kWh.



Figur 42 - Totalt värmebehov fördelat över året.

### 5.1.1 Totalt effektbehov för värme

Under de mest kritiska perioderna uppstår det dimensionerande effektbehovet i byggnaden. Detta beskriver vilken värmeeffekt som måste kunna tillföras till byggnaden.

Effektbehovet för uppvärmning består dels av den värme som måste kunna levereras till tappvarmvattnet och den som måste tillföras för rumsvärme, där vädring och VVC-förluster ingår. I den delen ingår inte effekten till elradiatorerna i trapphuset då dessa drivs av el och påverkar elbehovet och inte värmebehovet.

Effektbehovet för rumsvärme beräknas genom att beräkna värmeförlusttal under DVUT, dimensionerande vinterutetemperatur för byggnaden. Detta är den värmeeffekt per m<sup>2</sup> som byggnaden avger under DVUT.

Beräkning av byggnadens värmeförlusttal

Då omsättning av ventilationsluften i byggnaden har två driftlägen beräknas ett viktat värde för  $q_{vent}$  enligt ekvation 22.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Driftlägen:

1. 14 av dygnets timmar är flödet 0,41 l/s m<sup>2</sup>
2. 10 av dygnets timmar är flödet 0,35 l/s m<sup>2</sup>

$$q_{vent} = \left( \frac{14}{24} * 0,41 + \frac{10}{24} * 0,35 \right) * A_{temp} \quad (16)$$

Tidskonstanten beräknas för hand eftersom byggnaden klassas som lätt konstruktion med grund som har egenskaper likt platta på mark. Därför kan inte schablonvärde användas. Genom beräkningar på värmekapaciteten hos de invändiga skikten så har tidskonstanten beräknats till 1,4 dygn.

Tidskonstanten har beräknats enligt:

$$\tau = \frac{\sum m_i * c_i}{H^T} = \frac{89634828}{741} = 120993 \text{ sekunder} = 1,4 \text{ dygn}$$

Där:

$m_i$  = massan för respektive byggandsdel

$c_i$  = specifik värmekapacitet för respektive byggnadsdel

$H^T$  = Värmeförlusttal koefficient

Utifrån detta värde har DVUT interpoleras från tabell i FEBY12 för Lund. Malmö antas i tabellen ha samma värde som Lund.

DVUT: -11,2

Värdet för  $T_{mark}$  kommer från tabell i FEBY12 och är taget för Lund.

$T_{mark}$ : 3,2

Vindskyddskoefficient för byggnaden är vald för måttlig avskärmning i förortsmiljö ur tabell 2.

Vindskyddskoefficient,  $e = 0,07$ . Balanserad ventilation antas.

$U_m$  är beräknad för referensbyggnad.

$U_m = 0,305 \text{ W/m}^2\text{K}$

Med hjälp av ingångsparametrar beräknas  $VFT_{DVUT}$ .

$VFT_{DVUT} = 10,55 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{temp})$

Total värmeeffekt för byggnaden beräknas genom att multiplicera med  $A_{temp}$ :

$$VFT_{Dvut} * A_{temp} = 13\ 814 \text{ W} \quad (17)$$

Värmeeffekt för tappvarmvatten beräknas enligt:

$$P = \rho * c * q * BOA * (T_{vv} - T_{in}) \quad (18)$$

$P$ , dimensionerande effekt	[W]
$\rho$ , vattnets densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q$ , flöde	[l/s]
$T_{vv}$ , varmvattnets temperatur	[°C]
$T_{in}$ , kallvattnets temperatur	[°C]
$BOA$ , bostadsarea	[m <sup>2</sup> ]
$c$ , vattnets värmekapacitet	[kJ/(kg·C)]

55°C används som standard för temperatur på varmvatten. Detta antas vara utgående temperatur för vattnet då det har blandats med kallvatten. I ackumulatortanken bör vattnet vara 60°C.

Kallvattnets temperatur är densamma som medeltemperaturen ute för Malmö, 8°C. BOA motsvarar  $A_{temp}/1,25 = 1309/1,25 = 1047 \rightarrow$  eftersom  $A_{temp} = (BOA+LOA)*1,25$  Det dimensionerande flödet når sitt max under eftermiddagen på vardagar då det uppgår till 0,17 l/h BOA.

Dimensionerande värmeeffekt för tappvarmvatten beräknas:

$$P = 1000 * 4190 * 0,17 * 1047 * \frac{55-8}{3600*1000} = 9736 \text{ W} \quad (19)$$

Vid det mest kritiska fallet då både effektbehovet för tappvarmvatten och rumsvärme inträffar samtidigt så är det totala effektbehovet:

$$P_{tot} = 13\ 814 + 9736 = 23\ 550 \text{ W} \quad (20)$$

Detta används som dimensionerande effektbehov för värme. Beroende på val av energilösning och eventuell ackumulatortank och eventuell tappvattenprioritering och reglering kan dimensionerande maxeffekten beräknas på olika sätt. Detta får studeras djupare i ett verkligt projekt.

### Hushållsel behov

Behovet för hushållsel har beräknats enligt nedan:

Årsförbrukningen för hushållsel baserat på referensbyggnaden är 39 270 kWh. Den genomsnittliga förbrukningen per månad beräknas till:

Genomsnittlig månadsförbrukning =  $39\ 270 \text{ kWh}/12 = 3272,5 \text{ kWh/månad}$ .

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Den genomsnittliga månadsförbrukningen viktas med variationskonstanter hämtade från FEBY12, se tabell 11 för att beräkna månadsfördelningen. Den beräknade månadsfördelningen redovisas i tabell 12 och figur 43.

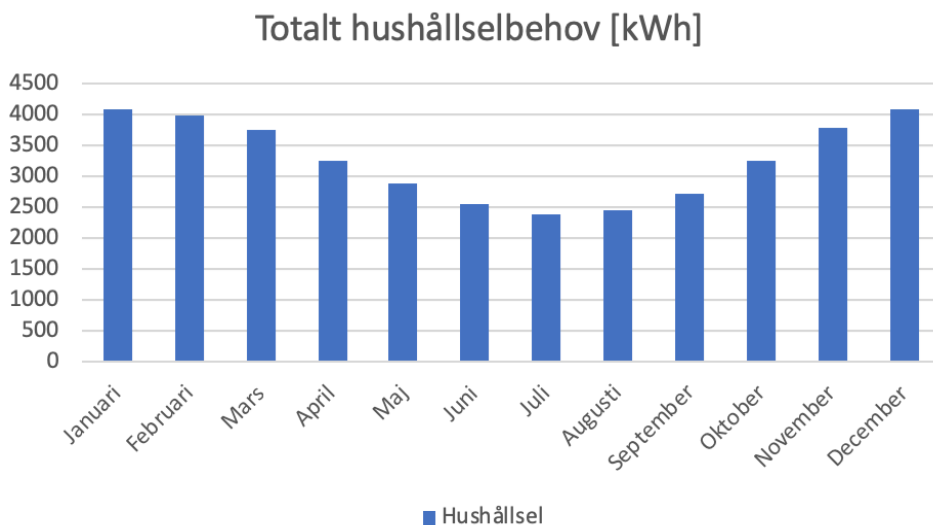
Tabell 11 - Månadsvis fördelning av hushållsel enligt BBR.

jan	feb	mars	april	maj	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec
1,25	1,22	1,15	1,00	0,88	0,78	0,73	0,75	0,83	1,00	1,16	1,25

Tabell 12 - Byggnadens behov av hushållsel.

Månad	Genomsnittligt elbehov [kWh/månad]	Variationskonstant	Elbehov [kWh/månad]
Januari	3272,5	1,25	4090
Februari	3272,5	1,22	3992
Mars	3272,5	1,15	3763
April	3272,5	1	3272
Maj	3272,5	0,88	2879
Juni	3272,5	0,78	2552
Juli	3272,5	0,73	2388
Augusti	3272,5	0,75	2454
September	3272,5	0,83	2716
Oktober	3272,5	1	3272
November	3272,5	1,16	3796
December	3272,5	1,25	4090
<b>Totalt</b>			<b>39 270 kWh/år</b>

De dimensionerande månaderna för hushållsel är december och januari då behovet är 4090 kWh. Generellt så är behovet högre under vintern än under sommaren.



Figur 43 - Totalt hushållselbehov fördelat över året.

### Fastighetselbehov

Behovet för fastighetsel har beräknats enligt:

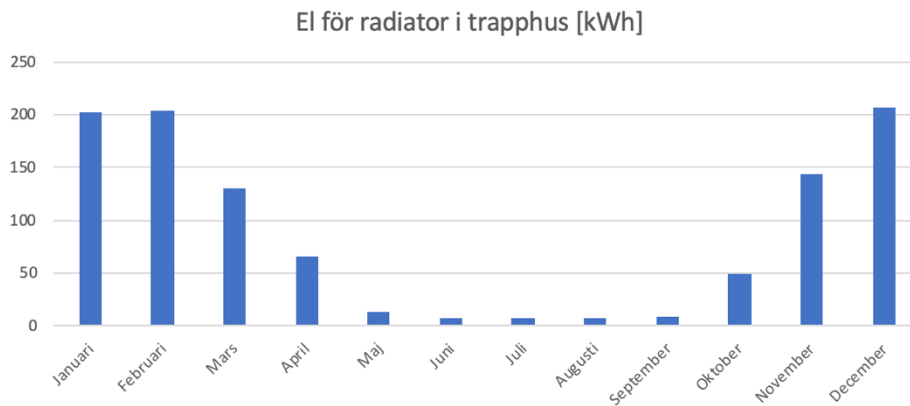
Årsförbrukningen av fastighetsel för referensbyggnaden är 8153 kWh. Denna anses inte ha några större variationer över året utan den månadsvisa förbrukningen av fastighetsel betraktas som konstant och beräknas enligt:

Månadsvis förbrukning av fastighetsel =  $8153/12 = 679,4$  kWh.

### El till radiatorer under året

El till radiatorer är en del av fastighetselen men betraktas inte som konstant över året. Den anses följa samma variation som rumsvärmen till lägenheter. Totalt årsbehov för referensbyggnaden för el till eldrivna radiatorer är 1046 kWh. Radiatorens elbehov varierar över året med en fördelning likt uppvärmningsbehovet. Fördelning över året redovisas i figur 44.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 44 - El för radiatorer i trapphus fördelat över året.

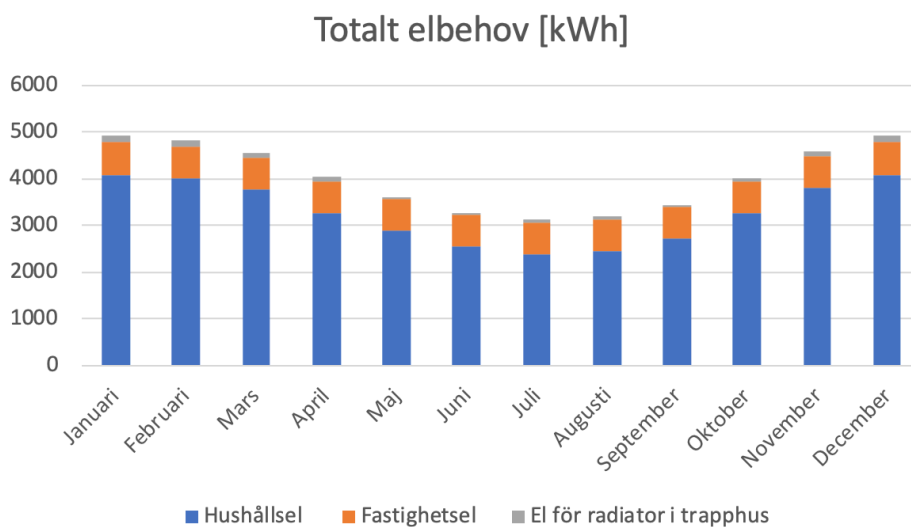
### Totalt elbehov under året

Tillsammans utgör hushållselen, fastighetselen och el till radiatorer det totala elbehovet för referensbyggnaden.

Årsbehov av el:

Totalt elbehov över året = hushållsel + fastighetsel + el till radiatorer = 39 270 + 8153 + 1046 = 48 469 kWh/år.

Det totala elbehovet följer en årsvariation enligt figur 45. Den största elförbrukningen sker i månaderna december och januari där respektive förbrukning uppgår till 4923 kWh och 4921 kWh.



Figur 45 - Totalt elbehov fördelat över året.

### Effektbehov för el

Effektbehov för el inträffar då den maximala belastningen för el inträffar för byggnaden. Det är i detta tillfället som behovet för el är som störst. Effektbehovet för el i byggnaden består av effekt från fastighetsel, hushållsel och el till radiatorer i trapphuset. Vid beräkning av effektbehovet går elradiatorerna på maximal effekt och hushållselen antas vara 50% högre än genomsnittligt för den värsta månaden. Fastighetselen anses ligga på en genomsnittlig nivå.

#### 5.1.2 Totalt effektbehov för el

Radiatorernas maxeffekt är 4000 W enligt uppgifter från referensbyggnad.

Fastighetselen drar 8153 kWh/år. Den genomsnittliga effekten för fastighetsel beräknas.

$$8153 \text{ kWh/år} = 8153 * \frac{1000}{365*24} = 931 \text{ W}$$

Hushållselbehovet för december som är dimensionerande månad är 4091 kWh/månad.

$$4091 \text{ kWh/månad} = 4091 * \frac{1000}{31*24} = 5499 \text{ W}$$

Eftersom hushållselen till stor del styrs av brukarna antas effekten i det kritiska fallet vara 50% högre än den genomsnittliga effekten i december.

$$5499 * 1,5 = 8249 \text{ W}$$

$$\text{Totalt effektbehov för el} = 4000 + 931 + 8249 = 13\ 180 \text{ W} \approx 13,2 \text{ kW}$$





## 6 Lösningförslag och resultat

Förslag till el- och värmeförsörjning till byggnaden utreds tillsammans med lagringsmetoder för att kunna tillgodose behoven då det är minskad produktion. Lösningarna nedan är ett urval från de som anses de mest passande från de som har presenterats i tidigare delar i rapporten. För de som inte utreds redovisas en kort motivering i avsnitt 7.2. Försörjningen skall kunna tillgodose de energibehov som finns i byggnaden. Eftersom huset skall vara off grid kommer alla lösningar som utreds att vara fristående och inte beroende av att vara anslutna till el- eller fjärrvärmenät. Viktigt att ta hänsyn till är att huset skall kunna bruka värme och el hela året runt under alla timmar på dygnet, detta gäller även då det inte sker någon produktion. Detta innebär att lösningarna har olika syften för att kunna bidra till en helhetslösning. Lösningarna som presenteras nedan är utformade med utgångspunkt i referensbyggnaden innan det utförts några energieffektiva åtgärder.

### 6.1.1 Supermatris

För att få en övergripande bild och en ytterligare förståelse till varför vissa lösningar har valts att göra en fortsatt utredning på har det upprättats en supermatris. Matrisen är uppdelad i tre olika delar och innefattar tekniker för produktion, lagring och behovsminimering. Teknikerna bedöms utifrån olika aspekter och betygsätt huruvida de är lämpliga eller inte att genomföra. En del parametrar vägs tyngre in i avgörandet om lösningen ska utredas vidare eller inte. Kriteriet för *befintlig teknik* är till exempel betydande eftersom om inte tekniken finns på marknaden blir det problematiskt att utföra lämpliga beräkningar och kostnadsuppskattningar. En del parametrar har inte ansetts vara lämpliga att utreda vidare med hänsyn till arbetets omfång och avgränsningar. Det är till exempel möjligt att beräkna energibesparingen för inglasad balkong, loftgång och innergård men det skulle krävas ytterligare tid och kunskap för att genomföra beräkningarna. Parametrarna *produktion i förhållande till storlek* och *åtgärdens effektivitet*, figur 46 och 48 kan vara något svårtolkade. Produktion i förhållande till storlek innebär hur mycket energi tekniken kan producera i förhållande till dess yta och volym. Åtgärdens effektivitet syftar till hur åtgärdens energieffektivitet i förhållande till dess omfattning. Det är viktigt att ta hänsyn till att motiveringarna grundar sig på givna förutsättningar och dagens teknik. Utvecklingen inom området är stor vilket gör att marknadsläggets och tillgängligheten för teknikerna kan komma att se annorlunda ut i framtiden.

Utifrån matrisen går det att få en övergripande bild av vilka lösningar som är rimliga att utreda vidare. Supermatrisen illustreras i figurerna 46, 47 och 48. I de följande avsnitten har ett antal lösningar studerats.

# Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Produktion		Produktion i förhållande till storlek	Befintlig teknik	Genomförbart	Rätt förutsättningar	Kan appliceras på referensbyggnad	Pålitlighet	Kan kombineras med befintliga lösningar	Beräknings-möjlighet
Värme	El								
Vindkraftverk		OK							
Solceller		Lämpligt							
Kondenskraft		Ej lämpligt							
Koncenterade solspeglar									
Smarta elnät									
Pumpkraftverk									
Kraftvärme									
Solfångare									
Bergvärmepump									
Markvärmepump									
Sjövärmepump									
Frånluftsvärmepump									
Uteluftsvärmepump									
Decentraliserad ventilation									
Avloppsvärmväxling									
Dynamisk isolering									
Närvärme									
Balanserade nät									

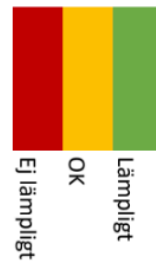
Figur 46 – Matris över produktion

Lagring																		
Värme	EI	Ackumulator-tank	Borrhållslager	AkviFERer	Pumpkraftverk	Svänghjul	Superkondensator	SMES	Batterier	Vätgas - Bränsleceller	Storlek i förhållande till lagringskapacitet	Befintlig teknik	Dygnslagring	Säsongslagring	Rätt förutsättningar	Verkningsgrad	Går att applicerbara på referensbyggnad	Beräknings-möjlighet



Figur 47 - Matris över lagring

Behovs- minimering							
Värme	EI						
		Åtgärdens effektivitet	Befintlig teknik	Inomhuskomfort	Ingrepp på byggnad	Beräknings- möjlighet	Ej beroende av brukar- beteende
Energieffektiva vitvaror							
Effektivisera driftfel							
Ny hissteknik							
Utrustning och belysning							
Inglasad balkong							
Inglasad loftgång							
Inglasad innergård							
Klimatskal - U-värde							
Isoleringsstyp							
Reglerade vattenkranar							
Vattensnål dusch							
Köldbryggor							
Fönsterplacering							
Riktning på hus och utförning							
Sänkt innetemperatur							



Figur 48 - Matris över elbehovsminimering

## Elproduktion

Byggnadens elbehov behöver tillgodoses med hjälp av lokal elproduktion som kan förse byggnaden med tillräcklig el både dygnet runt och året runt. I avsnittet ingår lösningar som producerar el direkt till byggnaden och lösningar som kan lagra el för att uppfylla behovet när produktionen är låg.

## 6.2 Vindkraft

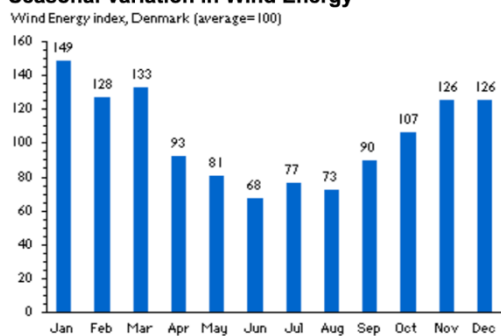
Vindkraft är en förnybar energikälla som kan fungera självständigt eller som ett komplement till solceller och kan tillgodose byggnaden med el under perioder då inte solen skiner. Det är också under dessa perioder som det blåser mer i vilket går att avläsa i tabell 24. Då byggnaden kommer att vara belägen i Malmö där det blåser mycket och vindförhållandena är gynnsamma anses vindkraft vara ett lämpligt alternativ. Vindens medelhastighet redovisas i tabell 24 och baseras på data från SMHI, det årliga genomsnittet beräknas som medelvärdet av varje månads vindhastighet.

Tabell 13 - Medelvindhastighet i Malmö.

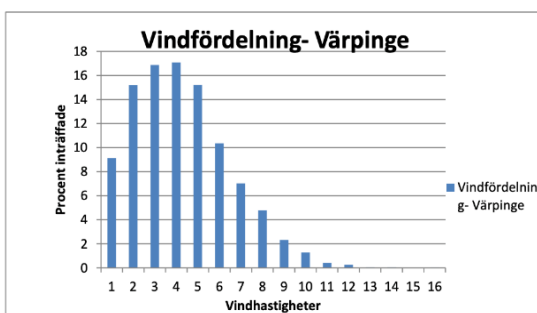
Månad	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
Vindhastighet (m/s)	5.1	4.3	5.2	5.7	4.3	4.2	3.9	4.5	5	5.1	4.5	5
Årsgenomsnitt (m/s)	4.73											

Vindkraften kommer att beräknas och dimensioneras utifrån utformning, vindkapacitet och storlek. Genom att undersöka olika längd på vindkraftverkens rotorblad kan värden på dess energiproduktion under året att beräknas. Beräkningarna kommer att utgå ifrån månadernas variation i vindhastighet och sannolikheten för att vinden ska nå en specifik vindhastighet. Detta tas i beaktning eftersom vindkraften inte kan utvinna någon energi när vinden understiger en viss vindhastighet. Vindförhållandena som råder på orten där referensbyggnaden är placerad och förhållandena som värdena i figur 49 och 50 utgår ifrån anses vara likartade. Därför baseras beräkningarna från dessa värden när det kommer till vindens variation och sannolikheten för att en viss vindhastighet ska uppnås. I figur 49 redovisas variationen för respektive månad och sannolikheten för de olika vindhastigheterna redovisas i en Weibullfördelning enligt figur 50.

### Seasonal Variation in Wind Energy



Figur 49 - Hur vinden varierar över året i Danmark (Svensson, 2019).



Figur 50 - Weibullfördelning av vindens sannolika hastighet i Värpinge (Farhadian, 2014).

För att beräkna den genomsnittliga energin som ett vindkraftverk genererar över ett år används en förenklad formel som ger ett uppskattat värde utifrån verkets rotordiameter och vindhastighet.

$$E_W(U) = 7 * R^2 * U^3 \quad [\text{kWh}/\text{år}] \quad (21)$$

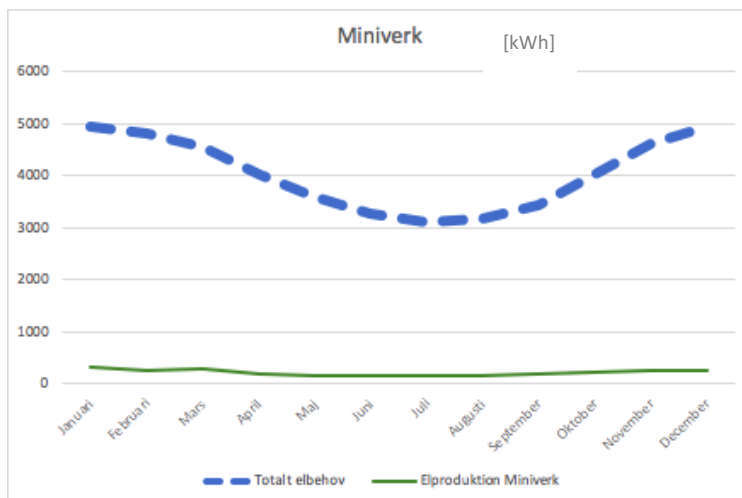
$R$  = Rotordiameter (m)

$U$  = Vindhastighet (m/s)

För att få fram hur mycket energi som respektive vindkraftverk genererar under en månad tas det hänsyn till vindens medelhastighet enligt tabell 24, vindens variation enligt figur 49 och sannolikheten att en viss vindhastighet uppnås enligt figur 50. De vindhastigheter som understiger vindkraftverkets starthastighet eller överstiger dess maximala hastighet tas inte med i den beräknade månadsproduktionen och presenteras i de redovisade tabellerna som månadsproduktion inklusive sannolikhet.

### Miniverk

I det första fallet undersöks ett miniverk som placeras i nära anslutning till referensbyggnaden. Verkets rotordiameter ansätts till 2 m och genererar elektrisk energi när det blåser mer än 2,5 m/s. Den når maximal effekt på 1200 W när vindhastigheten uppgår till 14 m/s. Då miniverket har en rotordiameter under 3 m och är mindre än 20 m så krävs det inget bygglov för denna anläggning. Fördelningen över respektive månad redovisas i tabell 25 och figur 51.



Figur 51 - Fördelning av miniverkets elproduktion över året.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 14 - Elproduktion för minikraftverk.

MINIVERK				
Rotordiameter			2	m
Vindhastighet			4,7	m/s
Startvind			2,5	m/s
Månad	Genomsnittligt [kWh]	Variationskonstant	Månadsproduktion [kWh]	Månadsproduktion inkl sannolikhet [kWh]
Januari	247	1,49	369	307
Februari	247	1,28	317	264
Mars	247	1,33	329	274
April	247	0,93	230	192
Maj	247	0,81	200	167
Juni	247	0,68	168	140
Juli	247	0,77	191	159
Augusti	247	0,73	181	150
September	247	0,90	223	185
Oktober	247	1,07	265	220
November	247	1,26	312	260
December	247	1,26	312	260
<b>Totalt, kWh/år</b>				<b>2577</b>

Elproduktionen är något större under vintermånaderna än sommarmånaderna. Totalt sett producerar minikraftverket mycket mindre el än referensbyggnadens elbehov.

### Kostnad

Kostnaden för ett miniverk med en maxeffekt på 1200 W, rotordiameter på 2 meter och startvind 2 m/s uppgår till ungefär 30 000 kr (Windforce, 2011)

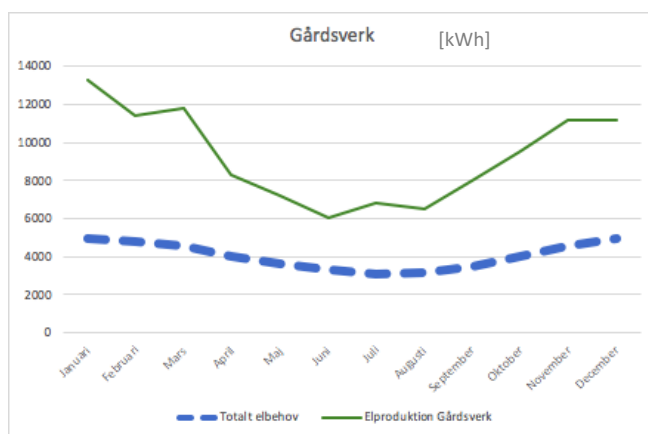
### Gårdsverk

I det andra fallet undersöks ett gårdsverk som har en höjd på 31,5 meter och en rotordiameter på 14,6 meter. Den maximala effekten är 43 kW och vindkraftverket genererar elektricitet när vindhastigheten överstiger 3,5 m/s. Då gårdsverket är över 20 m hög och har en rotordiameter som är över 3 m så krävs det bygglov. Fördelningen över respektive månad redovisas i tabell 26 och figur 52.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 15 - Elproduktion för gårdsverk.

GÅRDSVERK				
Rotordiameter			14,6	m
Vindhastighet			4,73	m/s
Startvind			3,5	m/s
Månad	Genomsnittligt [kWh]	Variationskonstant	Månadsproduktion [kWh]	Månadsproduktion inkl sannolikhet [kWh]
Januari	13 186	1,49	19 648	13 233
Februari	13 186	1,28	16 878	11 368
Mars	13 186	1,33	17 538	11 812
April	13 186	0,93	12 263	8259
Maj	13 186	0,81	10 681	7194
Juni	13 186	0,68	8967	6039
Juli	13 186	0,77	10 153	6838
Augusti	13 186	0,73	9626	6483
September	13 186	0,9	11 868	7993
Oktober	13 186	1,07	14 109	9503
November	13 186	1,26	16 615	11 190
December	13 186	1,26	16 615	11 190
<b>Totalt, kWh/år</b>				<b>111 101</b>



Figur 52 - Fördelning av gårdsverkets elproduktion över året



Gårdsverket producerar tillräckligt med el för att tillgodose elbehovet under hela året. Som mest el produceras under vintern då produktionen är ungefär dubbelt så stor som under sommarmånaderna.

### **Kostnad**

Pris för gårdsverk baseras på uppgifter från Jörgen Bjerknäs som arbetar på GiroVind Energi AB som är en leverantör av vindkraftverk. Det uppskattade priset för en anläggning som har en maxeffekt på 30–43,5 kW är : 950 000 – 1 250 000 kr. (Bjerknäs, 2019)

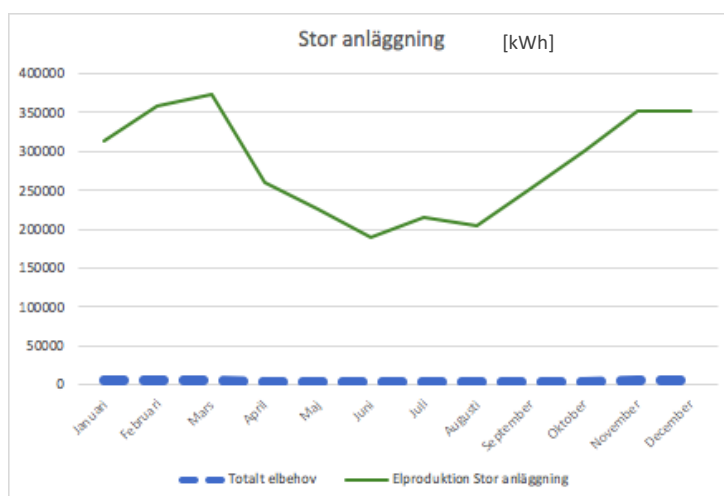
### **Stor anläggning**

I det tredje fallet undersöks en stor anläggning som har en höjd på 120 meter och en rotordiameter på 82 meter. Den maximala effekten är 2000 kW och vindkraftverket genererar elektricitet när vindhastigheten överstiger 4,5 m/s. Fördelningen över respektive månad redovisas i tabell 27 och figur 53.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 16 - Elproduktion för stor anläggning.

STOR ANLÄGGNING				
Rotordiameter			82	m
Vindhastighet			4,73	m/s
Startvind			4,5	m/s
Månad	Genomsnittligt [kWh]	Variationskonstant	Månadsproduktion [kWh]	Månadsproduktion inkl sannolikhet [kWh]
Januari	415 954	1,49	619 772	312 985
Februari	415 954	1,28	532 422	358 586
Mars	415 954	1,33	553 219	372 593
April	415 954	0,93	386 838	260 535
Maj	415 954	0,81	336 923	226 918
Juni	415 954	0,68	282 849	190 499
Juli	415 954	0,77	320 285	215 712
Augusti	415 954	0,73	303 647	204 506
September	415 954	0,90	374 359	252 131
Oktober	415 954	1,07	445 071	299 755
November	415 954	1,26	524 103	352 983
December	415 954	1,26	524 103	352 983
<b>Totalt, kWh/år</b>				<b>3 400 186</b>



Figur 53 - Fördelning av en stor anläggnings elproduktion över året.

Den stora anläggningen producerar betydligt mycket mer el än referensbyggnadens elbehov.

### **Kostnad**

Det finns många faktorer som påverkar priset för storskalig vindkraftverk. Det är främst kostnaden för turbinen som är stor och utgör 65-84% av det totala beloppet. Utöver tillkommer kostnader för att ansluta till nät och bygga vindkraftet. Den totala investeringskostnaden uppgår till 11-30 miljoner / MW (Kulin, et al., 2016)

## **6.3 Solceller**

Solceller erbjuder en etablerad och yteffektiv lösning för lokal elförsörjning. Elektriciteten som produceras är förnybar då den använder solen som energikälla. Elektriciteten kan produceras i direkt anslutning till byggnaden vilket minimerar transportförluster.

Problemet med solceller är att de inte producerar mycket energi under vintermånader eller under natten. Vid stora mängder solceller skapas samtidigt ett överskott sommartid som kan vara svårt att utnyttja vilket gör att det krävs balans vid dimensioneringen. Pålitligheten i produktionen är också dålig då den kräver solljus för att producera el.

Nedan utreds alternativ på sätt som solceller kan installeras. Störst fokus ligger på att dimensionera hur mycket solceller som behövs och placering för dessa.

Förslag på placering av solceller är på taket, fasaden, en fristående anläggning och på utstickande solskydd över fönster och balkong. De olika placeringarna erbjuder olika förutsättningar då det kommer till lutning och yta. Exempel på ytterligare ställen att placera solceller är spaljéer på loftgången, genomskinliga solceller som substitut till glas i fönster och balkongdörrar.

### **Beräkningar för solceller**

Beräkningarna utförs för att bestämma hur mycket el som utvinns vid olika placeringar och storlekar av ett solcellssystem. Programmet som används är PVGIS 5, Photovoltaic Geographical Information System, vilket är ett onlineprogram för beräkning av el- och värmeproduktion från solceller. Programmet har utvecklats av European Commission Joint Research Centre i Italien. Beräkningarna utförs i PVGIS med följande indata.

- Systemförluster kan enligt Elisabeth Kjellsson sättas till 14%, detta är skillnaden mellan elektriciteten som solcellerna producerar och den elektricitet som kan användas. Detta värde kan anses vara lite i överkant mot de förluster som normalt sett sker för ett system.
- Plats för byggnaden är i Malmö på en höjd som är 5 m.ö.h.
- Solar radiation database sätts till PVGIS- CMSAF.
- Systemet sätts som 'grid connected'.
- Kiselsolceller används. Då det är den typen av solceller som är mest kommersiellt utvecklade i Sverige används dessa i beräkningarna. Det är dessa som har den högsta verkningsgraden av de som är kommersiellt utvecklade även om det i dagsläget finns tunnfilmssolceller som har lika hög verkningsgrad.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

- Systemet anses vara 'free-standing' vilket betyder att solcellerna inte är integrerade i taket.

Med hjälp av beräkningar i PVGIS konstateras att den optimala orienteringen för solcellerna är i rakt söderläge. På taket finns 5 skorstenar vilket hindrar installation av solceller där dessa sitter, varje skorsten antas ockupera 1 m<sup>2</sup> vilket utgör en total yta som är 5 m<sup>2</sup>. Programmet gör beräkningar på installerad topp effekt, i detta fall anses 1 kW<sub>p</sub> = 7 m<sup>2</sup> solceller.

För samtliga beräkningar placeras huset med taket lutande rakt mot söder.

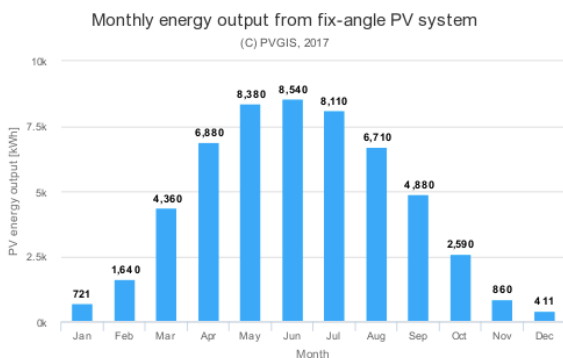
### Solceller placeras över hela taket med befintlig lutning 7°

Takets area är 382 m<sup>2</sup> men 5 m<sup>2</sup> ockuperas av skorstenar. Möjlig yta för placering av solceller är 377 m<sup>2</sup> enligt tabell 28.

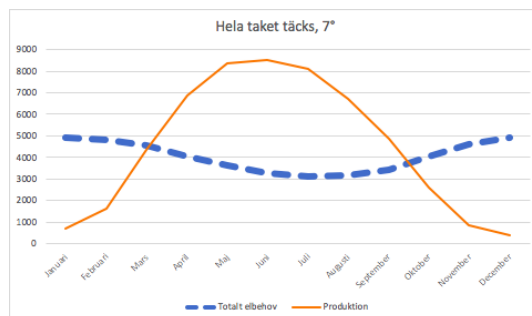
Tabell 28 – Förutsättningar.

Lutning	7°
Area solceller	377 m <sup>2</sup>

Resultat från simulering i PVGIS redovisas i figur 54 och 55 och sammanställs i tabell 29.



Figur 54 - Solcellernas elproduktion över året.



Figur 55 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Hela taket täcks med solceller.

Tabell 29 – Sammanställning av solcellernas elproduktion.

Årlig produktion	54 100 kWh
Behöver tillföras på annat vis under vinterhalvåret	17 250 kWh
Överproduktion sommarhalvåret	23 050 kWh

Solcellerna räcker för att täcka elbehovet helt mellan mitten på mars till slutet på september. Överproduktionen på sommaren täcker elbehovet som behöver tillgodoses på annat vis under vintermånaderna då ett underskott inträffar. Då överproduktionen är större

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

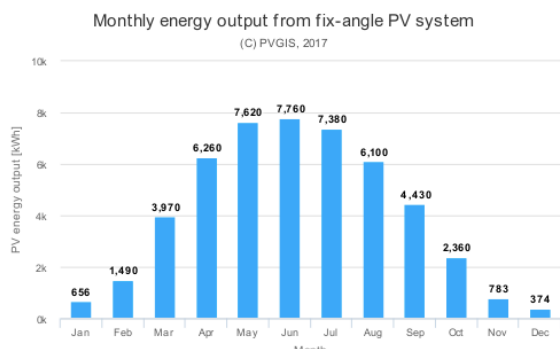
än underskottet på vintermånaderna betyder det att med en lagringsmetod som har en verkningsgrad på 100% och utan energiförluster över tid så är det teoretiskt sett möjligt att använda överskottsproduktionen på sommaren för att tillgodose hela elbehovet då det inte produceras någon el med solceller.

### Precis täcka det totala elbehovet över ett år

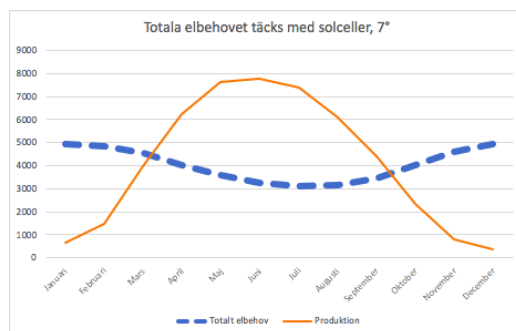
Beräkningar görs för mängden solceller som krävs för att precis täcka det totalt årsbehovet av el enligt tabell 29. Placering av solceller är taket. Resultat från simulering i PVGIS redovisas i figur i figur 56 och 57 och sammanställs i tabell 30.

Tabell 29 – Förutsättningar.

Lutning	7°
Area solceller	343 m <sup>2</sup>



Figur 56 - Solcellernas elproduktion över året.



Figur 57 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Totalt elbehov täcks.

Tabell 30 - Sammanställning av solcellernas elproduktion

Årlig produktion	49 200 kWh
Behöver tillföras på annat vis under vinterhalvåret	18 200 kWh
Överproduktion sommarhalvåret	18 900 kWh

Överproduktionen från sommaren kan täcka precis underskottet under resten av månaderna under förutsättning att det går att lagra el med 100% verkningsgrad och utan förluster över tid.

### Solceller med optimal taklutning

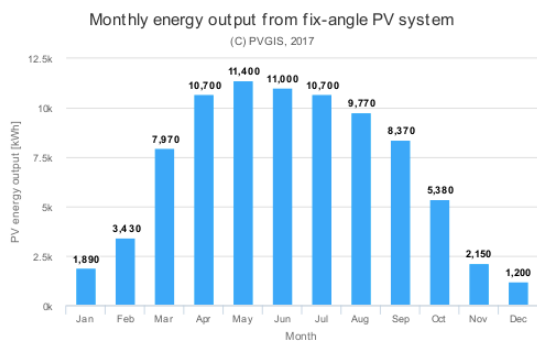
Optimal lutning definieras som den lutning då det går att utvinna som mest elektricitet per m<sup>2</sup> solcell, se tabell 31 Optimal lutning för att utvinna så mycket elektricitet som möjligt från solceller på referensbyggnaden beräknas i PVGIS till 42°. På grund av ökad lutning ökar takarean vilket påverkar möjlig area att placera solceller på tak på som ökar till 505 m<sup>2</sup>.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

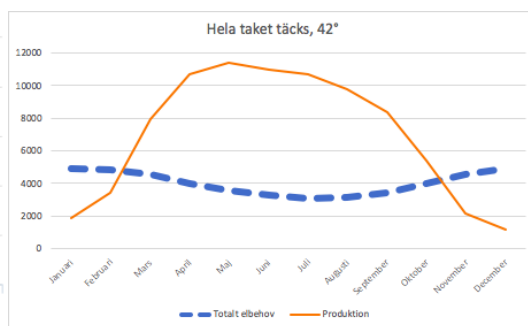
Tabell 31 – Förutsättningar.

Lutning	42°
Area solceller	505 m <sup>2</sup>

Resultat från simulering i PVGIS redovisas i figur 58 och 59 och sammanställs i tabell 32.



Figur 58 - Solcellernas elproduktion över året.



Figur 59 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Hela taket täcks och 42° lutning.

Tabell 32 - Sammanställning av solcellernas elproduktion.

Årlig produktion	83 950 kWh
Behöver tillföras på annat vis under vinterhalvåret	10 230 kWh
Överproduktion sommarhalvåret	46 040 kWh

Ökad lutning från 7° till 42° ger en ökad årlig produktion på 55%. Överproduktionen på sommaren bli kraftig och endast ungefär 10 000 kWh behöver tillföras på annat vis än el direkt från solceller. Elbehovet täcks med enbart solceller mellan mitten på februari till mitten på oktober. Elproduktionen är fortsatt väldigt låg från november till februari. Det är inte möjligt att tillgodose hela sitt elbehov genom att enbart placera solceller på taket, även med optimal lutning. Solcellerna genererar inte tillräckligt mycket energi på vintern utan det kommer att behöva kompletteras med någon lagringsteknik.

### Solceller på fasad

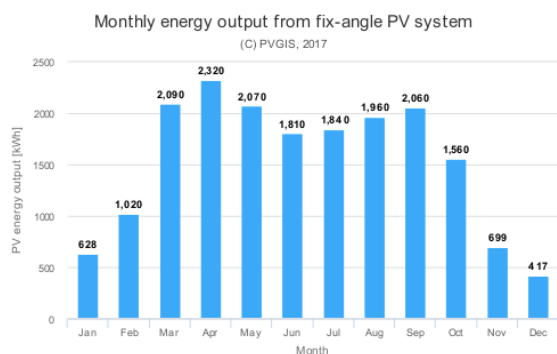
Solceller placeras på fasaden mot söder. I beräkningar antas att 35% av fasaden kan täckas med solceller enligt tabell 33

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

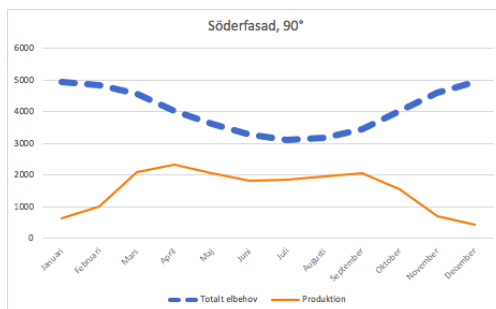
Tabell 33 – Förutsättningar.

Lutning	90°
Area solceller	153 m <sup>2</sup>

Resultat från simulering i PVGIS redovisas i figur 60 och 61 och sammanställs i tabell 34.



Figur 60 - Solcellernas elproduktion över året.



Figur 61 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Söderfasad 90°.

Tabell 34 - Sammanställning av solcellernas elproduktion.

Årlig produktion	18 500 kWh
Behöver tillföras på annat vis under vinterhalvåret	30 000 kWh
Överproduktion sommarhalvåret	-

Solceller på söderfasaden kan inte enskilt producera tillräckligt mycket el för att tillgodose byggnadens behov vilket betyder att den behöver kompletteras. Vad som är intressant är att variationen på elproduktionskurvan skiljer sig från de med lägre lutning då 90° lutning på solcellerna producerar mindre el på sommaren samtidigt som elproduktionen under de mörkare månaderna är något högre relativt de andra placeringarna.

### Solceller på fönstersolskydd

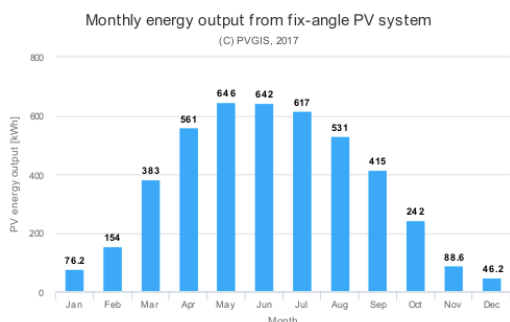
Solceller placeras som fönstersolskydd i söderläge på balkongsidan. Varje solskydd beräknas ha en area som är 0,5 m<sup>2</sup> och 20° vinkel mot horisontalplanet. Totalt är det 56 fönster på fasaden i söderläge vilket erbjuder 28 m<sup>2</sup> yta att placera solceller på, tabell 35.

Tabell 35 – Förutsättningar.

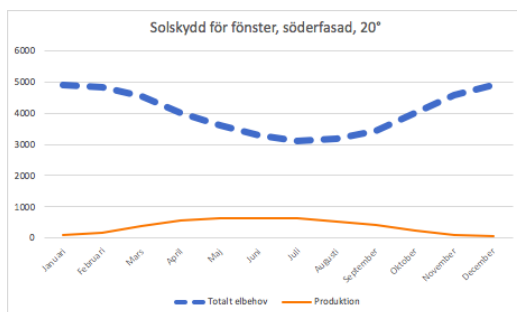
Lutning	20°
Area solceller	28 m <sup>2</sup>

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Resultat från simulering i PVGIS redovisas i figur 62 och 63 och sammanställs i tabell 36.



Figur 62 - Solcellernas elproduktion över året.



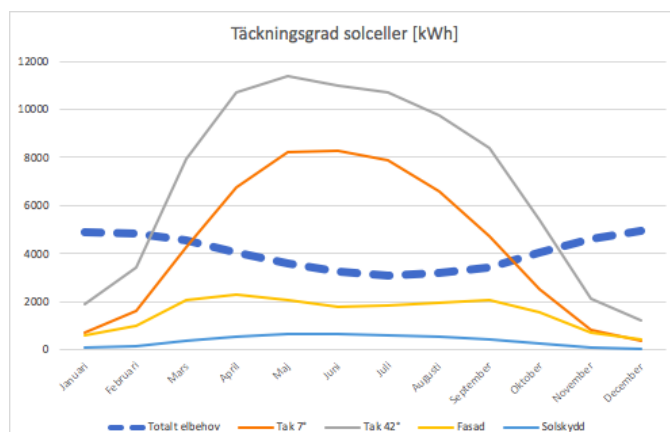
Figur 63 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Solskydd för fönster, söderfasad, 20°.

Tabell 36 - Sammanställning av solcellernas elproduktion.

Årlig produktion	4 400 kWh
Behöver tillföras på annat vis	44 100 kWh
Överproduktion	-

Elproduktionen från solceller på solskydd över fönster på söderfasaden tillverkar lite el i förhållande till det totala elbehovet och behöver kompletteras med annan elproduktion. Genom att placera solskydden i en annan lutning går det att öka elproduktionen marginellt. Fördelen med att placera solceller på solskydd är att solskydden uppfyller två funktioner då de både minskar övertemperaturer inomhus och producerar el.

### Sammanställning av solcellers elproduktion



Figur 64 - Olika fall av solceller i jämförelse med det totala elbehovet

Redovisning av resultat från samtliga fall sammanställs i figur 64.



Tabell 37 visar en sammanställning av solcellsproduktionen vid olika placeringar i förhållande till varandra och till det totala elbehovet. De olika placeringarna på solceller går att kombinera med varandra för att öka produktionen, de som inte går att kombinera är de som placeras på tak vilket motsvarar den gråa och den orangea linjen i figur 62. Då solceller på fasaden producerar förhållandevis mycket el under de mörkare månaderna i jämförelse med andra lutningar så kan denna vara intressant att kombinera med en annan placering som har större produktion under året och sommaren. Ett annat alternativ är att placera solceller som en fristående anläggning som inte är installerad på byggnaden varvid ytan som det går att placera på blir den begränsande faktorn. Vid fristående solceller går det själv att anpassa lutningen för att uppnå optimala förhållanden genom att undvika skuggning och använda optimal lutning och riktning för att maximera elproduktionen. Detta sker också utan något ingrepp på byggnaden men på bekostnad av tomtarea.

Tabell 37 - Sammanställning av solcellernas elproduktion för samtliga fall.

Placering	Area [m <sup>2</sup> ]	Årlig produktion [kWh/år]	Andel som tillförs via solceller [% av årligt elbehov]	Behöver tillföras [kWh] Under vinterhalvåret (% av årligt elbehov)	Överproduktion [kWh] (% av årligt elbehov)
Tak 7°	377	52 750	64%	17 400 (36%)	22 050 (45%)
Tak 42°	505	83 950	79%	10 230 (21%)	46 040 (95%)
Fasad	153	18 500	38%	30 000 (62%)	-
Solskydd	28	4 400	9%	44 100 (91%)	-

### Kostnad

Prisuppgifter för solcellspaket tas från Vattenfall och ger: 168 320 – 196 800 kr för 80 m<sup>2</sup> med 20% solcellsstöd. Solcellspaket inkluderar solpaneler, installation och transport, växelriktare, effektoptimerare och säkerhetsbrytare. Priset uppskattas till 2282 kr / m<sup>2</sup> solceller (Vattenfall, 2019).

## 6.4 Stirlingmotor kombinerad med kraftvärme

För att komplettera de övriga elproducenterna och säkerställa elförsörjningen under kritiska perioder är kraftvärme med stirlingmotor ett lämpligt alternativ. Med tekniken går det inte bara att producera energi i form av värme och el utan det går även att lagra och utvinna den vid ett önskat tillfälle. Kraftverket är kopplad till en ackumulatortank för kortvarig värmelagring. En stirlingmotor i ett småskaligt kraftvärmeverk kan generera en effekt på 12 kW värme och 5 kW el vilket motsvarar 8640 kWh respektive 3600 kWh under en månad. Detta kräver att motorns kapacitet är konstant maximerad och att det sker en ständig förbränning under månadens alla timmar. För att täcka största möjliga del av referensbyggnadens el och värmebehov skulle det därför vara aktuellt att seriekoppla flera stirlingmotorer. Detta innebär inte bara att det behövs utrymme för teknisk utrustning utan

även ett stort lager av biobränsle som behöver förvaras i väderskyddad miljö. Tekniken kräver underhåll och att bränslelagret fylls på. Exempel på biobränsle är pellets som har ett pris som enligt värmepumpsguiden är 0,8 kr/ kWh (Värmepumpsguiden, 2016)

### **Värmeproduktion**

Byggnadens värmebehov behöver tillgodoses med hjälp av lokal värmeproduktion som kan förse byggnaden med värme både dygnet runt och året runt. I avsnittet ingår lösningar som producerar värme direkt till byggnaden och lösningar som kan lagra värme för att uppfylla behovet när produktionen inte är tillräcklig.

## **6.5 Solfångare**

Solfångare är precis som solceller en etablerad och yteffektiv teknik men istället för elproduktion erbjuder den värmeproduktion. Värmen kan användas till att tillgodose byggnadens behov av tappvarmvatten och uppvärmning. Överskott går att lagra i till exempel en ackumulatortank för att användas då det inte sker någon produktion.

Mängden solfångare beror på hur stor yta det finns att tillgå och vilken mängd som anses vara rimligt i förhållande till behovet. För att täcka behovet av tappvarmvatten och uppvärmning under vintermånaderna krävs det stora mängder solfångare då solljuset är begränsat. Samtidigt ger det en kraftig överproduktion på sommaren vilket bör tas med i beaktning vid dimensioneringen. Solfångare konkurrerar med solceller när det kommer till placering och yta. Precis som solceller bör de placeras med fördelaktig lutning och orientering för att produktionen skall vara så optimal som möjligt.

Nedan utreds förslag på hur solfångare kan installeras. Störst fokus ligger på att dimensionera hur stor yta solfångare som krävs och exempel på ställen som dessa kan placeras.

Först görs beräkningar med befintlig taklutning och storlek för byggnaden. Huset placeras i söderläge för att maximera produktionen. Taktypen är det som finns på referensbyggnaden i dagsläget vilket är pulpettak med 7° lutning. För att optimera solfångarna vänds taket mot söder. Väder- och solinstrålningsdata tas fram genom PVGIS.

### **Beräkning**

Beräkningen av solfångare sker i ett beräkningsprogram vid namn System Advisor Model som NREL, National Energy Renewable Model ger ut. I rapporten kommer programmet att förkortas till SAM. Väderdata för Malmö som används som indata i SAM hämtas från PVGIS. Mängd varmvattenanvändning fås från en villa i Sverige och skalas upp för att motsvara referensbyggnad.

Indata till SAM redovisas i tabell 38.

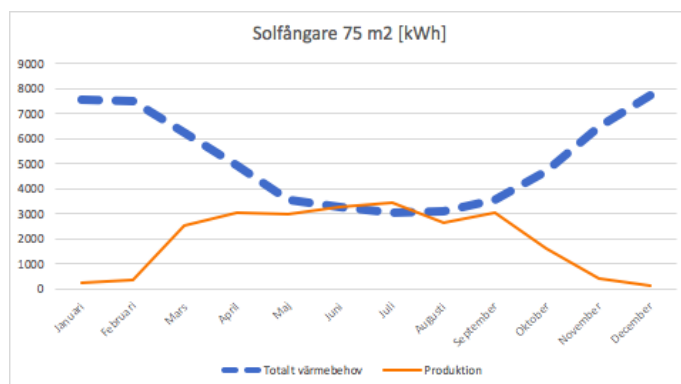
## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 38 - Indata till SAM

Indata	Värde	Kommentar
Lutning	7°	Takets lutning
Azimuth (orientering)	0°	Söderläge
Typ	Glykol	
Verkningsgrad	69%	
Storlek ackumulatortank	4 m <sup>2</sup>	
Ingående vattentemperatur	8°	Årsmedeltemperatur i Malmö
Längd stamnät	200 m	
Totalt systemflöde	1 kg/s	

### Solfångare fall 1

75 m<sup>2</sup> solfångare placeras på taket som är i söderriktning och med en lutning som är 7°. Resultat från beräkningar i SAM redovisas i figur 65.



Figur 65 – Solfångare 75 m<sup>2</sup>, varmeproduktion över året.

Solfångarna täcker hela värmebehovet under juni och juli.

Årlig varmeproduktion: 23 685 kWh/år.

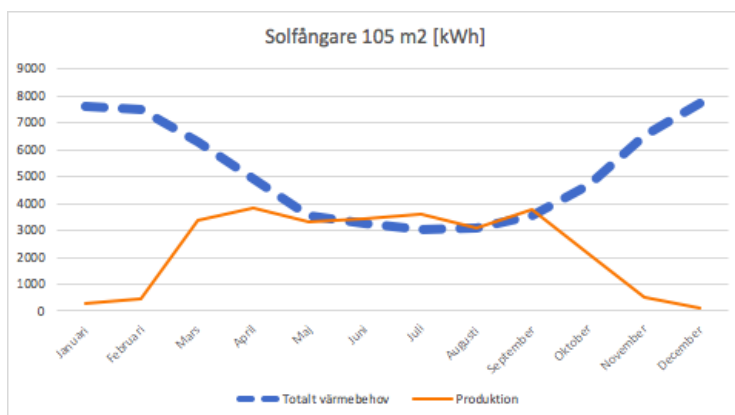
Överproduktion: 387 kWh/år.

### Solfångare fall 2

105 m<sup>2</sup> solfångare placeras på taket som är i söderriktning och med en lutning på 7°.

Resultat från beräkningar i SAM redovisas i figur 66.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 66 - Solfångare 105 m<sup>2</sup>, värmeproduktion över året.

Solfångarna täcker hela värmebehovet från mitten av maj till mitten på september.

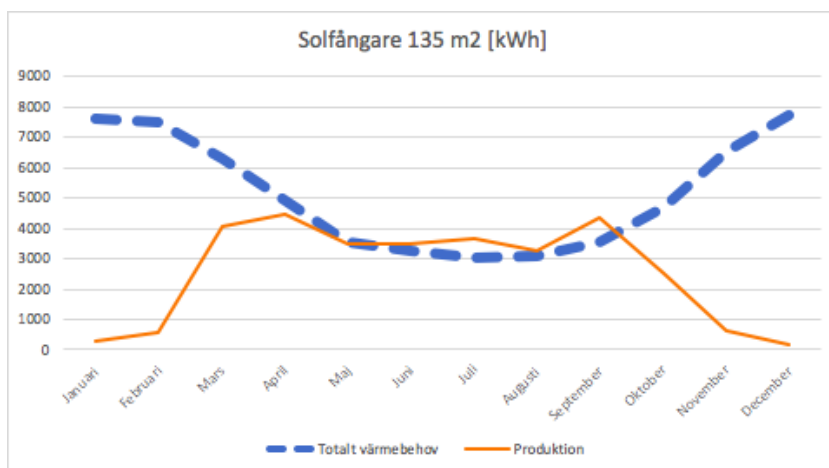
Årlig värmeproduktion: 27 895 kWh/år.

Överproduktion: 715 kWh/år.

### Solfångare fall 3

135 m<sup>2</sup> solfångare placeras på taket som är i söderriktning och med en lutning på 7°.

Resultat från beräkningar i SAM redovisas i figur 67.



Figur 67- Solfångare 135 m<sup>2</sup>, värmeproduktion över året

Solfångarna täcker hela värmebehovet från maj till slutet av september.

Årlig värmeproduktion: 30 910 kWh/år.

Överproduktion: 1813 kWh/år.

### **Kostnad**

Priser för solfångare baseras på priser från energirådgivningen och uppgår till solfångarpaneler är 2000–6000 kr/m<sup>2</sup> beroende på vilket typ det är. Detta ger ett medelpris på 4000 kr / m<sup>2</sup> ( (Energirådgivning, 2016).

## **6.6 Bergvärmepump**

Bergvärme går att använda på de flesta platser i Malmö. Den kan användas som komplement till solfångare för att kunna tillgodose byggnadens tappvarmvatten- och uppvärmningsbehov. Värmepumpen är kopplad till en ackumulatortank för kortvarig lagring av värmen. Tekniken ger en mer stabil energikälla eftersom inte berget berörs av temperaturförändringar på samma sätt som sker i uteluften eller vid markytan. Då borrhålet sker vertikalt krävs det inte heller någon större markyta. Riktvärde för att dimensionera ett borrhåls djup ligger på 40 - 50 W/m. Pumpen kan dimensioneras så att den täcker hela byggnadens uppvärmningsbehov för tappvarmvatten och rumsluft. Då riskerar dock pumpen att bli ineffektiv eftersom det räcker att dimensionera för 50 - 60% av effektbehovet för att täcka 90% av byggnadens totala värmebehov. Skulle pumpen dimensioneras på det senare sättet hade det behövts en elpatron eller annan värmekälla för att täcka de resterande 10% som uppstår vid effekttoppar.

Värmepumpens COP-tal, dess värmefaktor innebär exempelvis att om en pump med COP 4,5 tillförs med 1 kWh el kan den utvinna 4,5 kWh värme. Därför väljs en pump med ett högt COP-tal vilket bedöms vara en värmefaktor på minst 4. Eftersom en värmepump används för att omvandla el till värme så ökar denna byggnadens elbehov. Med ett COP på 4,5 innebär det att för att täcka hela årsbehovet för referensbyggnaden med ett årligt värmebehov på 62 715 kWh så behöver värmepumpen 13 937 kWh el för drift.

Baserat på riktvärden på 40 - 50 W/m beräknas djup för borrhål. Den beräknade maxeffekten för byggnaden under kritiska förhållanden är beräknad till 23 550 W.

Vid dimensionering för 60% av effektbehovet behöver värmepumpen ha en effektstorlek som är

$$23\,550\text{ W} \cdot 0,6 = 14\,130\text{ W} \approx 14\text{ kW}$$

Denna kan täcka cirka 90% av värmebehovet i byggnaden.

Totalt djup för borrhålen beräknas till:

$$14\,130\text{ W} / 45\text{ (W/m)} = 314\text{ m.}$$

Längden delas upp på två borrhål om 157 m vardera.

### **Kostnader**

Kostnaderna varierar och beror till stor del på områdets geologiska förutsättningar. En uppskattad kostnad för en bergvärmepump i intervallet 7 – 12 kW uppgår till ca 50 000 – 100 000 kr. Utöver det så tillkommer pris för installation och antal meter borrhål enligt:

100 meter →	25 000 - 35 000 kr
125 meter →	31 250 - 43 750 kr
150 meter →	37 500 - 52 000 kr
175 meter →	43 750 kr - 61 250 kr
200 meter →	50 000 kr - 70 000 kr

(Kostnadsguiden, 2016)

## 6.7 Lagring

### Ellagring

För att kunna tillgodose byggnadens elbehov då det sker minskad eller ingen produktion av el behöver det lagras elektricitet från då det sker överproduktion. Lösningarna tar hänsyn både till säsongslagring från sommar till vinter och kortare dygnslagring som lagrar el från dagen för att användas på natten.

#### 6.7.1 Kemisk lagring

Kemisk energilagring genom vätgas är ett hållbart alternativ till att lagra energi eftersom de enda restprodukterna från tekniken är värme och vatten. Metoden lämpar sig väl för ett off grid hus då energin både kan användas direkt eller långt senare, upp till månader efter det att den lagrats. Detta gör att det finns möjlighet att samla upp ett säsongslager genom t.ex. solceller på sommaren som sedan kan användas under vintermånaderna. Elen kan användas för att driva en värmepump eller elpatron. Vätgastankarna som vätgasen lagras i går att förvara i nära anslutning till byggnaden. Med en lång användningstid, hög energitäthet och minimal miljöpåverkan motiveras vätgas vara ett bra lagringsalternativ för att täcka delar av referensbyggnadens el- och uppvärmningsbehov. Systemets verkningsgrad är relativt hög där fall har visat att 60% av solens energi kan utvinnas till el och värme. En bränslecell går att placera inomhus eftersom restprodukterna som skapas är helt ofarliga.

I referensbyggnadens fall är det totala energibehovet 110 138 kWh per år. Vid dimensionering av vätgas och bränsleceller är det viktigt att undersöka de perioder där varken sol eller andra externa energikällor täcker behovet. Det är då vätgasen och bränslecellerna kan komplettera övriga lösningar för att täcka behovet.

#### Beräkningar för ellagring i vätgas

Den totala verkningsgraden för vätgasen är den sammanlagda verkningsgraden för elektrolysen som bildar vätgas och omvandlingen från vätgas till el i bränslecellen.

Vid beräkningarna antas elektrolysen ha en verkningsgrad på 70% och bränslecellen en verkningsgrad på 70%. I beräkningar antas det inte ske några förluster av vätgas över tid.

Den totala verkningsgraden för processen beräknas:

$$0,7 * 0,7 = 49\%$$

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

I beräkningar sker elproduktion för att producera vätgas sker genom solceller. Solcellerna placeras på taket i 7° lutning mot söder. Beräkningar för elproduktion från solceller görs i PVGIS. Resultat från beräkningar redovisas i tabell 39. För att kunna lagra tillräcklig mängd vätgas krävs 455 m<sup>2</sup> solceller vilket producerar 65 200 kWh/år. Elbehovet som behöver tillgodoses genom vätgas är 31 527 kWh/år medans överproduktionen från solcellerna är 32 548 kWh/år. I beräkningarna har verkningsgraden för elektrolysen och bränslecellen tagits i beaktning. 50% av den överproduktionen går att utvinna från lagringen. Överproduktionen kan alltså tillföra tillräckligt mycket vätgas.

Tabell 39 - Produktion av vätgas till följd av överproduktion från solceller.

Månad	Totalt elbehov [kWh]	Elproduktion solceller [kWh]	Tillförs på annat vis – vätgas [kWh]	Överproduktion från solceller [kWh]
Jan	4921	869	8105	
Feb	4818	1980	5676	
Mar	4555	5270		715
Apr	4027	8310		4282
Maj	3606	10 100		6493
Juni	3274	10 300		7025
Jul	3111	9790		6678
Aug	3177	8090		4912
Sept	3439	5880		2440
Okt	4019	3130	1779	
Nov	4594	1040	7109	
Dec	4923	495	8857	
<b>Totalt [kWh/år]</b>	<b>48 468</b>	<b>65 254</b>	<b>31 527</b>	<b>32 548</b>

### Kostnader

Enligt Hans-Olof Nilsson, VD på Nilsson Energy Group så uppskattas kostnaderna för ett vätgassystem av storleken är 3800 Nm<sup>3</sup> är:

Elektrolysrör och torkfilter	530 000 kr
Kompressor	39 500 kr
Vätgastank	160 200 kr
Bränslecell	42 000 kr
Styrsystem	15 000 kr

(Nilsson, 2019)

### 6.7.2 Elektrokemisk lagring - Batterier

För dygnslagring är batterier en lösning som det i dagsläget görs mycket forskning inom. Det finns både tekniker som är mogna i dagsläget och som är i forskningsstadiet. Genom att använda sig av batterier går det att lagra energi med hjälp av t.ex. solkraft under dagen då solen skiner för att sedan använda sig av elen på kvällen. Verkningsgraden för batterier är hög och de flesta batterier lagrar små mängder som sedan kan användas snabbt. Genom att seriekoppla batterier går det att på ett enkelt sätt uppnå en högre kapacitet som skulle kunna täcka byggnadens elbehov över ett dygn. Batterier är en teknik som väntas utöka sin användning i svenska hem i framtiden. Mognadsmässigt så anses natrium-svavelbatterier och litium-jonbatterier befinna sig (år 2013) i marknadsintroducerings-stadium och vara på väg mot att bli en mogen teknik. Det är dessa två tekniker som förväntas dominera på marknaden i framtiden (Anna Nordling et al, 2015).

De batterier som är mest intressanta att använda vid referensbyggnaden är batterier som är baserade på litium-jon teknik och natrium-svavel teknik då dessa är de två tekniker som är mest kommersiellt anpassade. För att uppnå tillräcklig lagringskapacitet för batterierna krävs det att de seriekopplas.

Litium-jon baserade batterier är en teknik som har hög energidensitet och snabb urladdningshastighet. Detta är något som gör att de är yteffektiva. De har en hög verkningsgrad på 85-100% och en livslängd på 15 år. Dessa parametrar matchar referensbyggnadens behov.

#### Kostnader

Pris för litiumbaserade batterier baserat på rapport från IVA där ett avvägt pris på 3000 kr/kWh används i beräkningar (Anna Nordling et al, 2015)

Natrium-svavel baserade batterier har liknande egenskaper som ett litium-jon batteri. De har en verkningsgrad på 85-95% och en livslängd på 12-20 år.

Vid dimensionering av batterier behövs det tas hänsyn till under vilken tidsperiod som batterierna skall kunna förse byggnaden med el. I beräkningsexemplet antas dimensionerande lagringskapacitet för batterier inträffa i mars. Under dimensionerande omständigheter antas det inte ske någon elproduktion utan byggnaden är helt beroende av el som levereras från batterier. Radiatorerna i trapphuset antas gå på full effekt.

Elbehovet under ett dygn redovisas i tabell 40



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 40 - Elbehov över ett dygn.

Fastighetsel	Elbehov år [kWh/år]	Elbehov dag [kWh/dag]
Fläktar	5493	15
Pumpar	140	0,4
Belysning	1520	4,2
Hiss+hissbelysning	1000	2,7
Elradiatorer		96
Hushållsel		
Hyresgästel rumsluft	27 489	92,4
Hyresgästel extern	11 781	39,6
<b>Totalt [kWh/dag]</b>		<b>250,3</b>

Beräkningar görs för elbehovet för mars månad då detta anses som en månad då det produceras en relativt stor mängd solet samtidigt som det kan uppstå ett behov under natten.

Genomsnittligt elbehov per månad:  $48\,468/12 = 4039$  kWh/månad.

Elbehov mars: 4555 kWh

$4555/4039 = 1,13\%$

Elbehovet anses vara 13% högre i mars än det genomsnittliga elbehovet under året.

Elbehov en dag i mars:  $250,33 * 1,13 = 283$  kWh. Verkningsgraden på batteriet sätts till 90% vilket ger nödvändig lagringskapacitet för en dag i mars:

$283/0,9 = 314$  kWh

Hänsyn till hur många dagar som batteriet behöver klara sig och säkerhetsmarginal mot genomsnittsdagen i mars presenteras i tabell 41.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 41 - Dimensionering av batterier med elradiatorer.

Säkerhetsmarginal	1 dag [kWh]	2 dagar [kWh]	3 dagar [kWh]
10%	345,9	691,8	1037,7
20%	377,3	754,7	1132,0
30%	408,8	817,6	1226,3

### Elradiatorer ersätts med vattenburet system

Genom att ersätta radiatorerna i trapphuset med ett vattenburet system går det att få ner elbehovet under en dag i mars till 174 kWh. Med 90% verkningsgrad hos batteri behövs det en lagringskapacitet för en dag som är:

$$174/0,9 = 193 \text{ kWh}$$

Hänsyn till hur många dagar som batteriet behöver klara sig och säkerhetsmarginal mot genomsnittsdagen i mars presenteras i tabell 42.

Tabell 42 - Dimensionering av batterier utan elradiatorer.

Säkerhetsmarginal	1 dag [kWh]	2 dagar [kWh]	3 dagar [kWh]
10%	212,7	425,4	638,0
20%	232,0	464,0	696,1
30%	251,4	502,7	754,1

### 6.7.3 Värmelagring

För att kunna tillgodose byggnadens värmebehov då det sker en minskad eller ingen produktion behöver det lagras värme från då det sker överproduktion. Lösningarna tar hänsyn både till säsongslagring från sommar till vinter och kortare dygnslagring som lagrar värme från dagen för att användas på natten.

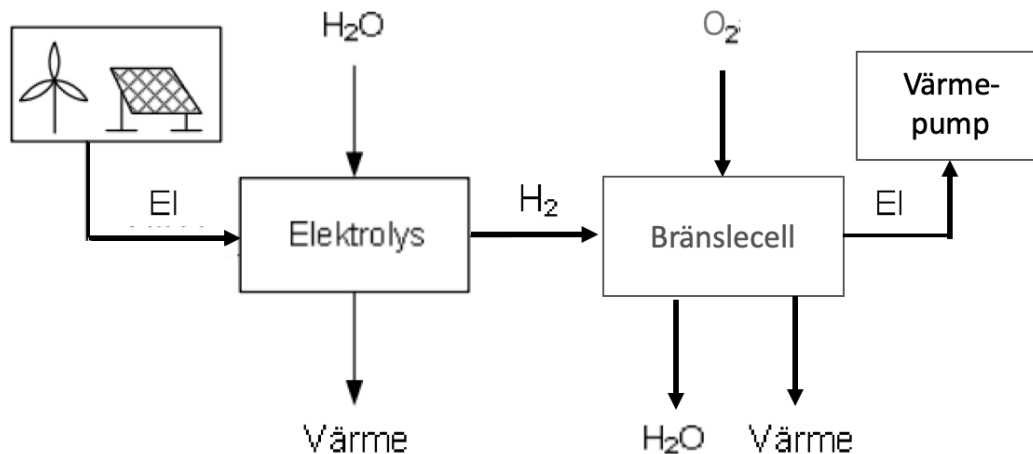
För kortvarig lagring fungerar ackumulatortank bra där en fluid som till exempel vatten värms och lagras. Det är viktigt att tanken är välisolerad för att minska värmeförlusterna. Lagringen är beroende av en extern värmekälla och kopplas därför till en solfångare eller kraftvärmeverk.

### 6.7.4 Vätgas

Säsongslagring av värme genom vätgas sker på samma sätt som vätgaslagringen av el. I detta fallet används elen i en värmepump eller elpatron som gör om elen till värme som går ut i värmesystemet i byggnaden, detta illustreras i figur 68. Det finns även möjlighet att ta tillvara på restvärme som sker vid elektrolysen och i bränslecellen. Vid elektrolysen avges ungefär 25% värme och i bränslecellen så avges 20% av energin till restvärme. Denna går att ta tillvara på för att öka verkningsgraden på hela processen.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Vid beräkningar antas det att en värmepump med verkningsgrad 4,5 används. Det antas att restvärme från elektrolys och bränslecell inte tas till vara på. Processen har en total verkningsgrad för el som används till värmepumpen på 50% enligt tidigare beräkningar för verkningsgrad på vätgas. I beräkningar antas det inte ske några förluster av vätgas över tid.



Figur 68 - Illustrationsbild över hur vätgasen kan används till uppvärmning via värmepumpen.

Beräkningar görs för att kunna leverera el till värmepumpen med hjälp av överskottsel som produceras på sommaren. Överskottselen skall täcka hela årsbehovet av värme. Simulering görs i programmet PVGIS. Solcellerna placeras på taket i 7° lutning mot söder.

För att beräkna värmepumpens elbehov divideras värmebehovet för byggnaden med värmepumpens COP.

För att beräkna detta tas totalt värmebehov för respektive månad för byggnaden/4,5. Detta ger en uppskattning för hur mycket el som behöver levereras till värmepumpen för att tillgodose behovet. Hänsyn till vätgasens verkningsgrad på 50% har tagits. Resultat från beräkningar redovisas i tabell 43.

Enligt beräkningar behövs det 147 m<sup>2</sup> solceller.

Detta producerar 20 900 kWh/år. El som behöver tillföras genom vätgas är 12 656 kWh per år medans överproduktionen för solcellerna är 13 525 kWh. Överproduktionen producerar alltså tillräckligt mycket vätgas.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 43 - Elproduktion för att driva värmepumpen med hjälp av vätgas.

Månad	Totalt elbehov för VP [kWh]	Elproduktion [kWh]	Tillförs på annat vis [kWh]	Överproduktion [kWh]
Januari	2037	279	3516	
Februari	1998	642	2712	
Mars	1498	1690		191
April	988	2670		1681
Maj	614	3250		2636
Juni	555	3280		2724
Juli	570	3120		2549
Augusti	570	2600		2029
September	568	1880		1312
Oktober	883	1010		126
November	1580	327	2506	
December	2072	158	3829	
<b>Totalt</b>	<b>13 937</b>	<b>20 906</b>	<b>12 565</b>	<b>13 252</b>

## 7 Utformning och resultat

### 7.1 Utformning av hus – energieffektiviserande åtgärder

Minskade värmeförluster och minskad värmeförbrukning leder till att byggnaden får ett minskat värmebehov. Detta gäller både sett över året och under DVUT. Värmeförluster från byggnaden sker främst genom transmissioner, läckage, ventilation och spillvärme från tappvarmvatten. Ett antal energieffektiviseringsåtgärder föreslås därför i detta avsnitt.

För transmissionsförluster så går det från figur 36 i kapitel 5, att tyda att de största förlusterna sker genom ytterväggar ovanför mark och fönster. En annan stor andel av förlusterna sker genom köldbryggor.

#### Värmebehovsminimering

Ungefär 57% av referensbyggnadens energibehov går åt till uppvärmning främst i form av tappvarmvatten och rumsvärme. Genom att minska byggnadens värmebehov minskar andelen värme som måste tillföras till byggnaden. När det kommer till värmebehovsminimering kommer fokus dels att ligga på att minska värmebehovet sett över året och dels att få ner effekttoppen som uppstår under DVUT. Värmebehovet skiljer sig relativt mycket mellan sommaren och vintern där behovet är relativt litet på sommaren i jämförelse med på vintern. Högst prioritet ligger på att få ner värmebehovet på vintern då värmeproduktionen är som lägst och behovet som störst.

#### U-värde klimatskal

Ett minskat U-värde på klimatskalet bidrar till att transmissionsförlusterna i byggnaden blir lägre. Detta innebär att det inte behöver produceras lika mycket energi för att tillgodose byggnadens värmebehov. Förutom att minska byggnadens årsbehov av värme så minskar också effekttoppen som uppstår under DVUT.

#### Fönster och balkongdörrar

Stora transmissionsförluster sker genom fönster. Fönster är en av de delar som har sämst U-värde i byggnaden. Genom att montera fönster med ett bättre U-värde så går det att få ner värmeförlusterna genom fönstret vilket ökar det genomsnittliga U-värdet för huset. Detta är en effektiv åtgärd som inte innebär något större ingripande i byggnadens utformning. Ett annat sätt att minska transmissionsförlusterna genom fönster är genom att minska fönsterarean. Det är dock viktigt att krav på dagsljusinsläpp uppehålls.

I dagsläget är fönster- och balkongdörrsarean för referensbyggnaden 174,36 m<sup>2</sup> och har ett U-värde som är 0,9 W/m<sup>2</sup>K inklusive karm. Trots att dagens fönster har ett U-värde som kan betraktas som energieffektivt så är det dock högt i jämförelse med andra delar av klimatskalet.

I dagsläget finns det återförsäljare som erbjuder fönster som har ett U-värde som är ner mot 0,7 W/m<sup>2</sup>K. Genom att använda ett sådant fönster går det att minska transmissionsförlusterna ytterligare. Energieffektiva fönster minskar också risken för kallras och drag.

### Isolering i klimatskal

Genom att ändra isoleringen i klimatskalet går det att uppnå ett lägre U-värde vilket minskar transmissionsförlusterna genom klimatskalet. Då det enligt figur 36 sker stora transmissionsförluster genom ytterväggar ovanför mark, grund och yttertak så är detta ett viktigt område att åtgärda för att minska värmeförlusterna. För grund och vindsbjälklag är det mer effektivt att öka isoleringen då det inte har någon inverkan på boarean.

Beräkningar görs genom programmet Vip-Energy.

Värmeförsörjningen består av värme rumsvärme, värme rumsvärme trapphus och tappvarmvatten. Utdata från tidigare beräkningar på referensbyggnaden i Vip-Energy ger värmeförsörjning som redovisas i tabell 44.

Tabell 44 - Värmeförsörjning i referenshus från Vip-Energy.

Värme rumsvärmare	27 382 kWh
Värme rumsvärme trapphus	1046 kWh
Tappvarmvatten	26 433 kWh

Tappvarmvatten är baserad på schabloner från BBR och är inte utdata från Vip-Energy.

### Scenario 1 - Ökad isolering i klimatskalet

I scenario 1 ökas mängden isolering i byggnaden och en förbättring av U-värdet på fönster enligt tabell 45. Detta innebär att tjockleken på grund, ytterväggar och vindsbjälklag ökar med 10 cm. Åtgärder som vidtagits har beräknats i Vip-Energy:

Isoleringsegenskaper för material som används:

#### $\lambda$ - värde:

Mineralull: 0,036 W/(m\*K)

Cellplast: 0,036 W/(m\*K)

#### U-värde:

Fönster: 0,7 W/(m<sup>2</sup>\*K)

Tabell 45 - Förbättring av klimatskal scenario 1.

Del	Åtgärd	Nytt U-värde [W/(m <sup>2</sup> *K)]
Vindsbjälklag	10 cm mineralullsskiva ovanpå befintlig mineralull	0,0744
Ytterväggar	10 cm mineralull utanför skikt med träregel med isolering	0,120
Platta	10 cm cellplast under befintlig cellplast	0,087
Fönster	Bättre isolerade fönster	0,70

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Resultat från Vip-Energy:

Transmissionsförlusterna minskar med  $61389 - 48310 = 13\,079$  kWh/år

Nytt värde för värme rumsvärme trapphus: 2085 kWh

Minskning av värme rumsvärme trapphus:  $1046 - 2085 = -1039$  kWh (ökning)

Nytt värde för värme rumsvärmare:  $45\,852 - 26433 - 2085 = 17\,334$  kWh

Minskning av värme rumsvärme:  $27382 - 17334 = 10\,048$  kWh.

### Scenario 2 – Förbättrad isolering i klimatskalet

I scenario 2 ersätts mineralullen i ytterväggarna med en PIR-isolering medan 10 cm isolering adderas till vindsbjälklag och grund. U-värde på fönster förbättras. En sammanställning av förbättringarna redovisas i tabell 46. Detta innebär att tjockleken på ytterväggarna är samma som innan men grunden och vindsbjälklaget blir 10 cm tjockare. Åtgärder som vidtagits har beräknats i Vip-Energy:

Isoleringsegenskaper för material som används:

#### $\lambda$ -värde:

Mineralull:  $0,036$  W/(m\*K)

Cellplast:  $0,036$  W/(m\*K)

PIR-isolering:  $0,025$  W/(m\*K)

#### U-värde:

Fönster:  $0,7$  W/(m<sup>2</sup>\*K)

Tabell 46 - Förbättring av klimatskal scenario 2.

Del	Åtgärd	Nytt U-värde [W/m <sup>2</sup> *K]
Vindsbjälklag	10 cm mineralullsskiva ovanpå befintlig mineralull	0,0744
Ytterväggar	Byte av isolering från mineralull till PIR	0,126
Platta	10 cm cellplast under befintlig cellplast	0,0870
Fönster	Bättre isolerade fönster	0,70

Transmissionsförlusterna minskar med  $61389 - 48370 = 13\,019$  kWh/år

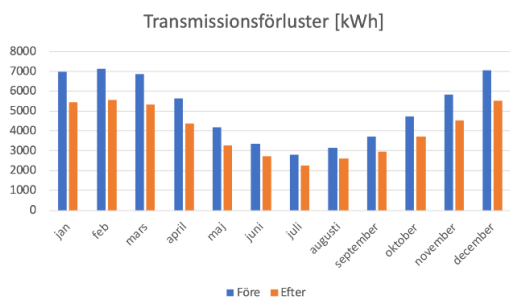
Nytt värde för värme rumsvärme trapphus: 2104 kWh

Minskning av värme rumsvärme trapphus:  $1046 - 2104 = -1058$  kWh (ökning)

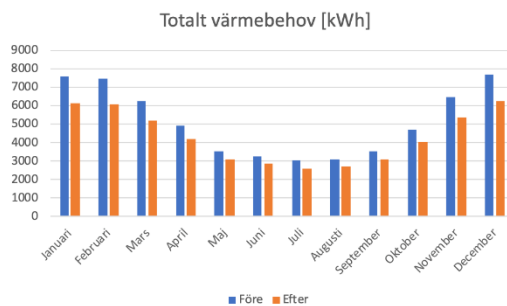
Nytt värde för värme rumsvärmare:  $45\,932 - 26433 - 2104 = 17\,395$  kWh

Minskning av värme rumsvärme:  $27382 - 17\,395 = 9987$  kWh

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 69 - Transmissionsförluster före och efter energieffektiva åtgärder.



Figur 70 - Byggnadens totala värmebehov före och efter energieffektiva åtgärder.

Beräkningarna gav ett liknande resultat och redovisas i figur 69 och 70. Ett mer isolerat klimatskal leder till minskade transmissionsförluster och ett minskat värmebehov.

### 7.1.1 Reducering av köldbryggor

Köldbryggor bidrar enligt figur 36 till en stor del av transmissionsförlusterna i byggnaden. Köldbryggor är områden med sämre isoleringsförmåga än omgivande ytor vilket leder till att värme leds ut genom dem. Genom att identifiera köldbryggorna går det att minimera dem vilket bidrar till mindre totala energiförluster. Detta kan göras genom alternativa lösningar vid val av utformning eller materialval.

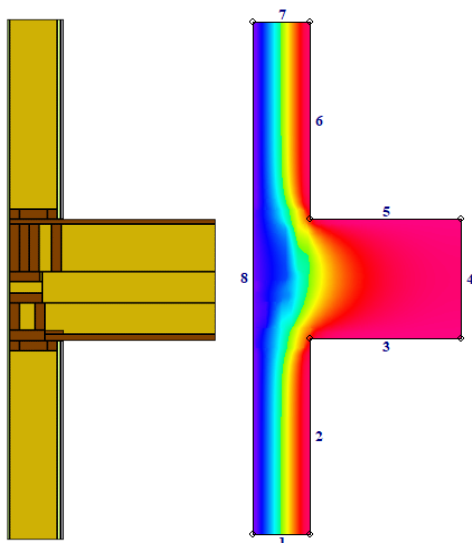
För de redan befintliga köldbryggorna i referensbyggnaden har det endast gjorts beräkningar på de linjära köldbryggorna medan de punktliga köldbryggorna har behandlats genom att göra ett procentuellt påslag. I beräkningarna har det antagits en procentuell andel regler på 15% och 85% isolering, i väggar med moduler har procentandelen regler antagits till 10% och isolering 90%. Köldbryggorna som uppstår i referensbyggnaden kan härledas till plintgrunden, ytterväggen, vindsbjälklaget och väggar mellan moduler.

En möjlig förbättring som kan göras utföras i en byggnadsdetalj är anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag. Åtgärder som undersökts för att minska dess köldbryggor är montering av en utvändigt mineralullsskiva utanför isoleringen och reglarna. Detta förhindrar reglarna från att vara i direkt kontakt med uteklimatet och bryter därmed köldbryggorna. Ett annat förslag är att installera ett invändigt installationsskikt med isolering innanför reglarna. Detta minskar köldbryggor och skapar ett utrymme för att placera installationsutrustning. För att beräkna köldbryggorna som kan minskas med dessa åtgärder används HEAT2. Genom att modellera referensväggen och sedan en ny vägg med åtgärder beräknas skillnaden i värmefflöde med ekvation 21. Temperaturen för inne och ute ansätts till 1° respektive 0°C.

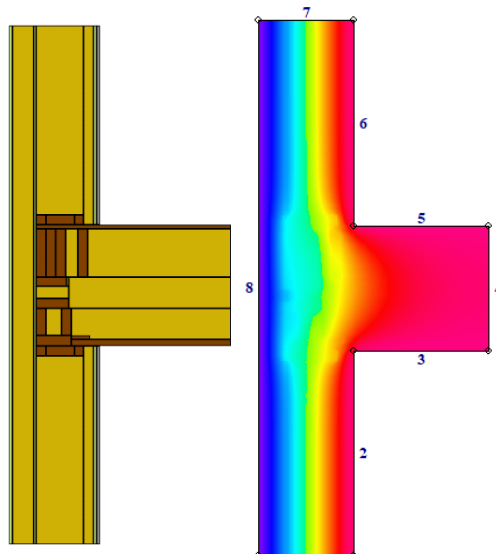
Förbättringsåtgärder i detta fall är en ökad isolering mot utsidan med 120 mm och ett isolerande installationsskikt på insidan som uppgår till 45 mm. Resultat från simulering i HEAT2 illustreras i figur 70 och 71.



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 70 - Vägg och köldbrygga illustrerad i HEAT2 innan energieffektiv åtgärd.



Figur 71 - Vägg och köldbrygga illustrerad i Heat2 efter energieffektiv åtgärd.

Där flödena beräknas i HEAT2 enligt ekvation (21) med följande parametrar:

$$q_{referens} = 0,4225 \text{ W/m}$$

$$q_{förbättring} = 0,2407 \text{ W/m}$$

$$T_{inne} = 1^\circ\text{C}$$

$$T_{ute} = 0^\circ\text{C}$$

$$\Psi = \frac{0,4225 - 0,2407}{1 - 0} = 0,1818 \text{ W/mK}$$

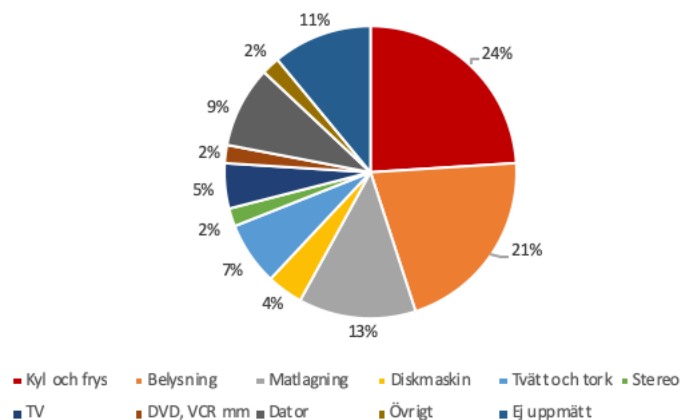
Skillnad i värmeflöde som utgörs av köldbryggor blir 0,1818 W/mK. Det innebär att värmeflödet minskar med drygt 40% vid den här typen av åtgärder. Trots att åtgärden är gynnsam ur ett energiperspektiv finns det andra aspekter som minskad boyta och ökad risk för fuktskador.

### 7.1.2 Elbehovsminimering

För att minska mängden elektricitet som behöver tillföras till byggnaden så är det väsentligt att effektivisera byggnadens elanvändning. Elanvändningen består av fastighetsel och hushållsel. Av dessa två så går den största delen av användningen till åt hushållsel. I detta flervåningshus definieras all el som används inne i lägenheterna som hushållsel, inklusive el till FTX-systemet. Elbehovet är relativt jämnt sett över året till skillnad från värmebehovet som skiljer sig mer mellan vinter och sommar. De största förbrukarna av hushållsel redovisas i figur 72 och förutom el till FTX är kyl och frys, belysning, matlagning och tvätt och tork. Gemensamt för hushållselen är att stora delar av den är brukarberoende vilket innebär att den är svår att minska i ett projekteringskedje. Genom elsnålare elektronik går det dock att påverka en del. De delarna som det finns störst

möjlighet att påverka är de delarna som inte är brukarberoende. Målet med elbehovsminimering är dels att minska det årliga behovet av el och dels att minska effektopparna.

Hushållselanvändandet i lägenhet exklusive ventilation [kWh]



Figur 62 – Lägenhetsfördelning baserat på schablon från BBR för hushållsel, exklusive ventilation.

### El som ej är brukarberoende

Kyl och frys är ständigt påslagen dygnet runt, året runt och utgör en stor andel av lägenhetens totala energianvändning. Till skillnad från de flesta andra delar inom hushållselen går det att minska energianvändningen för kyl och frys eftersom den inte är beroende av brukarnas beteende. Genom att installera A+++ klassad kyl och frys och placera dem separat går det att minska energianvändningen. Det går även att göra effektivisering av annan driftel genom att använda effektivare pumpar, fläktar och elutrustning.

### Minimering av elförbrukning hos hissar och belysning

Hissen tillsammans med hissbelysningen i referensbyggnaden använder 1000 kWh/år. Detta är ett värde hämtat från SVEBY vilket betyder att det inte är ett uppmätt värde som är specifikt uppmätt för byggnaden. Genom att använda sig av effektivt hissmaskineri, energiregenerering, energisparande hissbelysning och ett smart stand-by system för hissen i byggnaden så går det att minska hissens elförbrukning. Det är dock svårt att ge ett exakt värde för hur mycket elförbrukningen för hissen kan minskas då den är brukarberoende och alltså beror på hur mycket som den används. I dagsläget används en hiss av märket Kone Monoscope vilka har uppnått en A-klass inom energieffektiviseringsklassificeringar vilket gör att det antas att det inte går att spara så mycket el i dagsläget genom att installera en effektivare hiss.

Belysningen i allmänna utrymmen tillsammans med utomhusbelysning står för 1520 kWh/år. Då den allmänna belysningen är närvarostyrd och utomhusbelysningen beroende på solljus så är den delvis beroende av hur mycket brukarna rör sig in och ut ur byggnaden.

Det sätt som denna går att påverka är genom effektivare reglerutrustning och energieffektivare lampor.

### **Ersätta elradiatorer med vattenburet system i trapphus**

Elradiatorerna i trapphuset står för en del av byggnadens elbehov. Genom att byta ut dessa till radiatorer som drivs av ett vattenburet system går det att minska byggnadens elbehov. Detta sker på en bekostnad av ett ökat värmebehov för byggnaden. Elförbrukningen för de eldrivna radiatorerna är 1046 kWh per år vilket är en relativt liten del av den totala elförbrukningen i byggnaden. Radiatorerna är dock påslagna under korta tider då temperaturen i trapphuset understiger 11°C och aktiveras då för att värma upp trapphuset med en hög effekt under kort tid. Radiatorerna har en effekt på 4000 W vilket betyder att de antas bidra till effekttoppen som uppstår under DVUT.

För att sätta detta i proportion så jämförs detta mot byggnadens totala effektbehov för el i det mest kritiska fallet.

Total effekttopp för el: 13 180 W.

Då el till radiatorerna står för 4000 W av effekttoppen är det en stor del av den. Genom att ersätta elradiatorerna med ett vattenburet system går det att minska effekttoppen till:

$$13\ 180 - 4000 = 9180\ \text{W.}$$

$$4000/9180 = 44\%$$

Effekten från radiatorerna bidrar med 44% ökning av effekttoppen.

Genom att istället använda sig av ett vattenburet system som ständigt håller temperaturen över 11° C i trapphuset går det att minska effektbehovet på bekostnad av en liten ökning av värmebehovet. Det vattenburna systemet kan t.ex. drivas med hjälp av en värmepump. Detta gör att energin används effektivare. Om en värmepump med COP 4,5 som drivs med motsvarande mängd elenergi används kan den förse byggnaden med:

$$1046\ \text{kWh el} * 4,5 = 4707\ \text{kWh värme}$$

## **7.2 Motivering till varför vissa åtgärder och lösningar inte utreds vidare**

Motiveringen till varför vissa åtgärder inte valts att utreda vidare redovisas i punktform. De flesta val grundas på rimliga resonemang men det finns ett flertal tekniker som kan anses bör ha utretts vidare. De motiveringar som kan ifrågasättas baseras till stor del på avgränsningar och ibland okända förutsättningar. Exakt vart byggnaden är belägen är till exempel inte känt. Samtidigt skulle en utredning av för många tekniker och åtgärder sträcka sig bortom examensarbetets omfattning gällande både tid och arbetsbelastning. Det är till exempel möjligt att beräkna energibesparingen för inglasad balkong, loftgång och innergård men det har i det här arbetet fokuserats på andra tekniker och åtgärder. Det är viktigt att ta hänsyn till motiveringarna grundar sig på givna förutsättningar och dagens

teknik. Utvecklingen inom området är stor vilket gör att marknadsläget och tillgängligheten för teknikerna kan komma att se annorlunda ut i framtiden.

### ***Elförsörjning***

#### **Kondenskraft**

- Låg verkningsgrad
- Kräver mycket utrymme
- Stort nedkylningsbehov

#### **Koncentrerade solspeglar**

- Genererar lite energi under DVUT
- Passar bättre i mer solrika områden
- Svårberäknad teknik

#### **Pumpkraftverk**

- Inte passande i området
- Kräver varierande terräng och stora höjdskillnader
- Kräver stort utrymme

#### **Smarta elnät**

- Svårt att applicera på en enskild byggnad
- Behöver kopplas upp i större områden
- Svårt att räkna på

### ***Elektrisk lagring***

#### **SMES supraledare**

- Utrymmeskrävande
- Väldigt kort lagringstid
- Svårberäknad

#### **Superkondensator**

- Utrymmeskrävande
- Väldigt kort lagringstid
- Svårberäknad

### ***Värmeförsörjning***

#### **Markvärme**

- Tar upp väldigt stor yta
- Fluktuerande temperaturer nära markyta

#### **Frånluftsvärme**

- Går ej att kombinera med befintligt FTX-system

### **Sjövärmepump**

- Tekniken begränsas av de omgivande geografiska förhållandena

### **Uteluftsvärmepump**

- Låg verkningsgrad vid låga temperatur
- Inte effektivt vid DVUT
- Inte optimala geografiska förhållanden

### **Decentraliserad ventilation**

- Problematiskt med luftföroreningar
- Visat sig olämpligt vid tidigare försök

### **Avloppsvärmeväxlare**

- Inte färdigutvecklad teknik
- I dagsläget låg verkningsgrad

### **Dynamisk isolering**

- Inte visat sig effektivt i bostadshus
- Ej lämplig för ytterväggar i bostadshus
- Passar bättre i större byggnader

### **Närvärme**

- Svår att applicera på enskild byggnad
- Svårberäknad
- Kombineras med extern värmeanläggning

### **Balanserade nät**

- Kräver byggnader med nedkylning- och uppvärmningsbehov i omgivning
- Inte optimalt i bostadsområden med hushåll som har liknande uppvärmningsbehov
- Svårberäknad

### ***Lagring av värmeenergi***

#### **Akvifer**

- Kräver stort utrymme
- Svårberäknad
- Stora värmeförluster vid mindre volymer

#### **Groplager**

- Kräver stort utrymme
- Svårberäknad

### ***Elbehovsminimering***

#### **Inglasad balkong**

- Inte särskilt energieffektivt (för nya byggnader)
- Svårberäknad
- Risk för övertemperatur

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

- Risk att används som en inomhuszon

### **Inglasad innergård**

- Kräver mycket energi för att värma upp/kyla ner
- Sällan energieffektivt (för nya byggnader)
- Svårberäknad
- Risk att det används som en inomhuszon
- Risk för övertemperatur

### ***Värmebehovsminimering***

#### **Reglerade vattenkranar och vattensnål dusch**

- Svårberäknad
- Brukarberoende

### ***Passiv utformning av hus***

#### **Fönsterplacering i söder**

- Svårberäknad
- Risk för övertemperatur
- Liten inverkan under DVUT

#### **Riktning på hus/utformning**

- Risk för övertemperatur
- Svårberäknad

#### **Sänkt inomhustemperatur**

- Brukarberoende
- Påverkar inneklimat

## 8 Applicering på referenshus

Vid utformning av lösningarna ligger inte fokus på kostnad utan snarare på att klara energibehoven och att huset är helt off grid. I applicering på referenshus redovisas några av de valda energieffektiva åtgärderna som utreds och presenteras i lösningsförslag. De åtgärder som tillämpats redovisas i tabell 47 och innebär ett förändrat el- och värmebehov. Det är utefter de nya behoven som övriga energilösningar kommer att anpassas till att tillgodose. En betydande skillnad för elbehovet utgörs av att elradiatorerna i trapphuset ersätts med ett vattenburet system. Trots att behovet fortfarande behöver tillgodoses förenklas processen då värmebehovet är lättare att uppfylla än elbehovet. Genom att addera 10 cm cellplast till grunden, 10 cm mineralull till vindsbjälklaget, förbättra U-värde på fönster till  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  och antingen addera 10 cm mineralull i ytterväggarna eller ersätta den befintliga mineralullen till PIR-isolering så minskar byggnadens värmebehov. Storleken på köldbryggarna är lika stora som ursprungsfallet i referensbyggnadens.

Ett förbättrat klimatskal innebär ett minskat värmeförlusttal, VFT. Byggnadens  $U_m$ , dvs klimatskärmens genomsnittliga U-värde ändras från  $0,305 \text{ W/m}^2\text{K}$  till  $0,237 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Övriga parametrar för tappvarmvattnets effektbehov, VVC-förluster och vädring är oförändrade.

Tabell 47 - Resultat av förbättring av klimatskal.

	Före	Efter	Enhet
$U_m$	0,305	0,237	$\text{W/m}^2\text{k}$
VFT	10,55	7,57	$\text{W/m}^2$
$P_{vv}$	9736	9736	W
Värme rumsvärme	27 382	17 935	kWh / år
Värme rumsvärme, trapphus	1046	2041	kWh / år
Tappvarmvatten	26 433	26 433	kWh / år
VVC-förluster	2618	2618	kWh / år
Vädring	5236	5236	kWh / år
Årsbehov värme	62 715	53 786	kWh / år

Ett lägre VFT innebär ett nytt effektbehov för uppvärmning vilken beräknas genom att multiplicera VFT med  $A_{temp}$ .

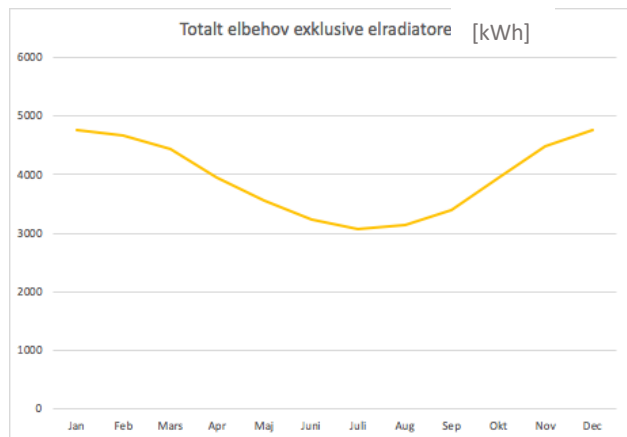
Värmeeffekten för hela byggnaden =  $7,57 * 1309 = 9914 \text{ W}$   
Effektbehovet för tappvarmvatten är detsamma.

Nytt totalt effektbehov för värme beräknas enligt:

$$P_{vv} + VFT = 9736 + 9914 = 19\,650 \text{ W}$$

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Elbehovet för byggnaden efter åtgärder av elradiator illustreras i figur 73.



Figur 73 - Totalt elbehov exklusive elradiatorer.

Det minskade årsbehovet av el utan elradiatorer är  $48\,469 - 1046 = 47\,423$  kWh/år.  
Effekttopp för el utan elradiatorer beräknas:

$$12\,180\text{ W} - 4000\text{ W} = 9180\text{ W}$$

Värmebehov för byggnad efter förbättringar:

Värme rumsvärme har minskas med 9987 kWh och värme rumsvärme trapphus adderas 2104 kWh. VVC-förluster och vädring baseras på schabloner likt tidigare. En sammanställning av årsbehov för värme för byggnaden efter energieffektivisering redovisas i tabell 48.

Tabell 48 - Årsbehov värme.

Värme rumsvärme	17 395 kWh
Värme rumsvärme, trapphus	2104 kWh
Tappvarmvatten	26 433 kWh
VVC-förluster	2618 kWh
Vädring	5236 kWh
<b>Totalt</b>	<b>53 786 kWh</b>

I tabell 49 redovisas en sammanställning av energibehov för byggnaden efter energieffektivisering.



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 49 - Sammanställning av energibehov.

Årsbehov el	47 423 kWh
Toppeffekt el	9180 W
Årsbehov värme	53 786 kWh
Toppeffekt värme	19 650 W

### Alternativkostnader för el och fjärrvärme

För att kunna jämföra kostnader för fallen mot nuvarande kostnader görs en beräkning av vilka kostnader som byggnaden har i dagsläget. Alternativkostnad för el är baserad på pris från SCB:s uppgifter om genomsnittskostnad för nätavgiften och ett ettårigt elavtal inklusive energiskatt, elcertifikat etc. Priset för el är 1,5 kr för 1 kWh (SCB, 2019).

Alternativkostnad för el:

$$1,5 * 47\ 400 = 71\ 100 \text{ kr/år}$$

Alternativkostnad för fjärrvärme är baserad på pris från en rapport från energiföretagen för EON i Malmö. Priset för fjärrvärme är 0,8663 kr för 1 kWh (Eon, 2019).

Alternativkostnad för fjärrvärme:

$$0,8663 * 53\ 800 = 46\ 600 \text{ kr/år}$$

$$\text{Totalt per år} = 71\ 100 + 46\ 600 = 117\ 700 \text{ kr/år}$$

Vanligtvis tillkommer det en anslutningskostnad för fjärrvärme vilken i detta fall försummas eftersom det utgör en relativt liten kostnad om den slås ut på antal år den används.



## 9 Presentation av fall

I avsnittet kommer tre fall vilka inkluderar olika energilösningar att undersökas. Fallen baseras på fyra olika parametrar med syfte att täcka byggnadens el- och värmebehov under alla dygnets timmar och hela året. Varje parameter uppfylls på ett eller flera sätt med en energilösning som motsvarar behovet för respektive fall. De undersökta delarna som ska uppfyllas är byggnadens el- och värmebehov under dag och natt under såväl sommaren som vintern. Varje fall ska också med en eller flera energilösningar uppfylla kort- och långvarig lagring. Några kriterier uppfylls av fler än en energilösning, se tabell 50. I de fall fungerar den undre lösningen som ett komplement till den övre eftersom den inte har som primär funktion att tillgodose just det behovet. Flera kriterier har styrts valen bland annat säkerställande av energitillförsel samt så stor andel förnybart som möjligt. En kombination av flera energilösningar har valts för att skapa en pålitlighet, se tabell 50.

### FALL A

#### **El**

Solceller  
Kraftverk, stirlingmotor  
Vätgas

#### **Värme**

Kraftverk, stirlingmotor  
Bergvärmepump  
Vätgas

### FALL B

#### **El**

Solceller  
Kraftverk, stirlingmotor  
Batterier

#### **Värme**

Solfångare  
Kraftverk, stirlingmotor

### FALL C

#### **El**

Vindkraft  
Vätgas  
Batterier

#### **Värme**

Solfångare  
Bergvärmepump  
Vätgas

*Tabell 50 – Sammanställning av energilösningar och vilka parametrar de uppfyller*

	<b>Fall A</b>	<b>Fall B</b>	<b>Fall C</b>
<b>Elproduktion sommar</b>	Solcell	Solcell	Vindkraft
<b>Elproduktion vinter</b>	Kraftverk Vätgas	Kraftverk	Vindkraft Vätgas
<b>Dygnslagring el</b>	Vätgas	Batterier	Batterier
<b>Säsongslagring el</b>	Vätgas Kraftverk	Kraftverk	Vätgas
<b>Värmeproduktion sommar</b>	Bergvärmepump Kraftverk	Solfångare Kraftverk	Solfångare Bergvärmepump
<b>Värmeproduktion vinter</b>	Bergvärmepump Kraftverk	Kraftverk	Bergvärmepump
<b>Säsongslagring värme</b>	Kraftverk Vätgas	Kraftverk	Vätgas
<b>Dygnslagring värme</b>	Kraftverk	Kraftverk	Bergvärmepump Vätgas

## 9.1 Fall A

### El

Solceller  
Kraftverk  
Vätgas

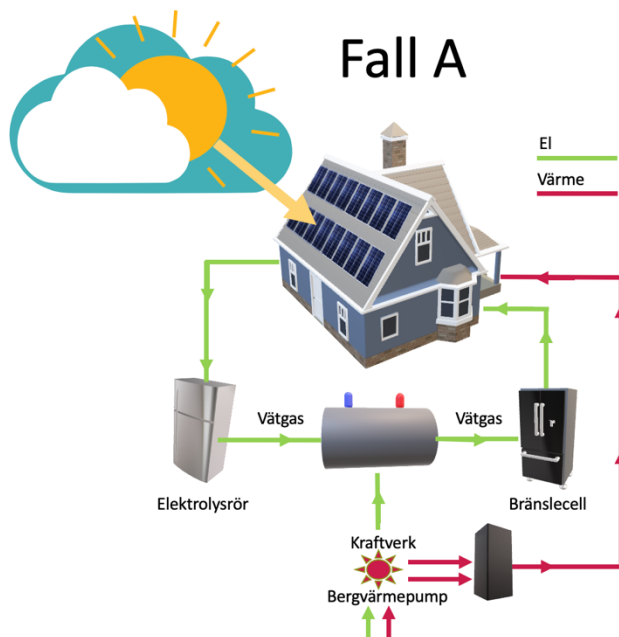
### Värme

Kraftverk  
Bergvärmepump  
Vätgas

### Förutsättningar

I fall A kommer en kombination med solceller, kraftverk, vätgas och värmepump att undersökas. För att täcka elbehovet under sommarhalvåret används solceller där överproduktionen går till att skapa och lagra vätgas i vätgastankar. Vätgasen kan säsongslagras och utvinnas till el via en bränslecell som i sin tur även kan bidra med värme genom att driva värmepumpen eller en elpatron kopplad till värmepumpen. Kraftverket drivs av pellets och är baserat på seriekopplade stirlingmotorer som har som primär funktion att förse byggnaden med värme. Dess sekundära funktion är att bidra till elförsörjning då inte solceller och vätgas räcker till. När solcellerna inte genererar tillräckligt mycket elektricitet täcks behovet av vätgas eller kraftverk. I första hand används elen som produceras i kraftverket i samband med värmeproduktion. Vätgasen används därefter som ett komplement till kraftverket när den elen inte räcker till.

Värmepumpen förser byggnaden med värme under hela året och kompletteras med ett kraftverk när värmebehovet är stort. Vid DVUT kopplas vätgasen till en elpatron för att täcka värmeeffekttoppar. På så sätt uppfylls samtliga parametrar i Fall A. Systemet illustreras i figur 74.



Figur 74 - Illustrationsbild Fall A

### Beräkningsavgränsningar

I beräkningarna antas det inte ske någon ökning av elbehov på grund av drift av kraftvärme, elektrolys och bränslecell. En potentiell ökning av effekttoppen för el på grund av elpatronen beräknas inte.

### Värme

Värmebehovet för fall A är 53 786 kWh/år. För att förse byggnadens med värme installeras en bergvärmepump. Pumpen har ett COP-tal på 4,5 och dimensioneras för 60% av effektbehovet i byggnaden. Detta räcker för att täcka 90% av byggnadens totala uppvärmningsbehov.

Dimensionering av värmepump:

Effektbehovet för värme är 19 650 W.

$$0,6 * 19\ 650 = 11\ 790\ \text{W} \approx 11,8\ \text{kW}.$$

Värmepumpen dimensioneras för att klara en effekt på 11,8 kW. Till detta installeras borrhål som dimensioneras för 45 W/m borrhål.

$$11\ 790\ \text{W} / 45\ (\text{W/m}) = 262\ \text{m}.$$

Längden delas upp på två borrhål om 131 m vardera.

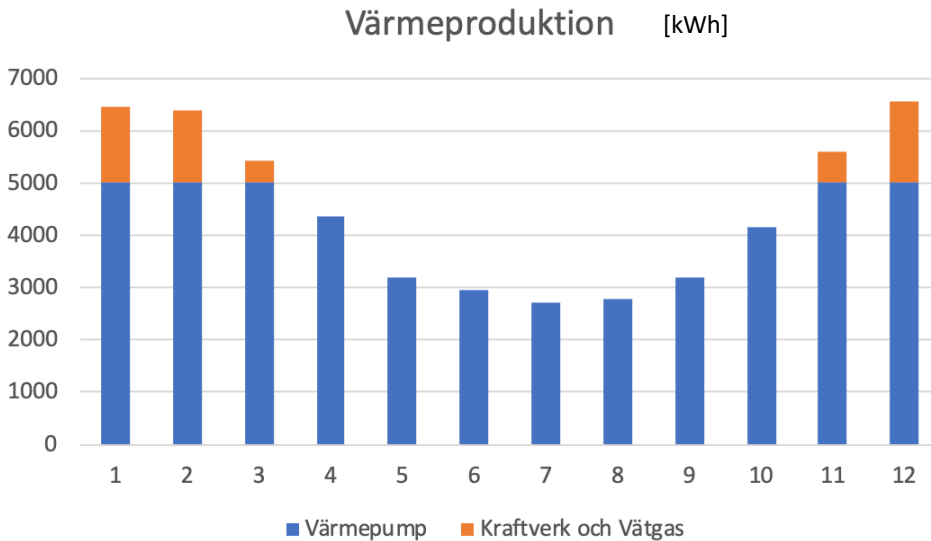
Bergvärmepumpen klarar av att täcka 90% av byggnadens värmebehov vilket motsvarar:  $0,9 * 53\ 786 = 48\ 407\ \text{kWh}$ . Detta kommer att öka eleffekt och elbehovet.

De övriga 10% av byggnadens totala värmebehov som inte pumpen klarar av att leverera behöver tillgodoses av en annan värmekälla vilket i detta fallet är kraftverk eller vätgas. Värmen som behöver tillgodoses från kraftvärme eller vätgas.

$$53\ 786 - 48\ 407 = 5379\ \text{kWh}.$$

Dimensionerande effektbehov för värme är 19 650 W. För att täcka effekttoppen kompletteras bergvärmepumpen med kraftverket och vätgas som är kopplad till en elpatron. Bergvärmepumpen har en effekt som är 11 790 W. Effekten som behöver genereras av kraftverket och vätgasen är:  $19\ 650 - 11\ 790 = 7860\ \text{W}$ . Vid maximal kapacitet har stirlingmotorn som driver kraftverket en effekt på 12 kW värme. Det räcker för att täcka resterande effektbehov. Värmepumpen kan även kompletteras med vätgasen som kopplas till en elpatron för att täcka effekttoppar för värme. Hur värmeproduktionen uppfylls i fall A illustreras i figur 75.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

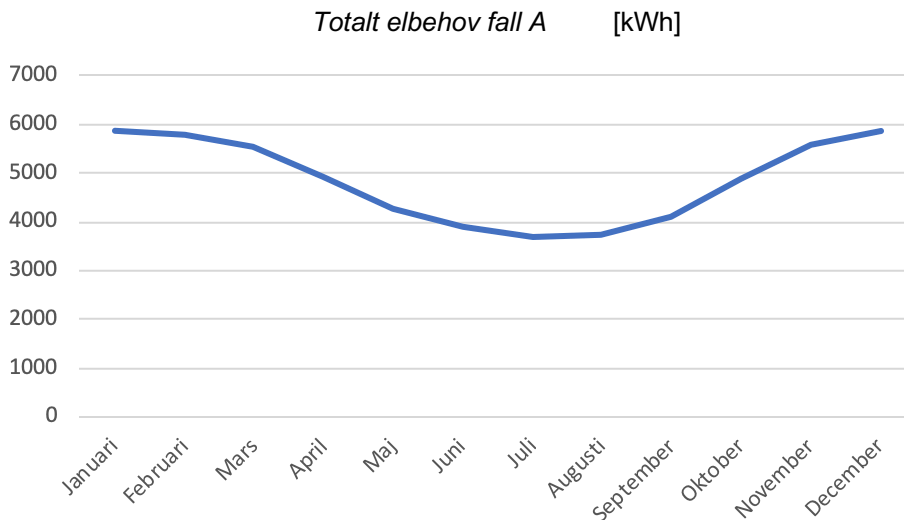


Figur 75 - Total värmeproduktion för värmepump, kraftverk och vätgas

### El

För att driva värmepumpen krävs el vilket ökar det årliga elbehovet:  $48\,407/4,5=10\,757$  kWh/år. De ökade elförbrukningen från värmepumpen fördelas så att behovet uppstår då värmepumpen används. Elbehovet illustreras i figur 76.

Det totala elbehovet för Fall A är  $47\,423 + 10\,757 = 58\,180$  kWh/år.

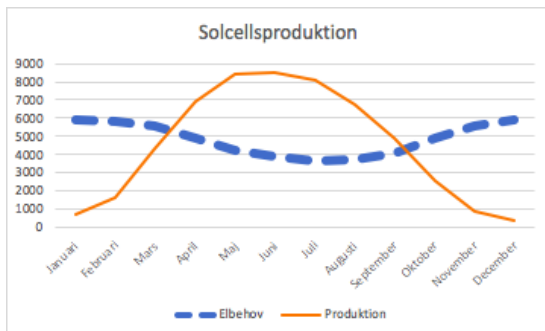


Figur 76 - Fall A totalt elbehov

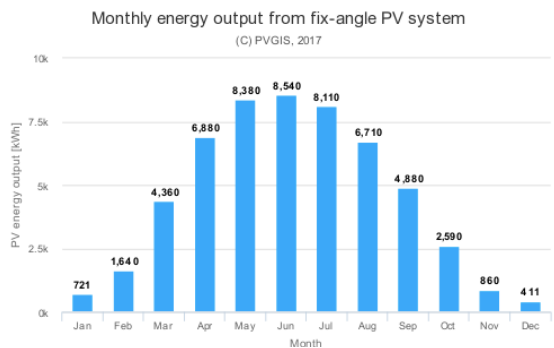
I fall A dimensioneras solceller till  $377\text{ m}^2$  vilket innebär att hela taket täcks och att  $54\,100$  kWh produceras under året. I figur 76 och 77 går det att utläsa att från mitten på mars till mitten på september täcker solcellerna byggnadens elbehov. I december är produktionen

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

som lägst och solcellerna utgör då endast 7% av det totala elbehovet. Sommarens överproduktion genererar 18 900 kWh vilket med hjälp av elektrolys som omvandlar elektricitet till vätgas och bränslecell som omvandlar vätgasen till elektricitet kan utvinnas till 9261 kWh elektricitet ( $18\,900 \cdot 0,49$ ). Det skulle innebära att kraftverket behöver täcka kvarvarande elbehov som uppgår till 8139 kWh ( $17\,400 - 9261 = 8139$ ). Då systemet för kraftverk endast har en verkningsgrad som är 30% för el så krävs det en förbränning biobränsle som ska motsvara en produktion på 27 130 kWh ( $8139/0,3$ ) för att täcka elbehovet.



Figur 77 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. Hela taket täcks med solceller.



Figur 78 - Solcellernas elproduktion över året

Tabell 51 - Sammanställning solceller

Årlig produktion	54 100 kWh
Behöver tillföras på annat vis under vinterhalvåret	18 900 kWh
Överproduktion under sommarhalvåret	23 000 kWh

Dimensionerande effektbehov för el antas inträffa under vinterhalvåret då tillgången på solenergi är begränsad. Kraftverket och vätgas behöver kunna generera tillräcklig effekt för att klara effektbehovet. Värmepumpen bidrar då till ett ökat effektbehov.

Ökning av effektbehov beräknas:

Effektökningen på grund av värmepumpen antas vara 50% högre än genomsnittseffekten för december.

Elbehovet för värmepumpen i december är 1113 kWh.

Omvandling till watt ger den genomsnittliga effekten:  $1113 \text{ kWh} \cdot 1000 / (24 \cdot 31) = 1496 \text{ W}$

Dimensionerande effekt:  $1,5 \cdot 1496 = 2244 \text{ W}$

Effekttopp:  $9180 + 2244 = 11\,424 \text{ W} \approx 11,4 \text{ kW}$

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Effekten på stirlingmotorn som kraftverket använder sig av är 5 kW för el vid maximal kapacitet. För att kunna uppnå tillräcklig effekt förutsatt att vätgaslagret är tömt behöver alltså minst 3 stirlingmotorer seriekopplas. Tillsammans kan de då generera en effekt som är 15 kW vilket täcker effekttoppen.

### Kostnader

#### Solceller

Prisuppgifter för solcellspaket tas från Vattenfall och ger: 168 320 – 196 800 kr för 80 m<sup>2</sup> med 20% solcellsstöd. Solcellspaket inkluderar solpaneler, installation och transport, växelriktare, effektoptimerare och säkerhetsbrytare.

Medelpris per m<sup>2</sup> beräknas:  
 $(168\,320 + 196\,800) / (2 * 80) = 2282$  kr

Mängd solceller är 377 m<sup>2</sup>.

Pris för solcellsanläggning:  $377 * 2282 \approx 860\,000$  kr

#### Kraftverk

Stirlingmotor till kraftverk uppskattas till 100 000 kr/st. Det behövs 3 stirlingmotorer vilket totalt kostar 300 000 kr.

Pris för pellets enligt värmepumpsguiden är 0,8 kr/ kWh.  
En årlig förbrukning på 27 130 kWh pellets ger årlig kostnad för pellets.  
 $0,8 * 27\,130 \approx 22\,000$  kr/år.

Prisuppgifter för övrig anordning till kraftverk har inte kunnat hittats och är inte inkluderad i beräkningen.

#### Bergvärmepump

Prisuppgifter för bergvärmepump är taget från kostnadsguidens hemsida.

En bergvärmepump på 12 kW bedöms kosta 100 000 kr.  
2 borrhål á 131 m bedöms kosta 50 000 kr st. Totalt 100 000 kr.  
Arbetskostnad för installation uppskattas till 50 000 kr.

Total kostnad för bergvärmeanläggning:  $100\,000 + 100\,000 + 50\,000 = 250\,000$  kr.

De redovisade kostnaderna för vätgasanläggningen presenteras i tabell 52 och är framtagna med hjälp av Hans-Olof Nilsson – grundare och Technical Director på vätgasföretaget Nilsson Energy. Noterbart är att kostnaderna är uppskattade.



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Tabell 52 – Sammanställning av kostnader

Teknik	Livslängd [år]	Kostnad [kr]	Årskostnad [kr/år]
Solcell	30	860 000 (inkl investeringsstöd)	28 700
Kraftverk (3 st stirlingmotor)	10	300 000 (exklusive övrig anordning)	30 000
Pellets	1	22 000	22 000
Bergvärmepump	15	250 000	16 700
Vätgas	20	3 305 000	165 250
Elektrolysrör Kompressor Vätgaslager Bränslecell Styrsystem		570 000 425 000 1 700 000 450 000 160 000	(exkl moms, kringutrustning, installation)
<b>TOTALT</b>		<b>4 737 000</b>	<b>263 100</b>

Årskostnad för systemlösningen: 263 100 kr/år

Ökad kostnad för systemlösningen per år:  $263\,100 - 117\,600 = 145\,500$  kr/år

### Analys fall A

Fall A är en kombination av lösningar som erbjuder en relativt stabil försörjning av värme och el till byggnaden under hela året. Bergvärmepumpen tillför en pålitlig värmeproduktion som inte är beroende av yttre faktorer som väder och vind. De valda lösningarna kompletterar varandra och överskott från solceller kan nyttjas effektivt genom framställning av vätgas. Vätgasen kan lagras och vid behov förse byggnaden med el och värme genom värmepumpen som kompletteras av elpatron vid effekttoppar. Kraftverket optimeras i största möjliga mån eftersom den vid värmeproduktionen samtidigt skapar el som kan användas till framställning av vätgas. Vätgasen kompletterar kraftverket och kan göra det möjligt att säkerställa el- och värmeförsörjningen. Vätgasen har dessutom en mycket kortare starttid än kraftverket vilket gör det lämpligt att använda för att tillhandahålla byggnaden med el och värme i situationer där ett akut behov av värme eller el uppstår. Genom att använda flera lösningar i systemet som kompletterar varandra minskar beroendet av en specifik lösning vilket är en säkerhet vid driftstopp eller vid störningar. Anledningen till att både kraftvärme och vätgas används beror bland annat på att kraftverket är en pålitlig energikälla och att vätgas har en stor investeringskostnad vid större dimensioner.

Nackdelen med fall A är att det är en kombination av många olika större lösningar som tillsammans utgör ett komplicerat system som kan kräva avancerad reglerutrustning. Detta är för att säkerställa att den skall klara av att leverera el och värme året runt. På sommaren är systemet till stor del beroende av solceller vilket är en intermitterent energikälla. I scenarion då solcellerna inte producerar någon el måste det finnas en backup i form av kraftverk och vätgas. Kraftverk har en låg verkningsgrad för elproduktion vilket betyder att

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

det krävs mycket bränsle för att producera stora mängder el. Det kan uppstå situationer där kraftverket måste användas för att tillgodose elbehovet i byggnaden vilket kan vara samtidigt som värmebehovet redan uppfylls. Då är verkningsgraden för kraftverket låg och mycket av värmen som produceras avges som spillvärme. Detta innebär ett ineffektivt utnyttjande av resurserna. Det kan inte heller tas för givet att perioder när kraftverket behövs för att uppfylla värmebehovet sker samtidigt när det finns ett elbehov. Det förutsätts även att stirlingmotorn levererar maximal effekt under tiden systemet är igång.

Både solceller och kraftverk innebär ett stort inslag på byggnaden då solcellerna täcker hela taket och kraftverket tar upp ett stort utrymme för lager av bränsle och maskineri. Både bränsle och maskineri bör dessutom vara väderskyddat. Lagringen av vätgas utgör också ett platsutrymme. All upptagen yta som lagringen kräver tar inte bara stor plats utan kan också ur ett arkitektoniskt perspektiv ge negativa effekter.

Tekniken för solceller och värmepump befinner sig i ett moget kommersiellt stadium men tekniken och den kommersiella utvecklingen för småskalig energiförsörjning är begränsad. Det innebär att utbudet för småskalig kraftverk med stirlingmotor är relativt lågt. Kraftverket kräver underhåll och drivs av bränsle som t.ex. pellets vilket innebär att det behövs ett aktivt arbete för att fylla på bränsleförråd.

För att säkra systemet för driftstörning och göra systemet mindre beroende av vätgasen och kraftverket så går det att dimensionera värmepumpen för att täcka 100% av effektbehovet istället för 60%. Detta innebär dock en kraftig överdimensionering av värmepumpen vilket normalt sett inte är effektivt men det säkerställer att effektbehovet för värme alltid kan uppfyllas.

Trots att vätgasen är en viktig del i systemet och restprodukterna i processen är ofarliga är tekniken inte helt oproblematiske. Risken är låg att det ska fatta eld men vätgas är brandfarligt och användandet innefattar hantering av brandfarliga ämnen vilket bör tas i beaktning.

Systemet medför stora merkostnader per år. Till stor del på grund av att vätgassystemet är dyrt. Kalkylen innehåller även osäkerheter framförallt i kostnader för kraftverket och vätgassystemet.

## 9.2 Fall B

### El

Solceller  
Kraftverk  
Batterier

### Värme

Solfångare  
Kraftverk

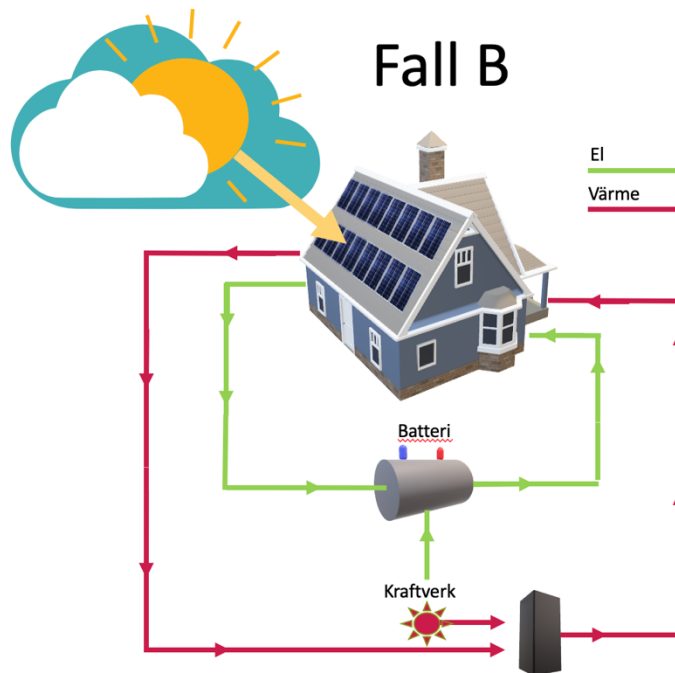
### Förutsättningar

I fall B kombineras solceller, kraftverk, batterier och solfångare. En del av överproduktionen som solcellerna genererar kan lagras i batterier men detta täcker endast elbehovet under kortare perioder när det inte är någon sol, t.ex. under natten eller dagar

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

utan sol. Värmebehovet tillgodoses under sommarhalvåret genom solenergi från solfångare. Solfångare och solceller kompletteras av ett kraftverk som baseras på seriekopplade stirlingmotorer som uppfyller byggnadens el- och värmebehov under de mindre solrika månaderna. Kraftverket kan under sin värmeproduktion samtidigt producera el som vid överproduktion kan användas till kortvarig lagring i batterierna.

Genom att kraftverket används för både el och värme så optimeras användningen av kraftverket och spill undviks. Systemet illustreras i figur 79.



Figur 79 - Illustrationsbild Fall B

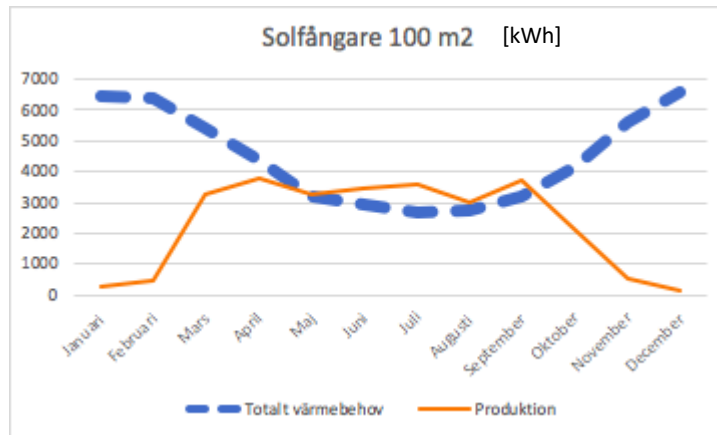
### Beräkningsavgränsningar

I beräkningarna antas det inte ske någon ökning av elbehovet på grund av drift av kraftvärme. En potentiell ökning av effekttoppen för el på grund av elpatronen beräknas inte.

### Värme

Värmebehovet för Fall B är 53 786 kWh/år. Det finns inget lagringssystem för värme vilket betyder att överproduktion av värme på sommaren inte är önskvärt då detta avges som spillvärme. Solfångarna placeras på taket i 7° lutning och i söderläge. Total area att placera solceller och solfångare på tak är 377 m<sup>2</sup> utav dessa placeras solfångare på 100 m<sup>2</sup> av taket. Värmeproduktion från solfångare redovisas i figur 80.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 80 - Solfångare 135 m<sup>2</sup>, värmeproduktion över året

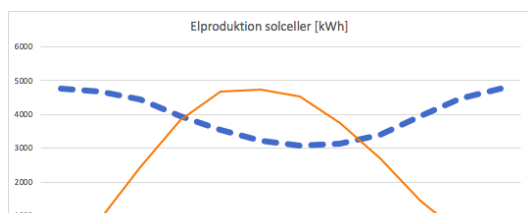
Solfångarna tillgodoser hela värmebehovet mellan maj och september. Resterande del behöver kompletteras med värme från kraftverket. Den årliga produktionen från solfångarna är 27 539 kWh och överskottsproduktionen är 2229 kWh. Värmebehovet som behöver tillgodoses av kraftvärme är 28 477 kWh under perioden oktober till april. Kraftverket har en verkningsgrad på 60% för värme vilket betyder att det behövs en förbränning av 48 898 kWh pellets per år för att driva det.

Dimensionerande effektbehov för värme är 19 650 W. Effektbehovet antas inträffa under vinterhalvåret då byggnaden är beroende av kraftverket. Vid maximal kapacitet har stirlingmotorn som driver kraftverket en effekt på 12 kW värme. För att klara effektbehovet krävs det alltså 2 seriekopplade stirlingmotorer som kan producera effekten  $2 * 12 = 24$  kW värme.

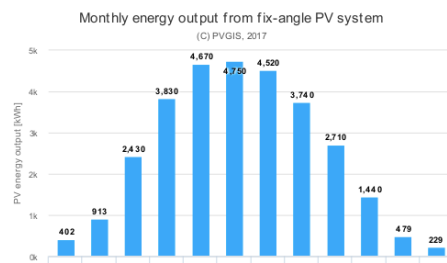
### El

Elbehovet för fall B är 47 423 kWh/år. Det placeras 210 m<sup>2</sup> solceller på taket som täcker 54 % av det totala elbehovet. Solcellsproduktionen redovisas i figur 81 och 82. Mängden solceller övervägs eftersom en allt för stor mängd skapar en stor överproduktion som inte går att ta tillvara på. Möjligheter för lagring är begränsat till batterier vilket gör att större mängder överproduktion riskerar att avges som spill. I detta fall accepteras en överproduktion från solcellerna på 10%. Solcellerna placeras på taket i 7° lutning och söderläge.

Med 210 m<sup>2</sup> solceller så sker det en överproduktion som är 10% sett över ett år.



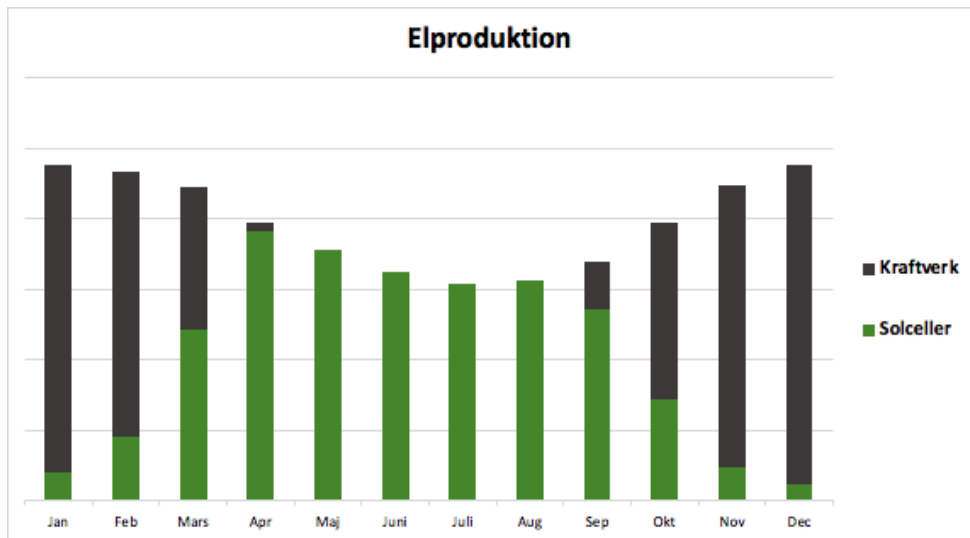
Figur 81 - Solcellernas produktion i förhållande till totalt elbehov. 210 m<sup>2</sup> av taket täcks med solceller.



Figur 82 - Solcellernas elproduktion över året

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Den totala produktionen från solcellerna är 30 100 kWh/år. Elen tillgodoser byggnadens elbehov under sommarmånaderna maj till augusti. Solcellerna kompletteras därefter med kraftverk som behöver tillföra 22 000 kWh/år under månaderna september till april. Under december och januari är elbehovet störst vilket är samtidigt som produktionen från solcellerna är som minst (se figur 83). Det innebär att kraftverket kommer att behöva stå för en betydande andel av både el- och värmeförsörjningen vilket ställer stora krav på tekniken och dess utformning.



Figur 83 - Total elproduktion, fördelat på kraftverk och solceller

Dimensionerande effektbehov för el antas inträffa under vinterhalvåret då tillgången på solenergi är begränsad. Kraftverket behöver kunna generera tillräcklig effekt för att klara effektbehovet. Effektbehovet för fall B är 9180 W.

Effekten på stirlingmotorn som kraftverket använder sig av är 5 kW för el vid maximal kapacitet. För att generera tillräcklig effekt behöver 2 stirlingmotorer seriekopplas då de tillsammans kan uppnå en effekt som är  $2 * 5 \text{ kW} = 10 \text{ kW}$ .

### Kostnader

#### Solceller

Solceller:

Pris per m<sup>2</sup>: 2282 kr

Mängd solceller: 210 m<sup>2</sup>.

Total kostnad för solceller:

$2282 * 210 \approx 490\,000$  kr

#### Solfångare:

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Priser för solfångare baseras på priser från Energirådgivningen. Priset för solfångarpaneler är 2000-6000 kr/m<sup>2</sup> beroende på vilket typ det är. Medelpris för solfångare beräknas:

$$(2000 + 6000)/2 = 4000 \text{ kr/m}^2$$

Mängd solfångare är 100 m<sup>2</sup>.

Detta ger en kostnad för solfångarpaneler:

$$100 * 4000 = 400\ 000 \text{ kr}$$

Ett komplett system med varmvattenberedare och ackumulatortank uppskattas baserat på uppgifterna till 100 000 kr.

Totalt pris för solfångare: 100 000 + 400 000 = 500 000 kr.

### Kraftverk:

Stirlingmotor till kraftverk uppskattas till 100 000 kr/st. Det behövs 2 stirlingmotorer vilket totalt kostar 200 000 kr.

Pris för pellets är 0,8 kr/ kWh.

En årlig förbrukning på 48 898 kWh pellets ger årlig kostnad för pellets.

$$0,8 * 48\ 898 \approx 39\ 000 \text{ kr/år.}$$

Prisuppgifter för övrig anordning till kraftverk har inte kunnat hittats och är inte inkluderad i beräkningen.

### Batterier:

Pris för batterier baserat på pris för litium-jonbatterier i rapport från IVA där ett avvägt pris på 3000 kr/kWh används i beräkningar.

Kostnaden beräknas på förutsättningar att batteriet skall kunna förse byggnaden med el i en dag i mars med 10% säkerhetsmarginal mot genomsnittsdagen. Elradiatorer är på maxeffekt. Detta kräver ett batteri som har en lagringskapacitet på 346 kWh.

Kostnad för batterier beräknas: 3000\*346 = 1 038 000 kr.

Den totala kostnaden sammanställs i tabell 53.

Tabell 53 - Sammanställning av kostnader

Teknik	Livslängd [år]	Kostnad [kr]	Årskostnad [kr/år]
Solcell	30	479 000 (inkl investeringsstöd)	16 000
Solfångare	40	500 000	12 500
Kraftverk (2 st stirlingmotor)	10	200 000 (exklusive övrig anordning)	20 000
Pellets till kraftverk	1	39 000	39 000
Batterier	30	1038 000	34 600
<b>TOTALT</b>		<b>2 257 220</b>	<b>122 100</b>

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Årskostnad för systemlösningen: 122 100 kr/år

Ökad kostnad för systemlösningen per år:  $122\ 100 - 117\ 700 = 4400$  kr/år

### **Analys fall B**

I fall B är sker den största produktionen från solfångare och solceller under sommarhalvåret. Det betyder att en stor del av energiförsörjningen kommer att tillgodoses av kraftverket vilket gör att den kommer att vara igång större delar av året. Det innebär att systemet och stirlingmotorerna ständigt kommer att verka under höga temperaturer och leverera hög effekt under vinterhalvåret när solenergin inte räcker till.

Systemet är under sommarhalvåret beroende av att solen skiner vilket anses vara en intermittent energikälla. Även batterierna är indirekt beroende av solens energi eftersom solcellerna behöver leverera ett elöverskott för att de ska kunna laddas. Det innebär stora osäkerheter när det kommer till att byggnaden alltid skall ha en garanterad tillgång på el och värme. Eventuell överskottsenergi från solceller och solfångare har begränsad möjlighet att lagras över längre perioder vilket gör att energi kommer att gå till spillo. Det går att argumentera för en större mängd solceller och solfångare men eftersom det ger en ökad mängd energi som inte går att ta tillvara på blir investeringen mindre lönsam. Teknikerna konkurrerar också om samma ytor vilket begränsar mängden. Detta innebär i sin tur att kraftverket behöver bära en stor del av lasten, framförallt under vinterhalvåret. Det förutsätts också att stirlingmotorn levererar maximal effekt under tiden systemet är igång. Fördelen med kraftverket är att det drivs av ett bränsle vars energikälla inte är beroende av yttre faktorer. Problematiken blir att kraftverket under stora delar av vinterhalvåret behöver förse byggnaden med både el- och värme. Det innebär att systemet blir väldigt känsligt för eventuella störningar. Det betyder också att det krävs ett stort pelletslager. Då kraftverkets energiproduktion fördelas till 60% värme och 30% el medför det att risken för överproduktion av värme blir stor när byggnaden behöver tillföras mycket el. I och med att stora delar av försörjningen är beroende av kraftverket kommer det dessutom att krävas ett stort utrymme för bränslelagring vilket innebär platskrävande ingrepp på tomten. Systemet kan också få problem med effekttoppar eftersom det saknas en backup som kan bidra med el och värme under kritiska perioder. Batterierna kan hjälpa till att täcka topparna men det förutsätts att de laddats upp av kraftverkets elöverskott. Kraftverkets låga verkningsgrad för elproduktion kombinerat med en begränsad solinstrålning gör att elförsörjningen under vinterhalvåret kan bli kritiskt för systemet.

Solcellerna och solfångarna utgör ett visst inslag på byggnaden då de tar upp större delen av takets yta. Kraftverket kräver ett stort utrymme för både bränsle och maskineri som bör vara väderskyddat. Lagringen för batterier utgör också ett platsutrymme men anses var liten i förhållande till kraftverket. Upptagen yta som lagringen kräver tar inte bara stor plats utan kan också ur ett arkitektoniskt perspektiv ge negativa effekter.

Tekniken för solceller och solfångare befinner sig i ett moget kommersiellt stadium men tekniken och den kommersiella utvecklingen för småskaligt kraftverk är begränsad. Det innebär att utbudet på småskaliga kraftverk med stirlingmotor är relativt dåligt. Kraftverket kräver underhåll och drivs av bränsle som t.ex. pellets vilket innebär att det behöver aktivt arbete för att fylla på bränsleförråd. Tekniken för batterier är idag främst anpassad för kortvarig lagring.

Systemet medför väldigt små merkostnader. Det innehåller dock osäkerheter vid framförallt kostnaderna för kraftverket vilket skulle kunna innebära att de verkliga kostnaderna skiljer sig.

### 9.3 Fall C

#### El

Vindkraft

Vätgas

Batterier

#### Värme

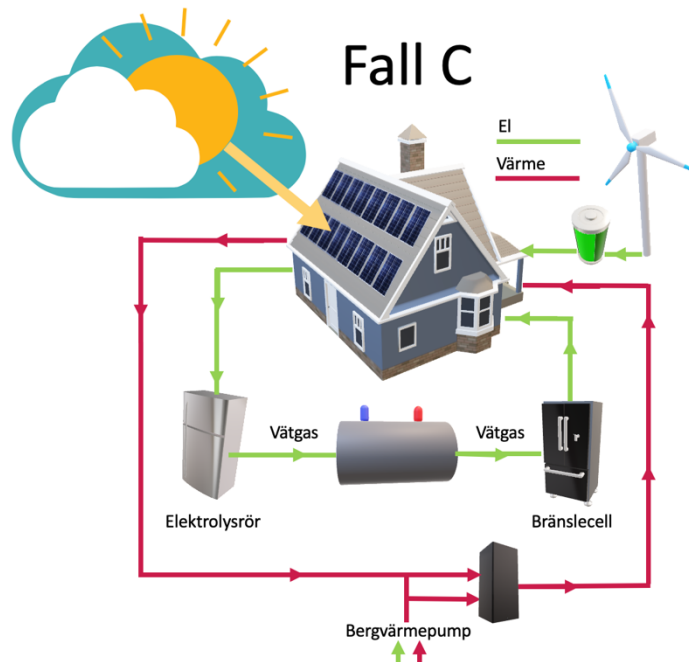
Solfångare

Bergvärmepump

Vätgas

#### Förutsättningar

I fall C utgör vindkraft den primära energikällan för att tillhandahålla elektricitet till byggnaden. Vindkraften kommer att skapa ett överskott som används för att bilda vätgas och ladda batterierna. Batterierna tillgodoser byggnadens elbehov under kortare perioder och vätgas fungerar som säsongslagring för både el och värme. Värmebehovet uppfylls genom solfångare som kompletteras med en bergvärmepump. För att kunna tillgodose värmebehovet under perioder då det uppstår effekttoppar används el som utvinns från vätgasen för att driva värmepumpen och en elpatron vid behov. Systemet illustreras i figur 84.



Figur 84 - Illustrationsbild Fall C



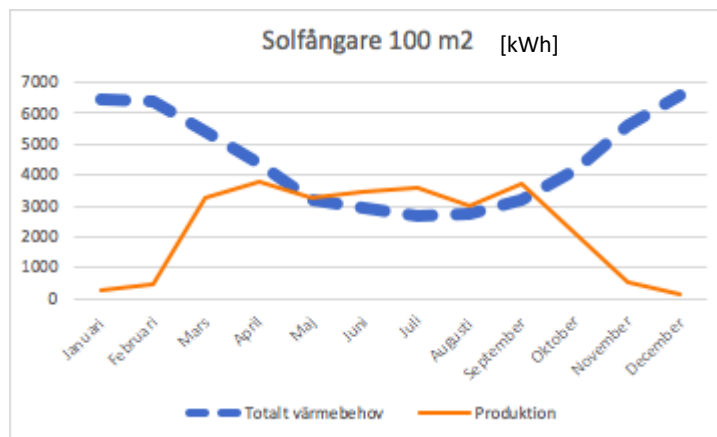
### Beräkningsavgränsningar

I beräkningarna antas det inte ske någon ökning av elbehov på grund av elektrolys och bränslecell. En potentiell ökning av effekttoppen för el på grund av elpatronen tas inte med i beräkningarna.

### Värme

Värmebehovet för fall C är 53 786 kWh/år. Värmeproduktionen kommer framförallt att ske genom solfångare på taket och bergvärmepump. I båda fallen kan energilösningarna kopplas till en ackumulatortank som antingen direkt värmer upp byggnadens tappvarmvatten och värmesystem eller kortvarigt lagrar värmen. Under vinterhalvåret när värmeproduktionen för solfångarna är låg och värmepumpen inte levererar tillräckligt med värme kan el från vätgas nyttjas för användandet av en elpatron kopplad till värmepumpen.

Förutsättningar för solfångare i fall C är identiska med förutsättningarna för fall B. Det installeras 100 m<sup>2</sup> solfångare på taket. Värmeproduktionen från solfångare redovisas i figur 85.



Figur 85 - Solfångare 100 m<sup>2</sup>, värmeproduktion över året

Den årliga produktionen från solfångarna är 27 539 kWh och överskottsproduktionen är 2229 kWh. Värmebehovet som behöver tillgodoses av bergvärme kombinerat med vätgas är 28 477 kWh under perioden oktober till april. Vätgasen används för att driva en elpatron i värmepumpen för att ta hand om effekttoppar.

Värmepumpen dimensioneras för att tillgodose byggnadens resterande värmebehov upp till 90% av det totala värmebehovet. Detta motsvarar 60% av effektbehovet. Pumpen har ett COP-tal på 4,5. För resterande del kompletteras värmepumpen med en elpatron som får ström från vindkraft, vätgas och batterier.

Dimensionering av värmepump sker som i fall A.

Värmepumpen dimensioneras för att klara en effekt på 11,8 kW. Till detta installeras borrhål som har ett totalt djup som är 262 m. Längden delas upp på två borrhål om 131 m vardera.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Värmebehovet som värmepumpen behöver tillgodose beräknas:

$$53\,786 * 0,9 - 27\,539 = 20\,869 \text{ kWh}$$

Värmepumpen kommer att bidra till en ökad eleffekt och elbehov.

Övriga 10% av byggnadens totala värmebehov som inte pumpen klarar att leverera behöver tillgodoses av en annan värmekälla. För denna del kompletteras värmepumpen med en elpatron som får ström från vindkraft, vätgas och batterier. Värmen som behöver tillgodoses från denna är:

$$53\,786 - 48\,407 = 5\,379 \text{ kWh.}$$

Dimensionerande effektbehov för värme är 19 650 W. För att täcka effekttoppen kompletteras bergvärmepumpen med en elpatron. Bergvärmepumpen har en effekt som är 11 790 W.

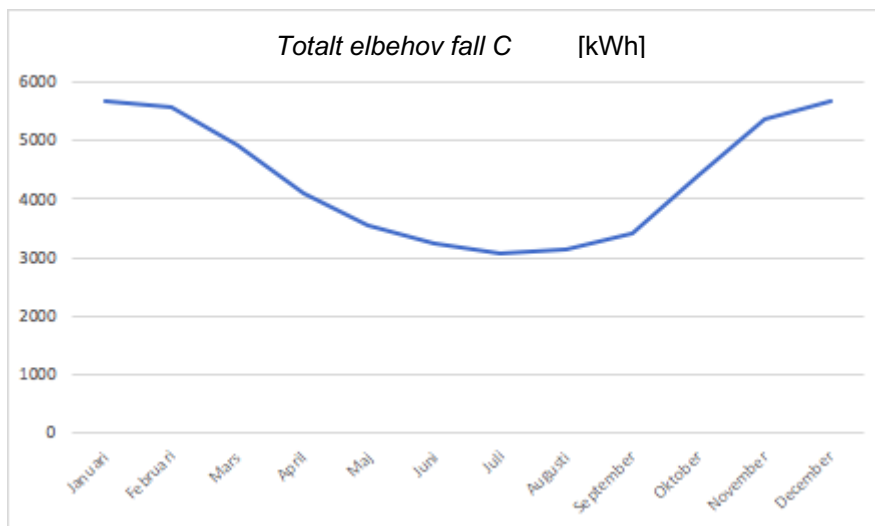
Effekten som behöver genereras av elpatronen:  $19\,650 - 11\,790 = 7\,860 \text{ W}$ .

### El

För att driva värmepumpen krävs el vilket ökar det årliga elbehovet:

$20\,869 / 4,5 = 4\,638 \text{ kWh/år}$ . Den ökade elförbrukningen från värmepumpen fördelas så att behovet uppstår då värmepumpen används.

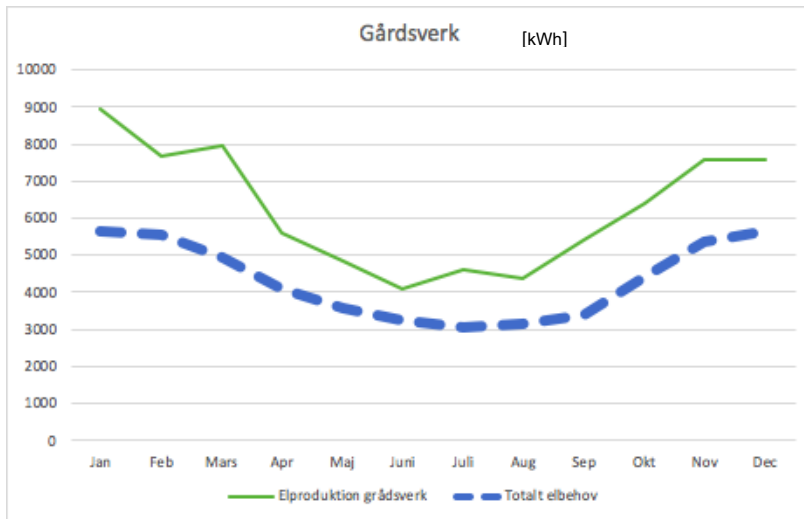
Det totala elbehovet för fall C redovisas i figur 86 och är  $47\,423 + 4\,638 = 52\,060 \text{ kWh/år}$ .



Figur 86 - Totalt elbehov

Det valda vindkraftverket är ett gårdsverk med 12 meter i rotordiameter och med en total energiproduktion som uppgår till 75 000 kWh/år. Detta täcker enligt figur 87 byggnadens elbehov men eftersom det inte alltid blåser krävs det under vindstilla perioder en elförsörjning som då behöver tillgodoses med hjälp av vätgas och batterier.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus



Figur 87 - Elproduktion för ett gårdsverk över året

Bergvärmepumpen innebär att effektbehovet för el ökar i fall C.

Ökning av effektbehov beräknas:

Effektökningen på grund av värmepumpen antas vara 50% högre än genomsnittseffekten för december.

Elbehovet för värmepumpen i december är 891 kWh.

Genomsnittliga effekten:  $891 \text{ kWh} * 1000 / (24 * 31) = 1198 \text{ W}$

Dimensionerande effekt:  $1,5 * 1198 = 1797 \text{ W}$

Effekttopp:  $9180 + 1797 = 10976 \text{ W} \approx 11 \text{ kW}$

Den typen av vindkraftverk som beräkningarna har gjorts på kan leverera mellan 10 - 50 kW förutsatt att vindförhållandena är goda så att den kan täcka effekttoppen.

### Kostnader

#### Vindkraft

Priset för vindkraft baseras på uppgifter från Jörgen Bjerknäs som arbetar på GiroVind Energi AB vilka är en leverantör av vindkraftverk.

Uppskattat pris för anläggningen är: 950 000 – 1 250 000 kr.

Medelvärde för pris beräknas:

$(950\,000 + 1\,250\,000) / 2 = 1\,100\,000 \text{ kr}$

#### Batterier

Pris för batterier beräknas enligt Fall B.

#### Solfångare

Pris för solfångare beräknas enligt Fall B.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

### Bergvärmepump

Pris för bergvärmepump beräknas enligt Fall A.

### Vätgas

Pris för vätgas baseras på tidigare uppgifter. Priserna har skalats ner för att passa en anläggning som skall klara av att förse byggnaden med el under juni månad vilket är en av de månaderna då det blåser minst. Elbehovet för juni är 3232 kWh.

Den totala kostnaden för systemet sammanställs i tabell 54.

Tabell 54 - Sammanställning av kostnader

Teknik	Livslängd [år]	Kostnad [kr]	Årskostnad [kr/år]
Vindkraft	25	1 100 000	44 000
Batterier	30	1 038 000	34 600
Solfångare	40	500 000	12 500
Bergvärmepump	15	250 000	16 700
Vätgas	20	1 375 000	68 750
Elektrolysör och torkfilter		285 000	(exkl moms, kringutrustning, installation)
Kompressor		210 000	
Vätgastank		575 000	
Bränslecell		225 000	
Styrssystem		80 000	
<b>TOTALT</b>		<b>4 263 000</b>	<b>176 550</b>

Årskostnad för systemlösningen: 176 550

Ökad kostnad för systemlösningen per år:  $176\,550 - 117\,700 = 58\,850$  kr/år

### Analys fall C

Vindkraftverket har en hög elproduktion som över året täcker byggnadens energibehov med god marginal. Vindkraften levererar dessutom en stor mängd el under vinterhalvåret vilket är en stor fördel. Dess överskottsenergi kan lagras i både batterier och vätgas som vid ett senare tillfälle kan användas när vindkraftverket inte levererar någon el. Lagringen i batterier och vätgasen blir viktig för att kunna tillgodose både el- och värmebehov vid effekttoppar. Energilösningarna skapar ett försumbart ingrepp på fastigheten men upprättandet av vindkraftverk medför risk för buller och för att is lossnar vilket gör att det måste placeras på en godkänd och säker plats. Om det inte går att placera på tomten krävs det att det placeras på annan plats. Systemet är inte beroende av något bränsle utan är helt baserat på flödande resurser som sol, vind och solenergi lagrad i berget i form av bergvärme. Ur ett uppvärmningsperspektiv tillhandahåller värmepumpen en stabil värmeproduktion under stora delar av året. Vätgas och batterier kommer under kritiska perioder att kunna bidra med ett tillskott via en elpatron om pumpens kapacitet inte räcker till. Beräkningen av den mängd energi som vindkraftverket producerar ger ett högt värde som baseras på en förenklad formel. Egentligen är det mängder av parametrar som

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

kommer att spela in men många av dessa parametrar är okända. Exempelvis är det inte ännu säkert exakt vart verket kommer att placeras eller känt hur dess omgivning ser ut vilket påverkar vindförhållandena.

En av de största nackdelarna med fall C är att systemet använder vinden som enda energikälla för el vilken både är opålitlig och skiftande. Energin som utvinns från vindkraften fluktuerar under året och likt solceller går det inte att garantera en stabil elproduktion. Därför finns risken att det uppstår bristfälligheter i elförsörjningen under vindstilla perioder. Det gäller framförallt under effekttoppar. Systemet blir dessutom väldigt känsligt om vindkraftverket skulle drabbas av problem och driftstopp.

För uppvärmning är det dimensionerat för att solfångarna täcker värmebehovet under sommarmånaderna. Precis som vinden är solen en intermittent energikälla som inte kan garantera en given värmeproduktion.

Batterier och vätgas kommer att utgöra en central del av systemet eftersom det ständigt kommer att behöva finnas energi lagrad för att kunna leverera vid effekttoppar och perioder när det inte blåser. Det krävs stor mängd lagringsutrymme för batterier och vätgas om det ska gå att ta tillvara på all elen som vindkraften producerar. Då överproduktionen från vindkraften är stor finns det en överhängande risk att energi går till spillo om lagringen redan är full. Ifall all energi som vindkraftverket producerar skulle lagras hade det behövts ett stort utrymme för batterier och vätgas.

Både solfångare och värmepump som används för att tillgodose värmebehovet är etablerade tekniker. Utvecklingen av vindkraften är också på ett moget kommersiellt stadium. Lagringsteknik genom vätgas och batterier är under stor utveckling och har enorm potential. Problemet är att det fortfarande är väldigt höga initiala kostnader. Systemet medför relativt stora merkostnader, detta är på grund av att det innehåller ett antal lösningar som är relativt dyra så som batterier, vätgas och vindkraft.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

## 10 Diskussion

### 10.1 Fall A, B, C.

I kapitel 6 utreds endast ett visst antal lösningar vilket inte behöver innebära att något av de undersökta alternativen är mer lämpligt än något annat. De tre fallen är förslag på kombinationer som bygger på ett system där det redovisas hur de fungerar och kompletterar varandra. Hur stor andel som respektive del behöver uppfylla av byggnadens energibehov är inte bestämt utan det kan finnas ett annat förhållande som är bättre beroende på ur vilken synvinkel som man betraktar det ur och vad som prioriteras. Vad som kan prioriteras kan till exempel vara att det skall vara så billigt som möjligt, erbjuda en säker energiproduktion, ha så lite inverkan på byggnaden som möjligt eller bidra med så lite miljöpåverkan som möjligt. Ett alternativ att undersöka är ett fall där samtliga lösningar används. Det skulle vara svårt att motivera ett sådant fall eftersom det varken hade varit effektivt ur till exempel ett energisparande- eller kostnadsperspektiv. Stora mängder energi hade gått till spillo då mängden energi som är möjlig att lagra är begränsad och lagringsmetoderna har energiförluster både vid omvandling och över tid. Kostnaderna hade också blivit väldigt stora och det hade varit svårt att motivera varför det ska ersätta det befintliga systemet.

Mycket av elen och delar av värmen kommer från intermittenta energikällor som sol och vind vilket gör det problematiskt att alltid kunna tillgodose byggnadens energibehov då det inte är garanterat att det produceras energi vid en specifik tidpunkt. I och med att påfyllning av energilager sker från samma källor så innebär detta också att det inte går att garantera att lagren har tillräcklig kapacitet när de behövs. För att garantera energiförsörjningen till byggnaden bör systemet bestå av minst en energikälla som inte är beroende av vind eller sol. Detta innebär att stora resurser kommer att behöva läggas på dimensionering och utformning av lagring. Det finns också risk för att dessa blir överdimensionerade och står tomma stora delar av tiden. Både batterier och vätgas är idag väldigt dyrt vilket gör investeringen kostsam. Samtidigt är teknikerna under stor utveckling och det sker en utveckling mot att det anpassas för småskalig användning som kan användas för både kort- och långvarig lagring. Priserna som redan har sjunkit kraftigt de senaste åren kommer att sjunka ännu mer i takt med att det blir mer kommersialiserat och efterfrågan ökar. Det är troligt att det är priset som hindrar teknikerna från att användas mer kommersiellt. Detsamma gäller för kraftverk och småskalig vindkraft där det sker en anpassning till småskalig produktion. Detta innebär att det i dagsläget kan vara olönsamt att genomföra vissa lösningar men att vissa kombinationer av lösningar kan vara lönsamma i framtiden.

En del lösningar konkurrerar med varandra då det kommer till plats som till exempel solceller och solfångare. Detta gäller speciellt då det behövs stora mängder i och med att ytan att placera dem på är begränsad. Solceller och solfångare är mer optimalt för småhus eftersom taket har en större yta i förhållande till byggnadens uppvärmda area. Både vindkraft och kraftvärme är två produktionsmetoder som kräver mycket plats. Vindkraft fungerar bäst i öppen miljö och fungerar därför inte optimalt i kuperad terräng eller i stadsområden. Det gör att det i dagsläget är mer anpassad till storskalig produktion där den kan placeras utanför staden och i områden med mycket blåst. Kraftvärmeverket finns i dagsläget i begränsad utsträckning anpassad för småskaligt bruk utan används mer

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

för uppvärmning i större anläggningar för uppvärmning till fjärrvärmenät. En viktig aspekt i dimensionerande av kraftvärmeverket och stirlingmotorerna är att företaget som levererade tekniken under examensarbetets gång gick i konkurs. Detta är något som kan ifrågasätta systemets trovärdighet och bör tas med i beräkningen att det kan finnas en viss felmarginal. Kraftvärmerna kräver ett lager med bränsle vilket behöver mycket plats och hantering av påfyllning. Detta gör att de skulle kunna vara bättre anpassade till större anläggningar eller områden med större behov.

Det största problemet med systemen är i dagsläget att det krävs att många olika lösningar kombineras för att uppfylla alla behoven. Ofta är det inte lönsamt att dimensionera en lösning för att klara hela effektbehovet då det inte är effektivt eftersom lösningen i så fall blir överdimensionerat och inte använder sin fulla potential den större delen av tiden. Detta innebär att det krävs att flera lösningar skall kunna operera samtidigt för att kunna klara av de värsta effekttopparna. Detta gör systemen både komplicerade, dyra och kräver att de har lösningar som har en kort responstid för att snabbt kunna skjuta till effekt då det finns behov.

Hur energisystemen påverkar de boende är svår att exakt förutsäga men troligtvis räcker det med en drifttekniker som underhåller och kontrollerar så att systemen fungerar som de ska. Risken är att människor blir avskräckta av den här typen av boenden för att de tror att det krävs stor teknisk kunskap och intresse för att bo där. Fallet behöver inte vara sådant men en stor del kommer att ligga hos företagen som bygger att de utformar lösningar och regelsystem som både är väl övervägda och genomtänkta.

### 10.1.1 Effekttoppar

För att kunna tillgodose effekttopparna som uppstår krävs det att det vid samma tidpunkt som effekttoppen uppstår går att leverera samma mängd energi till byggnaden. Detta skapar svårigheter eftersom det är svårt att uppskatta när effekttopparna uppstår. Energisystemen är aktiva vid olika tidpunkter vilket skapar svårigheter för vilken produktion som blir dimensionerande. Solceller producerar till exempel inte så mycket på vintern eller på natten. Eftersom systemlösningarna förlitar sig på någon form av lagring som behöver fyllas på med hjälp av överproduktion går det inte att garantera att de är påfyllda och kan leverera rätt effekt då effekttoppen uppstår. Om effekttoppen uppstår efter en period där det inte har producerats så mycket energi utan byggnaden har varit beroende av lagren en längre stund så skulle det kunna uppstå en situation där inte energilagren kan leverera rätt effekt till byggnaden även om den kan det om den är fulladdad. Vad som också komplicerar det ytterligare är om effekttoppen för värme och el uppstår samtidigt då vätgasen kan leverera värme eller el men inte maxeffekt för båda samtidigt.

## 10.2 Antaganden, osäkerheter och förutsättningar

### 10.2.1 Antaganden

Det antas att utrustning som används för vitvaror och annan teknik som har inverkan på elförbrukningen redan är optimal. Det hade troligtvis gått att sänka elförbrukningen om det hade installerats en mer energieffektiv utrustning men utförandet begränsades av att den befintliga utrustningen inte var helt känd.



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

I beräkningarna vid vätgas och bränsleceller görs antaganden om systemets verkningsgrad. Processen som sker vid elektrolysen och i bränslecellen avger värme vilket det skulle kunna vara möjligt att ta tillvara på men som det antas att detta inte går att ta tillvara på. Hade detta inkluderats hade det ökat verkningsgraden för vätgas.

Det antas att tappvarmvattenbehovet och hushållselen följer fördelningar enligt FEBY12. Vid dimensionering av batteriernas kapacitet antas det att effekttoppen sker i mars samtidigt som elradiatorerna går på full effekt. Detta är för att vara på säkra sidan och att batterierna skall kunna hjälpa till för att täcka en del av en effekttopp. Det antas också att elbehovet är 13% högre då än vad det är under ett genomsnittligt år vilket kan variera från år till år.

Flera värden som ansätts till vad som anses vara rimliga värden. Till exempel värmepumpens verkningsgrad på 4,5. Systemförluster och verkningsgrader för solfångare/solceller används till programmets standardvärden. Vid dimensionering av solfångare antas värme på inkommande vatten, storlek på ackumulatortank, värmeförluster, vattenförbrukning och flödeskapacitet för systemet. Dessa parametrar begränsar hur mycket värme som det går att få ut från systemet vilket är varför den inte producerar mycket mer under sommarmånaderna än under sen vår och tidig höst. Alla geografiska och byggtkniska förutsättningar antas. Exempel på sådana är att det inte finns en sjö i närheten för användning av sjövärmepump, att det inte finns kuperad terräng att utnyttja för pumpkraftverk eller att det inte fås plats med markvärmepump på tomten. Det antas att det fås plats med ett kraftvärmeverk på tomten eller att vindkraftverket kan placeras i närheten.

I referensbyggnadens energianvändning ingår brukarberoende parametrar som gör att förbrukningen varierar beroende på brukarna. Då det saknas en individuell mätning för varje brukares specifika energianvändning baseras värdena på schabloner från Boverkets författningssamling BEN2. Detta innebär att det inte går att göra energiförbättringar på dessa värdena då förbättringarna hade varit baserat på schabloner som inte nödvändigtvis överensstämmer med verkligheten. Hade dessa parametrar varit uppmätta för huset hade det varit möjligt att göra förbättringar. Det går inte heller att veta ifall huset som byggs kommer att vara exakt lika tätt och konstruerat på identiskt sätt som ritningarna för referensbyggnaden. Till exempel så beror lufttäteten av byggnaden till stora delar av utförande. Flera av värdena som till exempel lufttätning och VVC-förluster är baserade på schabloner och skulle kunna minska vid en optimalt utförd byggnad.

Ventilationen i byggnaden är konstruerad så att den har ett ökat flöde under 14 timmar. Under de resterande 10 timmarna från morgonen till eftermiddagen så sänks flödet vilket kan göras eftersom de boende vanligtvis inte är hemma under de timmarna. Det förutsätter att alla som bor i huset arbetar eller går i skolan vilket inte behöver vara fallet.

### 10.2.2 Osäkerheter i beräkningarna

Beräkningarna för utvinning av vindkraft är förenklade och ger ett värde i det högre spannet. Beräkningarna har även baserats på uppmätta fördelningar för vindhastigheten, dessa kan variera från år till år och beror på parametrar som höjd och terräng som vinden

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

mäts på. Vid beräkningarna för att ta fram nya U-värden för delar i klimatskalet var det vissa anslutningar som saknade en komplett ritning vilket gjorde det problematiskt att få fram ett korrekt värde för dessa anslutningar. Minimering av köldbryggor har inte kunnat beräknats exakt på grund av osäkerheter i underlagsmaterial. Att räkna ut ett helt korrekt värde på vad effekttopparna uppgår till är komplicerat då de uppstår under korta tidsperioder. Därför fick uppskattningar utföras utifrån andra variationer som tagits fram baserat på den privata elförbrukningen.

Beräkningarna för varje specifik lösning kan variera mycket. Framförallt gäller det de tekniker som är under stor utveckling som exempelvis batterier och vätgas. Ett värde som gällde för ett år sedan kan vara inaktuell idag. Det gör det svårt att ta fram korrekta värden vare sig det gäller produktionskostnad, energieffektivitet eller lagringsmöjlighet. En annan del som bör tas i beaktning vid beräkningarna är att flera källor utgår från siffror som säljare och företag tagit fram vilket betyder att de inte är helt objektiva i sina bedömningar.

Vid beräkningar av energiproduktion från solfångare och solceller har det använts förenklade program som ger ett ungefärligt värde. För en exaktare dimensionering bör mer kvalificerade program användas.

Kostnadsberäkningarna är grovt uppskattade eftersom de olika systemen kan variera stort i pris beroende på dimensionering och utformning. Det gör att de redovisade siffrorna är osäkra. Det är framförallt siffrorna för kraftvärmeverket och lagring av vätgas som är svårt att uppskatta då teknikerna inte är fullt kommersiellt utvecklade.

För att få mer rättvisa och korrekta resultat skulle det behövas utföras vidare utredning för varje enskild teknik och åtgärd. En sådan utredning skulle dock sträcka bortom ett examensarbete omfattning ur aspekter gällande både tid och kunskap. Om en utredning i den graden ska utföras är det rimligare och mer lämpligt att det utförs i forskningssammanhang och inte ett examensarbete.

### 10.2.3 Begränsningar vid anpassning till BoKloks moduler

Energieffektiviserande åtgärder som applicerats är anpassade till BoKloks moduler. Detta innebär en del begränsningar för byggnadens energieffektivisering. Vissa lösningar hade kunnat optimerats och utformats på ett annorlunda vis men hade samtidigt fört med sig ett stort ingrepp på den befintliga konstruktionen. Ett exempel på detta är ytterväggarna vars tjocklek hade kunnat ökas genom en tilläggsisolering och på så sätt minska  $U_m$ . Ett annat exempel är att utforma ett takutsprång eller förändra lutningen på taket för att optimera användningen av solceller och solfångare. En annan möjlig lösning är att utforma huset mer likt en kvadrat. Det skulle innebära en större inneslutande volym i förhållande till arean vilket minskar energianvändningen. Genom att konstruera huset med en tyngre stomme hade värme kunnat lagras på ett effektivare sätt vilket kunde ha bidragit till ett minskat energibehov. Detta hade också inneburit jämnare inomhustemperaturer. Utnyttjandet av passiv värme från solen hade också kunnat optimerats genom att till exempel placera en större mängd fönster i söderläge. Det för dock med sig problem med övertemperatur som är viktigt att ta hänsyn till. Detta blir extra påtagligt under sommarmånaderna när byggnaden har en lätt stomme och ett välisolerat klimatskal. En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är krav på dagsljusfaktor. Åtgärder som dessa hade

påverkat både energibehoven över året och effekttopparna som uppstår vilket i sin tur påverkar energiproduktionen. Desto lägre energibehovet är, desto mindre energi behöver energilösningarna leverera till byggnaden.

### 10.2.4 Begränsningar på grund av brukarbeteenden

Energieffektiviserande åtgärder som utförts och applicerats är de som relativt enkelt går att beräkna. I praktiken finns det flertalet andra energieffektiviseringsåtgärder som det inte har gjorts beräkningar på men som kan användas för att få ner energianvändningen i byggnaden. För att få mer korrekta värden som speglar en mer egentlig användning bör undersökningar utföras på varje enskild brukares beteende. Det kan göras genom att intervjuer, specifika mätningar eller enkätundersökningar. I den här rapporten valdes det, främst på grund av tidsbrist att inte prioritera just de brukarberoende faktorerna.

Det skulle till exempel vara möjligt att effektivisera driftelen. Hissar och lampor i trappuppgången hade kunnat effektiviserats men eftersom det är beroende av hur mycket brukarna rör sig in och ut ur byggnaden så är det svårberäknat. Effektivare vitvaror och effektivisering av annan hushållsel som belysning, TV etc. och andra energikällor som utgör en stor del av elbehovet har en inverkan på elbehovet och är ytterligare åtgärder som går att reglera för att få ner kraven på produktionsmetoderna. Här skulle det kunna gå att utföra ytterligare regleringar och effektiviseringar för att få ner kraven på produktionsmetoderna. För att minska användningen av varmvatten går det att utforma vattensnålare vattenkranar och tvättmaskiner som använder kallvatten till exempel. En annan åtgärd är att sänka inomhustemperaturen och på det viset minska byggnadens värmebehov. Problemet med den här typen av åtgärder är att de är brukarberoende och därmed är beroende av brukarna som bor och använder byggnaden. Skillnaden i tappvarmvattenförbrukning mellan en person som duschar två gånger per dag är stor i jämförelse med en person som bara duschar några gånger i veckan. Detsamma gäller för elektricitet för en person som låter alla lamporna i lägenheten vara tända hela tiden i jämförelse med en person som nästan aldrig har de tända. På grund av detta är det svårt att göra uppskattningar i hur mycket som det går att minska energibehovet genom att göra energieffektiviseringar för delar som är direkt brukarberoende. Speciell påverkan av brukarbeteenden har effektbehovet som uppstår. Har de som bor i byggnaden liknande beteenden och använder sig av energi vid samma tillfälle stiger effektbehovet hos byggnaden men om de har olika beteenden och inte använder sig av energi samtidigt minskar effektbehovet i byggnaden.

## 10.3 Möjligheter med andra förutsättningar

### 10.3.1 Off grid område

I rapporten begränsas arbetet till att endast göra utredningar för ett off grid hus. Hade arbetet istället utförts för att undersöka ett helt off grid område, där ett antal byggnader är uppkopplade på samma nät och inte det allmänna nätet hade förutsättningarna förändrats. Det hade möjliggjort användandet av lösningar som dels var anpassade till större skala och dels kunde samverka mellan flera byggnader. Om det dessutom hade varit varierande verksamheter som affärer och kontor hade ett effektivt värmeutbyte genom ett balanserat nät kunnat ske. I ett off grid område hade också användandet av micro grid och närvärme

kunnat appliceras och nyttjats. Ett micro grid hade kunnat göra samma sak för el där flera byggnader är sammankopplade på ett eget litet elnät som drivs av en elproducent i lite större skala som t.ex. ett större vindkraftverk. Genom att använda sig av mindre nät hade det varit möjligt att inte producera energin på tomten utan istället lägga den en liten bit bort eller på en tomt som är kopplad till området. Möjligheterna för en gemensam värmelagring hade varit genomförbar i en akvifer eller borrhålslager eftersom det ger mindre energiförluster i förhållande till lagrad mängd vid större skalor. Fler hushåll innebär ett större totalt elbehov vilket skulle kunna motivera användandet av ett pumpkraftverk för att lagra energi som kan utvinna till elektricitet.

### 10.3.2 Möjlighet att koppla upp on grid

I rapporten är alla lösningarna anpassade till ett hus som inte är uppkopplat till elnätet eller fjärrvärmenätet. Vid möjlighet att koppla upp sig på de allmänna näten och använda de som reserv vid behov så förändras förutsättningarna för byggnaden. Den främsta användningen som byggnaden hade haft av detta är att använda de allmänna näten för att ta hand om effektoppar. Detta hade inneburit att många av de lösningar som presenteras i rapporten för att ta hand om effektoppar inte är nödvändiga medans man samtidigt har en byggnad som till stor del är självförsörjande på värme och el. Lösningar som potentiellt inte hade behövts användas är elpatron och delar av vätgaslagringen samt batterierna. Det hade också inneburit att kraftverket och värmepumpen hade kunnat dimensioneras för mindre effekt. Ytterligare en möjlighet som hade uppstått är möjligheten att kunna sälja av överproduktion av solenergi till elbolagen.

En annan intressant del att ta hänsyn till är användandet av lösningar som inte baseras på en förnybar energikälla. Det är framförallt när effektopparna uppstår som det kan bli svårt att tillgodose byggnaden med en tillräcklig effekt. Istället för att använda dyra lagringsmetoder som vätgas och batterier hade till exempel en dieselgenerator kunnat startas under kritiska perioder. Den totala kostnaden hade minskat väsentligt samtidigt som energibehovet hade tillgodosetts. Å andra sidan går då projektet från att vara helt självförsörjande av förnybara energikällor. Något som bör övervägas är hur viktigt det är att verkligen vara helt off grid och samtidigt basera all energiproduktion på förnybara energikällor. Under stora delar av året är det relativt oproblematiskt att dimensionera en byggnad för att vara helt off grid men det är under de kritiska effektopparna som det idag inte finns en given lösning. Då skulle det vara mer rimligt ur ett ekonomiskt perspektiv att koppla upp sig till nätet eller använda en energilösning som drivs av ett mer tillförlitligt och beprövat bränsle.

## 10.4 Vidare studier

Mycket av tekniken som används vid utförandet av energiförsörjning av en byggnad finns idag tillgänglig på marknaden. Det är däremot inte lika mycket som är anpassat för småskaligt bruk eller för flerbostadshus och off grid. Det är framförallt de tekniker med syfte att lagra som är under stor utveckling och i dagsläget är väldigt kostsamt. Värmelagring är ett bra exempel på något som kan undersökas i vidare studier. Går det att anpassa en kort- och långtidslagring i akviferer och borrhål för småskalig användning. Är det möjligt att använda olika fasomvandlande ämnen för att lagra och sen kunna utvinna värme när behovet är stort är något som också kan tas vidare.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Det utförs idag mycket forskning inom området att lagra el i batterier och vätgas vilket drivs framåt av intressenter inom teknik- och fordonsindustri. Detta kommer med stor sannolikhet göra att priserna för olika lagringsmöjligheter sjunker och bli mer tillgänglig för allmänheten. I vidare studier hade det varit möjligt att undersöka olika lagringstekniker mer ingående. Ta fram olika LCCA (Life cost cycle analysis), titta närmare på ingående material och ta fram ett mer genomarbetat och komplett system.

Ett område inom solenergi som skulle vara intressant att ta vidare är metoden med koncentrerade solstrålar. Tekniken är under stor utveckling och används i mer solrika områden anpassade för storskaligt bruk. Det finns möjlighet att undersöka om det är genomförbart och går att anpassa för användning i Sverige och för ett flerbostadshus.

Att undersöka tekniker som kräver flera olika typer av byggnader och sammankopplar områden går att göra mängder av fortsatta studier på. Balanserade nät är något som med stor sannolikhet kommer att introduceras och lanseras på marknaden inom kort för att utnyttja olika byggnader och verksamheters behov. Närvärme och micro grids kommer också att vara en viktig del i energiproduktionen.

Många beräkningar baseras på schabloner och vissa antaganden och parametrar är förenklade. Det hade därför kunnat göras mer exakta mätningar på brukarbeteende för specifik byggnad och utgå från de värdena för dimensionering för till exempel solceller eller vindkraftverk.

I arbetet hade det varit möjligt att utföra mer exakta ekonomiska studier som tar hänsyn till fler parametrar som ger mer exakta värden. Vissa tekniker kräver större underhåll och har annan livslängd vilket kan undersökas mer noggrant för att ta fram ett mer adekvat underlag för investering. Det går också att räkna på när det är lönsamt att koppla upp byggnaden mot nätet istället för att enbart använda förnybar energi och lagring. En studie kring hur byggnaden skall använda sig av näten för att täcka effekttoppar är en intressant aspekt som det går att undersöka.

Undersöka hur en inglasad innergård eller atrium påverkar en off grid byggnad i fler aspekter än de energieffektiva. Vidare studier hade varit att ta hänsyn till fler parametrar som komfort och sociala aspekter. Därefter utfört mer kvalificerade beräkningar för att ta fram mer exakta värden för att se om det är lönsamt ur ett ekonomiskt perspektiv.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

## 11 Slutsats

Det finns en mängd energilösningar för att utforma ett off grid hus vilket betyder att huset kan utformas på många olika sätt med många olika kombinationer av lösningar. I denna rapporten presenteras alla lösningar separat och tre olika kombinationer av lösningar. Flera av de olika lösningarna är fortfarande i en utvecklingsfas och håller på att börja anpassas till att kunna appliceras i mindre skala för enskilda flerbostadshus. Även kostnadsmässigt kommer troligtvis priset de närmsta åren att sjunka för flera av lösningarna.

För att utforma ett off grid hus är det viktigt att minska energianvändningen för huset. Detta för att minska dimensionerna på produktionsmetoderna. Genom att addera 10 cm mineralull till ytterväggarna, 10 cm cellplast till grunden och 10 cm mineralull till vindsbjälklaget, förbättra U-värde på fönster till  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  så minskar byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient från  $0,305 \text{ W/m}^2\text{K}$  till  $0,237 \text{ W/m}^2\text{K}$  och värmeförlusttalet från  $10,55 \text{ W/m}^2$  till  $7,57 \text{ W/m}^2$ . Detta leder också till att årsvärmebehovet minskade från  $62\,715 \text{ kWh/år}$  till  $53\,786 \text{ kWh/år}$ .

### Fall A

Systemet i fall A består av solceller, kraftverk, vätgas och bergvärmepump. Lösningarna kompletterar varandra bra och systemet kan förse byggnaden med pålitlig energiförsörjning för både värme och el som är säker mot störningar och driftstopp. Nackdelen med systemet är att det kräver stora investeringskostnader och att det är ett komplicerat system som medför ett stort ingrepp på byggnaden och tomt.

### Fall B

Systemet i fall B består av solceller, kraftverk, batterier och solfångare. Systemet är förhållandevis billigt men starkt beroende av att kraftverket kan leverera tillräckligt mycket energi för att tillgodose byggnadens behov då solceller och solfångare främst är aktiva på sommaren. Detta gör det känsligt för driftstörningar hos kraftverket. Under sommaren är systemet till stor del beroende av solenergi vilket är en intermittent energikälla. Det finns även risk för energispill då lagringsmöjligheterna är begränsade samtidigt som systemet kan få problem med att klara av effekttoppar under vintertid.

### Fall C

Systemet i fall C består av vindkraft, vätgas, batterier, solfångare och bergvärmepump. För att generera tillräckligt med elektricitet från vindkraftverket kräver det att det är relativt stort vilket kan skapa problem vid placering. Systemet drivs helt på flödande resurser som sol och vind. Värmepumpen kan förse byggnaden med stabil värmeförsörjning sett över året. För el är dock systemet helt beroende av vindkraft vilket dock är en intermittent energikälla, detta innebär att det finns för osäkerheter vid elförsörjning till huset. Systemet är relativt dyrt och består av en del tekniker som inte är helt anpassad till ett flerbostadshus.

### Utmaningar för att leva off grid

Resultaten från fallen visar att det är möjligt att utforma off grid system för energiförsörjning av ett flerbostadshus. Under sommaren så klarar sig huset bra med förnybar energi som laddar någon form av dygnslagring för energi. Det problematiska med att utforma ett off grid hus är att utforma det så att det klarar av energibehoven under

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

vintertid. Detta behöver antingen göras genom att ha en säsongslagring av energi som kan leverera energi till huset under hela vintern eller genom att använda sig av en produktionsmetod som kan producera energi till byggnaden under hela vintern. För dessa metoder är det viktigt att dimensionera dem för att klara effekttopparna som uppstår under vintertid då detta kräver att energilagren är påfyllda och kan leverera den effekt som krävs vid det tillfället. Detta kan bli ett problem om systemet är baserat på energikällor som är intermittenta. Om lagren fylls på från intermittenta energikällor så finns det ingen garanti att de är helt påfyllda vid rätt tillfälle vilket gör att systemet i det fallet inte alltid kan klara av effekttoppen.

Systemet måste dimensioneras för att täcka både energibehov och effekttoppar. Det innebär att systemet i många fall blir överdimensionerade eftersom effekttopparna endast inträffar ett fåtal gånger under året. En slutsats är att värdet av säsongslagrad energi kommer att vara stort för off grid boenden och användandet av intermittenta energikällor.



## 12 Litteraturförteckning

- Abdallah, A., 2014. *Det smarta hemmet – Energianvändarens framtid*, Uppsala: Uppsala Universitet.
- Abel, E. & Elmroth, A., 2016. *Byggnaden som System*. u.o.:Studentlitteratur AB.
- Adalberth et al., 2010. *Energikontoret Skåne*. [Online]  
Available at: <https://www.google.com/search?q=att+bygga+energieffektivt+energikontoret+sk%C3%A5ne&oq=att+bygga+energieffek&qs=chrome.2.69i57j0l2.4105j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>  
[Använd 05 03 2019].
- Aerogel, 2019. *What is aerogel*. [Online]  
Available at: <http://www.aerogel.org/?p=3>  
[Använd 18 03 2019].
- Ander, G. D., 2016. *Daylighting*. [Online]  
Available at: <https://www.wbdg.org/resources/daylighting>  
[Använd 05 03 2019].
- Andersson, J., 2017. *Fjärrvärme och Kärnkraft*. Stockholm: Riksdagen.
- Anna Nordling et al, 2015. *Energilagring – Teknik för lagring av el*, Stockholm: Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien.
- Anna Nordling et al, 2015. *Teknik för lagring av el*, Stockholm: Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien.
- Bärtås, L., 2018. Familjen Wendt bor off grid på Österlen. *Bygga hus*.
- Balkongföreningen Norden, 2019. *Tekniska anvisningar för kvalitetssäkring av balkonger och inglasningar*. [Online]  
Available at: <https://bf.nu/wp-content/uploads/2019/02/Anvisningar-Sverige-februari-2019.pdf>  
[Använd 06 03 2019].
- Berge, A. & Johansson, P., 2012. *Literature Review of High Performance Thermal Insulation*, Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Bokalders, V. & Block, M., 2014. *Byggekologi*. u.o.:Svensk Byggtjänst.
- BoKlok, 2019. *BoKlok*. [Online]  
Available at: <https://www.boklok.se/om-oss/>  
[Använd 10 02 2019].
- BoKlok, 2019. *BoKlok*. [Online]  
Available at: <https://www.boklok.se/hallbarhet/miljomassig-hallbarhet/>  
[Använd 10 02 2019].
- Bolumlid, U., 2011. *Småskalig vindkraft*. [Online]  
Available at: <http://www.windforce.se/vindkraftverk.php>  
[Använd 09 02 2019].
- Borén, E., Ledin, N. & Lindgren, R., 2011. *Kemisk energilagring - En översikt av dagens och framtidens batterier*, Umeå: Umeå Universitet.
- Boverket, 2011. *BBR*. [Online]  
Available at: [https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad\\_bbr\\_2011-6.pdf?fbclid=IwAR36tuTOOIPFVJC2cz05LaoH\\_FqKr9a4F4WDdVWvYQKgBRnRsQVIm9aYTEAM](https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf?fbclid=IwAR36tuTOOIPFVJC2cz05LaoH_FqKr9a4F4WDdVWvYQKgBRnRsQVIm9aYTEAM)  
[Använd 25 02 2019].
- Boverket, 2017. *BBR energikrav*. [Online]  
Available at: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energiekrav/>  
[Använd 23 03 2019].
- Burman, S. & Johansson, V., 2011. *Energilagringsteknik - Latent värmelagring i byggnader*, Umeå: Umeå Universitet.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Byggghus, 2014. *Småskalig vindkraft*. [Online]

Available at: <https://www.byggghus.se/varme/fakta-om-smaskalig-vindkraft>

[Använd 14 02 2019].

Byman, K., 2016. *Sveriges framtida elproduktion*, Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien.

Camping, H. &., 2012. Frihet istället för lyx. *Husvagn & Camping*.

Carlsson, 1985. *Överglasade rum*. u.o.:Svensk byggtjänst.

Charlotta von Schultz, 2019. *Mr Vätgas lagrar solenergi till vintern*. [Online]

Available at: <https://www.elinstallatoren.se/innehall/nyheter/2019/januari/mr-vatgas-lagrar-solenergin-till-vintern/>

[Använd 26 03 2019].

Clase, M., 2010. *Inventering och Utvärdering av högpresterande Isolering*, Göteborg: Skanska.

Dilanson & Shabo, 2014. *Optimering av balkonginfästningar ComBAR glasfiberförtärkt polymerplast som armering i betong*, Stockholm: u.n.

Ekologiska Byggvaruhuset, 2019. *Duschvärmväxlare*. [Online]

Available at: <https://www.ekologiskabyggvaruhuset.se/duschvarmevaxlare>

[Använd 21 02 2019].

Elsäkerhetsverket, 2016. *Informationsbehov och elsäkerhetskrav rörande små- och storskalig energilagring av el*, Kristinehamn: Elsäkerhetsverket.

Energi företagen, 2018. *Elproduktion*. [Online]

Available at:

[https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2017\\_elproduktion\\_vers180704.pdf?v=roFaUkzJ0YPsRpp2vIrNswkKIfc](https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2017_elproduktion_vers180704.pdf?v=roFaUkzJ0YPsRpp2vIrNswkKIfc)

[Använd 13 02 2019].

Energi handbok, 2019. *Jernkontorets energi handbok*. [Online]

Available at: <http://www.energihandbok.se/lagring-av-termisk-energi>

[Använd 23 04 2019].

Energi handbok, 2019. *Jernkontorets energi handbok - lagring av termisk energi*. [Online]

Available at: <http://www.energihandbok.se/lagring-av-termisk-energi>

[Använd 23 04 2019].

Energi kommissionen, 2015. *Energi myndigheten*. [Online]

Available at: [http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/12/Underlagsrapport-till-Energi-kommissionen\\_anv%C3%A4ndning-och-tillf%C3%B6rsel\\_Energi-myndigheten.pdf](http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/12/Underlagsrapport-till-Energi-kommissionen_anv%C3%A4ndning-och-tillf%C3%B6rsel_Energi-myndigheten.pdf)

[Använd 07 02 2019].

Energi kommissionen, 2015. *Energi myndigheten*. [Online]

Available at: [http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/12/Underlagsrapport-till-Energi-kommissionen\\_anv%C3%A4ndning-och-tillf%C3%B6rsel\\_Energi-myndigheten.pdf](http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/12/Underlagsrapport-till-Energi-kommissionen_anv%C3%A4ndning-och-tillf%C3%B6rsel_Energi-myndigheten.pdf)

[Använd 07 02 2019].

Energi marknadsbyrån, 2019. *Konsumenternas energi marknadsbyrå*. [Online]

Available at: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/>

[Använd 13 03 2019].

Energi myndigheten, 2015. *Solceller*. [Online]

Available at: <http://www.energi-myndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/>

[Använd 17 02 2019].

Energi myndigheten, 2015. *Solvärme*. [Online]

Available at: <http://www.energi-myndigheten.se/fornybart/solenergi/solvärme/>

[Använd 22 03 2019].

Energi myndigheten, 2016. *National survey report of PV Power Applications in Sweden*. [Online]

Available at:

[http://www.energi-myndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/national\\_survey\\_report\\_of\\_pv\\_power\\_applications\\_in\\_sweden\\_-\\_2016.pdf](http://www.energi-myndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/national_survey_report_of_pv_power_applications_in_sweden_-_2016.pdf)

[Använd 22 02 2019].

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Energimyndigheten, 2019. *Energilyftet*. [Online]

Available at: <http://energilyftet.learnways.com/Resources/Courses/266/block-5/index.html?v=1537747200036>

[Använd 25 02 2019].

Energimyndigheten, 2019. *Välj rätt värmepump*. [Online]

Available at: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2481>

[Använd 19 02 2019].

Energimyndigheten, 2019. *Välj rätt värmepump*. [Online]

Available at: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2481>

[Använd 19 02 2019].

Energimyndigheten & Boverket, 2005. *Solceller i byggnaden - nya möjligheter*. [Online]

Available at:

[https://liveatlund.lu.se/departments/Building\\_Physics/VBFN01/VBFN01\\_2018HT\\_100\\_1\\_NML\\_1281/CourseDocuments/Solceller%20i%20byggnader%20Energimyndigheten.pdf](https://liveatlund.lu.se/departments/Building_Physics/VBFN01/VBFN01_2018HT_100_1_NML_1281/CourseDocuments/Solceller%20i%20byggnader%20Energimyndigheten.pdf)

[Använd 15 02 2019].

Energybuilding, 2019. *Decentraliserad ventilationeså fungerar det*. [Online]

Available at: <https://www.energybuilding.se/decentraliserad-ventilation/>

[Använd 20 02 2019].

Engie, 2019. *Microgrids*. [Online]

Available at: <https://www.engie.com/en/businesses/microgrids-decentralized-energy/>

[Använd 22 03 2019].

Eon, 2009. *Vindkraft*. [Online]

Available at: [http://www.lth.se/fileadmin/tpe/Kurser/EON\\_Vind.pdf](http://www.lth.se/fileadmin/tpe/Kurser/EON_Vind.pdf)

[Använd 23 04 2019].

Eon, 2019. *The ectogrid technology*. [Online]

Available at: <https://www.eon.se/om-e-on/innovation/ectogrid.html>

[Använd 06 03 2019].

Eriksson, Å., 2009. *Ny teknik för småskalig kraftvärme*, Västerås: Mälardalens högskola.

Farhadian, F., 2014. *Småskaliga vindkraftverk i urban miljö*, Malmö: Lunds Universitet.

FEBY, 2019. *Värmeförlusttal*. [Online]

Available at: <https://www.feby.se/V%C3%A4rme%C3%B6rlusttal>

[Använd 31 03 2019].

Fetahi, A., 2015. *Energilagring och Nätförluster - Fallstudie Öland*, Lund: Lunds Universitet.

FIKK, 2019. *FIKK*. [Online]

Available at: <http://fikk.se/kris-och-katastrof/>

[Använd 01 02 2019].

Finja, 2019. *Cellplast*. [Online]

Available at:

[https://www.finja.se/storage/ma/d23f77eb81f04f04a47f1e9750e00d3f72e67b5010174e8f9cc77394f1e7a725/pdf/5159B98C32782B89423E7499EAADF14E9DC2D1CF/Cellplast%20%C3%96versikt%205012-1\\_SO\\_sv.pdf](https://www.finja.se/storage/ma/d23f77eb81f04f04a47f1e9750e00d3f72e67b5010174e8f9cc77394f1e7a725/pdf/5159B98C32782B89423E7499EAADF14E9DC2D1CF/Cellplast%20%C3%96versikt%205012-1_SO_sv.pdf)

[Använd 07 03 2019].

Gellenmyr, M., 2017. *Villa Skönborg*. [Online]

Available at: <https://byggahussite.files.wordpress.com/2017/10/villa-skoccc88nborg-broschvr-eb.pdf>

[Använd 30 01 2019].

Gunnar Agfors et al, 2014. *Energi möjligheter och dilemman*. 4 red. Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien.

Hilliaho, K., 2017. *Energy saving potential and Interior Temperatures of Galzed Spaces*, Tampere: Tampere University of Technology.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Hunton, 2019. *Hunton Nativo Träfiberisolering Skivor*. [Online]

Available at: <https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-nativo-trafiberisolering-skivor/>  
[Använd 07 03 2019].

Isover, 2019. *Vad är mineralull?*. [Online]

Available at: <https://www.isover.se/vad-ar-mineralull>  
[Använd 07 03 2019].

IVA, 2015. *Energilagring, teknik för lagring av el*, Stockholm: Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien.

Jämtkraft, 2019. *Hur fungerar ett vindkraftverk*. [Online]

Available at: <https://www.jamtkraft.se/om-jamtkraft/var-fornybara-produktion/vindkraft/hur-fungerar-vindkraft/>  
[Använd 23 04 2019].

Javed, S., 2018. *Heat Pump Systems*. [Online]

Available at:  
[https://liveatlund.lu.se/departments/Building\\_Physics/VBFN01/VBFN01\\_2018HT\\_100\\_1\\_NML\\_1281/CourseDocuments/Heat%20Pumps%20-%20LTH%20181004%20SJ.pdf](https://liveatlund.lu.se/departments/Building_Physics/VBFN01/VBFN01_2018HT_100_1_NML_1281/CourseDocuments/Heat%20Pumps%20-%20LTH%20181004%20SJ.pdf)  
[Använd 19 02 2019].

Jensen, W. & Warfvinge, 2001. *Kursmaterial Installationsteknik FK 2001*. [Online]

Available at: <https://docplayer.se/2551142-Varmebehovsberakning-kursmaterial-installationsteknik-fk-lars-jensen-bearbetat-av-catarina-warfvinge-rev-2001-02-08.html>  
[Använd 15 02 2019].

Jernkontoret, 2019. *Lagring av elektrisk energi*. [Online]

Available at: <http://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi/>  
[Använd 22 02 2019].

Jernkontoret, 2019. *Lagring av elektrisk energi*. [Online]

Available at: <http://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi/>  
[Använd 20 02 2019].

Johansson, M., 2017. *Energilagring i vätgas*, Luleå: Luleå Universitet.

Kellner, J., 2016. *Klimat Energi Hållbarhet : är byggsektorn en miljöbov?*. u.o.:Balkong förlag.

Kfsk, 2015. *Energikontoret Skåne*. [Online]

Available at: <https://kfsk.se/energi/kontoretskane/natverk/energiradgivarna-skane/enklav/elproduktion/>  
[Använd 05 04 2019].

Kjellsson, E., 2019. *Solenergi* [Intervju] (25 02 2019).

klimatrådgivningen, E.-. o., 2018. *Fjärrvärme och närvärme*. [Online]

Available at: <https://energiradgivningen.se/smahus/fjarrvarme-narvarme>  
[Använd 06 03 2019].

Kraftnät, S., 2018. *Svenska Kraftnät*. [Online]

Available at: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2018/kraftbalansen-pa-den-svenska-elmarknaden-rapport-2018.pdf>  
[Använd 11 02 2019].

Länsstyrelsen, 2010. *Vindkraft*. [Online]

Available at:  
<http://extra.lansstyrelsen.se/miljosamverkanvastragotaland/SiteCollectionDocuments/Projekt%20och%20rapporter/Energi/Vindkraftverk/vindkraft-handledning-reviderad-jan2010.pdf>  
[Använd 15 02 2019].

Lantero, A., 2014. *How microgrids work*. [Online]

Available at: <https://www.energy.gov/articles/how-microgrids-work>  
[Använd 22 03 2019].

Larsson, Ö. & Ståhl, B., 2012. *Lösningar på lager - energilagringstekniken och framtidens hållbara energiförsörjning*, Stockholm: Vinnova.

Larsson, T. & Berggren, B., 2015. *Undvik fel och fällor med köldbryggor*, Malmö: Skanska.

Lindström, J., 2016. *Solfångare, utredning och prestanda*, Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Malmö, 2015. *Malmö Stad*. [Online]

Available at:

<https://malmo.se/download/18.5f3af0e314e7254d70e6adda/1491304217217/RAPP+KOLL+150923+Klimats%C3%A4krat+Malm%C3%B6.pdf>

[Använd 01 02 2019].

Malmö, 2018. *Malmö Stad*. [Online]

Available at: <https://motenmedborgarportal.malmo.se/welcome-sv/namnder-styrelser/kommunstyrelsen/mote-2018-12-05/agenda/projektpjan-m21-till-ksau-181126pdf?downloadMode=open>

[Använd 11 02 2019].

Markvärme, 2019. *Så fungerar markvärme*. [Online]

Available at: <https://markvarme.se/sa-fungerar-markvarme/#kollektorslangen>

[Använd 19 02 2019].

Monie, S., 2016. *Energilagring för distribuerad produktion av solceller*, Uppsala: Uppsala Universitet.

Nationalencyklopedin, 2018. *Säsongslagring*. [Online]

Available at: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/s%C3%A4songslagring>

[Använd 23 04 2019].

Nationalencyklopedin, 2019. *Polystyren*. [Online]

Available at: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/polystyren>

[Använd 13 03 2019].

Nationalencyklopedin, 2019. *Vindkraftverk*. [Online]

Available at: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/vindkraftverk>

[Använd 15 02 2019].

Naturskyddsföreningen, 2014. *Biobränslen för en hållbar framtid*, Stockholm: Naturskyddsföreningen.

Nilsson, T., 2016. *En kunskapsammanställning om energilagringstekniker & en fallstudie om energilagring i ett flerbostadshus*, Lund: Lunds Universitet.

Offentliga fastigheter, 2017. *Guide för geoenergi*, Stockholm: Offentliga Fastigheter.

Palette, 2., 2019. *Intermediate light shelves*. [Online]

Available at: <http://www.2030palette.org/intermediate-light-shelves/>

[Använd 15 03 2019].

Parkudden Energi, 2016. *Solceller som energikälla i ett off grid hus*. [Online]

Available at: [Solceller som energikälla i ett off-grid-hus och energilagring med vätgas https://kfsk.se/.../wp.../sites/.../2017-04-05-SMHF-Landskrona.pdf](https://kfsk.se/.../wp.../sites/.../2017-04-05-SMHF-Landskrona.pdf)

[Använd 20 03 2019].

Paroc, 2019. *Paroc Spaceloft*. [Online]

Available at: <https://www.paroc.se/om-paroc/nyheter-och-media/nyhetsarkiv/2013/paroc-spaceloft>

[Använd 25 04 2019].

Persson, E., 2015. *Termiska lager för ångproduktion med koncentrerade solfångarfält*, Umeå: Umeå Universitet.

Petersson, B.-Å., 2012. *Byggnaders klimatskärm - Fuksäkerhet energieffektivitet beständighet*. u.o.: Studentlitteratur AB.

Petersson, B.-Å., 2018. *Tillämpad byggnadsfysik*. 6 red. Stockholm: Studentlitteratur AB.

Pilkington, 2012. *Solskydd*. [Online]

Available at: [https://www.pilkington.com/resources/seglasfakta2012\\_solskydd.pdf](https://www.pilkington.com/resources/seglasfakta2012_solskydd.pdf)

[Använd 26 03 2019].

Polarpumpen, 2019. *Då passar bergvärme*. [Online]

Available at: <https://www.polarpumpen.se/varmepumpar/bergvarme/kunskapsbank/passar>

[Använd 23 04 2019].

PU-Nordic, 2019. *Termiska isoleringsmaterial tillverkade av fast polyuretanskum*. [Online]

Available at: [http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/www\\_81228\\_PU\\_Nordic\\_lammoneriste\\_esite\\_sve\\_LR.pdf](http://www.pu-nordic.fi/files/pu-nordic/pdf/www_81228_PU_Nordic_lammoneriste_esite_sve_LR.pdf)

[Använd 11 04 2019].

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Regeringskansliet, 2018. *Regeringskansliet*. [Online]

Available at: <https://www.regeringen.se/49e20a/contentassets/60a67ba0ec8a4f27b04cc4098fa6f9fa/handlingsplan-agenda-2030.pdf>

[Använd 11 02 2019].

Renman, J., 2014. *Renovering av utanpåliggande balkonger*, Umeå: Umeå Universitet.

Sandborg, D., 2006. *Inventering av värmelager för kraftvärmesystem*, Linköping: Linköpings universitet.

Sandin, K., 2010. *Praktisk Byggnadsfysik*. 1 red. Lund: Studentlitteratur AB.

SCB, 2018. *Tillförsel och användning av el*. [Online]

Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlige-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-gwh/>  
[Använd 15 02 2019].

SCB, 2018. *Tillförsel och användning av el*. [Online]

Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlige-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-gwh/>  
[Använd 22 02 2019].

Schultz, C. v., 2018. *VVSForum*. [Online]

Available at: <https://www.vvsforum.se/nyheter/2018/mars/stirlingmotor-fixar-el-och-varme-i-hemmet/>  
[Använd 23 04 2019].

Sens, 2019. *Kallt nät och energilager*. [Online]

Available at: <https://www.sens.se/energilosningar/kallt-naet/>  
[Använd 06 03 2019].

Sjölund, D., 2002. *Prefabricerade balkongers utformning*, Lund: Lunds Universitet.

SLU, 2011. *Lönsamhet för småskalig biobränslebaserad kraftvärme*, Uppsala: SLU.

smartgrid, S., 2019. *Vad är effekttopp?*. [Online]

Available at: <http://swedishsmartgrid.se/varfor-smarta-elnet/fragor-och-svar/vad-ar-effekttopp/>  
[Använd 13 03 2019].

SMHI, 2017. *Vind i Sverige*. [Online]

Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/vind-i-sverige-1.31309>  
[Använd 25 03 2019].

Solar teknik, 2019. *Solar teknik Solfångare*. [Online]

Available at: <https://solar-teknik.se/information/>  
[Använd 22 03 2019].

Solarregion, 2015. *Solar Region Skåne*. [Online]

Available at: <https://solarregion.se/om-solenergi/solceller/hur-skoter-man-en-solcellsanlaggning/>  
[Använd 08 05 2019].

Stad, M., 2015. *Malmö Stad*. [Online]

Available at: <https://malmo.se/download/18.5f3af0e314e7254d70e6adda/1491304217217/RAPP+KOLL+150923+Klimats%C3%A4krat+Malm%C3%B6.pdf>

Strive, 2015. *Strive*. [Online]

Available at: <http://www.striveenergy.se/husagare/stirling-husagare/>  
[Använd 18 03 2019].

Svebio, 2018. *Biokraft*. [Online]

Available at: <https://www.svebio.se/om-bioenergi/biokraft/>  
[Använd 13 03 2019].

Sveby, 2012. *Sveby*. [Online]

Available at: [http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Sveby\\_Energiavtal\\_12\\_version\\_1.0.pdf](http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Sveby_Energiavtal_12_version_1.0.pdf)  
[Använd 01 03 2019].

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Swegon, 2016. *Swegon*. [Online]

Available at: <https://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/sv/DCV-overview.pdf>

[Använd 05 03 2019].

Swegon, 2019. *Demand-controlled Ventilation*. [Online]

Available at: <http://www1.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/en/DCV-overview.pdf>

[Använd 05 03 2019].

Swegon, 2019. *Det här bör du veta om värmeväxlare*. [Online]

Available at: <https://www.swegon.se/guider/olika-varmevaxlartyper/>

[Använd 20 03 2019].

Svensk solenergi, 2009. *Skillnader måste hanteras på rätt sätt*. [Online]

Available at: [http://www.sp.se/sv/units/risebuilt/energy/Documents/ETk/Plana\\_solfangare\\_och\\_vakuumror\\_2\\_EM609.pdf](http://www.sp.se/sv/units/risebuilt/energy/Documents/ETk/Plana_solfangare_och_vakuumror_2_EM609.pdf)

[Använd 22 03 2019].

Svensk Ventilation, 2019. *Olika typer av värmeväxlare*. [Online]

Available at: <http://www.svenskventilation.se/ventilation/varmevaxlare/>

[Använd 20 02 2019].

Svenska Kraftnät, 2018. *Svenska kraftnät*. [Online]

Available at: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2018/kraftbalansen-pa-den-svenska-elmarknaden-rapport-2018.pdf>

[Använd 13 02 2019].

Svenska Kraftnät, 2018. *Svenska Kraftnät*. [Online]

Available at: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2018/kraftbalansen-pa-den-svenska-elmarknaden-rapport-2018.pdf>

[Använd 11 02 2019].

Sveriges Radio, 2019. *Så lagrar du din solenergi i vätgas*. [Ljudupptagning] (Sveriges Radio).

Tabesh, T. & Sertysilisik, B., 2016. *An Investigation into Energy Performance with the Integrated Usage of a Courtyard and Atrium*, Istanbul: Istanbul Technical University.

Taggart Vannini, J. P., 2014. *Off the grid Domestic Life*. New York: Routledge.

Thermia, 2019. *Tre avgörande faktorer när du väljer värmepump*. [Online]

Available at: <http://www.thermia.se/varmepump-kunskap/kopa-varmepump/varmepump-tre-faktorer/>

[Använd 19 02 2019].

Thermia, 2019. *Tre avgörande faktorer när du väljer värmepump*. [Online]

Available at: <http://www.thermia.se/varmepump-kunskap/kopa-varmepump/varmepump-tre-faktorer/>

[Använd 19 02 2019].

Thomppson & Gustafsson, J., 2012. *En jämförelse mellan vakuumisolering och tradinetionell isolering*. Jönköping: Tekniska högskolan Jönköping.

Umeå Energi, 2019. *Tak mot söder ger bästa förutsättningar*. [Online]

Available at: <http://www.umeaenergi.se/el/solceller/ratt-forutsattningar-for-solceller>

[Använd 17 02 2019].

Upphandlingsmyndigheten, 2018. *Byggnadens maximala värmeförlusttal*. [Online]

Available at: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/hallbarhet/stall-hallbarhetskrav/bygg-och-fastighet/lokaler-nybyggnad/totalentreprenad/byggnadens-maximala-varmeforlusttal---krav-vid-upphandling-efter-att-systemhandlingar-ar-framtagna-/>

[Använd 31 03 2019].

Upphandlingsmyndigheten, 2018. *Upphandlingsmyndigheten*. [Online]

Available at: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/hallbarhet/stall-hallbarhetskrav/bygg-och-fastighet/lokaler-nybyggnad/totalentreprenad/byggnadens-maximala-varmeforlusttal---krav-vid-upphandling-efter-att-systemhandlingar-ar-framtagna-/>

[Använd 31 03 2019].

## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus

Vätgas Sverige, 2013. *Vätgas Sverige*. [Online]

Available at: [http://www.scandinavianhydrogen.org/wp-content/uploads/2016/01/nm\\_broschyr130411\\_lowres.pdf](http://www.scandinavianhydrogen.org/wp-content/uploads/2016/01/nm_broschyr130411_lowres.pdf)  
[Använd 20 02 2018].

Vätgas Sverige, 2013. *Vätgas Sverige*. [Online]

Available at: [http://www.scandinavianhydrogen.org/wp-content/uploads/2016/01/nm\\_broschyr130411\\_lowres.pdf](http://www.scandinavianhydrogen.org/wp-content/uploads/2016/01/nm_broschyr130411_lowres.pdf)  
[Använd 20 03 2019].

Vätgas Sverige, 2019. *Vätgas Sverige & Gasföreningen*. [Online]

Available at: <https://www.energiogas.se/library/1684/vaetgasbroschyr.pdf>  
[Använd 18 04 2019].

Wallentén, P., 2019. *Inglasning* [Intervju] (16 05 2019).

Wallentén, P. & Nordquist, B., 2017. *Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. u.o.:u.n.

Vasa Vind, 2014. *Vasa vind Om Vindkraft*. [Online]

Available at: <https://www.vasavind.se/faq.aspx>  
[Använd 07 05 2019].

Vattenfall, 2019. *Dags att byta bergvärmepump*. [Online]

Available at: <https://www.vattenfall.se/varmepumpar/bergvarme/byt-bergvarmepump/>  
[Använd 08 05 2019].

Vattenfall, 2019. *Så fungerar fjärrvärme*. [Online]

Available at: <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>  
[Använd 08 02 2019].

Vattenfall, 2019. *Vindkraft*. [Online]

Available at: <https://www.vattenfall.se/elavtal/energikallor/vindkraft/>  
[Använd 13 02 2019].

Vindlov, 2017. *Definition av klassen*. [Online]

Available at: <https://www.vindlov.se/sv/steg-for-steg/miniverk/definition-av-klassen/>  
[Använd 14 02 2019].

Vinger, E., 2013. *Energi: Möjligheter och Dilemman*. Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien.

Wood, J., 2019. *Infoplease*. [Online]

Available at: <https://www.infoplease.com/science-health/environment-nature/living-grid>  
[Använd 01 02 2019].

Vu, M., 2016. *Urban vindkraft på Tak*, Växjö: Linneuniversitetet.

Östberg, P., 2017. *Vätgas som energilager - Om vätgasens potential som energibärare i temriska kraftverk*, Lund: Lunds Universitet.



## Utredning av energilösningar för ett off grid flerbostadshus