



**CHALMERS**



# Byggnaden som eget system

Installationer för självförsörjning av el vatten och avlopp

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

Erica Tölander

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

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



EXAMENSARBETE ACEX20

## Byggnaden som eget system

Installationer för självförsörjning av el vatten och avlopp

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Erica Tölander



Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Erica Tölander

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2024

Byggnaden som eget system

Installationer för självförsörjning av el vatten och avlopp

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Erica Tölander

© ERICA TÖLANDER, 2024

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag: BIM modell i REVIT

Chalmers tekniska högskola

Göteborg 2024

Byggnaden som eget system

Installationer för självförsörjning av el, vatten och värme

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

ERICA TÖLANDER

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

I denna rapport projekteras ett flerfamiljshus så att det kan stå fritt utanför samhället och ändå klara alla de behov som finns för hyresgästerna i fråga om vattenförsörjning, avloppshantering, elförsörjning och värmebehov.

Projekteringen utgår från de behov som finns för ett flerfamiljshus med 6 lägenheter för 18 personer. Olika sätt att tillgodose dessa behov beaktas och det mest passande alternativet används i projekteringen. I vissa fall, som med elektrolysör när det inte finns så många olika alternativ på marknaden eller då endast ett ungefärligt värde behövs väljs en godtycklig produkt för att få en grund att räkna på. De delar som projekteras är integrerat soltak som vid överproduktion skickar överskottsel genom en elektrolysör för långtidsförvaring i vätgastuber placerade i husets vindsutrymme där även övrig teknik installeras. För korttidsförvaring från dagenergi till nattenergi används batterier. Vattenförsörjning sker genom en djupborrad brunn för upptagning av grundvatten. Värmeförsörjning sker med hjälp av bergvärme som använder el från soltaket. Avloppshantering löses med att ta bort behovet av bortforsling av svartvatten, genom att installera förbränningstoalletter som också minskar behovet av inkommande färskvatten.

I rapporten görs beräkningar där det behövs och schablonvärden används där det är möjligt för att få en översiktlig kompakt dimensionering av alla delar och hur de fungerar tillsammans.

Syftet med rapporten är att se om det är möjligt att projektera en större byggnad som är ett helt eget system som kan stå fritt ifrån samhället och rapporten visar att det är möjligt dock tar inte rapporten upp ekonomi och om det är lönsamt att genomföra. Fokus ligger på funktionalitet och användarvänlighet samt att alla delar av byggnad och installationer skall finnas lättillgängliga på marknaden idag. För att begränsa arbetet ytterligare tas inte vattenrening med i detalj då det finns många exempel på och är standard för många hushåll redan idag och behövs inte för övriga beräkningar. Rapporten går ej heller igenom återvinningshantering eller behov av till exempel livsmedel.

Nyckelord: Självförsörjning. Vätgaslagring. Bergvärme. Solenergi. Batterilagring.

The building as one system

Installations for self-sufficiency in electricity, water, and heat.

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

Erica Tölander

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Installation technique  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

In this report, an apartment building is designed so that it can stand freely outside the community and still meet all the needs of the tenants in terms of water supply, sewage treatment, electricity supply and heating needs.

The design is based on the needs that exist for an apartment building with 6 apartments for a total of 18 people. Different ways to meet these needs are considered and the most suitable option is used in the design. In some cases, such as with the electrolyser, when there are fewer options on the market or when only an approximate value is needed, an arbitrary product is chosen to get a basis for calculating. The technical parts put together in this project are an integrated solar roof that, in case of overproduction, sends excess electricity through an electrolyser for long-term storage in hydrogen tubes placed in the attic space of the house where most of the installations are situated.

For short-term storage from day energy to night energy, batteries are used. Water supply is through a deep-drilled well to access groundwater. Heat is supplied using geothermal energy that uses electricity from the solar roof. Sewage management is solved by removing the need to handle black water, by installing incineration toilets that also reduce the need for incoming fresh water. In the report, calculations are made where necessary and standard values are used where possible to get an overview compact dimensioning of all parts and how they work together.

The purpose of the report is to find out if it is possible to design a larger building that is a completely separate system that can stand independently of society and the report shows that it is possible, however the report does not address economics and whether it is profitable to implement. But the components are all available in the market today. The focus is on functionality and ease of use. To further limit the work, water treatment is not included in detail as there are many examples of and is standard for many households already today and is not needed for other calculations. The report also does not review recycling management or the need for, for example, food production.

Keywords: Self-sufficiency. Hydrogen gas storage. Geothermal energy. Solar energy. Battery storage.

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 BAKGRUND	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Hypotes	2
2 TÖLANDERSKA HUSET	2
2.1 Utgångspunkt	2
2.2 Installationer	3
3 FALLSTUDIER	4
3.1.1 Skellefteå Zero Sun	5
3.1.2 Husdröm	6
4 LITTERATURSTUDIE	8
4.1 Earthship biotecture	8
4.2 The Crystal	9
4.3 Solar decathlon Europe	10
5 ELFÖRSÖRJNING	12
5.1 Hushållsel och fastighetsel	12
5.2 Värmeenergi	13
5.2.1 Energiförluster genom klimatskal och ventilation	13
5.2.2 Årligt värmeenergibehov samt effektbehov för uppvärmning	14
5.2.3 Luftvärme	15
5.2.4 Sjövärme	15
5.2.5 Jordvärme	15
5.2.6 Bergvärme.	15
5.3 Varmvatten	17
6 ELPRODUKTION	18
6.1 Sol och vind	18
6.2 Jämförelse av olika solpaneler	18

6.3	Kapacitet	20
6.4	Samlad energianvändning	21
6.5	Effektbehov	21
6.5.1	Effektbehov totalt	23
6.6	Energilagring	23
6.6.1	Från dagenergi till nattenergi	23
6.6.2	Från sommarenergi till vinterenergi	24
6.6.3	Lagringsbehov	25
6.6.4	Säkerhet	26
6.6.5	Elektrolysör, Batteri och bränslecell	26
7	VATTEN	28
7.1	Vattenanvändning	28
7.2	Vattentäkt	28
7.2.1	Avsaltningsanläggning	28
7.2.2	Ytvattentäkt	29
7.2.3	Kalkkälla	29
7.2.4	Rörspetsbrunn	29
7.2.5	Borrad brunn	30
7.3	Vattenpump	30
8	AVLOPP OCH VATTENRENING	31
9	SLUTSATS	32
10	DISKUSSION	32
11	REFERENSER	33

## Förord

Den första och största anledningen till projekteringen av en självförsörjande byggnad är miljö och klimat. En stor och kontroversiell fråga i samhället idag är hur vi skall nå uppsatta klimatmål. Vi behöver drastiskt minska användningen av fossila bränslen. Omställning till ett samhälle drivet till största delen av el, i stället för fossila bränslen är ett alternativ för att behålla den standard vi är vana vid. Det finns många sätt att lösa detta på. Detta projekt fokuserar på decentralisering och egen försörjning av el för alla funktioner i ett flerfamiljshus. Problemet är inte brist på energi. Sverige har egentligen tillräckligt med energi från vattenkraft vindkraft och solkraft samt kärnkraft. Problemet är effekt, det vill säga den samtidiga transporten av el till de som behöver den, när de behöver den. Vårt samhälle har ju en tendens att använda energi vid samma tillfällen och årstider. Vind och sol har ju också en tendens att bara producera vid vissa förhållanden och dessa två parametrar sammanfaller sällan samtidigt och därför behöver vi se till att kunna spara energi till när vi behöver den och fördela effekt dit där den behövs. Förväntningarna initialt i detta projekt var att det inte skulle gå att genomföra och att yttre kompletteringar skulle behöva byggas för att tillgodose behovet av energi i huset. Det visar sig dock i detta fall, i likhet med samhället i stort, vara störst problem att tillgodose ett kontinuerligt flöde över hela årets skiftningar i tillgång till energi. Rapporten visar även att detta är möjligt på ett relativt enkelt sätt och en frågeställning kan vara varför detta inte implementeras snarast.

Misstanken är att det är en ekonomisk och regleringsfråga.

Den andra anledningen till självständighet från samhället är trygghet. Vår planet är inte harmonisk. I en perfekt värld hade vi utan motstånd kunnat använda oss av enbart kärnkraft. Men det är en ohållbar resurs i längden som kräver brytning av uran och senare slutförvaring av radioaktivt avfall, samt kan vara en osäker byggnation vid naturkatastrofer eller påverkan från andra länder. Om samhället består av öar av självdrift, i stället för att vara beroende av en eller tre kraft- och vattenkällor som av olika anledningar kan bli tagna ur bruk hastigt, blir samhället mycket mer motståndskraftigt. Konsekvenserna blir inte lika stora om ett bostadshus blir strömlöst som när en hel stad blir strömlös. Min förhoppning är att denna översiktliga projektering kan väcka idéer för genomförande av mer självständiga klimat- och miljövänliga lösningar, och det hade varit intressant att gå djupare in på varje del i projekteringen i framtiden.

Göteborg juni 2024  
Erica Tölander

# Beteckningar

## Latinska versaler

$A_b$	Area bottenplatta [ $m^2$ ]
$A_d$	Area dörr [ $m^2$ ]
$A_f$	Area fönster [ $m^2$ ]
$A_s$	Area soltak [ $m^2$ ]
$A_{temp}$	Bostadsyta (inklusive trapphus) [ $m^2$ ]
$A_{tot}$	Area totalt [ $m^2$ ]
$A_v$	Area vägg [ $m^2$ ]
DIT	Dimensionerande inomhustemperatur [ $C^\circ$ ]
DVUT	Dimensionerande utomhustemperatur [ $C^\circ$ ]
$E_{berg}$	Energiåtgång Bergvärmepump [kWh]
$E_{fast}$	Fastighetsel [kWh]
$E_g$	Grundenergiförbrukning [kWh]
$E_{hus}$	Hushållsel [kWh]
$E_t$	Energiåtgång förbränningstolett [kWh]
$E_{uppv}$	Värmeenergibehovet under ett år m.a.p. gradtimmar [Wh/år]
$E_v$	Värmeenergibehovet under ett år [Wh/år]
$E_{va}$	Energiåtgång varmvatten [kWh]
$G_t$	Gradtimmar [ $C^\circ$ h/år]
$P_{dim}$	Dimensionerande värmeeffektbehov [W]
$P_g$	Gratisvärme [W]
$P_i$	Internvärme [W]
$P_{ib}$	Internvärme belysning [W]
$P_{ie}$	Internvärme Elapparater [W]
$P_{ip}$	Internvärme person [W]
$P_{max}$	Peak PV power [kWp/ $m^2$ ]
$P_s$	Solvärme [W]
$P_w$	Momentant värmeeffektbehov ( $T_{un}$ ) [W]
$Q_{0v}$	Specifik läckageförlust [W/K]
$Q_t$	Specifik värmeförlustfaktor för transmission [W/K]
$Q_{tot}$	Summerade värmeeffektförluster [W/K]
$Q_v$	Ventilationens specifika värmeförlustfaktor [W/K]
$Q_{vx}$	ventilation efter värmeväxlare [W/K]
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, verkningsgrad bergvärmepump [-]
$T_g$	Gränstemperatur [ $C^\circ$ ]
$T_{inne}$	Inomhustemperatur [ $C^\circ$ ]
$T_{un}$	Normalårstemperatur Göteborg [ $C^\circ$ ]
$T_{ute}$	Utomhustemperatur [ $C^\circ$ ]
$U$	Värmegenomgångskoefficient [-]
$U_d$	Värmegenomgångskoefficient dörr [-]
$U_f$	Värmegenomgångskoefficient fönster [-]
$U_p$	Värmegenomgångskoefficient bottenplatta [-]
$U_t$	Värmegenomgångskoefficient soltak [-]
$U_v$	Värmegenomgångskoefficient vägg [-]
$V_v$	Varmvatten [l]

## Latinska gemena

$c_j$	Specifik värmekapacitet betong [J/kg*K]
$c_p$	Luftens specifika värmekapacitet [J/kgK]
$d$	Andel av tiden då ventilationsaggregatet är igång [-]
$k_{Wp}$	Toppeffekt för solcellsanläggning [kWh]
$l_v$	Tilluftsflöde ventilation [ $m^3/s/m^2$ ]
$l_{vperson}$	Tilluftsflöde ventilation per person [ $m^3$ ]
$mc$	Massa för betong [kg]
$n$	Värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad [-]
$p$	Luftens densitet [ $kg/m^3$ ]
$q_{läck}$	Flöde av läckande luft [ $m^3/s$ ]
$q_v$	Styrt ventilationsflöde [ $m^3/s$ ]
$\tau$	Tidskonstant för byggnaden [h]



# 1 Bakgrund

I detta kapitel följer syfte, metod och hypotes för att få en kort bakgrund till varför och hur detta examensarbete är utfört.

## 1.1 Syfte

Detta examensarbete syftar till att få en greppbar och förståelig översikt över möjligheterna till ett flerfamiljshus som kan stå utanför samhället, med avseende på el, värme och vattenanvändning utan att ta avkall på komfort och bekvämlighet.

Anledningen till att det här arbetet är aktuellt, är främst miljö och klimat. Miljö, därför att huset är i ett nära på slutet kretslopp och använder inte mer resurser än det tillverkade huset och vattenupptagning. Med egen rening av avloppsvatten skulle vi dessutom komma ännu närmare ett slutet kretslopp. Klimat, därför att huset genererar egen el, och kan använda den genom hela året. På det viset behöver inga fossila bränslen användas och utsläpp av växthusgaser blir ett minimum.

Val av installerad teknik skall syfta till att huset inte behöver någon extra yta förutom egen grund och upptag av vatten och värme, för att göra så liten påverkan på omgivningen som möjligt.

Olika installationer som finns tillgängliga på marknaden beaktas och väljs på grund av sina egenskaper för att harmonisera tillsammans i ett system.

## 1.2 Metod

Liknande projekt med olika form av självförsörjning har studerats och valda delar av projekten har valts för att användas i projekteringen. För val av enskilda komponenter har olika företags produkter jämförts för att se hur och vilka som bäst skulle fungera tillsammans. För vetenskapliga beräkningar har kurslitteratur använts, främst boken Projektering av VVS-installationer C. Warfvinge et. al. Som varit ett bra hjälpmedel för energianvändningsberäkningar. BBR och SIS-standarder har studerats för att få ungefärliga värden, och även krav-värden på t.ex. ventilation och vattenanvändning.

SMHI är också en stor tillgång när det gäller klimat och omgivande temperatur. För beräkningar av solinstrålning har PHOTOVOLTAIC GIS från the European Commission använts.

Stora avgränsningar har gjorts då det är ett stort projekt att genomföra i sin helhet. Vattenrening är bara omnämnt och kräver ytterligare undersökningar och beräkningar då det är en viktig del av ett självförsörjande hus.

Ytterligare begränsningar är översiktliga beräkningar med hjälp av schablonvärden där det är motiverat.

Rapporten tar heller inte upp tillgång till livsmedel eller hantering av återvinning.

## 1.3 Hypotes

Förväntningarna på projekteringen är att självförsörjning i ett flerbostadshus är möjligt och genomförbart. Det borde gå att generera så pass mycket egen el att det räcker för uppvärmning, hushållsel, fastighetsel, samt färsk- och varmvatten. Ingångshypotesen är att detta skall kunna utföras men att det skulle krävas för mycket energi varpå solceller på tak och väggar inte skulle vara tillräckligt och att det kanske skulle behövas yttre installationer som kompletterande vindkraft eller ytterligare solceller på mark. Givetvis är förhoppningarna att allt skall kunna få plats i huset, och det kommer visa sig i rapporten att så även är fallet.

## 2 Tölanderska huset

I det här kapitlet presenteras det självförsörjande huset som i fortsättningen kommer benämnas som Tölanderska huset. Här presenteras byggnadens utformning och val av tekniska installationer. Motivering till val av installationer förklaras i respektive kapitel.

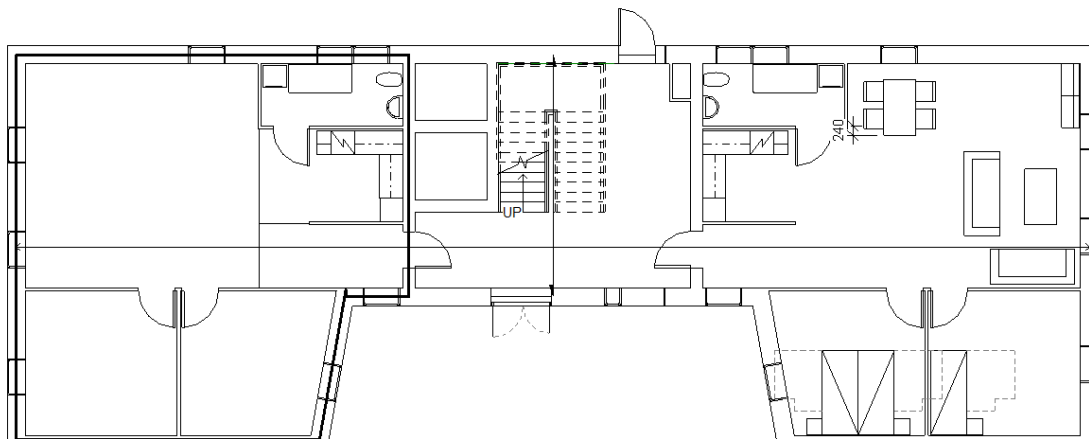
### 2.1 Utgångspunkt



*Figur 1. Tölanderska huset, uppritat i Revit med handmålade bakgrund.*

*Figur 1* visar Tölanderska huset som projekteras i denna rapport. I beräkningar för det självförsörjande huset utgår från att huset är placerat i eller runt Göteborgsområdet. Klimatdata och andra eventuella lägesberoende data tas utifrån de lokala förutsättningarna. I Göteborg där det självförsörjande Tölanderska huset uppförs finns en tradition med landshövdingehus. Landshövdingehus är trevånings flerbostadshus med en bottenvåning i sten och över det, två våningar i trä.

För att utforska möjligheterna för självförsörjning utgås från trevåningshus enligt tradition i Göteborg. Göteborg har givetvis flerbostadshus med fler våningar dock känns konceptet med tre våningar som ett landshövdingehus som en bra utgångspunkt. Visar det sig att kapaciteten för el, värme och vatten är större eller



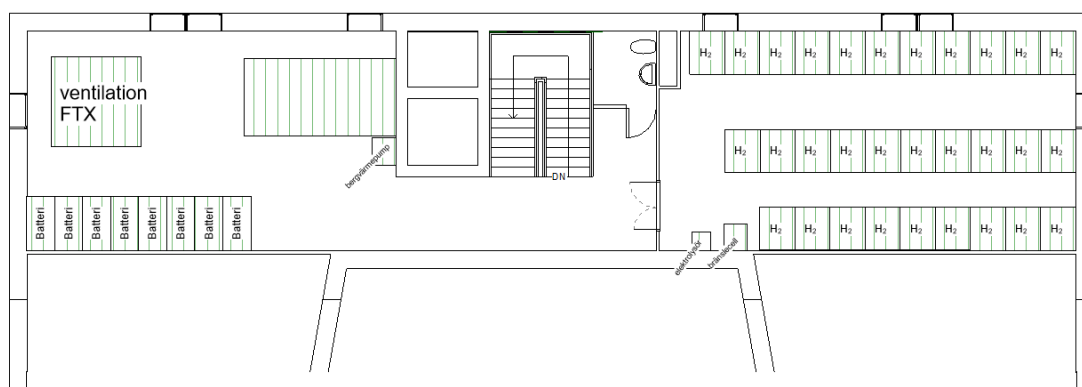
Figur 2. Våningsplan 1 med entré, två lägenheter och exempel på möblering.

mindre än för det beräknade huset kan våningar läggas till, tas bort eller lägenheter ökas eller minskas i  $m^2$  samt fler eller färre rum.

Tölanderska huset består av 6 lägenheter à  $80 m^2$  fördelat på 3 r.o.k. Total boyta på  $480 m^2$ . Beräkningarna utgår från 3 personer i respektive lägenhet. Totalt antal boende antas vara 18 personer.

Till skillnad från landshövdingehusen kommer Tölanderska huset byggas med en yttre stomme av betong som klimatskal för alla våningsplan. Det ger egenskaperna av ett tungt hus med avseende på värmetröghet, för att spara värmeenergi. För att optimera energiupptagning från solen är taket med integrerade solceller riktat endast åt söder, med en lutning på 42 grader samt väggar åt söder med solceller, lutning 90 grader. Ytterligare solcellsytta får vi av utskjutande tak över balkonger mot öst och väst. På fjärde våningen under soltaket finns plats för teknikinstallationer.

## 2.2 Installationer



Figur 3. Teknikvåning med avskärmd del för vätgaslagring.

En av idéerna med huset är att det inte ska behövas någon större tomtyta för att bygga huset och således göra så litet avtryck som möjligt i miljön runt omkring. Alla funktioner kan dessvärre inte vara i själva huset utan behöver placeras en bit ifrån huset, som vatten och värmeresurser.

De delar som integreras i huset är bergvärmepump, värmeväxlare för ventilation, batterier, elektrolysör, bränslecell samt vätgaslagring i form av gastuber.

Snedtaket är uppbyggt av integrerade solceller som ett yttre skal.

Söderväggar har samma typ av solceller.

På teknikvåningen skall även finnas toalett och tappställe för underhållspersonal samt om hyresgästerna behöver. Denna toalett förväntas att används sällan och tas inte med i energiberäkningarna.

Det är många funktioner som skall få plats på ett ställe men med hela våning 4 till förfogande får allt plats och kan skötas från samma våningsplan. Ett alternativ är att bygga en källare under huset och använda en del av takvåningen till mindre lägenheter. I projekteringen är takvåningen vald dels på grund av takets lutning som gör det mindre attraktivt för lägenheter, dels på grund av ifall det skulle läcka vätgas är det enklast att ventileras ut vätgasen ovanför huset. Det är inga avgörande parametrar och en källarvåning skulle kunna vara att föredra i det fall grundsättningen underlättas av det med tanke på sättningar. Hänsyn bör tas till installationskomponenternas vikt, dock är vikten inget den här rapporten räknar på.

Yttre installationer är två borrhål på ca 100-200m djup som placeras med fördel på var sin sida om huset för att få avstånd mellan dem då de kan påverka varandras temperatur annars. Ett borrhål för upptagning av värme till bergvärmepumpen och ett borrhål för upptagning av färskvatten.

För att minska vattenförbrukning och behov av svartvattenrening, installeras förbränningstoalletter som i stället för att spola med vatten använder el till förbränning av avfallet.

### **3 Fallstudier**

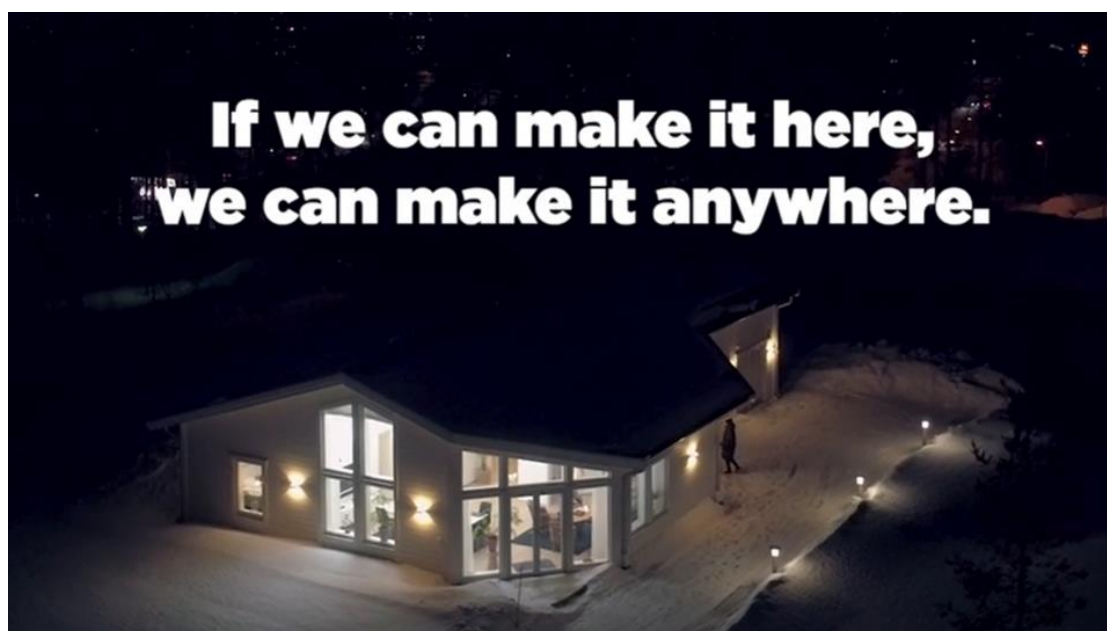
Det finns en hel del exempel på självförsörjning som verkar vara ett populärt ämne att utforska. En snabb sökning på internet ger att det finns existerande självförsörjning av el i form av solel, egna vindkraftverk och lagring med batterier och i vissa fall även vätgaslagring. Från små friggebodar till flerfamiljshus, om än i mindre skala. Det finns dock inte så många exempel på företag som bygger självförsörjande hus som standard. Största orsaken till detta är troligtvis kostnader och regelverk. Om en jämför en el-självförsörjande friggebod med en friggebod uppkopplad till el-nätet, ser en att kostnaderna för självförsörjande friggebod är ungefär 30% dyrare (företaget Husdröm). Skellefteå kraft har en stugby varav ett av husen är självförsörjande på både vatten och el. Om man jämför stughyran mellan det självförsörjande huset och ett vanligt hus i samma stugby med samma antal bäddar är det 83% dyrare att hyra självförsörjande huset. Detta kan ju givetvis bero på nyhetens behag i turism, och inte bara på byggnadskostnaden i sig.

Det är reglerna på byggmarknaden som styr väldigt mycket vilken grad av miljövänligt byggande och eldistribution branschen gör. Då ekonomin styr och

du bygger på samma villkor som dina konkurrenter kommer du inte bygga på ett sätt som gör ditt projekt dyrare, då blir det dyrare för kunderna och de söker sig till konkurrenterna.

Då hamnar vi på en lägsta nivå där priserna jämförs med varandra, och kan inte miljönyttan öka och samtidigt behålla eller sänka kostnaderna, blir det inte aktuellt att bygga mer miljöeffektivt. Kanske om en har fler som delar på kostnaden, och samtidigt har hyresgäster med intresse för tekniken och miljön, och kanske till och med är villiga att minska på bekvämligheter kan man få det att bli lönsamt i ett större flerbostadshus. Dock fokuserar denna rapport inte på ekonomiska gångbarheten, utan tittar på om det är fysiskt, platsmässigt och tekniskt möjligt med självförsörjande flerbostadshus. Nedan följer exempel på olika grader av självförsörjning i olika projekt.

### 3.1.1 Skellefteå Zero Sun



*Figur 4 Zero sun, 140m<sup>2</sup> hus självförsörjande på el.*

Skellefteå kraft har byggt ett hus självförsörjande på el som de kallar Zero Sun. Skellefteå ligger högt upp i Sverige. 138 mil från Sveriges sydligaste punkt, ändå finns här ett hus som är helt självförsörjt på el av 122 m<sup>2</sup> solpaneler på taket med total effektoutput av 27 kW. Boytan är 140 kvm och ämnat för 8 personer. Fastigheten har även garage på 33kvm och plats för de tekniska lösningarna på 8 m<sup>2</sup>.

I Skellefteå kan det vara mörkt större delen av dygnet vintertid, men också omvänt sol större delen av dygnet sommartid. För att lösa elförsörjning på vintern omvandlas överskottet av solenergi på sommaren till vätgas med elektrolysör. Vätgasen lagras i tuber, med totalt ca 2000 normal kubikmeter Nm<sup>3</sup>, dvs. den volym vätgasen upptar när den inte är komprimerad. Den lagrade energin är 6000 kWh, under mark, tills de under vinterhalvåret sedan åter omvandlas till el för uppvärmning och hushållsel. Samma princip används från

dag- till nattenergi, men då lagras solenergin i batterier i stället under dagen, för kortare lagring att användas under natten.

Huset är en del av Skellefteå krafts campingby, och finns tillgänglig att hyra per dag eller vecka.

Då du hyr har du även möjlighet att ladda din elbil, eller också, om du har vätgasbil, tanka med den tillverkade vätgasen.

Eftersom huset inte är ett permanent boende så går det åt mindre energi just nu, än om en familj på 8 personer skulle bo här året runt.

Det är ändå ett bra exempel på hur ett hus kan göras självförsörjande på energi och i projekteringen av Tölanderska huset kommer således tekniken med vätgaslagring och batterier användas.

Här kan en även se ett exempel på att självförsörjning är lite dyrare än konventionellt byggande men utan någon närmare ekonomisk analys än den att ett liknande hus i samma stugby med samma antal bäddar utan självförsörjning på el kostar 3450 per natt att hyra och Zero Sun huset kostar 6300 kr per natt.

### 3.1.2 Husdröm



Figur 5 Självförsörjande attefallshus. bild hämtad från husdrom.se

I Nyköping finns ett företag som säljer attefallshus i olika modeller. Ett attefallshus är enkelt beskrivet en byggnad som uppgår till max 30m<sup>2</sup> och 4m i höjd, och är komplement till ett befintligt bostadshus. Det går ju givetvis att bygga småhus som står för sig själv, men då med andra kriterier för bygglov. Husdröm har två modeller som är självförsörjande på el värme och till viss del avlopp.

Idén är att du till ett litet pris kan få ditt drömhus, i liten skala. Och med de självförsörjande husen, även ställa ditt lilla drömhus var du vill, då det kan vara fritt från samhällets infrastruktur.

Elproduktion sker via Solceller på husets tak som ger energi till hushållsel och till luftvärmepumpar för uppvärmning. Husdröm har samarbete med företaget Visolaris som är tillverkare av parkeringstak med integrerade solceller för att ytterligare kunna öka elproduktionen om behovet finns, till exempel för att ladda

din elbil. Cellerna ger även energi till förbränningstoilet, som gör att du inte behöver tänka på att koppla in avlopp för svartvatten. Toaletten förbränner avfallet till aska som du på ett hygieniskt sätt kan tömma på komposten. Idén med förbränningstoiletter kommer implementeras i Tölanderska huset för att underlätta avloppshantering.

Här kan en också notera att det är lite dyrare med självförsörjning än konventionella byggsätt, då kostnaden för ett självförsörjande hus hos Husdröm är ca 1'179'000kr och motsvarande traditionellt hus hos samma företag för 1'057'000. Skillnaden är inte stor men väljer du ett motsvarande hus hos tillverkare med enbart traditionella attefallshus har du i stället en kostnad på 854'900. (Husverket) På Hus.se kan du hitta en jämförelse över en mängd olika leverantörer och priserna ligger runt 700.000-800.000 nyckelfärdigt utan självförsörjning.

## 4 Litteraturstudie

Företag och privatpersoner berättar gärna om sina hus på egna hemsidor, och sociala medier liksom de två företagen i kap. (3.1.1 och 3.1.2) men letar en i litteraturen finns det exempel på större projekt som får mer uppmärksamhet i rapporter och artiklar. Några exempel är 'Earthship Biotecture' off-gridsamhälle -New Mexico USA, 'The Crystal' utställningshall -London och Byggtävlingen Solar Decathlon Europé - Nederländerna. Dessa exempel berättar mycket om drivkrafter och en strävan efter kunskap.

### 4.1 Earthship biotecture



Figur 6. Earthship-hus. Fotograf Emma Heirendt [www.EmmaNoProblema.com](http://www.EmmaNoProblema.com)

I New Mexico finns ett samhälle som helt försörjer sig självt. Energi får de från solpaneler, regnvatten filtreras och renas för vattentillgång samt egen avloppsrening. De har även egen odling av livsmedel. Earthship Biotecture är inte bara ett självförsörjande samhälle, det är även en skola där du kan få utbildning i att bygga ditt eget earthship av skräp som bildäck och glasflaskor men även ny teknik.

Folk över hela världen söker sig till samhället för att få ett helt annat liv än det normala. I Rapporten 'Crisis to adaptation: Assessing the drivers of participation in sustainable off-grid construction' (Ashley Colbya, Cameron Whitley) intervjuas personer som jobbar i samhället och studenter på skolan. Frågeställningen i rapporten är vad som driver dem att vilja leva offgrid. Författarna kommer fram till att drivkrafterna är främst självupplevda kriser, olika beroende på ålder, det vill säga vilket stadium i livet personen är. De flesta över 30år har motivation i en självupplevd kris. En kris kan vara utbrändhet och en känsla av att inte klara av

det normativa samhället med dess uppsatta krav. För de under 30år är det ofta en känsla av kris över klimatets utveckling och en vilja att göra något åt klimatförändringarna. En annan kris som är vanlig enligt de intervjuade personerna är resursbrist där de bodde förut. De kan ha förlorat sitt förra hus i en naturkatastrof eller saknat till exempel vatten och elektricitet och var frustrerade över att det samhälle de tidigare bodde i inte hade kontroll över sådana basala samhällsfunktioner.

Rapporten är mycket intressant för att se vilken typ av människor som skulle vara intresserade av att bo i en byggnad som Tölanderska huset. Projekteringen av Tölanderska är uppbyggd så att det skall vara så likt den standard och bekvämlighet vi har i Sverige, och kan således vända sig till en större allmänhet, men vara ett mycket gott alternativ till de människor som upplever kris inför framtiden och klimatförändringar men inte vill gå så långt som att bygga sitt eget hus, och den stora livsförändring Earthship Bioteecture erbjuder.

## 4.2 The Crystal



Figur 7. The Crystal London Fotograf Robert Pittman <https://flic.kr/p/e5289N>

I London 2012 invigdes The Crystal. En byggnad på 6300 m<sup>2</sup> tekniskt projekterat av Siemens och arkitektoniskt designat av Wilkinson Eyre Architects. Det kallades 'sustainable cities initiative' by Siemens och var till en början en utställningshall för hållbart byggande och en hållbar framtid avseende klimat miljö hälsa och teknik. Sedan 2022 är det numera Londons stadshus. Byggnaden med sitt speciella utseende och fascinerande teknik är omtalat i många sammanhang och artiklar, bland annat i artiklar av Arch daily, Rethinking the future, AJ buildings library och BBC. Byggnaden är inte helt fristående då det använder sig av stadens gemensamma kraftnät för att sälja elöverskottet från solpanelerna och hämta upp el under lågproducerande perioder. De har ingen lagring av el, men däremot lagring av värme genom värmepump och 17 km långt rörsystem under jord som återvinner 60% av byggnadens värmeenergi. Stor vikt

har lagts vid naturligt ljus utan att släppa in för mycket värme genom fönster. De har 6 olika typer av högt isolerade fönster som anpassats efter byggnadens form, funktion och väderstreck för att få optimal balans mellan Ljusinsläpp och värme. Byggnaden är självförsörjande till 90% av färskvatten genom att rena regnvatten och egen vattenrening både för gråvatten och svartvatten.

The Crystal var den första byggnad som nått de högsta kriterierna för lovord från två globala program som kontrollerar att en byggnad har designats och byggts med miljöansvar. BREEAM 'Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology' UK och LEED 'Leadership in Energy and Environmental Design' USA.

När The Crystal skulle bli stadshus räknades det på kostnaderna och de förväntade sig en stor besparing i driftskostnader. Det visade sig att det skulle bli ännu lägre kostnader än de räknat med, (BBC) vilket kan påvisa att under de 10 år som byggnaden drivits som utställningshall har kostnaderna för installationer och byggande som initialt kostade 30 miljoner GBP (Arch daily) betalt sig till viss del i energibesparingar, dock nämns inte hur mycket.

Tölanderska huset använder sig också av avskärmning från solvärme och i söder där den största solinstrålningen sker finns i stället solpaneler som samlar solens energi på ett mer kontrollerat sätt än direkt solvärme genom glas. Ljusinsläpp sker främst från norr, väst och öst för att minska nedkylningsbehov sommartid.

### 4.3 Solar decathlon Europe



Figur 8. Solar decathlon Europe. Fotograf Stefano Paltera <https://flic.kr/p/77kHxj>

Energy Endeavour Foundation är en icke vinstdrivande organization som varje år håller i byggtävlingen Solar decathlon Europe. Det är en tävling där studenter från universitet över hela Europa deltar i team för att designa och bygga det mest hållbara zero-energy-huset. De deltagande husen är uppkopplade till elnätet, och har förutom det enbart solpaneler som energikälla. Huvudmålet i tävlingen är att framställa det mest energieffektiva huset, men tävlingen har 10 olika kategorier där deltagarna samlar poäng till ett sammanlagt resultat. Olika delar kan vara bekvämlighet, luftfuktighet, ljusinsläpp, inomhustemperatur och luftkvalitet.

Tävlingen hålls årligen i olika städer i Europa.

I rapporten Energy efficiency evaluation of zero energy houses

(Edwin Rodriguez-Ubinas et. al.) görs en jämförelse mellan bidragen i tävlingen 2012 som det året hölls i Madrid. Bidragen designas över hela Europa men byggs i värd-staden och hänsyn tas till klimatet i deltagarens hem-stad. Rapporten är intressant i att den på ett pedagogiskt sätt förklarar förutsättningar och visar tydligt resultat och likheter/olikheter mellan studenternas bidrag.

I Rapporten undersöks vilka strategier som är mest använda och som fått bäst resultat och det kan avläsas att de mest frekvent använda sätten till energibesparing är:

Låg värmegenomgångskoefficient i klimatskal

Utvändig isolering

Lufttäthet

Högpresterande glas med lågt g-värde

Solavskärmning

Passiv direktförstärkning av solenergi

Naturlig ventilation

Mekanisk ventilation med värmeåtervinning

Mekanisk kylning med nattventilation

Solcellspaneler

Värmepump

Av dessa 11 strategier använder Tölanderska huset 8, då en typ av ventilation är tillräcklig (även om många av tävlingshusen använde sig av flera olika ventilationstekniker) och passiv direktförstärkning av solenergi i viss mån, då Tölanderska huset istället använder solpaneler i söder.

Hela tävlingen visar på en stor vilja till förändring och entusiasm över nya strategier att spara energi och bygga hållbart för framtiden. Förutom dessa 11 strategier fanns många uppfinningsrika individuella tekniker att få det mest energisnåla huset. Den största vinningen i tävlingen är, för studenter som deltar och de som följer eventet, ny kunskap och nyttig erfarenhet för framtida byggprojekt.

## 5 Elförsörjning

Vanligaste metoden för att förse byggnader med el idag är det gemensamma elnät som sträcker sig över hela Sverige och även sammankopplat med övriga världen för att sälja och köpa energi. Det är en kostnadseffektiv transportmetod där många är med och betalar för overheadkostnaderna. Det är enkelt för brukaren, samt att producenter och myndigheter har koll på all elförbrukning i landet. Om enskilda brukare bryter sig ur och tillverkar egen el, skulle konsekvenser för det gemensamma nätet bli ökade kostnader för de som är kvar och betalar för nätet som används gemensamt. Dock skulle det inte märkas nämnvärt om endast ett fåtal fastigheter bryter sig ut. Men teoretiskt om ett tillräckligt stort antal brukare producerar egen el skulle det kunna få konsekvenser och stöta på motstånd initialt. Det kan dock även vara välkommet i det fall när elproduktionen behöver öka eftersom nya investeringar i det gemensamma nätet slipper göras, som utbyggnad av distributionsnätet för att tillgodose det ökade effektbehovet när vi ställer om till mer elgenererade transport och verksamheter. De som genererar el privat idag är till största delen med och bidrar till det gemensamma nätet då de fortfarande är kopplade till det och i de flesta fall säljer en del av den egengenererade elen till nätet. På så sätt blir det en jämn användning av el som brukaren själv genererar genom att sälja el när en får överskott mitt på dagen och sommaren samt fortfarande köpa in el på natten och vintertid om den egenproducerade elen kommer från solceller vilket är den vanligaste källan av egen el. Om en bryter sig ut helt och genererar egen el, finns problemet med lagring av den energi du inte använder för stunden. En vill ju inte elda för kråkorna, eller bli utan el när solen inte skiner. Lösningar på det kan vara större batterier med litiumjärnfosfat (LFP) eller omvandling av solenergi till vätgas på tub för senare användning. Batterier lämpar sig bäst för kortsiktig användning som dagenergi till nattenergi, och vätgasomvandling från sommarenergi till vinterenergi. Om det finns tillräcklig produktion för dygnsanvändningen under de timmar panelerna producerar mindre el, kan laddning av elbil vara en lösning vid överproduktionen, till exempel gemensam bilpool och elcyklar inom fastigheten för hyresgästerna. Men det är viktigast att säkra upp med tillräckligt mycket lagrad energi för att använda under vintermånaderna.

### 5.1 Hushållsel och fastighetsel

Energi för att driva funktioner i huset som tv, dator, hiss och pumpar är uppdelat i Hushållsel och fastighetsel. Hushållsel är den el hyresgästen gör av med på egna aktiviteter medan fastighetsel är elen som driver gemensamma funktioner i huset som till exempel hiss, belysning i gemensamma utrymmen och ventilation.

Hushållselen  $E_{\text{hus}}$  varierar beroende på de boendes vanor och här används ett schablonvärde. Enligt energiguiden hos Eon skulle användningen av hushållsel, exklusive uppvärmning under ett år uppgå till ca 3'000 kWh per lägenhet. Detta innebär en användning av hushållsel under ett år för alla lägenheter på 18'000 kWh

$$E_{\text{hus}} = 6 \text{ lägenheter} * 3000 \text{ kWh} = 18'000 \text{ kWh.} \quad (2)$$

En post i energiförbrukningen i Tölanderska huset, som normalt inte brukar förekomma i ett flerbostadshus, är energibehovet för förbränningstoalletter. Huset kommer att ha 7 toalletter varav 6 av dem används varje dag och med en användning av 6 gånger/dag och person drar toaletterna tillsammans ca 59'130 kWh under ett år. En förbränning kräver ungefär 1-2 kWh. Antalet besök är godtyckligt då det varierar

stort för olika personer, och beroende på om personer tex jobbar hemifrån, spenderar en stor del av dagen utanför hemmet eller har speciella behov.

$$6\text{personer} * 6\text{besök} * 18\text{pers} * 1,5\text{kWh} * 365\text{dagar} = 59'130 \text{ kWh} \quad (2)$$

## 5.2 Värmeenergi

För att räkna ut energin och effekten som behövs för uppvärmningen av huset behövs information om klimatskal, byggnadens area, gratisenergi samt ventilation och temperaturer utomhus och inomhus.

### 5.2.1 Energiförluster genom klimatskal och ventilation

Byggnadens klimatskal skall vara en så effektiv isolerare som möjligt för att minska behovet av uppvärmning men också finnas tillgängliga på den allmänna marknaden, för att hålla nere priset. Med hjälp av några olika företag som säljer isolering, dörrar, och fönster kan utläsas att värmegenomgångskoefficienten U för respektive byggnadsdel kan vara enl. tabell

byggnadsdel	U-värde [-]	källa	kommentar
fönster	0,65	hammerglass	g-värde = 0,38 (isolert planibel)
vägg	0,10	Isover	
dörr	0,6	Swedoor	
bottenplatta	0.09	Isover	
soltak / solvägg	0,10	Isover	

Tabell 1 U-värden för olika byggnadsdelar.

$$U_{tot} = \frac{(\sum(U_n * A_n)) * 1,2}{A_{tot}} = \frac{((0,65 * 165) + (0,10 * 984) + (0,6 * 23) + (0,09 * 235) + (0,10 * 404)) * 1,2}{1811} = 0,19 \quad (3)$$

$U_{tot}$ -värdet används för att räkna ut transmissionsförluster av värme,  $Q_t$  (7) genom ytterväggar tak och golv. Byggnadsdelarnas u-värden multiplicerat med byggnadsdelens area summeras och delas med total area. Därtill multipliceras totala U-värdet med 1,2 dvs ökning med 20% för att ta hänsyn till köldbryggor i klimatskärmen. (Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler) Tillsammans med ventilationsförlusterna  $Q_v$  (8) får vi en uppfattning av de summerade värmeeffektsförlusterna  $Q_{tot}$  (9) per gradskillnad mellan ute och inne. Ventilationsförlusterna räknas ut med densitet, specifik värmekapacitet och total ventilationsvolym per sekund,  $l_v$ . Enligt BBR skall ventilationen inte understiga 3,5 l/s/m<sup>2</sup>.  $q_{ov}$  är specifik läckageförlust och är satt till 0,15 l/s/m<sup>2</sup> fasadarea.

$$q_v = l_v * A_{temp} = 0,29 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

$$q_{ov} = 0,15 \text{ l/s/m}^2 * A_{fasad} * 1000 = 0,15 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

## 5.2.2 Årligt värmeenergiebehov samt effektbehov för uppvärmning

För Effektbehovet används Dimensionerande vinter-utetemperatur DVUT, som är den lägsta förväntade utetemperatur.

För Göteborg och med hänsyn till byggnadens tidskonstant  $\tau$ , 9 dygn, är DVUT -7,2. (Boverket) Tidskonstanten är ett mått på hur länge en byggnad klarar att hålla inne värmen innan det blir samma temperatur inne som ute. (SS 24300-1:2020 Byggnaders energiprestanda)  $k$  står för köldbryggor men sätts här till 0 då de räknas ut i ekv (3).

$$\tau = (1/3600) * (\sum c_j * m_j) / (\sum U_i * A + \sum l_k * \Psi_k + \sum \chi_i + c_p * q_v * d * (1-\eta) + p_c * q_{läck})$$

$$= 223h/24 = 9,3 \text{ dagar} \quad (6)$$

Innetemperaturen är satt till 20 grader, och skillnaden i temperatur som behöver värmas upp kräver enligt uträkningar nedan ett momentant effektbehov på 4,2kW/K vilket ger dimensionerande effektbehovet 11,2kW

För årsförbrukningen  $E_{uppv}$  används normalårstemperaturen (SMHI) tillsammans med byggnadens gränstemperatur. Byggnadens gränstemperatur  $T_g$  är den utetemperatur då huset inte behöver mer uppvärmning än internvärme och solinstrålning. I det här fallet är gränstemperaturen 7,3 grader och är lägre än normalårstemperaturen  $T_{un}$  7,7 grader vilket i förenklade uträkningar skulle leda till ett konstant nerkylningsbehov i stället för periodvis uppvärmning, och så är inte fallet. Därför tas antal gradtimmar  $G_t$  35000 °Ch/år ur tabell (C.Warfvinge) med hjälp av  $T_{un}$  och multipliceras med de totala värme-effekt-förlusterna för att få energibehov för uppvärmning  $E_{uppv}$  (17).  $n$  är värmeåtervinnarens temperaturverkningsgrad vilket ligger runt 0,8 (Svensk ventilation)  $P_s$  är solvärme som strålar in genom fönster och är uträknat med hjälp av en graf med uppmätta värden för olika månader och väderstreck. (Hagman, F) Endast instrålning de månaderna med behov av uppvärmning är medräknade i  $P_s$  (13).

$$\text{Specifik värmeförlustfaktor för transmission } Q_t = U * A_{tot} = 337 \text{ W/K} \quad (7)$$

$$\text{Ventilationens specifika värmeförlustfaktor } Q_v = p * c_p * q_v = 345 \text{ W/K} \quad (8)$$

$$\text{Ofrivilliga ventilationens värmeförlustfaktor } Q_{ov} = p * c_p * q_{ov} = 177 \text{ W/K} \quad (9)$$

$$\text{Värme från människor } P_{ip} = 1,5 \text{ W/m}^2 * A_{temp} = 1057 \text{ W} \quad (10)$$

$$\text{Värme från apparater } P_{ie} = 3 \text{ W/m}^2 * A_{temp} = 2467 \text{ W} \quad (11)$$

$$\text{Värme från belysning } P_{ib} = 4 * 6 * 80 = 3290 \text{ W} \quad (12)$$

$$\text{Värme från sol } P_s = 554 \text{ W} \quad (13)$$

$$\text{Gratis värmetillskott } P_g = P_{ip} + P_{ie} + P_{ib} = 7369 \text{ W} \quad (14)$$

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v * (1-n) + Q_{ov} = 583 \text{ W/K} \quad (15)$$

$$P_{dim} = Q_{tot} * (DIT - DVUT) = 15868 \text{ W} \quad (16)$$

$$E_{uppv} = Q_{tot} * G_t * 0,001 = 20419 \text{ kWh/år} \quad (17)$$

$$T_g = T_{inne} - (P_g / Q_{tot}) = 7,36 \quad (18)$$

$$T_{inne} = 20$$

Att värma vatten och inomhusluft kräver en stor mängd energi, och för att använda el som uppvärmning krävs en mycket stor egen produktion. Det finns dock sätt att få värme från andra källor än direkt eluppvärmning. En värmepump kan drivas med el, och hämta upp värme som överstiger den värme du skulle få ut av enbart el-värmen. Pumpen komprimerar luft eller vätska för att höja temperaturen och kan ha en värmefaktor på upp till 6 (Thermia) vilket innebär att den kan generera 6 gånger mer värme [W] än vad den kräver i el [W] så temperaturen på inkommande värme behöver inte vara särskilt hög för att tillgodose ett behagligt inomhusklimat. Värmen som pumpas in i huset kan hittas i utomhusluft, i mark eller i vatten. De olika alternativen liknar varandra i teknik, men har olika källor för värmeutvinning.

### **5.2.3 Luftvärme**

Det enklaste alternativet som kräver minst arbete och kostnad för installation är luftvärme. Den kan användas ner mot -30 grader men värmefaktorn minskar när lufttemperaturen sjunker. Vid en temperatur runt 7 grader utomhus kan den ge värmefaktor 4,5 men vid -30 ger den enbart värmefaktor 1 vilket innebär att pumpen fungerar som ett element med direktverkande el. En fördel är att den på varma dagar kan användas för att kyla inomhusluften. Detta alternativ lämpar sig bättre för mindre hus, och är inte ett alternativ för det Tölanderska huset, dock kan det vara ett bra alternativ om det inte finns möjlighet att hämta värme från annan källa. I Göteborg är det sällan så kallt att det inte skulle ge någon vinst i energi med luftvärme.

### **5.2.4 Sjövärme**

Ett mer ovanligt alternativ är sjövärme. Ett foderrör placeras på botten av en sjö eller älv. Har stabilare värmeintag än luftvärme även om den också kan variera stort från ca 0-20 grader. Sjövärme har nackdelar som utsatthet för tex vattendjur, fiskeredskap eller andra vattenaktiviteter och kan kräva mer underhåll.

### **5.2.5 Jordvärme**

Jordvärme är ett vanligt alternativ för villaägare med mark till förfogande. Foderrör grävs ner ungefär 1 m under markytan och breds ut över en stor yta. Här kan vi få en värmefaktor på upp till ca 5. Effektiv på att värma upp, och relativt enkel att installera. Värmen kommer från att marken värms upp av solen under sommarmånader och den värmen pumpas in i huset vintertid. Detta system används bara för uppvärmning, ej kylning, då det är för varmt en meter ner i jorden då det skulle vara aktuellt med nedkylning.

### **5.2.6 Bergvärme.**

Bergvärme är det bästa alternativet för Tölanderska huset av flera anledningar. Bergvärme tar värme från berggrunden och värmen kommer främst från jordens mitt där berget ökar i värme ju längre ner i marken du kommer. Ungefär 12% av värmen kommer även ovanifrån i form av solvärme. (SGU) Detta ger den mest stabila temperaturen. Då Tölanderska huset inte skall behöva ha mark till förfogande är det även det minst invasiva alternativet för den mängd värmeenergi som behöver tas upp. Detta är alternativet som kan ge upp till 6 i värmefaktor med rätt värmepump. Värmen i borrhålet kan dock sjunka med upptagningen, då vätskan som för upp värmen blir kyld av att värmen utvinns, och sedan förs tillbaka ner i borrhålet för uppvärmning på nytt. På sommaren kan bergvärme användas för att i stället kyla inomhusluft och värme förs då ner i borrhålet och skyndar på den naturliga

uppvärmningen till nästa uppvärmningsperiod. Det är värt att tänka på att borrhålen inte skall placeras för nära varandra om det är fler hushåll i närheten som använder samma typ av uppvärmning. Även en borrhållad brunn bör placeras en bit ifrån för att de inte skall påverka varandras temperatur.

Så för att ta ner elenergiebehovet för uppvärmning används en bergvärmepump i detta fall. Bergvärme kan även användas till nedkyllning. Men för att spara energi begränsas användningen till uppvärmning, då nedkyllning väldigt sällan behöver tas hänsyn till i Sverige, samt att det finns andra mer mekaniska bygglösningar för att inte byggnaden skall få för hög inomhustemperatur. Exempelvis solpaneler i stället för fönster i söderläge. Dock produceras en del passiv frikyla från berget utan att behöva tillföra mer energi samt att möjligheten för aktiv kylning finns om det skulle uppstå en extrem värmeperiod.

För att veta hur mycket värme vi kan få ut genom att tillföra elenergi till bergvärmepumpen behöver vi veta pumpens COP-värde, Coefficient of Performance, . (Geothermal heat pump and heat engine systems pdf s.200) eller ännu hellre SCOP vilket betyder pumpens årsverkningsgrad. , Seasonal Coefficient of Performance, Prestandan uppmätt över ett år, med hänsyn till temperaturväxlingar. Bergvärmepumpar är som mest effektiva för användning av golvvärme, därför är det SCOP för golvvärme vi jämför med, och använder oss av, för uppvärmning av boytor. SCOP-mätningarna utgår från Helsingfors Finland, och är således anpassade för ett kallt klimat i Norden. Effekten för att värma vatten till varmvattentank är lägre och betecknas COP VVB

Tillverkare och modell Bergvärmepump	effekt [kW]	SCOP 35 golvvärme värmefaktor [-]	COP VVB,/ Verkningsgrad varmvatten [-]	
Thermia Atlas 18	18	6,15	3,1	
NIBE S1256-18	18	6,22	1,25	
IVT Geo 616	15	5,55	3,2	
Bosch Compress 7800i LWM 16	16	5,6	3,2	

Tabell 2 Bergvärmepumpar

Som visas i tabellen ligger normal värmefaktor runt 5,5 för pumpar med 16-18 kW. Det finns modeller med lägre SCOP, Men då vi inte tittar på pris, och i stället prestanda är dessa mest representativa. Thermia Atlas 18 och NIBE S1256-18 sticker ut med SCOP 6,22 och Thermia Atlas 18 med 6.15. COP VVB- värde är inte sämre än konkurrenterna så till detta projekt väljs Thermia Atlas 18.

För att räkna ut energianvändningen vid användning av bergvärmepump tas årsbehovet av energi dividerat med pumpens SCOP-värde.

$$E_{\text{berg}} = E_{\text{uppv}} / \text{SCOP} = 20419 / 6,15 = 3320 \text{ kWh} \quad (19)$$

### 5.3 Varmvatten

Enligt energimyndighetens undersökning "Mätning av kall- och varmvatten i tio hushåll" från 2008 är användningen av varmvatten ungefär 79,9 l/dag och lägenhet med 3 vuxna personer, med en temperatur på vattnet av 52 grader. Detta är ett medelvärde och den verkliga förbrukningen varierar med person beroende på ålder och aktiviteter.

Detta ger en ungefärlig årsförbrukning för Tölanderska huset på 17 498 liter varmvatten ( $V_v$ ) a 52 grader per år.

$$V_v = 6 \text{ lägenheter} * 79,9 \text{ l/dag} * 365 \text{ dagar} = 17\,498 \text{ liter} \quad (20)$$

Vatten som hämtas ur ytlig vattentäkt varierar i temperatur mellan 0 och 20 grader då vattentemperaturen följer temperaturen i luften. Medans djup vattentäkt har stabilare temperatur varierande runt 10 grader. (Reningsteknik s.149). För enklast beräkning och stabilare värden antar vi att tillgång finns till djup vattentäkt. För att värma upp denna mängd vatten från 10 till 52 grader krävs  $E_{vv} = 8533 \text{ kWh}$ . Uträkningen använder vattnets specifika värmekapacitet som omvandlas till kWh. Detta är den teoretiska energiberäkningen. I realiteten krävs ytterligare energi för att kompensera värmeförluster i transport och lagring av varmvatten, men det ger ett riktvärde att använda i fortsatta beräkningar.

$$E_{vv} = V_v * 42 \text{ grader} * 4,18 \text{ kJ}/(\text{C} * \text{kg}) / 3600 = 8533 \text{ kWh} \quad (21)$$

Vattnet värms upp med bergvärmepump men får spillvärme från bränslecell, och eventuellt förbränningstolett samt dusch med vattenåtervinning.

För att värma upp vattnet med bergvärme kontinuerligt när vattnet behövs kan vi räkna med Värmepumpens COP VVB -värde 3,1 (tabell 1)

$$E_{va} = 8533 \text{ kWh} / \text{COP VVB} = 2753 \text{ kWh} \quad (22)$$

## 6 Elproduktion

### 6.1 Sol och vind

För småskalig energiproduktion har vi främst de två alternativen Solenergi och vindenergi. Även om vindenergi inte är särskilt vanligt för enskilda användare är det ett gångbart alternativ. Vindturbiner placeras antingen på tak, för mindre konstruktioner. Eller på stativ för större kraftverk som behöver stå för sig själv. Anledningen till att Tölanderska huset inte kommer projekteras med vindkraft är den yta som behövs. För att få tillräckligt mycket vind behöver ett vindkraftverk placeras högt. Enligt plan och bygglagen behövs bygglov för kraftverk fäst på hustaket eller fristående högre än 20 m och kraftverket behöver ha en radie runt sig som är lika lång som dess höjd vilket behöver vara inom fastighetens tomtgräns och kräver stor plats. Plan- och byggförordning (2011:338) 6 kap. 1 §

Det kan säkert i bygglovsansökan godkännas i särskilda fall med överskridelser på dessa krav, men det är ändå inte till fördel för Tölanderska huset då det inte planeras någon större tomt för fastigheten, och om turbin sätts på tak kan det vara så att effekten av den extra energin minskas då solpanelerna blir skuggade. Integrerade solpaneler är det bästa alternativet då de passar bra in i husets design genom att faktiskt vara två olika byggnadsdelar. Dvs både tak och vägg. Utan närmare analys torde det vara med ekonomiskt också då kostnad för yttertak och väggpanel ej behöver räknas med. Till skillnad från vindkraft som står som en egen enhet. Det visar sig även enligt uträkningarna nedan att hela energibehovet kan täckas med solceller, och behöver inte kompletteras.

### 6.2 Jämförelse av olika solpaneler

Då Tölanderska huset är nyproduktion och vi kan bygga in ett integrerat soltak, i stället för att montera utanpåliggande paneler på ett befintligt tak så är jämförelsen nedan för integrerade solceller från några företag med distribution i Sverige. Integrerat tak gör att du kan ha mer yta täckt av solceller än om paneler skulle monteras ovanpå tak, och således få ut mer energi.

$P_{max}$  är den högsta effekt uppmätt för 1 kvm av panelen under 1000W solinstrålning i omgivande temperatur av 25 C. Det är främst detta jämförande mått som används vid beräkning av total producerad energi och effekt. Ett av företagen sticker ut med paneler som har  $P_{max}$  225W. Då Sunroof även har Svensktillverkade paneler blir de det självklara valet om hänsyn endast tas till tekniska data och närhet i produktion.

Tillverkare	vikt /panel [kg]:	Tjocklek [mm]:	Nominell Effekt /märkeffekt /Pmax W/m <sup>2</sup>	Mått /panel [mm]:	Area /panel [m <sup>2</sup> ):	tillverkning
<b>Sunroof</b> soltak	23,5	5	225	1135 x 1715	1,95	Sverige
<b>Midsummer</b> solcellsmodul tunnfilm Bold	6	2	120	2000x1000	2.0	Sverige
<b>Lindab</b> soltak	8,8	2,5	162	3000x565	1,7	Ospec. Europa
<b>Roofit</b> NuClick® solcellstak	16.5		170	475 x 2044	0,97	Ospec. Europa

Tabell 3. Jämförelse Solpaneler

## 6.3 Kapacitet

Tölanderska huset har en möjlig yta för solpaneler på tak och väggar i söderläge som uppgår till 404kvm tak med lutning 43° samt 2st söderväggar à 97 kvm vardera med lutning 90°.

Soltaket med Peak power effekt 74 kW ger en årsproduktion på ca 91'437 kWh

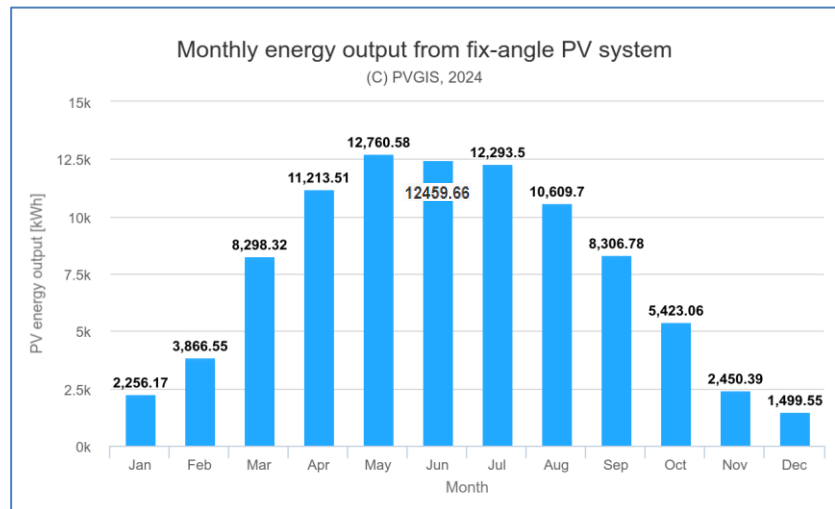
Solväggar med Peak power effekt 35 kW ger en årsproduktion på ca 32'982 kWh

Totalt en årlig produktion på 124'419 kWh och gemensam effekt på 109kW

Uträkningarna är gjorda med verktyget PVGIS

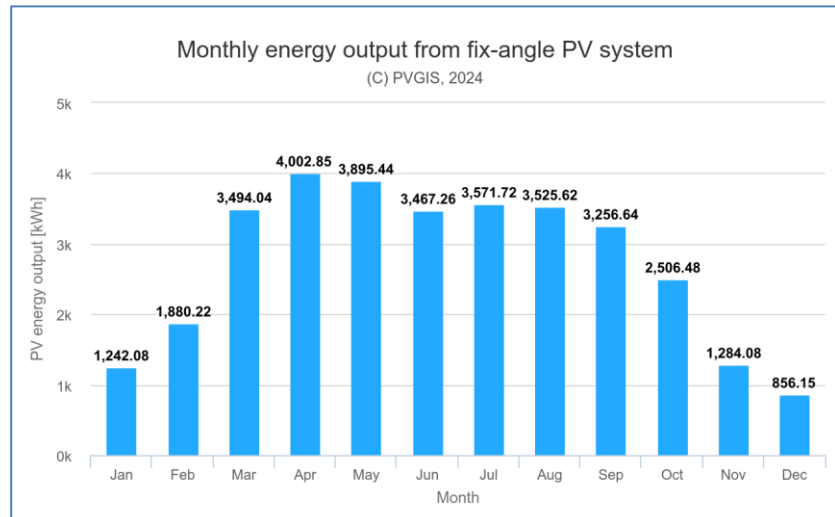
JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu)

Summary	
<b>Provided inputs:</b>	
Location [Lat/Lon]:	57.862,11.628
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	90.9
System loss [%]:	14
<b>Simulation outputs:</b>	
Slope angle [°]:	43 (opt)
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	91437.75
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	1273.96
Year-to-year variability [kWh]:	2866.66
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.85
Spectral effects [%]:	1.31
Temperature and low irradiance [%]:	-6.71
Total loss [%]:	-21.04



Figur 9 genererad energi från solcellsvägg

Summary	
<b>Provided inputs:</b>	
Location [Lat/Lon]:	57.862,11.628
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	43.65
System loss [%]:	14
<b>Simulation outputs:</b>	
Slope angle [°]:	90
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	32982.59
Yearly in-plane irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]:	957.48
Year-to-year variability [kWh]:	1063.41
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-4.06
Spectral effects [%]:	1.46
Temperature and low irradiance [%]:	-5.73
Total loss [%]:	-21.08



Figur 10 genererad energi från solcellstak

## 6.4 Samlad energianvändning

<b>Energipost</b>	<b>[kWh]</b>
Fastighetsel hiss+ventilation+vattenpump	6980
Hushållsel	18'000
förbränningstoalett	59'130
Uppvärmning, beräkn. Efter Bergvärmepump (SCOP)	3320
Varmvatten, beräkn. efter värmepump (COP)	2753
Bortfall elektrolysör Ee, 46'144k-34'607kWh (75% verkningsgrad)	11'537
Bortfall Bränslecell 34'607 kWh*0,45 (55% verkningsgrad)	15'573
<b>Total energianvändning</b>	<b>117'293</b>
<b>Producerad energi</b>	<b>124'419</b>
<b>Energibalans producerad energi - energianvändning</b>	<b>+7'126</b>

Tabell 4 samlad energianvändning

Trots att värmeenergin från Bränslecellen inte är inräknat på plus-sidan får vi ett spelrum på +7'126kWh /år vilket är en bra säkerhet, om någon funktion i huset ändras, och framför allt för att teoretiska uträkningar aldrig stämmer exakt med verkliga förhållanden. Poängteras skall att denna uträkning är översiktlig och för att få ett säkert resultat att lita på vid byggnation behöver varje del i rapporten beräknas på ett djupare plan för bättre noggrannhet.

## 6.5 Effektbehov

Totalt energibehov kan räknas ut över ett år och visa på att elproduktionen räcker och blir över, men för att få huset att fungera behövs också beräknas effektbehov. Effekt är den el systemet kan leverera direkt d.v.s. strömningen av el till de olika funktioner som är installerade i huset. Även om alla funktioner kanske inte används på samma gång måste ändå kapaciteten vara beräknad för att kunna göra det. Solcellerna i sig har en maxkapacitet med 109kW (kap. 6.3) på grund av sin storlek väderstreck och lutning.

För att räkna ut effekten som behövs för den kontinuerliga uppvärmningen av varmvatten används det sannolika flödet, eftersom alla tappställen inte används samtidigt. Det sannolika flödet kan avläsas från en graf med hjälp av normflödet. (SS-EN 806-3:2006)

$$P_{vv} = p \cdot c \cdot q \cdot (\Delta T) = 1000 \cdot 4190 \cdot (0,82/1000) \cdot 42 = 144 \text{ kW (C.Warfvinge)} \quad (23)$$

Med bergvärmepumpens COP VVB-värde får vi 144kW/3,1= 46kW

	ST	normflöde [l/s]	normflöde tot [l/s]
<b>Antal personer</b>	<b>18</b>		
<b>Antal tappställen</b>			
Kökskran	6	0,2	1,2
Badrumskran	7	0,2	1,4
Diskmaskin	6	0,2	1,2
tvättmaskin	6	0,2	1,2
dusch	6	0,2	1,2
<b>totalt normflöde</b>			6,2
sannolikt flöde			0,82

I produktinformationen för elektrolysör electrolyser EL 2.0 från Euromekanik står att elektrolysören använder 2,4kW.

På Grundfos hemsida har en dränkbar vattenpump för höjd 110m ca 5 kW i effekt.

Hissen har godtyckligt valts till HydroElite® VIDI från Hydroware som drar hissen med 5 kW enligt produktblad.

Vid förbränning kräver förbränningstoaletten Cinderella 1-2kW i effekt. Om hälften av de 6 toaletterna som används dagligen bränner samtidigt behövs en effekt på 6kW

Momentana effektbehovet för hushållsel kan approximeras till max 11kW enligt vattenfalls tabell för val av huvudsäkring.

Enligt uträkning (16) är effekten för värmebehovet 11,2 kW och med Bergvärmepumpens SCOP-värde 6.15, från tabell 1, fås  $11,2/6,15=1,82$  kW

## 6.5.1 Effektbehov totalt

När alla delar läggs ihop blir effektbehovet 77,22 kW vilket solcellerna täcker. Även batterierna och bränslecellen kan driva totala effekten ensamma eller stötta solcellerna då de inte har maxkapacitet.

Effektpost	Effekt [kW]
värme vatten	46
elektrolysör	2,4
vattenpump	5
hiss	5
förbränningstolett	6
hushållsel	11
värme luft	1,82
<b>totalt effektbehov</b>	<b>77,22</b>

Tabell 5 sammanställning av effektbehov

## 6.6 Energilagring

### 6.6.1 Från dagenergi till nattenergi

Det är vanligt att när en husägare installerar solceller eller soltak på sitt hus installerar de även ett större batteri för att lagra sin överproduktion av energi. Vattenfall rekommenderar batterier med kapacitet 10-20 kWh för en villa eller motsvarande 1kWh batterilagring per installerad kWp. Det är en liten del av den energi som produceras och kan inte användas för långtidslagring, men passar bra för att spara och använda dagar när solen inte skiner samt nattetid. För lagring till vinterhalvåret krävs större lagring, till exempel i form av vätgas. Det går även att lagra energi genom att hålla ett större lager av varmvatten, men i det här projektet används batterier, och varmvatten värms i stället upp kontinuerligt då det behövs.

För att veta hur stor batteripark som behövs för korttidslagring räknar vi på grundenergin under en dag  $E_{gdag}$ , vilket innebär den del av det kontinuerliga energibehovet som inte innefattar uppvärmning av boyta, då det är främst under sommarhalvåret som det är aktuellt med batterilagring. (figur 5) Under vinterhalvåret finns inget överskott. Då används i stället den långtidslagrade vätgasens energi, och batteriet får vila, med undantag för underhållsladdning. Daglig grundenergi  $E_{gdag}$  för månaderna april till oktober blir 240kWh  $E_g$  är total grundenergi och finns i uträkning (25)

$$E_{gdag} = E_g * 7 \text{ månader} / 213 \text{ dagar} = 240 \text{ kWh} \quad (24)$$

Även om hela dagens energibehov inte behöver lagras i batteriet för att få tillgång till el under hela dygnet dimensioneras batteriet för två dagars

grundenergiförbrukning, eftersom panelerna kanske inte producerar tillräckligt med energi en eller kanske tre dagar i rad och då används batteriet för att toppa upp det som saknas de dagarna. Det är även så att batterier inte skall laddas helt fullt för att bibehålla en god kapacitet hela batteriets livslängd.

Tillverkare och modell Solcells-Batteri	effekt [kW]	Lagringskapacitet [kWh]	Dimensioner bredd/djup/ höjd [m]
SonnenBatterie 10 performance	9,9	55	2x 0,69/0,36/1,84
Vattenfall APX HV Battery	15	30	2x 0,69/0,19/1,25
Eon BYD HVS 10.2	5,12	10,24	0,3 x 0,58 x1,23

Tabell 6, Jämförelse av batterier

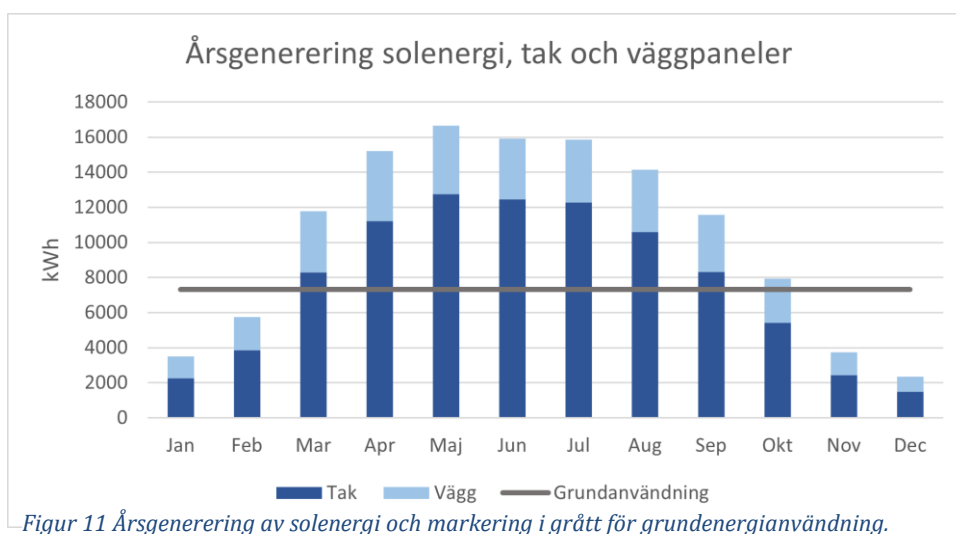
Några exempel i tabellen visar hur mycket som kan lagras i en batterimodul. För att uppnå den dygnskapacitet som behövs kombineras fler batterier. Varje modul har en fast effekt som inte varierar beroende på hur många batterier som installeras i modulen. Men om vi använder flera moduler kan vi koppla dem till olika delar av huset och på så sett få ut större effekt, än om vi bara har en stor batterimodul. I Tölanderska huset använder vi modulen från Sonnen. Med 8 batterimoduler kan vi få en dygnslagring på upp till 440 kWh samt effekt 80kW. Modulerna kräver en yta i huset på 4 m<sup>2</sup>. Då täcker vi både behovet för två dagar helt utan sol samt effektbehovet.

## 6.6.2 Från sommarenergi till vinterenergi

Vintertid hämtas energi från solen, precis som på sommaren men inte i närheten så mycket som behövs för Bostadshusets energianvändning. Däremot under sommaren hämtas ett stort överskott, och för att den energin inte ska gå förlorad behöver den lagras. Långtidslagring i mindre skala men över batterikapacitet, består nästan enbart av vätgas idag. Men även vätgaslagring är svårt att hitta exempel på. Användning av vätgaslagring är större när det gäller fordon och industri. I större skala finns andra metoder, som exempelvis lägesenergi i form av dammar. I vanliga fall skickas överskottsenergin från hushåll ut i det gemensamma elnätet, men skall huset vara bortkopplat från samhället och stå för sig själv behövs det egen lagring och Tölanderska huset kommer lagra med hjälp av vätgas i tryckbehållare i gasform. Andra sätt att lagra vätgas är att kyla ner till -253 grader Celsius, då blir vätet flytande och kan förvaras i mindre behållare. Det forskas även på att lagra vätejoner i metall i fast form, men det är inget som finns tillgängligt på marknaden idag.

Flytande väte är en större risk om något går fel då vätskan inte med en gång skingras utan är en brandfara om behållaren skulle läcka. Därför väljs gas till Tölanderska huset. Om en gasbehållare med vätgas läcker kan gasen skingras snabbt och inte utgöra någon brandfara, med rätt varningssystem och åtgärder.

### 6.6.3 Lagringsbehov



Figur 11 Årsgenerering av solenergi och markering i grått för grundenergianvändning.

För att räkna ut hur mycket lagringskapacitet för energi som behövs, utgås från den energianvändning som inte varierar över året. Den enda posten i energianvändning som varierar är värme-energi. Därför summeras alla energiposter förutom värmeenergi, då värmeenergin inte behöver lagras utan i stället används direkt.

För att veta hur mycket energi som behöver produceras och hur mycket av den energin som behöver lagras för senare användning behövs information om hur stor användningen är över året och hur stor del av året som behöver extra uppvärmning på grund av utetemperaturen vintertid.

Då den största produktionen från solcellerna sker under de perioder då det inte behövs någon uppvärmning alls, utgås från energibehovet fördelat över året exklusive uppvärmning  $E_{\text{berg}}$ . Den energi som i diagrammet, figur 7 hamnar över grundbehovet är den energi som behöver lagras i vätgastankar.

Lagringsutrymmet fylls på kontinuerligt till den dag på året då produktionen sjunker under det totala energibehovet. Upp till den punkten har det ackumulerats vätgas i tankarna och nått max energilagringsbehov. Med det kan kapacitetsbehovet av lagring, antal tankar samt kapacitet för elektrolysör beräknas.

Den totala grundenergin fås genom att lägga ihop de olika energiförbrukningsposterna förutom värme, det vill säga Fastighetsel  $E_{\text{fast}}$  Hushållsel  $E_{\text{hus}}$ , Varmvatten  $E_{\text{va}}$  samt Toaletter  $E_{\text{t}}$

$$E_g = E_{\text{fast}} + E_{\text{hus}} + E_{\text{va}} + E_{\text{t}} = 7'307 \text{ kWh} \quad (25)$$

Uppvärmningsperioden börjar och slutar när utetemperaturen når Gränstemperaturen  $T_g$ . Detta inträffar vid en utomhustemperatur på  $7^\circ\text{C}$ . Enligt SMHI inträffar dessa förändringar i april respektive november. Dock är kapaciteten för låg redan i november för att klara att tillgodose grundenergin och därför kommer det ändå att vara som mest lagrad energi i oktober innan den energin behöver användas i november, och tvärt om genereras redan i mars så

mycket energi att tillskott med vätgas ej är nödvändigt då det blir ett överskott som täcker både grundenergi och uppvärmning. Skulle det vara kallare i mars något år eller uppvärmning behövs i början på mars, finns det spelrum då det kommer lagras mer än totalt energibehov från vätgas. Förenklat kan sägas att överskottet samlas in under perioden april till oktober. Då detta är en översikt har inte batterilagringen tagits med i beräkningen.

$$E_l = E_{l\text{apr}} + E_{l\text{maj}} + E_{l\text{jun}} + E_{l\text{jul}} + E_{l\text{Aug}} + E_{l\text{sept}} + E_{l\text{okt}} = 46'144 \text{ kWh} \quad (26)$$

#### 6.6.4 Säkerhet

Vätgas är brandfarligt och bör behandlas därefter. Att förvara vätgas i ett flerbostadshus är inget som är konventionellt, och det kräver en noggrann och mycket viktig utredning av säkerhetsaspekter.

'Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor' beskriver översiktligt om bestämmelser för förvaring av trycksatt gas men hänvisar till 'MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler' där det är beskrivet mer i detalj hur förvaring får ske. Det är inte tillåtet att förvara lösa tuber med vätgas i ett flerbostadshus om de avses att fyllas någon annanstans och transporteras. Det är dock tillåtet med fast vätgasförvaring som fylls på plats. Dock måste vätgasen förvaras i ett avskilt utrymme med brandteknisk klass lägst EI60 vilket innebär att golv, väggar och tak skall stå emot brand i 60 min. Det är också krav på god ventilation på minst 0,5 omsättning/timme och ventilationen skall ej vara sammankopplad med husets övriga ventilation och vara minst 1 meter från husets övriga ventilationsintag. Koncentrationer under 8% vätgas i utrymmet är ok, men över detta värde råder brandfara. ()

Fler krav är att underhållspersonal som arbetar i byggnaden behöver utbildning i hantering av vätgasförvaringen och för allmänhet och boende, information i form av varningsskyltar. Det är också viktigt att inte förvara gastuber över sin livslängd då de kan korrodera.

Då det forskas på nya sätt att använda vätgas forskas det även på säkerheten i förvaring, vilket kan läsas i rapporten 'Säker vätgashantering i tätbebyggda områden (Marcus Runefors 2023)' Där diskuteras olika detekteringsmetoder för läckage samt säkerhetsavstånd.

Bästa säkerhet kan nog konstateras vara att förvara vätgasen utanför byggnaden, i mark eller fristående byggnad, men det är en intressant sak att utreda för möjligheten att ha alla installationer i en byggnad.

#### 6.6.5 Elektrolysör, Batteri och bränslecell

En elektrolysör omvandlar vanligt kranvatten till väte och syre med hjälp av två elektroder och en elektrolyt, när väte och syre separeras fångas vätgasen upp i trycksatta vätgastuber som kan hålla för upp till hela 700 Bar och syrgasen släpps ut i luften. I större anläggningar fångas även syrgasen upp för användning på t.ex. sjukhus.

En elektrolysör tar inte upp särskilt mycket plats i sig, Electrolyser EL 2.0 från Euromekanik är endast 0,48 x 0,49 x 0,35 m.

Verkningsgraden för en elektrolysör ligger runt 75% (Uniper Sverige) vilket gör att det tappas en hel del energi i omvandlingen. det är vätgaslagringen som är skrymmande. Solcellerna behöver med andra ord vara överdimensionerade pga verkningsgraden för att lagra energi via vätgas.

Omvandling av  $E_1=46'144\text{kWh}$  till vätgas ger  $46'144\text{k} \cdot 0,75=34'607\text{kWh}$

1 kg vätgas ger 33 kWh energi så behovet av lagring i kg uppgår till 1049 kg.

Till Tölanderska huset väljs sammansatta moduler från Euromekanik som erbjuder en helhetslösning med förvaring tillsammans med elektrolysör. Varje modul har 18 cylindrar och kan ta 22kg vätgas och hela modulen har bas 1,1x0,9m och höjd 2m. Detta innebär att det behövs 32 st som behöver en uppställningsyta på ca 32 kvm.

Dessa moduler är anpassade för mindre lagring som båtar eller fastigheter och anpassade för att anslutas till en bränslecell för omvandling till el, men tar upp mycket plats, vid ett större lagringsbehov.

Ett kanske bättre alternativ kan vara större industribehållare där endast en stor cylinder bär hela lagringskapaciteten. Industribehållarna tar tryck upp till 350bar, jämfört med de sammansatta modulerna som tar 400bar. Den blir därför också stor, otymplig och placeras bäst i egen byggnad eller under jord. Visionen för Tölanderska huset är att så mycket som möjligt skall kunna placeras i själva huset och då passar modulerna bättre då de är enklare att anpassa till utrymmet, och kan var för sig relativt enkelt tas in via hissen och genom dörrar.

Det finns ytterligare ett alternativ som är värt att titta på och det är vätgastankar tänkta för lastbilar. De behöver ju vara mindre för att kunna transporteras i lastbilen på ett praktiskt och säkert sätt. Företaget Voith har börjat tillverka en tank för lastbilar vars moduler rymmer 112 kg vätgas och kan ta ett tryck på 700bar. Dessa är dock anpassade för fordon och är inte i dag applicerbara för direkt användning kopplad till elektrolysör och bränslecell, men ett spännande alternativ för framtiden, om marknaden tillåter.

Som bränslecell väljs PowerCellution Heavy Duty System 100 som omvandlar den lagrade vätgasen tillbaka till elektricitet igen. Den är 0,6 x 0,7 x 0,7 m och klarar att ge upp till 100kW i effekt. Men verkningsgraden är enbart 55% det som inte blir el försvinner i form av 80 grader varmt vatten då processen genererar hög temperatur och bränslecellen måste kylas. Denna värme är tänkt att värma upp husets varmvatten och är redan konstruerad för det ändamålet. Då bränslecellen kommer köras under årets uppvärmningsperiod kan den värmen även användas för uppvärmning av huset. På så vis utnyttjas ändå nära all energi från vätgasen.

## 7 Vatten

### 7.1 Vattenanvändning

vattenanvändning tvättmaskin energiklass A	44	l/cykel
vattenanvändning diskmaskin energiklass A	8,4	l/cykel
<b>Totalt disk och tvätt / år för 6 lägenheter</b>	9'384	l/år
kallvattenanvändning / lägenhet /dag exkl. disk och tvätt	63,4	l/dag
varmvattenanvändning per lägenhet /dag	79,9	l/dag
<b>Total varmvattenanvändning / år</b>	174'981	l/år
<b>Total kallvattenanvändning / år exkl. disk och tvätt</b>	23'141	l/år
<b>Total vattenanvändning</b>	<b>207'506</b>	<b>l/år</b>

Tabell 7 sammanställning av vattenanvändning

Vattenanvändning i Tölanderska huset uppgår enligt uträkningar till 207'506 l/år. Siffror är tagna ur energimyndighetens undersökning "Mätning av kall- och varmvatten i tio hushåll" från 2008 där de har undersökt användningen i flera olika hushåll med olika familjekonstellationer och boendesituation. Siffrorna här är tagna från analysen av ett hushåll med 3 vuxna personer på 100kvm boendeyta. Dock är inte disk- och tvättmaskin-användningen med i rapporten, dessa två poster är hämtade från Elgigantens utbud av A-klassade maskiner. Och kalkylerat med avseende på användning av tvättmaskin 3 ggr per vecka och diskmaskin 300 ggr per år. Ej heller toalettwater är inräknat, vilket passar bra då Tölanderska huset inte behöver vatten till toaletter utan använder förbränningstoaletter.

### 7.2 Vattentäkt

Det finns flera olika sätt att få tillgång på vatten. Vatten kan tas från till exempel hav, sjö, grund vattentäkt, grävd brunn eller borrhåll och om inget annat finns kan regnvatten renas för användning. Dock är regnvatten inte aktuellt för ett flerfamiljshus utan kan tas hänsyn till om vatten behövs till ett flyttbart hem eller där det inte finns andra vattenkällor än från ovan.

#### 7.2.1 Avsaltningsanläggning

Avsaltningsanläggning kan användas om huset placeras på tex en ö i havet, då sätts en pump relativt ytligt där vatten tas upp och avsaltas (Reverse Osmosis) som separerar salterna från vattnet med hjälp av filter, och släpper tillbaka saltet ut i havet, vattnet silas innan dess från partiklar och renas från bakterier mha uv-ljus och mineralämnen. Avsaltat vatten lagras sen i tank i väntan på förbrukning. Denna typ av vattentäkt är mycket beroende av vattenkvalitet och kräver mycket underhåll då det kan ansamlas mycket organiskt material och angrepp av tex havstulpaner på anläggningen som behöver skrapas bort. Används främst om inga andra källor till vatten finns.

## 7.2.2 Ytvattentäkt

Ytvattentäkt är liknande havs-vattentäkt men med skillnaden att du inte behöver gå igenom steget att avsalta vattnet. Men du har samma behov av rening från organiska ämnen och bakterier när du tar vatten ur en sjö. Detta alternativ har Göteborg som tar sitt färskvatten från Göta älv och Göteborgs stad sköter reningen åt sina invånare, Det blir både säkert och bekvämt för befolkningen. Du behöver inte tveka på om vattnet i din kran har god kvalitet för det kontrolleras dagligen på Göteborgs vattenreningsanläggning vid Alelyckan och Lackarebäck. Både i hav och sjö varierar temperaturen på vattnet kraftigt. I en sjö kan det variera mellan ca 4 och 20 C. Det bör dock vara högst 12 grader på vattnet enligt livsmedelsverket så om det stiger över 12 grader kan det vara nödvändigt att ha pumpen djupare. Hav och sjö är känsligt för kontaminering och det behövs regelbundna kontroller för att upptäcka om vattnet blivit otjänligt av yttre omständigheter.

## 7.2.3 Kalkälla

Kalkälla är ytterligare en typ på ytvatten, men med vatten som trycks upp naturligt från grundvattnet. Detta vatten håller lägre temperatur och har större genomströmning, därav namnet kalkälla. Detta är också ett alternativ som kräver mycket underhåll då Kalkällan omges av vegetation och mycket organiskt material. Ifall en använder sig av en kalkälla byggs en brunn med betongringar och tar vara på det naturliga trycket uppåt. Den behöver inte vara lika djup som en grävd eller borrarad brunn. Då den är ytlig är det dock stor risk för kontaminering från omkringliggande verksamheter som gödsling och bekämpningsmedel från jordbruk, eller föroreningar från skogsavverkning och även översvämning som medför att det kan tränga in smutsigt vatten ovanifrån i stället för ifrån källans grundvatten.

## 7.2.4 Rörspetsbrunn

Rörspetsbrunn är ovanligt, och i Göteborg med mycket lera kan det vara knepigt då den behöver stenig och sandig jord för att fungera bra. Den är dock relativt underhållsfri då röret med ett intagningshål vid grundvattennivån grävs ner och ingen del av röret är ovan mark utan leds direkt in till huset. Problem som kan uppstå är vid grundvattennivåsänkning och närliggande kontamineringskällor. Positivt är att metoden gör liten inverkan på landskapet. Dock inget val om det behövs tas upp stora mängder vatten.

Grävd brunn är mycket vanligt i Sverige för de husägare som har egen brunn, den är lätt att anlägga och fungerar lite som Kalkäll-brunnen fast djupare. Den grävs till ett djup som är under grundvattennivån och har inte vattentrycket uppåt. Botten på brunnen kan ha filter eller ett lager av grus och sand, där grundvattnet sipprar in. Denna typ av brunn är stabilare i fråga om kontaminerat vatten men måste kontrolleras och skyddas mot kemiska ämnen mikroorganismer trafik-kemikalier och sur nederbörd, Det är därför viktigt att brunnen är tät och

ventilerad, för att säkerställa att vattnet tas från grundvattentäkten och inte från kontaminerat vatten uppifrån.

### **7.2.5 Borrerad brunn**

Borrerad brunn fungerar lite som en grävd brunn men djupare. Den kan vara upp till 200m djup, och smalare i utförandet med stål- och plast-rör. Djupet av brunnen bestäms av hur långt ner berggrunden finns och hur mycket vatten som behöver tas upp. Den upptagande delen finns nere under berg och utnyttjar bergets sprickor och håligheter för att ta upp vatten, även om grundvattenytan skulle vara flera meter över berggrunden. Det gör att temperaturnivån ligger på en jämn nivå runt 10 grader. I regel hittar du här det renaste vattnet och behöver inte någon större reningsprocess när du hämtar upp vattnet. Men här ser vi andra problem med rening än för ytligare brunnar eller ytvatten, då det kan förekomma föroreningar som t-ex radon, arsenik, bly eller kadmium. Om skadliga ämnen överstiger gränsvärdena behöver filter sättas in för att ta hand om dem. Ett annat problem som kan uppstå är att om man borrar för djupt eller använder allt för mycket vatten från brunnen än vad den är dimensionerad för kan det komma in saltvatten. Inte nödvändigtvis från havet, men från vattenreservoarer som har sitt salt från istiden då vissa delar av Sverige låg under hav med saltvatten, detta gäller främst för kuster och då Göteborg ligger vid västkusten är detta något att tänka på och ta hänsyn till.

Detta verkar ändå som det bästa alternativet och kommer användas som vattenkälla för Tölanderska huset förutsatt att vi placerar huset där det är möjligt för borrning. Då Tölanderska huset kommer använda mindre vatten än ett konventionellt flerfamiljshus kan de ovannämnda alternativen också väljas utifall huset behöver placeras på ett annat ställe än där det finns tillgänglig berggrund. Men på grund av renheten i vattnet och den mer stabila temperaturen är bergborrad brunn att föredra.

## **7.3 Vattenpump**

Vattenpump väljs godtyckligt för att få ett ungefärligt värde på behov av energianvändning och effekt.

Enligt vattenanvändningens sannolika flöde kan konstateras att pumpen behöver klara 50 l /min. På Grundfos hemsida har en dränkbar pump för höjd 110m ca 5 kW i effekt och ca 1800 kWh /år. Dock används 3609 kWh /år i uträkningarna med tanke på det större vattenbehovet jämfört med en normalvilla men effekten är densamma.

## 8 Avlopp och vattenrening

Egen rening av gråvatten är något som är vanligt bland fristående villor, främst på landsbygden där det många gånger inte ens är möjligt koppla upp sig på kommunalt avlopp. Det finns olika mer eller mindre avancerade metoder för vattenrening, men då de inte nödvändigtvis kräver energi för att fungera behöver vattenreningen inte vara med i beräkningarna. Det som kan vara problematiskt med vattenrening är att det kräver plats utanför huset samt att svartvatten måste tas omhand av kommunen av säkerhetsskäl. Bästa sättet att ta hand om avfall är att inte skapa avfall till att börja med. Tölanderska huset löser det med att inte ha något svartvatten alls och således inget behov av septiktank eller upphämtning och forsling till reningsanläggning. För att ändå kunna uträtta sina behov installeras toaletter som använder förbränning av avfallet i så kallade förbränningstoaletter. Förbränningstoaletter är en stor post i energiåtgången, och skulle kunna bytas mot en spolningsfri toalett av komposttyp, eller kompletteras med en toalett för enbart urin, dock tillkommer det i sådana fall ändå hantering av avfallet av tredje part, och en mer omfattande konstruktion för behandling av avfallet. För att toaletterna skall vara så användarvänliga som möjligt väljs förbränningstoaletter som enkelt sköts av användaren genom att tömma askan som är steril och ofarlig att hantera, en gång i veckan i komposten. Det är även det system som liknar mest det vi är vana vid, och är dessutom luktfritt.

## 9 Slutsats

Rapporten visar att det är fullt möjligt att, med teknik som finns tillgänglig idag, projektera ett flerfamiljshus med 6 lägenheter som är självförsörjande på vatten, värme, el och avlopp. Mängden avloppsvatten kan minskas med förbränningstoletter som i sin tur även minskar behov av färskvatten. Utan att göra avkall på bekvämligheter tillgodoses huset året runt med egentillverkad el från solceller som kan lagras i batterier och vätgas. Projekteringen ger ett överskott av elenergi på ca 7000 kWh per år som buffert. Det visar sig även att all teknik förutom bergvärme och vattenhantering kan placeras i byggnaden om så önskas. Således har byggnaden ett eget system, och kan stå fritt från samhället.

## 10 Diskussion

Förväntningarna med projekteringen av ett självförsörjande flerbostadshus var initialt att det skulle fungera, men med villkor på att till exempel sänka värmen eller med restriktioner för användningen av hushållsel och vattenanvändning. Det visade sig dock att det inte var några större problem att generera tillräckligt med energi från solpaneler. Tvärtom kunde det genereras mer än tillräckligt. Dock nästan enbart under sommarhalvåret och problemet blev i stället hur den genererade energin kunde spridas ut över hela året.

Genom att titta på hur andra löst problemet och ta reda på vilka möjligheter till lagring som finns på marknaden, blev lösningen att omvandla solenergin till vätgas genom en elektrolysör, och vid behov omvandla vätgasen till el med hjälp av en bränslecell. Ett problem med omvandlingen är att det blir ett stort bortfall av energi i konverteringen. Men eftersom det blir ett stort överskott av energi från solpanelerna täcktes även förlusten av energi vid omvandlingen och ingen i huset behöver dra ner på sin bekvämlighet.

Delar som batterilagring, bergvärme, värmeåtervinning i ventilation och egen borrhälsbrunn är frekvent använda för att spara energi eller vara delvis självförsörjande och Tölanderska huset har mycket gemensamt med tävlingshuset i 'Solar decathlon Europe' kap 4.3. Utmaningen ligger i energilagringen. Tekniken är skrymmande och det krävs stor säkerhet för att kunna erbjuda en trygg byggnad för de boende.

För att utveckla projekteringen av en byggnad som eget system behövs mer djupgående analys av varje del i denna rapport, och det skulle vara intressant att även gå in på områden som egen vattenrening, livsmedelsproduktion och laddning av el- och vätgasbilar tillhörande fastigheten.

Rapporten visar översiktligt att det är fullt möjligt. Alla parametrar är beräknade utefter bästa förutsättningar och företagens egna data för produkter, därför kan de verkliga resultaten variera från de teoretiska. Men projekteringen lämnat ett spelrum med överproduktion av el samt att värme från förbränningstoletter och bränslecell kan användas till uppvärmning av vatten och inomhusluft.

# 11 Referenser

## Böcker

Burström, P.G. (2007). Byggnadsmaterial: uppbyggnad, tillverkning och egenskaper. (2. uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Fönster som energifaktor Hagman, F (1975). Statens råd för byggnadsforskning, Rapport R43:1975, Stockholm

Sandberg, M. & Granström, K. (2022). Reningsteknik. (Upplaga 1). Lund: Studentlitteratur.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M. (2010). Projektering av VVS-installationer. (1. uppl.) Lund: Studentlitteratur.

## Dokument/publikationer

Boverket (2023). Öppna data - Dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT 1991-2020) för 310 orter i Sverige. <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/dimensionerande-vinterutetemperatur-dvut-1981-20102/> Hämtad 2024-04-03.

Boverkets byggregler BBR  
BFS 2011:6 med ändringar till och med 2018:4 (BBR 26)

Crisis to adaptation: Assessing the drivers of participation in sustainable of-grid construction. Colby, A., & Whitley, C. T. (2022). Human Ecology Review

Design and research of wind-solar hybrid power generation and hydrogen production system with energy storage.

Zeyu Ma

Department of Electrical Engineering,  
Shanghai Maritime University, Shanghai, China

Energy efficiency evaluation of zero energy houses

Edwin Rodriguez-Ubinas a,\*, Sergio Rodriguez a, Karsten Voss b,

Marija S. Todorovic

Department of Construction and Technology in Architecture (DCTA), School of Architecture, Technical University of Madrid

Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt

Mikael Erlström et. al. SGU-rapport 2016:16

Geothermal heat pump and heat engine systems theory and practice

Andrew D. Chiasson, Ph.D., P.E., P.Eng.

Department of Mechanical and Aerospace engineering,

University of Dayton, USA

Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives

H. Barthelemy et. al.

Accepted 29 March 2016

Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler;

MSBFS 2020:1

Utgivare: Anna Asp, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

ISSN 2000-1886 20 mars 2020

Mätning av kall- och varmvatten i tio hushåll

Åsa Wahlström et al.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut 2008

SMHI Normalårstemperaturer år 1991-2020

[https://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.167816!/Normal-temp-1991-2020.xlsx](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.167816!/Normal-temp-1991-2020.xlsx)

SS-EN ISO 9972:2015 SVENSK STANDARD

Byggnaders termiska egenskaper – Bestämning av byggnaders

lufttäthet – Tryckprovningmetod (ISO 9972:2015)

SS-EN 806-3:2006 SVENSK STANDARD

Fastställd 2006-04-25

Utgåva 1

Vattenförsörjning – Tappvattensystem för dricksvatten

SS 24300-1:2020 SVENSK STANDARD

Byggnaders energiprestanda

Del 1: Klassning av värmeeffektbehov

Säker vätgashantering i tätbebyggda områden

Utförare: Avd. för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Marcus Runefors

ISBN: 978-91-7927-403-0 oktober 2023

Årsverkningsgrad för värmeåtervinning med luftvärmväxlare.

Riktlinjer för redovisning av produktdata. 2013-11-29

## **Hemsidor**

BREEM. Building Research Establishment Environmental Assessment

Methodology. Hämtad från

<https://breeam.com/>

Cinderellaeco. förbränningstolett. Hämtad från

<https://cinderellaeco.com/collections/all-products/products/cinderella-premium>

Earthship biotecture. Offgrid samhälle. Hämtad från  
<https://earthship.com/>

Euromekanik. Vätgaslagring. Hämtad från  
<https://www.euromekanik.se/produkter/gaslagring/stationart-vatgaslager/>

Grundfos. Pump till borrhåll. Hämtad från  
<https://www.grundfos.com/se>

Hus.se. Jämförelse av Attefallshus. Hämtad från  
<https://www.hus.se/attefallshus/>

Husdröm. Självförsörjande attefallshus. Hämtad från  
<https://www.husdrom.se/vara-hus/evolution-med-solceller>

Husverket. Attefallshus. Hämtad från  
<https://husverket.se/hus/attefallshus/mansard.m2>

LEED. Leadership in Energy and Environmental Design. Hämtad från  
<https://leed.usgbc.org/leed>

Lindab. Solcellstak. Hämtad från  
<https://www.lindab.se/losningar/byggkomponenter/solcellstak---solarroof/>

Midsummer. Solcellstak. Hämtad från  
<https://midsummer.se/midsummer-bold/>

Nibe. värmepump. Hämtad från  
<https://www.nibe.eu/sv-se/produkter/varmepumpar/bergvarmepumpar/s1256>

Polarpumpen. värmepump. Hämtad från  
<https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/valja-varmepump/varmepumpens-cop--och-scop-varde/>

Powercellgroup. Bränslecell. Hämtad från  
<https://powercellgroup.com/>

Roofit. Solcellstak. Hämtad från  
<https://roofit.solar/sv/solcellstak/takmoduler-med-integrerade-solceller/>

Solar decathlon Europe.  
Byggtävling i energi och hållbarhetslösningar. Hämtad från  
<https://solardecathlon.eu/>

Sonnen. Batteri. Hämtad från  
<https://sonnen.se/produkter/sonnenbatterie-10-performance/>

Svensk Ventilation. Värmeväxlare. Hämtad från  
<https://www.svenskventilation.se/ventilation/varmevaxlare/>  
<https://www.svenskventilation.se/ventilation/varmevaxlare/>

Sunroof. Solcellstak. Hämtad från  
<https://sunroof.se/sv/soltak/>

Thermia. Värmepump. Hämtad från  
<https://www.thermia.se/varmepumpar/bergvarmepumpar-jordvarmepumpar/atlas-bergvarmepump-jordvarmepump/>

Vattenfall. Batteri. Hämtad från  
<https://www.vattenfall.se/media/smartahem/solceller/batteri/growatt/growatt-apx-hv-battery-datasheet.pdf>

Voith. vätgaslagring. Hämtad från  
[https://voith.com/corp-en/news-room/press-releases/2023-12-07\\_first-certified-h2-tank-with-700-bar.html](https://voith.com/corp-en/news-room/press-releases/2023-12-07_first-certified-h2-tank-with-700-bar.html)  
<https://voith.com/corp-en/about-us/company.html>

Vako. Vätgaslagring. Hämtad från  
<https://www.vako.net/>

Zero Sun. Självförsörjande hus. Hämtad från  
<https://www.zerosun.se/>

## **Artiklar**

Mayor and London Assembly set for City Hall move. Hämtad från  
<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-59451799>

The Crystal, Wilkinson Eyre Architects, London, 2012. Hämtad från  
<https://www.ajbuildingslibrary.co.uk/projects/display/id/5545>

The Crystal / Wilkinson Eyre Architects. Hämtad från  
<https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects>

The Crystal by Wilkinson Eyre Architects: A pavilion in a park. Hämtad från  
<https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4224-the-crystal-by-wilkinson-eyre-architects-a-pavilion-in-a-park/>



**CHALMERS**