



CHALMERS



Uppvärmningssystem för passivhus **Energieffektivisering av bostäder**

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

NILS PALMBLAD
MADELENE STAF

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete 2015:24
Göteborg, Sverige 2015

EXAMENSARBETE 2015:24

Uppvärmningssystem för passivhus

Energieffektivisering av bostäder

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

NILS PALMBLAD

MADELENE STAF

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2015

Uppvärmningssystem för passivhus
Energieffektivisering av bostäder

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

NILS PALMBLAD

MADELENE STAF

© NILS PALMBLAD, MADELENE STAF, 2015

Examensarbete 2015:24 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
Byggnadsfysik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Figuren visar en renderad modell av Bo46 passivhus.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

Uppvärmningssystem för passivhus

Energieffektivisering av bostäder

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

NILS PALMBLAD

MADELENE STAF

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Byggnadsfysik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Byggsektorn står idag för 40 % av den totala energiförbrukningen i Sverige och för att förändra detta krävs att husen idag blir betydligt energieffektivare. Att bygga efter passivhusnormer är idag ett växande koncept och genom att utveckla passivhus till noll- eller plusenergihus kommer energiförbrukningen att sänkas. Ett alternativ är att utnyttja solen som energikälla. Problemet är att endast ett fåtal soltimmar kan utnyttjas under vinterhalvåret. Överskottsenergin behöver lagras från sommar till vinter för att driva ett hus på endast solenergi.

Arbetet är utfört gentemot Miljöbron och stiftelsen Bo46. Syftet med arbetet är att finna ett optimalt uppvärmningssystem för ett specifikt passivhus som stiftelsen Bo46 har utformat och säljer prefabricerat. Målet är att huset ska gå från att vara ett passivhus till att bli ett nollenergihus alternativt ett plusenergihus. Detta genom att tillämpa en förnybar energikälla.

Rapporten studerar tre olika uppvärmningssystem som tillämpas på passivhuset; bergvärme, ytjordvärme och lagring av solenergi i markbädden. Uppvärmningssystemen dimensioneras för tre olika städer i Sverige; Göteborg, Östersund och Kiruna. Den el som behövs för att driva uppvärmningssystemet tillgodoses i största mån med solceller. Rapporten tar fram det uppvärmningsalternativ som är mest lämpat. Urvalet sker genom ett poängsystem där poäng ges i kategorierna markförhållande, livslängd och kostnad. Utifrån detta bestäms det optimala uppvärmningssystemet för passivhuset.

Vid tillämpning av uppvärmningssystemen på passivhuset uppnås inte målet för ett noll- eller plusenergihus. I Östersund och Kiruna är det svårt att tillgodose energibehovet. Resultatet av urvalsprocessen visar att ytjordvärme är det system som är mest lämpat för passivhuset.

Rapporten studerar endast den el som behövs för att driva uppvärmningssystemet och inte hushållselen. För solceller väljs enbart att undersöka ett paket för att tydliggöra hur mycket de bidrar med och för att påvisa skillnader mellan städerna.

Nyckelord: Passivhus, uppvärmningssystem, bergvärme, ytjordvärme, lagring av solenergi, nollenergihus, plusenergihus

Heating systems for passive houses

Energy-effectiveness for residences

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

NILS PALMBLAD

MADELENE STAF

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Technology

Building Physics

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The building sector accounts for 40 % of the total energy consumption in Sweden and to change this requires that the houses today become significantly more energy efficient. By building after passive house standards, which is a growing concept, and by improving passive houses to zero/plus energy houses, the consumption can be reduced. Today, there are problems of utilizing sunlight as an energy source in Sweden. During the winter months the sun is low and only a few hours of sunlight can be used. The excess energy needs to be stored from summer to winter to operate a house solely on solar energy.

The thesis is executed through Miljöbron and foundation Bo46. The aim is to find an optimal heating system for a specific passive house which foundation Bo46 has designed and is being sold prefabricated. The objective is that the building should develop from a passive house to a zero-energy alternatively a plus energy house.

The report studies three different heating systems for a specific passive house. The systems studied are geothermal heat, soil heat pump and storage of solar energy in the soil bed. The heating systems are designed for three different cities in Sweden; Gothenburg, Östersund and Kiruna. The report results in the most suitable heating option. The selection is done by a point system where points are awarded in the categories of land relationships, lifespans and costs. On this basis, the optimal heating system for the passive house is nominated.

When applying the heating systems to the passive house, it doesn't develop into a zero- or plus energy house. However it improves into a low-energy building in Gothenburg. In Östersund and Kiruna, it is difficult to meet the demand. The result of the sample shows that the soil heat pump is the most suitable option.

The report only studies the electricity needed to power the heating system and not the required household electricity. A package of solar cells is chosen solely to examine how much they contribute, and to demonstrate the differences between the cities.

Key words: Passive house, heating system, geothermal heat, soil heat pump, storage of solar energy, zero energy houses, plus energy houses

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
<i>DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME</i>	III
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	V
FÖRORD	IX
BETECKNINGAR	XI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 BESKRIVNING AV PASSIVHUS, NOLLENERGIHUS OCH PLUSENERGIHUS	3
2.1 Passivhus	3
2.2 Nollenergihus	3
2.3 Plusenergihus	4
3 INGÅENDE MATERIALPARAMETRAR	5
3.1 Fakta om Bo46 passivhus	5
3.2 Beräkningar	5
4 LAGRA SOLENERGI I MARKBÄDDEN	7
4.1 Solfångare	8
4.1.1 Plana solfångare	8
4.1.2 Vakuumsolfångare	9
4.2 Begränsningar	10
4.3 Tillämpning av systemet på passivhuset	10
5 BERGVÄRME	12
5.1 Bergets egenskaper	12
5.2 Begränsningar	13
5.3 Tillämpning av systemet på passivhuset	13
6 YTJORDVÄRME	14
6.1 Så fungerar en värmepump	14
CHALMERS , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete 2015:24	V

6.2	Begränsningar	15
6.3	Tillämpning av systemet på passivhuset	15
7	SOLCELLER	16
7.1	Solceller från NIBE	16
7.2	Tillämpning av systemet på passivhuset	17
8	SLUTLIGT ENERGIBEHOV FÖR PASSIVHUSET	19
8.1	ASES markvärmelager	19
8.2	Bergvärme	19
8.3	Ytjordvärme	20
9	URVALSPROCESS	21
9.1	Kategori markförhållande	21
9.1.1	ASES (Markvärmelagring)	21
9.1.2	Bergvärme	21
9.1.3	Ytjordvärme	22
9.1.4	Diskussion av poängval	23
9.2	Kategori livslängd	23
9.2.1	ASES (Markvärmelagring)	23
9.2.2	Bergvärme	23
9.2.3	Ytjordvärme	24
9.2.4	Diskussion av poängval	24
9.3	Kategori kostnad	24
9.3.1	ASES (Markvärmelagring)	24
9.3.2	Bergvärme	24
9.3.3	Ytjordvärme	25
9.3.4	Diskussion av poängval	26
9.4	Poängresultat	26
9.5	Diskussion av poängresultat	26
10	RESULTAT	27
10.1	Markvärmelager	27
10.2	Bergvärme	27
10.3	Ytjordvärme	28
11	DISKUSSION	29
12	SLUTSATS	33
13	REFERENSER	34

BILAGA 1 - AREABERÄKNINGAR

BILAGA 2 - GRUNDDDETALJER

BILAGA 3 - BYGGNADERS ENERGIBALANS

BILAGA 4 - BERÄKNINGSGÅNG OCH REDOVISNING AV PARAMETRAR
FÖR BERGVÄRME

BILAGA 5 - COPCALC BERGVÄRME

BILAGA 6 - BERÄKNINGSGÅNG OCH REDOVISNING AV PARAMETRAR
FÖR YTJORDVÄRME

BILAGA 7 - COPCALC YTJORDVÄRME

BILAGA 8 - PLANSOLFÅNGARE FP215

BILAGA 9 - SOLCELLSPAKET SE-PV3031

Förord

Följande examensarbete är den avslutande delen av vår utbildning till byggingenjörer vid Chalmers tekniska högskola, om 180 hp. Examensarbetet omfattar 15 hp och är skrivet under vårterminen 2015, i samarbete med Miljöbron och stiftelsen Bo46. Projektets gång har speglats av många upprepande processer. Gamla kunskaper har borstats av och stöttat oss i med- och motgångar. Efter mycket slit och roliga utmaningar har vi tagit oss igenom vår sista utmaning i ren chalmersanda.

Vi har haft turen att få god professionell hjälp under arbetets gång och skulle vilja rikta tack till ett antal personer. Först vill vi tacka Anna Jonson Sahlberg och hennes trevliga medarbetare på Miljöbron för all stöttning och utbildning. Vidare riktas också ett stort tack till vår uppdragsledare Håkan Blixt på Bo46 för ett spännande examensarbete och ett minst sagt roligt och intressant uppdrag. Vår eminenta handledare Ingemar Segerholm förtjänar ett stort tack för all vägledning och uppbackning genom hela arbetet. Han har förutom det bidragit med en positiv attityd med mycket humor. Tack!

Vidare vill vi rikta stor tacksamhet gentemot Jan-Erik Eskilsby på ASES för att vi fick ta del av hans koncept och flera års erfarenhet inom branschen. Jan-Erik Nowacki, teknisk expert på Svenska Kyl- och Värmepumpföreningen, har bidragit mycket till detta examensarbete genom kunskap och hänvisningar i projektet samt gett oss tillgång att använda deras beräkningsprogram. Stort tack!

Göteborg juni 2015

Nils Palmblad

Madelene Staf

Beteckningar

Grekiska versaler

$\Delta Q_{\text{markvärme}}$	Det kvarstående energibehovet efter tillämpning av uppvärmningssystem markvärme [kWh/år]
$\Delta Q_{\text{solceller bergvärme}}$	Kvarstående elenergibehov efter tillämpning av solceller för bergvärmesystemet [kWh/år]
$\Delta Q_{\text{solceller markvärme}}$	Kvarstående elenergibehov efter tillämpning av solceller för markvärmesystemet [kWh/år]
$\Delta Q_{\text{solceller yttjordvärme}}$	Kvarstående elenergibehov efter tillämpning av solceller för yttjordvärmesystemet [kWh/år]

Grekiska gemena

ρ	Luftens densitet [kg/m ³]
Ψ_k	Värmegenomgångskoefficient för linjära köldbryggan k [W/mK]
$\Psi_{k,max}$	Värmegenomgångskoefficient för linjära köldbryggan k, maximal [W/mK]
$\Psi_{k,min}$	Värmegenomgångskoefficient för linjära köldbryggan k, minimal [W/mK]
χ_j	Värmegenomgångskoefficient för punktformiga köldbryggan j [W/K]

Latinska gemena

c_p	Luftens specifika värmekapacitet [kJ/kgK]
l_k	Längden på den linjära köldbryggan k mot uppvärmd inneluft [m]
$t\Delta T_m$	Antalet gradtimmar under årets uppvärmningssäsong [gradtimmar/år]

Latinska versaler

A_1	Area på fönstertyp 1 [m ²]
A_2	Area på fönstertyp 2 [m ²]
A_3	Area på fönstertyp 3 [m ²]
A_4	Area på fönstertyp 4 [m ²]
A_5	Area på fönstertyp 5 [m ²]
A_6	Area på fönstertyp 6 [m ²]
A_7	Area på fönstertyp 7 [m ²]
A_d	Area på ytterdörr [m ²]
A_f	Total fönsterarea [m ²]
A_{gi}	Area på grund från 3D-modell, insida yttervägg exklusive garage [m ²]
$A_{bottenplatta}$	Area på grund från 3D-modell utsida yttervägg inklusive garage [m ²]
A_i	Area för byggnadsdelens yta mot uppvärmd inneluft [m ²]
A_{om}	Omslutningsarea [m ²]
A_t	Area på tak [m ²]
A_v	Total väggarea [m ²]
O_b	Omkrets på bottenplan [m]
$O_{\ddot{o}}$	Omkrets på övreplan [m]
$U_{korr,i}$	Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelen [W/m ² K]
U_m	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m ² K]
$U_{m,max}$	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, maximal [W/m ² K]
$U_{m,min}$	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, minimal [W/m ² K]
V	Styrt ventilationsluftflöde [m ³ /s]

$Q_{dr,el}$	Distributions- och reglerförluster [kWh/år]
$Q_{dr,el max}$	Distributions- och reglerförluster, maximal [kWh/år]
$Q_{dr,el min}$	Distributions- och reglerförluster, minimal [kWh/år]
Q_{energi}	Byggnadens energianvändning [kWh/år]
$Q_{energi max}$	Byggnadens energianvändning, maximal [kWh/år]
$Q_{energi min}$	Byggnadens energianvändning, minimal [kWh/år]
$Q_{elvärme max}$	Värme som tillgodogörs från hushållsel, maximal [kWh/år]
$Q_{elvärme min}$	Värme som tillgodogörs från hushållsel, minimal [kWh/år]
$Q_{Göteborg max}$	Byggnadens energianvändning i Göteborg, maximal [kWh/år]
$Q_{Göteborg min}$	Byggnadens energianvändning i Göteborg, minimal [kWh/år]
$Q_{Kiruna max}$	Byggnadens energianvändning i Kiruna, maximal [kWh/år]
$Q_{Kiruna min}$	Byggnadens energianvändning i Kiruna, minimal [kWh/år]
Q_l	Luftläckageförluster (otätheter i klimatskärmen, vädring) [kWh/år]
$Q_{l,Göteborg}$	Luftläckageförluster (otätheter i klimatskärmen, vädring) i Göteborg [kWh/år]
$Q_{l,Kiruna}$	Luftläckageförluster (otätheter i klimatskärmen, vädring) i Kiruna [kWh/år]
$Q_{l,Östersund}$	Luftläckageförluster (otätheter i klimatskärmen, vädring) i Östersund [kWh/år]
$Q_{personvärme}$	Värmetillskott från personer [kWh/år]
$Q_{solcell Göteborg}$	Total solcellsenergi för den aktuella staden [kWh/år]
$Q_{solcell Kiruna}$	Total solcellsenergi för den aktuella staden [kWh/år]
$Q_{solcell Östersund}$	Total solcellsenergi för den aktuella staden [kWh/år]
Q_t	Transmissionsförluster inkl. köldbryggor [kWh/år]
$Q_{t,min}$	Transmissionsförluster inkl. köldbryggor, minimalt värde [kWh/år]
$Q_{t,max}$	Transmissionsförluster inkl. köldbryggor, maximalt värde [kWh/år]
$Q_{tillskott}$	Värme som tillgodogörs från personer, belysning, hushållsmaskiner, tappvarmvatten, etc. [kWh/år]
$Q_{tillskott max}$	Värme som tillgodogörs från personer, belysning, hushållsmaskiner, tappvarmvatten, etc. maximal [kWh/år]
$Q_{tillskott min}$	Värme som tillgodogörs från personer, belysning, hushållsmaskiner, tappvarmvatten, etc. minimal [kWh/år]
Q_v	Ventilationsförluster [kWh/år]
$Q_{v,Göteborg}$	Ventilationsförluster i Göteborg [kWh/år]
$Q_{v,Kiruna}$	Ventilationsförluster i Kiruna [kWh/år]
$Q_{v,Östersund}$	Ventilationsförluster i Östersund [kWh/år]
Q_{tvv}	Uppvärmning tappvarmvatten [kWh/år]
$Q_{tvv återvunnet}$	Värmetillskott från uppvärmning av tappvarmvatten [kWh/år]
$Q_{vå}$	Värme som tillgodogörs från växelvärmare, värmepumpar, solfångare, och solceller [kWh/år]
$Q_{Östersund max}$	Byggnadens energianvändning i Östersund, maximal [kWh/år]
$Q_{Östersund min}$	Byggnadens energianvändning i Östersund, minimal [kWh/år]

1 Inledning

Byggsektorn står idag för ca 40 % av den totala energiförbrukningen i Sverige (Energimyndigheten, 2012a). Om denna siffra ska ändras ställs större krav på att dagens hus blir betydligt energieffektivare. En lösning är att bygga passivhus som begränsar energimängden till uppvärmningen och därmed den totala energiförbrukningen. Ett steg längre är att utveckla passivhusen till nollenergihus eller plusenergihus. Detta kan åstadkommas genom att implementera en energikälla som använder sig utav förnybar energi. En användbar förnybar energikälla är solen.

Ett stort hinder i Sverige med att utnyttja solens strålar till uppvärmning är att under vinterhalvåret är det alldeles för få soltimmar för att tillgodose uppvärmningsbehovet för ett hus. Tvärtemot under sommarhalvåret där ett energiöverskott från solen ges. Därmed hade ett säsongslager av solenergi varit optimalt för att kunna förse en byggnad med värmeenergi kontinuerligt under året.

Det finns flera utvecklade uppvärmningssystem idag som möjliggör en markant sänkning av energiförbrukningen för hus. Genom ytjord- och bergvärmesystem med integrerade solceller kan både energi- och driftskostnader sänkas.

1.1 Bakgrund

Huset som undersöks är ett prefabricerat passivhus som Håkan Blixt på stiftelsen Bo46 har utformat. Håkan Blixt vill undersöka möjligheten till att utveckla huset till ett noll- eller plusenergihus. Rapporten studerar olika uppvärmningsalternativ som är möjliga för att omvandla det specifika huset till ett noll- eller plusenergihus och tar fram det optimala uppvärmningsalternativet. Villkoret var att uppvärmningen skulle tillgodoses med förnybar energi. Målet är inte att huset ska bli certifierat utan det ska uppfylla kraven som ställs på ett nollenergihus/plusenergihus.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att utvärdera olika uppvärmningsalternativ för ett specifikt passivhus. Med uppvärmningssystemet ska huset även kunna kallas nollenergihus alternativt plusenergihus. De system som utvärderas är; lagring av solenergi i markbädden, bergvärme och ytjordvärme. Det optimala uppvärmningssystemet tas fram i en urvalsprocess som består av tre kategorier; markförhållande, livslängd och kostnad, som viktas i ett poängsystem.

1.3 Avgränsningar

Rapporten syftar endast till att undersöka hur väl lämpat olika uppvärmningssystem är för tre orter i Sverige. Detta åskådliggörs genom Göteborg, Östersund och Kiruna som utfall för tre olika klimatvillkor i landet. Energiberäkningar används endast för uppvärmningsalternativen och deras drift. I detta räknas värmebehov av hushåll samt tappvarmvatten. Solinstrålning väljs att inte tas med i beräkningarna då tillskottet inte anses vara av stor betydelse. Luftbehandlingsaggregat berörs ej heller.

Vid val av ingångsvärden i beräkningsprogrammet COPCALC används förinställda värden på ett antal givna parametrar. För de olika markförhållanden som finns att tillgå i programmet vid dimensionering av ytjord- och bergvärme, väljs endast att studera marktypen lera respektive en normal bergtyp. Utifrån detta erhålls företagets ingångsvärden på bland annat konduktiviteter och geometri.

För solceller väljs enbart att undersöka ett paket för att tydliggöra hur mycket de bidrar med och för att påvisa skillnader mellan städerna. Erforderliga kvadratmeter solceller som hade varit nödvändiga för att tillgodose systemen med elenergi beaktas därmed inte. Kostnaden tas med i poängsystemet över kategori kostnad men beaktas inte vid val av solcellspaket.

1.4 Metod

En förstudie om passivhus, nollenergihus och plusenergihus har gjorts i form av en litteraturstudie. Studien förberedde tankeprocessen och diskussionen inför kommande utformning och innefattar de energiklassificeringar som berör de olika hustyperna.

Byggnadens energibalans handberäknades varefter tre representativa orter i Sverige valdes för att åskådliggöra klimatskillnadens inverkan på energibehovet. Därefter tas tänkbara uppvärmningssystem fram. Genom intervjuer, böcker och vetenskapliga artiklar togs de olika uppvärmningsalternativen fram. Byggnadernas nya energibehov beräknades genom inhämtad data samt beräkningsprogrammet COPCALC för ytjord- och bergvärmesystemen.

Därefter undersöktes möjligheten att installera solceller för att minska uppvärmningssystemens köpta elenergibehov. En förstudie gjordes varvid beräkningar sammanställdes över det slutgiltiga energibehovet.

De olika uppvärmningssystemen undersöktes ytterligare efter förstudierna och beräkningarna. Ett bedömningssystem togs fram där ett antal relevanta kategorier utgjorde en poängbedömning för vilket system som var bäst lämpat. Slutligen presenteras all väsentlig data med jämförelser och diskussioner.

2 Beskrivning av passivhus, nollenergihus och plusenergihus

Kapitlet redovisar de olika hustyper som studeras i rapporten. Här beskrivs kraven som finns på passivhus, nollenergihus och plusenergihus.

2.1 Passivhus

Principen för ett passivhus är att minska energiåtgången för uppvärmning av en bostad, där inomhusklimatet samtidigt är behagligt för de boende. Passivhus konstrueras efter att få minimala energiförluster genom klimatskalet, så att tillförseln av energi blir låg. För att uppnå passivhusidealen ställs krav på byggnadens konstruktionsdelar. Fönster, ventilationssystem och byggnadsmaterial ska utföras med hög teknisk effektivitet. Den standard som råder för passivhusen reglerar den maximala mängden energi som får användas till uppvärmning till 15 kWh per år och kvadratmeter. Likaså regleras den maximala effekten för ett aktivt uppvärmningssystem till 10 W per kvadratmeter och bostadsyta. Därigenom ställs också krav på ett lågt luftläckage (Glad, 2006).

Tak och väggar är välisolerade, fönster och dörrar har låga U-värden. Det behövs endast tillföras 10 W/m² för uppvärmning av ett passivhus då spillvärmen i huset och solinstrålningen även bidrar till uppvärmningen. Spillvärmen utgörs av värme från människor och elektriska apparater. Ett till- och frånluftssystem ska vara installerat i passivhuset för värmeåtervinning för att ta till vara på den värme som alstras i huset. Huset har inget traditionellt uppvärmningssystem utan klimatskal, planlösning och väderstrecksorientering anpassas utifrån att få minimala energiförluster. I passivhus minimeras antalet köldbryggor då de ger upphov till energiförluster. Utformningen av huset anpassas efter detta, t.ex. används så få hörn på byggnaden som möjligt då hörn är en köldbrygga (Andrén, Tirén, 2010).

Fasader placeras fördelaktigt åt söder då huset delvis värms upp av den instrålade solvärmen. Problem som uppstår på grund av att passivhuset är välisolerat är för hög inomhustemperatur under sommaren. Ventilation och solavskärmning är därmed viktigt att tänka på vid projektering. Planlösningen utformas efter den princip som används vid husbyggnation, t.ex. placeras matplats, vardagsrum etc. mot söder och sovrum placeras mot norr. I entrén placeras vanligtvis en luftsluss för att minska värmeförlusterna som sker vid ytterdörren. Fönster i ett passivhus ska enligt den svenska passivhuscertifieringen FEBY ha ett U-värde på 0,9 W/m²K eller lägre. Det är ett lågt U-värde, vilket betyder att värmeförlusterna minimeras (Andrén, Tirén, 2010).

2.2 Nollenergihus

Ett nollenergihus är ett passivhus som försörjer sig själv genom att producera egen energi och el (Andrén, Tirén, 2010). Nollenergihus har samma kravspecifikationer som ett passivhus och gör dessutom inte av med mer energi än det producerar. Energi alstras genom el och/eller värme (Sveriges centrum för nollenergihus, 2013).

2.3 Plusenergihus

Ett plusenergihus är ett passivhus som försörjer sig helt genom att producera egen energi och el. Definitionen säger även att ett plusenergihus ska utöver den energi huset behöver för egenförsörjning, även producera el för att tillgodose andra elkonsumenter. Exempel på metoder vid framställning av el är solpaneler, solceller eller mindre vindkraftverk (Andrén, Tirén, 2010).

3 Ingående materialparametrar

Kapitlet redovisar ingående materialparametrar för passivhuset utformat av Bo46. Ingående energikrav för husets uppvärmningsbehov presentas även här från bilaga *Byggnaders energibalans*.

3.1 Fakta om Bo46 passivhus

Passivhuset som studeras är utformat av Håkan Blixt, som är upphovsman till stiftelsen Bo46. Huset är uppbyggt i två plan och har en boarea på ca 162m². Bottenplattan ingår inte i huskonceptet, detta pga. att tjockleken kommer att variera beroende på klimat- och markförhållanden. Det finns en rekommenderad bottenplatta, se bilaga *Grunddetaljer*, med ett U-värde på 0,08 W/m²K som används vid beräkning av husets energibehov. Husets tak lutar 3 grader åt norr. I Tabell 1 visas de ingående materialparametrarna för huset där areorna är framtagna med hjälp av en 3D modell. U-värden för passivhuset är erhållna av Håkan Blixt.¹ U-värdet är en konstruktionsdels värmegenomgångskoefficient, vilket är ett mått på hur bra ett element leder värme och mäts i W/m²K (Petersson, 2010).

Tabell 1 Ingående U-värden och Areor

Konstruktionsdel	U-Värde [W/m ² K]	Area [m ²]
Väggar	0,12	149
Fönster	0,79	24
Dörr	0,6	1,9
Tak	0,08	92
Grund	0,08	92

3.2 Beräkningar

Beräkningar har utförts med hänsyn till respektive stads temperaturvärden. För att få fram ett värde på hur stor den årliga energiförbrukningen är används beräkningar med hänsyn till värmeförbrukningstalet. Värmeförbrukningstalet beaktar uppvärmningssäsongen för respektive stad, gradtimmar/år, och räknas från att temperaturen utomhus sjunker under 10 °C. För temperaturer över 10 °C räknas det interna värmetilskottet tillgodogöra uppvärmningsbehovet. Hit räknas personvärme, värme från hushållsel, spillvärme från tappvarmvatten etc. Inomhustemperaturen i beräkningarna är 22 °C (Petersson, 2010).

Vidare används de tillgängliga ingångsdata för byggnaden. Dessa behandlar längder, U-värden samt antal personer som bor i huset. Med hänsyn till planlösningen har antalet boende dimensionerats för fem personer.

¹ Håkan Blixt (VD, Stiftelsen Bo46) Intervjuad av författarna den 25 februari 2015.

Byggnadens standard är bättre än de krav som gäller för att få bygga hus idag. Denna standard för byggnaden kategoriseras som passivhus och har ur ett energiperspektiv större krav på en lägre förbrukning, se Kapitel 2.1. Kravspecifikationen innebär bl.a. att huset är mer välisolerat med lägre U-värden som följd.

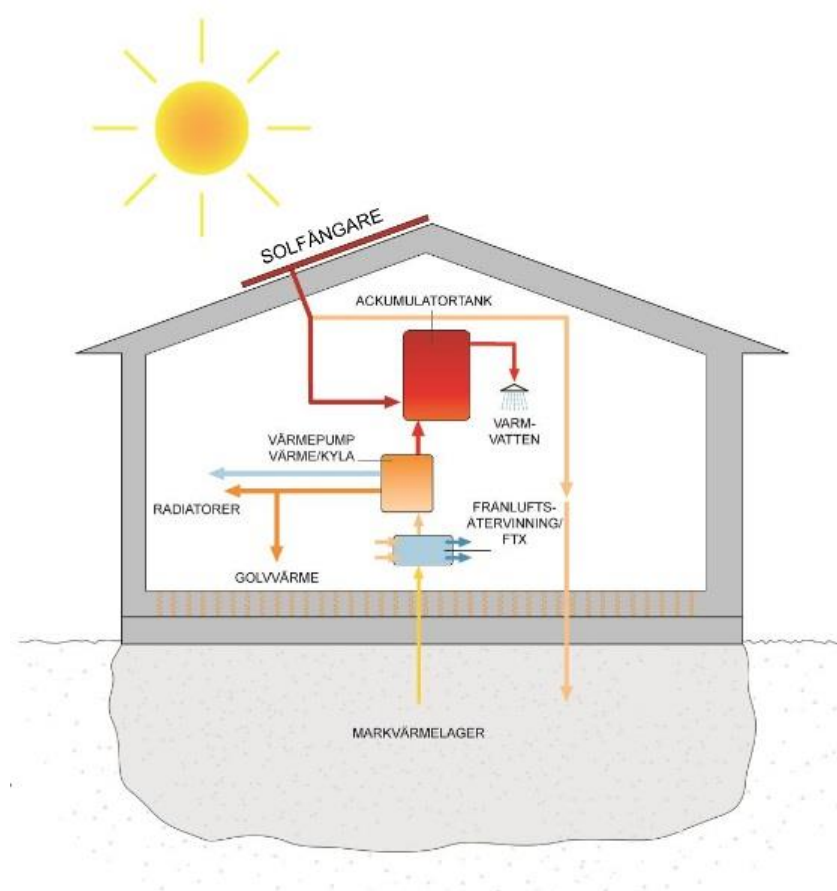
I Tabell 2 visas de maximala och minimala energibehovet för passivhuset i de tre städerna samt medelvärdet. Beräkningen av dessa värden hänvisas till bilaga *Byggnaders energibalans*.

Tabell 2 *Energibehovet för passivhuset i Göteborg, Östersund och Kiruna*

<i>Stad</i>	<i>Minvärde [kWh/år]</i>	<i>Maxvärde [kWh/år]</i>	<i>Medelvärde [kWh/år]</i>
Göteborg	11 045	13 216	12 131
Östersund	18 011	20 432	19 221
Kiruna	23 323	25 935	24 629

4 Lagra solenergi i markbädden

Systemet går ut på att säsongslagra solenergi i markbädden. På taket installeras plana solfångare som antingen integreras med takbeläggningen eller sätts på stålställning för att få den optimala vinkeln mot solen. Om solfångarna appliceras direkt på taket krävs det att taket lutar mellan 20-45 grader annars används stålställningar med en lutning på 30 grader mot solen. Solfångarna är kopplade till en värmepanna/ackumulatortank som värms upp av solenergin från solfångarna, se Figur 1. När värmepannan har nått en temperatur på 70 °C förs istället det uppvärmda vattnet från solfångarna direkt ner i ett markvärmelager ca 1,5 m under bottenplattan.²



Figur 1 ASES system för att lagra solenergi i markbädden (ASES, 2014)

Markvärmelagret består av PEX-slangar som är utlagda i slingor med 15 cm mellanrum, se Figur 2. PEX-slangarna är syretäta och innehåller en blandning av vatten och propylenglykol för att förhindra slangarna från att frysa. Det placeras ut ca 10 % reservslingor. Systemet består av ca 10 slingor som inte är kopplade till varandra, därför är det enkelt att koppla bort en slinga om den går sönder.²

² Jan-Erik Eskilsby (ASES AB svenskt klimatneutralt boende) Intervjuad av författarna den 25 februari 2015.



Figur 2 Markvärmelagret för ASES (ASES, 2014)

Under bottenplattan behövs minst 300 mm cellplast. Därunder finns det dränerande lagret i form av makadam och under makadammen läggs ett 100 mm tjockt lager med stensmjöl som är ett isolerande material. Under stensmjölet finns markvärmelagret.³

Under vinterhalvåret när det är få soltimmar per dygn tas värme upp från markvärmelagret med hjälp av en värmepump och därefter fördelas värmen ut i radiatorer och värmepannan för att få ut varmvatten. Värmepumpen drivs med hjälp av solceller.³

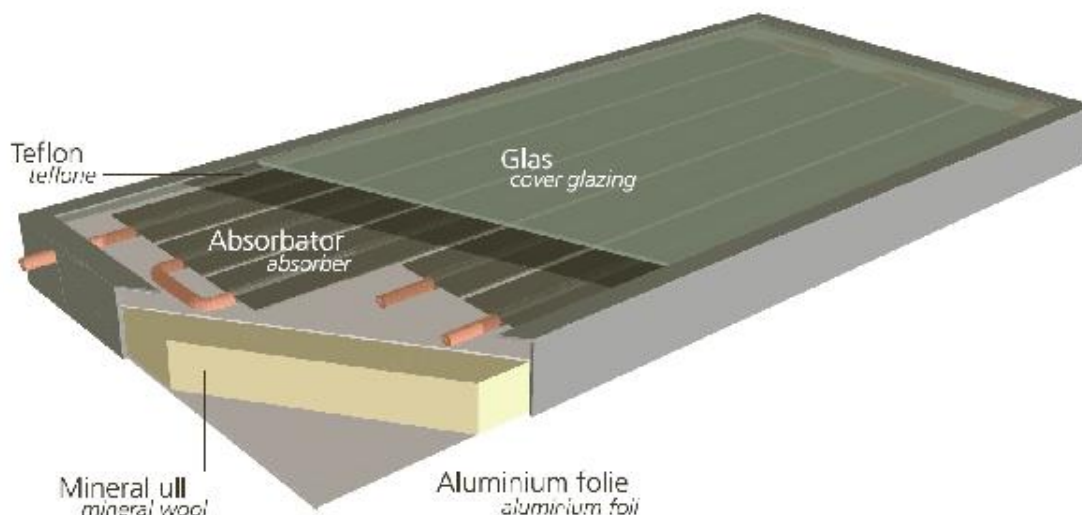
4.1 Solfångare

Solfångarna är kopplade till en varmvattenbehållare, varifrån värmen distribueras ut. Solfångare placeras på taket och är kopplade till en varmvattentank, förslagsvis en ackumulatortank som värmer upp vatten till både tappvarmvatten och värmesystemet som kan bestå av radiatorer eller golvvärme. Plana solfångare och vakuumsolfångare är de modeller som är utvecklade för att ta till vara på solvärmen. I Sverige används till störst del plana solfångare och det är även den modellen som har använts längst och därmed är mest beprövad i Sverige (Energimyndigheten, 2014b).

4.1.1 Plana solfångare

Plana solfångare är uppbyggda med ett glashölje som skyddar rören som finns under glaset (Solvärmegrossisten, 2014). Under glashöljet finns en absorbator som innehåller kopparrör. Under absorbatorn finns en damm- och diffusionsspärr följt av isolering, baksidesplåt och till sist en ramkonstruktion som håller ihop solfångaren, se Figur 3 (Andrén, 2011).

³ Jan-Erik Eskilsby (ASES AB svenskt klimatneutralt boende) Intervjuad av författarna den 25 februari 2015.



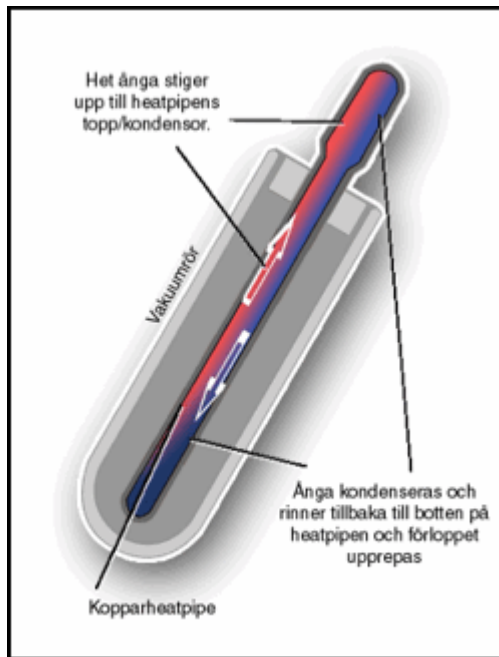
Figur 3 Hur en plan solfångare är uppbyggd (Solar region Skåne)

För infästning av plana solfångare tas takbeläggningen bort lokalt och därefter placeras solfångarna direkt på ströläkten. För att undvika fuktskador på taket tätas skarven mellan de plana solfångarna och takbeläggningen med plåt (Energimyndigheten, 2014b).

4.1.2 Vakuumsolfångare

Vakuumsolfångare består av glasrör med vakuum. Vid placering av vakuumsolfångare installeras de på takbeläggningen. Vinkeln på solfångarna går därmed att optimera för att fånga in den maximala solvärmen (Energimyndigheten, 2014b). Vakuumsolfångare kan fördelaktigt installeras med en hög lutning, dock högst 65-70°. De har även en bättre verkningsgrad vid en lägre arbetstemperatur (Andrén, 2011).

Vakuumsolfångare är uppbyggda med ett hölje av glas som antingen kan vara ett enkelglas eller ett dubbelglas. Består vakuumsolfångaren av ett dubbelglas kallas det för "termosvakuumsolfångare". De kan innehålla två olika typer av absorbatörer, antingen U-type eller Heatpipe. Innanför vakuumsolfångaren i en U-type finns den vätska som även finns i solkretsen, alltså sker en så kallad våt värmeöverföring. I en Heatpipe överförs värmen genom ånga (torr överföring), se Figur 4. Termosvakuumsolfångaren i kombination med Heatpipe är i dagsläget den metod som används mest då kombinationen resulterar i högst verkningsgrad (Andrén, 2011).



Figur 4: Hur ett vakuumsör med heatpipe är uppbyggd (Solportalen, 2014)

Med vakuumsörsolfångare kan ca 70 % av solenergin nyttjas och med plana solfångare kan ca 50 % nyttjas. I och med att vakuumsolfångare har betydligt högre verkningsgrad har de även högre inköpspris (Andrén, 2011).

4.2 Begränsningar

Varje kvadratmeter med ASES lager i markbädden kan lagra ca 75 kWh med hänsyn till centrumavståndet mellan slangarna. Värmeförlusterna i systemet justeras med ett påslag av 20 % på lagringskapaciteten. Den uppskattade livslängden för PEX-slangarna uppskattas till 100 år.⁴ Systemets livslängd har aldrig testats men antas ha samma livslängd som PEX-slangarna inklusive byten av komponenter.

Uppvärmningssystemet kräver i elenergi 3000 kWh för att drivas och systemet har även en värmeförlust på 3000 kWh som bidrar till uppvärmningen.⁵

4.3 Tillämpning av systemet på passivhuset

Total värmelagringsskapacitet för markbädden blir:

$$A_{\text{bottenplatta}} \times 75 \text{ kWh/m}^2 = 114,8 \times 75 = 8610 \text{ kWh.}$$

Utöver detta finns en värmeförlust i systemet som bidrar med 3000 kWh i värmeenergi vilket ger en slutsumma på 11610 kWh. Detta jämförs med beräknat medelvärde av energibehovet för städerna, se Tabell 2.

⁴ Jan-Erik Eskilsby (ASES AB svenskt klimatneutralt boende) Intervjuad av författarna den 21 april 2015.

⁵ Jan-Erik Eskilsby (ASES AB svenskt klimatneutralt boende) Mailkontakt med Madelene Staf den 13 maj 2015.

Tabell 3 I tabellen redovisas byggnadens energibehov, den tillgängliga energin vid lagring av solenergi i markbädden samt den energi som behövs tillföras utöver den tillgängliga energin.

Stad	Energibehov [kWh/ år]	Tillgänglig energi [kWh/år]	$\Delta Q_{\text{markvärme}}$ [kWh/år]
Göteborg	12 131	11 610	520,5
Östersund	19 221	11 610	7 611,2
Kiruna	24 629	11 610	13 019

Enligt beräkningarna uppnås inte kravet för nollenergihus i någon utav städerna, se Tabell 3. Detta innebär att bottenplattans lagringskapacitet inte är stor nog att kunna lagra de energimängderna som krävs för att huset ska kunna vara självförsörjande med det här systemet.

ASES använder sig av plana solfångare från NIBE, se bilaga *Plansolfångare FP215*. Taket på huset lutar 3 grader åt norr och därmed behövs solfångarna ställas upp på ställning så att vinkeln mot solen blir 30 grader. Solfångarnas kapacitet ger 700 kWh/år per kvadratmeter. Till den beräknade värmelagringskapaciteten för markbädden adderas 20 % för att täcka värmeförlusterna. $8610 \times 1,20 = 10332 \text{ kWh/år}$. Arealen för solfångarna blir $\frac{10332}{700} = 14,76 \text{ m}^2 \approx 15 \text{ m}^2$.

5 Bergvärme

Vid uppvärmning med bergvärme borrar det ett hål i marken ner till berggrunden för att utvinna värmeenergin (Energimyndigheten, 2014a). Värmen kommer inte från berget utan det är solenergi som lagrats i berget (Björk, 2013). Borrhållets djup är mindre än 200 m och varierar beroende på var i Sverige det installeras. Borrar det två hål för att utvinna mer värme ska de ha en distans på minst 20 m. Huset behöver ett vattenburet värmesystem och en värmepump. Värmepumpen ger både tappvarmvatten och värmer upp huset. För mer ingående information om värmepump, se Kapitel 6.1. Värmepumpen är kopplad till ett plaströr (en slang) som går genom borrhålet och innehåller en vätska (Energimyndigheten, 2014a). Vätskan innehåller en blandning av vatten och ett frostbeständigt ämne som skyddar plaströret från att frysa. Om två hål har borrats sammanlänkas slangarna längst ner i hålen till en U-rörskollektor. För att ta till vara på solvärmens i berget cirkulerar en flytande vätska i slangerna. Vätskan cirkulerar i plaströret och blir uppvärmd av den lagrade värmen i berget och förs därefter vidare till värmepumpen, se Figur 5. Tillbakaflöde av värme till borrhålet sker kontinuerligt då marken värms av solen och värmen därefter vandrar ner till borrhålet (Björk, 2013).



Figur 5 Utformning av ett bergvärmesystem (Energimyndigheten, 2014a)

5.1 Bergets egenskaper

Förutsättningar för att använda berget som värmelager är att berget har rätt egenskaper vilket det oftast har i Sverige. Berget ska ha en hög kvartshalt vilket t.ex. granit och gnejs har. Beroende på kvartshalten har berget en viss värmeledningsförmåga och i Sverige ligger den oftast omkring $3,5 \text{ W/mK}$. Då berget har en stor värmetröghet har dygnsvariationerna redan jämnats ut 2 m ner i berget och ca 15 m ner har årstidstemperaturen jämnats ut och därnere hålls en temperatur strax över årsmedeltemperaturen i orten. Snö kan även fungera som ett värmeisolerande lager och höjer temperaturen på berget. Då berget är värmetrögt sker temperatursänkningen i berget långsamt när det utvinns bergvärme. På ett år har det skett en temperatursänkning på ca $0,02$ grader i en radie på 20 m runt borrhålet. Temperatursänkningen sker som en tratt runt borrhålet (Björk, 2013).

5.2 Begränsningar

Ett foderrör av stål borras ner till fast berg då skiktet ovanför berget oftast består av lös jord och det finns risk att det kan rasa ihop, (Björk, 2013). Borrdjupet uppgår till maximalt 200 m ner i marken (Energimyndigheten, 2014a). Beständigheten för energibrunnen med ingående system av rör uppgår till ca 60 år. Under den tiden förväntas värmepumpen bytas ut vart 20:e år med hänsyn till mer energieffektiva enheter (Geotec, 2012).

5.3 Tillämpning av systemet på passivhuset

För beräkning av bergvärme används *Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningens* demoprogram, COPCALC, se bilaga *COPCALC Bergvärme*. Värden approximeras utefter deras ingångsvärden och professionella åsikt. Berget antogs vara av typen normal med en värmepump med effekten 4 kW. Endast ett borrhål väljs att beaktas vid beräkning. I programmet matas medelvärdet av energibehovet för respektive stad in, se Tabell 2, hela uppvärmningsbehovet täcks av systemet. Vidare drivs systemet av el. För ingående värden se bilaga *Beräkningsgång och redovisning av parametrar för bergvärme*.

Efter insättning i demoprogrammet redovisas resultaten i Tabell 4. Noterbart är medeltemperaturen på inkommande köldbärare som varierar beroende på ort för att få ett hållbart värmeutbyte.

Tabell 4 *I tabellen redovisas den aktiva borrhåls längden, den tillgängliga energin från slingan samt den elenergi som systemet kräver.*

Stad	Teoretiskt aktivt borrhåls längdsbehov [m]	Värme från slinga [kWh/år]	Elenergiförbrukning [kWh/år]
Göteborg	85	9 004	3 127
Östersund	120	13 782	5 439
Kiruna	139	16 208	8 421

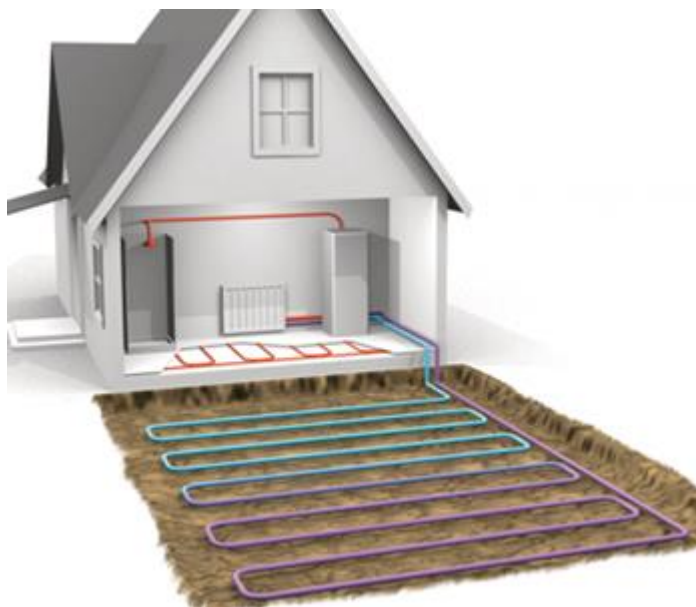
6 Ytjordvärme

Vid uppvärmning med ytjordvärme som metod, används värmeenergin från marken för att försörja byggnadens värmebehov. Slingor i marken utnyttjar temperaturdifferensen mellan vätskan i slingorna och den omgivande marken. Markytan värms upp av solenergi och varmluft. När markens temperatur sjunker överförs värme från ytan ner i jorden. De översta metrarna ner i jorden fungerar som ett värmelager. Även under vintertid när marken runt slangarna fryser, utnyttjas frysvärmen till uppvärmning (Claesson, 1985).

Markslingorna ligger på ett djup av 0,9-1,5 meters djup. De är kopplade till en jordvärmepump med en cirkulerande vätska, se Figur 6. För ett optimalt värmeuttag ligger slingorna med ett minimalt avstånd på 1,5 m sinsemellan. Den lämpligaste jordarten är lera för att få en hög värmeöverföring (Energimyndigheten, 2012b).

6.1 Så fungerar en värmepump

Den värmeöverförande vätskan har låg fryspunkt för att kunna vara aktiv under kalla perioder. Efter upptag av värme från marken förs vätskan vidare till en värmeväxlare i värmepumpen. Ett cirkulerande köldmedium i värmepumpen tar upp värmeenergin från vätskan och förångas i processen. Ångan utsätts sedan för tryck i en kompressor vilket ökar temperaturen i köldmediet. En värmeväxlare kopplad mot husets värmesystem överför sedan värmen från köldmediet varvid ångan återgår i flytande form, se Figur 6. Trycket reduceras till ursprungsnivån varvid köldmediet blir iskallt och processcykeln sluts (Thermia, 2015).



Figur 6: Schematisk bild över utformning av ytjordvärme (Thermia, 2015)

6.2 Begränsningar

Hur mycket värme som kan tas ut begränsas av vätskans temperatur som har en undre temperaturgräns. Dessutom inräknas miljöpåverkan samt hur mycket marken kan frysas (Claesson, 1985). Livslängden antas vara 100 år. Detta är endast en uppskattning som beror på att systemet inte testats under den angivna livslängden.⁶

6.3 Tillämpning av systemet på passivhuset

För beräkning av ytjordvärme används *Svenska Kyl- och Värmepumpsföreningens* demoprogram, COPCALC, se bilaga *COPCALC Ytjordvärme*. Värden approximeras utefter deras ingångsvärden och professionella åsikt. Marken antas vara av typen lera med en värmepump med effekten 4 kW. Slingan läggs på ett djup av 0,9 m och med ett centrumavstånd på 1,5 m. I programmet matas medelvärdet av energibehovet för respektive stad in, se Tabell 2, hela uppvärmningsbehovet täcks av systemet. Vidare drivs systemet av el. För ingående värden, se bilaga *Beräkningsgång och redovisning av parametrar för ytjordvärme*.

Efter insättning i demoprogrammet redovisas resultaten i Tabell 5. Noterbart är medeltemperaturen på inkommande köldbärare som varierar beroende på ort för att få ett hållbart värmeutbyte.

Tabell 5 *I tabellen redovisas jordslingans längd, den tillgängliga energin från slingan samt den elenergi som systemet kräver.*

Stad	Jordslingelängd [m]	Värme från slinga [kWh/år]	Elenergiförbrukning [kWh/år]
Göteborg	185	9 004	3 127
Östersund	253	13 782	5 439
Kiruna	242	16 208	8 421

⁶ Hans Abrahamsson (Entreprenör, Optimal Värmeekonomi AB) Telefonintervju av Nils Palmblad den 5 maj 2015.

7 Solceller

För att omvandla huset till ett noll- eller plusenergihus behöver även den el som driver runt värmepannan i de olika uppvärmningsalternativen vara egenproducerad. Detta fungerar genom solceller. Solceller omvandlar energi i solens strålar till elektrisk energi (Energimyndigheten, 2010).

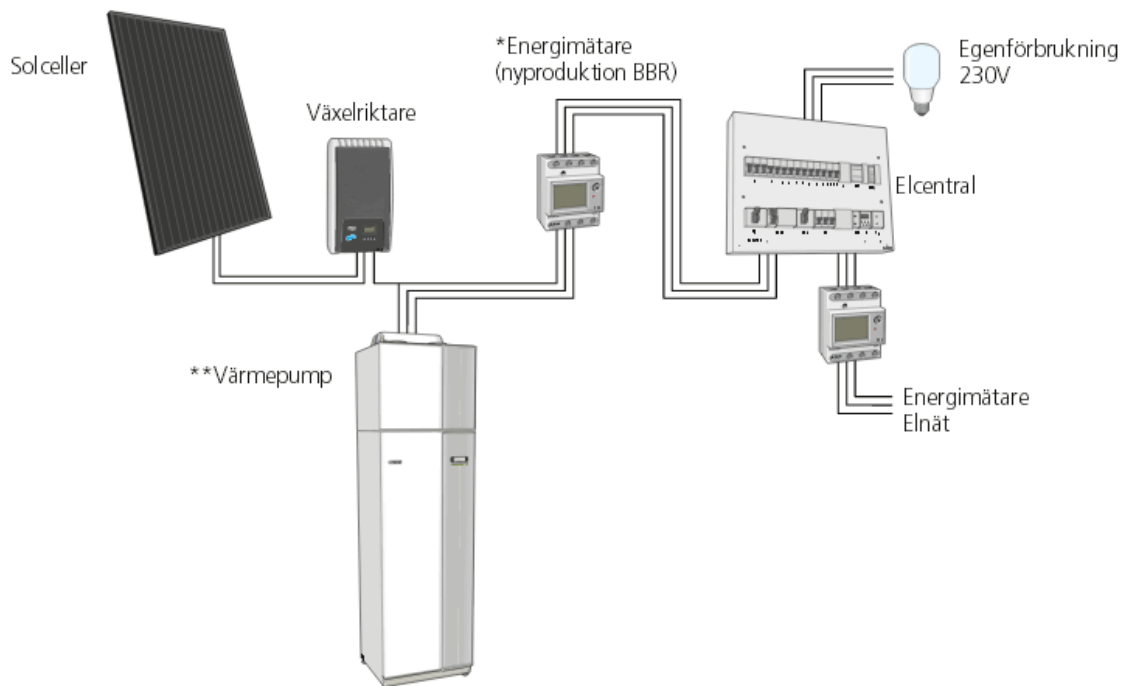
Solceller omvandlar solljus till elektricitet genom att när solen träffar solcellen skapas en elektrisk spänning mellan cellens framsida och baksida. Ström uppstår då elektronerna i solcellen kommer i rörelse och alla elektroner drivs åt ett visst håll. Solcellens undersida består av ett ledande metallskikt och framsidan består av ett metalliskt nät som lagrar strömmen. Ledningar som är kopplade till både framsidan och baksidan fångar upp strömmen (Energimyndigheten, 2010).

Det finns två olika typer av solcellssystem (Palmblad, 2015). I båda systemen producerar solcellerna likström som måste omvandlas till växelström med hjälp av en växelriktare (Vattenfall, 2015). Det första är ett system som innehåller uppladdningsbara batterier som laddas upp då det produceras mer el än vad som behövs för stunden. Batterierna laddas upp och elektriciteten kan användas vid ett senare tillfälle. I det andra alternativet matas den överblivna elen ut på elnätet (Energimyndigheten, 2010). När systemet producerar mer el än vad som behövs för huset skickas överskottet ut på elnätet och el tas därifrån när systemet inte producerar tillräckligt med el (Vattenfall, 2015).

Ungefär 10-15 % av det inkommande solljuset kan solcellerna omvandla till elektrisk energi. Mest elektricitet alstras mellan mars och oktober, mellan november och februari är tillgången på solljus begränsad vilket gör det svårt att driva ett hus elbehov på endast solceller (Vattenfall, 2015).

7.1 Solceller från NIBE

Solcellerna består av en aluminiumram som uppfyller stora krav på korrosionsbeständighet och stabilitet. Solcellerna är uppbyggda av kiselkristaller som är täckta med polykristallint glas. Ett kopplingsschema för solcellerna kopplade till en värmepump redovisas i Figur 7.



Figur 7 Figuren visar hur solcellerna är kopplade till värmepumpen (NIBE, 2015)

7.2 Tillämpning av systemet på passivhuset

Följande beräkningar hänvisas till bilaga *Solcellspaket SE-PV3031*. För att åskådliggöra en täckningsgrad för solceller gentemot värmepumpens elenergibehov används ett solcellspaket från NIBE i beräkningarna. Detta syftar till att se till både behov och rimlighet för kommande analyser och diskussioner gällande ortsplacering för ett fungerande solcellspaket. Detta ingår dessutom i alternativet för markvärme och är tänkt att jämnar ut skillnaderna systemen emellan. Totalkostnaden för solcellspaketet uppgår till 51 250 kr. Garantitiden för produkten uppgår till 10 år varefter effektgarantin är 90 % efter 12 år och 80 % efter 25 år (Sol & Energiteknik, 2015).

I detta solcellspaket ingår följande data:

- 12 st. 1640 × 992 mm polykristallina kiselcellspaneler med en total area på 19,5 m²
- En toppeffekt på 3,12 kW

Elenergiförbrukningen för bergvärme och ytjordvärme redovisas nedan:

Göteborg: 3127 kWh/år

Östersund: 5439 kWh/år

Kiruna: 8421 kWh/år

Elenergiförbrukningen för markvärme redovisas nedan:

Göteborg: 3000 kWh/år

Östersund: 3000 kWh/år

Kiruna: 3000 kWh/år

Ur solinstrålningskartan hämtas antalet soltimmar per år för de respektive städerna.

Göteborg: 950 h

Östersund: 900 h

Kiruna: 800 h

Förutsättningsvis monteras solcellerna på taket i 45 graders lutning. Detta medför att den procentuella faktorn av globalinstrålningen mot ytan blir 1,12. Anläggningens topp effekt är 3,12 kW. Slutligt värde för tillskamsning av solcellsenergi under ett bruksår för de tre städerna blir följande:

$$Q_{\text{solcell Göteborg}} = 950 \times 1,12 \times 3,12 \times 0,9 = 2987,712 \text{ kWh/år}$$

$$Q_{\text{solcell Östersund}} = 900 \times 1,12 \times 3,12 \times 0,9 = 2830,464 \text{ kWh/år}$$

$$Q_{\text{solcell Kiruna}} = 800 \times 1,12 \times 3,12 \times 0,9 = 2515,968 \text{ kWh/år}$$

Dessa värden antas vara troliga med reservation för skuggning, nedsmutsning och snötäckning. Det nya elenergibehovet för bergvärme och ytjordvärme, $\Delta Q_{\text{solceller ytjordvärme}}$, $\Delta Q_{\text{solceller bergvärme}}$, åskådliggörs nedan.

$$\text{Göteborg: } 3127 - 2987,7 = 139,3 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Östersund: } 5439 - 2830,5 = 2608,5 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Kiruna: } 8421 - 2516 = 5905 \text{ kWh/år}$$

För markvärmealternativet blir det nya elenergibehovet, $\Delta Q_{\text{solceller markvärme}}$ följande:

$$\text{Göteborg: } 3000 - 2987,7 = 12,3 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Östersund: } 3000 - 2830,5 = 169,5 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Kiruna: } 3000 - 2516 = 484 \text{ kWh/år}$$

8 Slutligt energibehov för passivhuset

Med hänsyn till de framräknade energikraven för byggnaden baserat på respektive ort, redogörs det slutliga energibehovet för passivhuset. I redogörelsen ingår solcellernas bidragande tillskott att sänka elenergiebehovet. Behovet redovisas i tabeller där köpt energi/m² anger hur mycket energi passivhusen i varje stad behöver tillföras per kvadratmeter.

8.1 ASES markvärmelager

Markvärmelagret täckte inte upp för hela energibehovet, utan resulterade i ett värmeunderskott, se Tabell 3. Solcellerna bidrog med ett sänkt elenergiebehov. De båda resultaten redovisas i Tabell 6.

Tabell 6 Visar slutligt energibehov efter tillämpning av solceller för markvärmelagring.

Stad	$\Delta Q_{\text{markvärme}}$ [kWh/år]	$\Delta Q_{\text{solceller}}$ markvärme [kWh/år]	Totalt energiebehov [kWh/år]	Energiebehov /m ² [kWh/m ²]
Göteborg	520,5	12,3	532,8	3,3
Östersund	7 611,2	169,5	7 780,7	48
Kiruna	13 019	484	13 503	83,4

8.2 Bergvärme

Bergvärmesystemet uppfyllde inte hela energibehovet, utan resulterade i ett värmeunderskott, se Tabell 4. Solcellerna bidrog med ett sänkt elenergiebehov. De båda resultaten redovisas i Tabell 7.

Tabell 7 Visar slutligt energibehov efter tillämpning av solceller för bergvärme.

Stad	$\Delta Q_{\text{solceller bergvärme}}$ [kWh/år]	Totalt energibehov [kWh/år]	Energiebehov /m ² [kWh/m ²]
Göteborg	139,3	139,3	0,9
Östersund	2 608,5	2 608,5	16,1
Kiruna	5 905	5 905	36,5

8.3 Ytjordvärme

Ytjordvärmesystemet uppfyllde inte hela energibehovet, utan resulterade i ett värmeunderskott, se Tabell 5. Solcellerna bidrog med ett sänkt elenergiebehov. De båda resultaten redovisas i Tabell 8.

Tabell 8 Visar slutligt energibehov efter tillämpning av solceller för ytjordvärme.

<i>Stad</i>	$\Delta Q_{\text{solceller ytjordvärme}}$ [kWh/år]	<i>Totalt energibehov</i> [kWh/år]	<i>Energiebehov /m²</i> [kWh/m ²]
Göteborg	139,3	139,3	0,9
Östersund	2 608,5	2 608,5	16,1
Kiruna	5 905	5 905	36,5

9 Urvalsprocess

För att komma fram till det uppvärmningssystem som är optimalt för huset sker en urvalsprocess med ett poängsystem utifrån olika kategorier. De kategorier som studeras är markförhållande, livslängd och kostnad. Systemet går ut på att det uppvärmningssystem som får högst poäng i kategorin får 3 poäng, det som får näst högst får 2 poäng och det som får lägst poäng får 1 poäng. Därefter viktas poängen utifrån kategorin. Markförhållande viktas med en faktor på 0,4, livslängden viktas med 0,4 och kostnaden viktas med 0,2. Därefter väljs det uppvärmningssystem som fått högst poäng.

Ex. System A får 2 poäng i kategori markförhållande, 3 poäng i kategori livslängd och 1 poäng i kategori kostnad. Slutpoängen blir då: $2 \times 0,4 + 3 \times 0,4 + 1 \times 0,2 = 2,2$ poäng.

Vid kostnadsbestämning studeras ett medelvärde mellan de olika städerna. Solcellssystemets placering granskas ej i urvalsprocessen då den förväntas vara applicerbar oavsett stad. Däremot granskas solcellssystemet i kategori livslängd och kostnad.

9.1 Kategori markförhållande

I den här kategorin studeras möjligheten att installera systemen utifrån markförhållande. Det system som kräver minst markförutsättningar får högst poäng. Poängen delas även ut utifrån om systemet är anpassat för de olika klimaterna i de tre städerna som beaktas.

9.1.1 ASES (Markvärmelagring)

Genom att lagra värme under bottenplattan och fylla ut det värmelagrande skiktet med en känd materialsammansättning, kommer inte omgivande mark inverka nämnvärt på lagringen. Den enda parametern som egentligen har en inverkan på denna metod för respektive ort är temperaturen. Metoden bygger på schaktning och igenfyllnad vilket leder till att de potentiellt ogynnsamma markförhållandena tas bort ur ekvationen. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms markvärmelagring få betyg 3 i poängsystemet.

9.1.2 Bergvärme

Vid installation av bergvärme är en förutsättning att det finns berg på tomten. Maxkravet för bergvärme är att kunna borra till ett djup av 200 m innan berggrunden stöts på. Djupet till berggrunden varierar i hela landet och kan vara väldigt lokalt. För att göra en grov uppskattning, utgörs berget av typen ”normalberg” i beräkningarna. Detta syftar till att undersöka ett fall som varken är fördelaktigt eller ogynnsamt. Tabell 9 visar värden från beräkningarna för de tre olika städerna.

Tabell 9 *Borrhåslängdsbehov för bergvärmesystem.*

Stad	Teoretiskt aktivt borrhåslängdsbehov [m]
Göteborg	85
Östersund	120
Kiruna	139

Vid jämförelse mellan de tre städerna återspeglas en tydlig ökning i borrhåslängd vilket visar på det ökade behovet av värmeenergi längre norrut. Nere i berget är temperaturen starkt ansluten till årsmedeltemperaturen för orten. För att erhålla ett bra värmeutbyte från berget kan temperaturen på köldbäraren i kollektorslangen justeras. För de tre olika städerna har denna temperatur anpassats utifrån klimat för att öka värmeupptagningen.

Ytterligare en faktor som komplicerar beräkningsunderlaget är fler borrhål. Vid beräkning har endast hänsyn tagits till ett borrhål. Utgörs förutsättningarna av gynnsamma markförhållanden skulle t.ex. två borrhål försörja ett hus och öka upptaget av värmeenergi. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms bergvärme få betyg 2 i poängsystemet.

9.1.3 Ytjordvärme

För ytjordvärme utgör markförhållanden en stor del av förutsättningarna för att metoden ska kunna genomföras. Ur ett geografiskt svenskt perspektiv innebär det att en stad längre norrut kommer att ha sämre utgångsläge för installation av ytjordvärme med hänsyn till värmelagring i marken. För en stad längre söderut innebär utgångsläget det motsatta. De temperaturskillnader som kan innebära barriärer för energiupptagningen kan i viss mån motverkas genom att välja temperatur på köldbäraren. Ju lägre temperatur på köldbäraren, desto högre upptag av värmeenergi från omgivningen.

Jämförelsevis mellan de tre städerna skiljer sig jordslingelängden beroende på ort, se Tabell 10. Dessa värden är dock endast anpassade för en optimal jordtyp, lerjord. För andra förhållanden försämras utgångsläget och större arealer krävs för att lägga jordslingan.

Tabell 10 *Jordslingelängd för ytjordvärme.*

Stad	Jordslingelängd [m]
Göteborg	185
Östersund	253
Kiruna	242

En förutsättning är att det finns åkermark runt om eller i nära anslutning till där huset är beläget. Skulle exempelvis berg utgöra marken runt om huset skulle alternativet inte vara genomförbart. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms ytjordvärme få betyg 1 i poängsystemet.

9.1.4 Diskussion av poängval

Valet av poäng för de olika uppvärmningssystemen baseras på deras hållbarhet med avseende på markförhållande. Det som ansågs vara bäst var lagring av markvärme i bottenplattan. Detta beror på att metoden är anpassad efter hus som byggs från grunden. Markförhållandet utgör inget hinder för denna metod eftersom ny grund läggs oavsett det rådande förhållandet och är därmed lika för alla nybyggda hus oavsett ort.

Bergvärme ansågs få det näst högsta betyget. Sveriges berggrund utgör goda förutsättningar för metoden. De främsta hindren för bergvärme beror på borrhjulet och bergets egenskaper. Den tar förhållandevis lite plats jämfört med övriga system då installationen borrar vertikalt.

Ytjordvärme fick lägst poäng. Detta motiveras genom att markens specifika egenskaper spelar stor roll för utförandet. Den tar också större plats utanför huset än de andra systemen. Dessutom är installationen beroende av mark i anslutning till huset och kan inte läggas om marken består av berg.

9.2 Kategori livslängd

I kategori livslängd delas poäng ut utifrån hur lång tid systemet beräknas att hålla, inklusive utbyte av komponenter.

9.2.1 ASES (Markvärmelagring)

Livslängden för markvärmelagret uppskattas till 100 år och avser slangarna. Systemet är otestat under dess angivna livslängd, vilket gör det svårt att fastställa en exakt livslängd. Uppskattningsvis antas systemet ha samma livslängd som slangarna på 100 år med utgångspunkt i att systemets övriga komponenter kan bytas ut under brukstiden för slangarna. Solcellspaketet förväntas ha en effekt på minst 80 % efter 25 år. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms markvärmelagring få betyg 2 i poängsystemet.

9.2.2 Bergvärme

Uppskattningsvis kan ett bergvärmesystem användas i 60 år innan brunnskomponenterna behöver bytas ut. Däremellan kommer värmepumpen att behöva bytas ut med ett intervall av 20 år till en mer effektiv komponent. Solcellspaketet förväntas ha en effekt på minst 80 % efter 25 år. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms bergvärme få betyg 1 i poängsystemet.

9.2.3 Ytjordvärme

Beständigheten för ytjordvärme sägs uppgå till 100 år. Det avser slangarna som grävts ner i marken och inte för resterande komponenter som installeras inomhus. Dock har metoden inte existerat under den angivna livslängden. Därför betraktas årsangivelsen endast som ett ungefärligt riktmärke. Solcellspaketet förväntas ha en effekt på minst 80 % efter 25 år. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms ytjordvärme få betyg 3 i poängsystemet.

9.2.4 Diskussion av poängval

För kategorin livslängd väljs poäng efter stigande beständighetstid. Det innebär att bergvärme får poäng 1. För ytjordvärme och markvärmelagret som har samma teoretiska livslängd bestäms poängfördelningen med hänsyn till tillgängligheten att byta ut alla komponenter. För att byta ut markvärmelagret behövs betonggrunden brytas upp och för ytjordvärme behövs marken grävas upp. För dessa fall räknas det enklaste utbytet förefalla vara grävning i mark. Poängfördelningen blir därför 2 till markvärmelagret och 3 till ytjordvärme.

9.3 Kategori kostnad

I kategori kostnad delas poäng ut utifrån kostnaden på systemen. Det system som är billigast får högst poäng och det som är dyrast får lägst poäng.

9.3.1 ASES (Markvärmelagring)

Kostnaden för installation av ett markvärmelager kostar enligt Jan-Erik Eskilsby ca 200 000 kr. I detta pris ingår material och arbetskostnad för utförandet.⁷

Med utgångspunkt i insamlad data bedöms markvärmelagret få betyg 1 i poängsystemet.

9.3.2 Bergvärme

Vid kostnadsberäkning för bergvärme används schablonvärden. Borrning antas kosta 250 kr/m.⁸ Kostnaden för de olika städerna redovisas i Tabell 11.

Tabell 11 Kostnad för borrning vid bergvärme baserat på stad.

Stad	Borrhålslängd [m]	Kostnad [kr/m]	Kostnad [kr]
Göteborg	85	250	21 250
Östersund	120	250	30 000
Kiruna	139	250	34 750

⁷ Jan-Erik Eskilsby (ASES AB svenskt klimatneutralt boende) Mailkontakt med Madelene Staf den 6 maj 2015.

⁸ Signhild Gehlin (Teknisk expert, Svensk Geoenergi centrum) Intervjuad av Nils Palmblad via telefon den 8 maj 2016.

Utöver kostnaden för borrning ingår köp av värmepump samt installeringen av den med tillhörande komponenter. Ett ungefärligt pris för installationen av en bergvärmepump med effekten 4 kW och en storlek på 0,2 m³ är 80 000 kr.⁹

Kostnaden för solcellspaketet uppgår till 51 250 kr. Detta medför att totaltkostnaden för de tre städerna blir följande:

Göteborg: 152 500 kr

Östersund: 161 250 kr

Kiruna: 166 000 kr

Med utgångspunkt i insamlad data bedöms bergvärme få betyg 2 i poängsystemet.

9.3.3 Ytjordvärme

Kostnaden för att installera ytjordvärme är approximativt 75 kr/m av jordslingan.¹⁰ Kostnaden för de olika städerna redovisas i Tabell 12.

Tabell 12 *Kostnaden för utläggning av jordslinga vid ytjordvärme baserat på stad.*

Stad	Jordslingelängd [m]	Kostnad [kr/m]	Kostnad [kr]
Göteborg	185	75	13 875
Östersund	253	75	18 975
Kiruna	242	75	18 150

Utöver kostnaden för grävning ingår köp av värmepump samt installeringen av den med tillhörande komponenter. Ett ungefärligt pris för installationen av en markvärmepump med effekten 4 kW och en storlek på 0,2 m³ är 80 000 kr.¹¹

Kostnaden för solcellspaketet uppgår till 51 250 kr. Detta medför att totaltkostnaden för de tre städerna blir följande:

Göteborg: 145 125 kr

Östersund: 150 225 kr

Kiruna: 149 400 kr

Detta är det billigaste alternativet av de tre energisystemen. Med utgångspunkt i insamlad data bedöms ytjordvärme få betyg 3 i poängsystemet.

⁹ Hans Wernberg (VD, GreenPeak Energi & Rörläggeri) intervjuad av Nils Palmblad via telefon den 11 maj 2015.

¹⁰ Hans Abrahamsson (Entreprenör, Optimal Värmeekonomi) intervjuad av Nils Palmblad via telefon den 5 maj 2015.

¹¹ Hans Wernberg (VD, GreenPeak Energi & Rörläggeri) intervjuad av Nils Palmblad via telefon den 11 maj 2015.

9.3.4 Diskussion av poängval

Poängen fördelas med hänsyn till stigande kostnad. Resultatmässigt ges markvärmelagret 1 poäng, bergvärme 2 poäng och ytjordvärme 3 poäng. Noterbart är att kostnaden för installationen av värmepump är lika för både ytjordvärme och bergvärme. Det som skiljer alternativen åt är initialkostnaden för borring av rör eller nedgrävning av slingor.

9.4 Poängresultat

Efter poängfördelningen viktas respektive del ihop med tillhörande faktor. Nedan redovisas resultatet.

$$\text{Markvärmelager: } 3 \times 0,4 + 2 \times 0,4 + 1 \times 0,2 = 2,2 p$$

$$\text{Bergvärme: } 2 \times 0,4 + 1 \times 0,4 + 2 \times 0,2 = 1,6 p$$

$$\text{Ytjordvärme: } 1 \times 0,4 + 3 \times 0,4 + 3 \times 0,2 = 2,2 p$$

9.5 Diskussion av poängresultat

Efter urvalsprocessen visade resultatet att systemet med minst poäng blev bergvärme, 1,6 poäng. Bergvärme ansågs inte bäst i någon utav kategorierna vilket gav den låga placeringen. Även om poängfördelningen för bergvärme blev lägst är det ett bra alternativ till uppvärmning med förnybar energi. För ytjordvärme och markvärmelagret hamnade de i delad topp på 2,2 poäng. Fördelarna med de båda systemen är att de har minst en kategori som de fått högst poäng i. Nackdelarna är att båda systemen även fått lägst poängutdelning i var sin kategori. Dock är båda metoderna de starkaste alternativen av tre i urvalsprocessen.

10 Resultat

De beräknade slutprodukterna sammanställs och redovisas nedan, inklusive bedömningen för urvalsprocessen.

10.1 Markvärmelager

Uppvärmningsbehovet per kvadratmeter och år för passivhuset med ett markvärmelager, solfångare och solceller som uppvärmningsalternativ redovisas i Tabell 13.

Tabell 13 Årlig köpt energi per kvadratmeter för markvärmelagring.

Stad	Köpt energi/m ² (kWh/m ²)
Göteborg	3,3
Östersund	48
Kiruna	83,4

Det faktum att det efter uppvärmningssystemens tillgodoseende fortfarande behövdes tillföras energi betyder att målet om noll- eller plusenergihus inte uppfylldes i detta fall. För Göteborg hamnade energibehovet under passivhuskraven (15 kWh/m²/år). För Östersund blev värmebehovet större än kravet för att klassificeras som ett passivhus. Detta gäller också för ett passivhus placerat i Kiruna. Bidragande till att energibehoven blev stora för de två nordligaste städerna är bottenplattans storlek. Lagringskapaciteten blev för liten kontra vad som behövdes för att tillgodose uppvärmningsbehovet. En större platta innebär större lagringskapacitet och skulle kunna sänka energibehovet.

Utifrån urvalsprocessen blev markvärmelagret delad etta på 2,2 poäng. Metoden fick bäst betyg i kategorin *Markförhållande*, näst bäst i kategori *Livslängd* och lägst i kategori *Kostnad*.

10.2 Bergvärme

Uppvärmning med bergvärme och solceller som alternativ gav ett uppvärmningsbehov som redovisas i Tabell 14.

Tabell 14 Årlig köpt energi per kvadratmeter för bergvärme.

Stad	Köpt energi/m ² (kWh/m ²)
Göteborg	0,9
Östersund	16,1
Kiruna	36,5

Energi behöver tillföras för alla tre städer. Noll- eller plusenergihuskraven uppnåddes inte med detta uppvärmningsalternativ. I Göteborg landade energitillförseln på mindre än 1 kWh/m² och år, vilket är långt under energikraven för passivhus. I Östersund minskades uppvärmningsbehovet till strax över passivhuskravet. Ett passivhus i Kiruna skulle ha för höga uppvärmningsbehov för att vara nära passivhusstandard.

I urvalsprocessen hamnade bergvärme sist på 1,6 poäng. Metoden fick näst bäst betyg i kategorierna *Markvärme* och *Kostnad*, samt lägst betyg i kategori *Livslängd*.

10.3 Ytjordvärme

Uppvärmning med ytjordvärme och solceller som alternativ gav ett uppvärmningsbehov som redovisas i Tabell 15.

Tabell 15 Årlig köpt energi per kvadratmeter för ytjordvärme.

Stad	Köpt energi/m ² (kWh/m ²)
Göteborg	0,9
Östersund	16,1
Kiruna	36,5

För ytjordvärme behövs det ytterligare energitillförsel för att tillgodose passivhusets energikrav. Detta innebär att standarden för noll- eller plusenergihus inte gick att uppfylla. Däremot reducerades energibehoven kraftigt, främst för Göteborg med ett årligt energikrav på under 1 kWh/m² vilket är en markant skillnad från passivhuskravet. För Östersund uppnåddes nästan passivhuskrav på energibehovet och för Kiruna blev energibehovet för stort för att vara nära passivhusstandard.

Ytjordvärme kom delad etta i urvalsprocessen på 2,2 poäng. Metoden fick bäst betyg i kategorierna *Livslängd* och *Kostnad*, samt fick lägst betyg för kategori *Markförhållande*.

11 Diskussion

Alla mått och areor som använts i beräkningarna kommer från en 3D-modell i Auto-CAD. Det var i vissa fall svårt att läsa ut exakta mått med mätverktyget i CAD. Därför kan måtten skilja sig från de angivna i rapporten och de verkliga måtten på huset. Ytterdörren på det prefabricerade passivhuset har ett U-värde som är 0,6 W/m²K, vilket är ett lågt värde. Det verkliga värdet är troligtvis högre. Även fönstren har ett lågt U-värde vilket i sin tur kan leda till kondens på insidan av fönstret vid större temperaturdifferenser. Bottenplattans U-värde som använts i beräkningarna är för den bottenplatta som Bo46 rekommenderar. I och med att det prefabricerade huset säljs exklusive bottenplatta kan U-värdet skilja sig beroende på vilken bottenplatta som väljs. I ett passivhus ställs även stora krav på ventilationssystem då huset inte har mycket naturlig ventilation pga. det täta klimatskalet. Eftersom ventilationssystemet inte har studerats närmare i rapporten bör den vara av hög prestanda för att uppnå god termisk komfort. Husets tak lutar svagt mot nordlig riktning vilket inte är optimalt med hänsyn till monterade solceller eller solfångare. Med fokus i de vinklar som rapporten presenterar är en sydlig taklutning, med en vinkel större än 30 grader ett bra utgångsläge för montering då en ställning inte nödvändigtvis behövs för att få en bra solalstring.

Vid beräkning av byggnadens energibalans, se bilaga *Byggnaders energibalans*, har schablonmässiga värden antagits på tappvarmvatten, distributions- och reglerförluster och värmetilskott. Energiförbehovet har beräknats två gånger för varje stad, en gång med minimum värden på de schablonmässiga värdena och en gång med de maximala värdena, därefter har det tagits fram ett medelvärde mellan dessa två. En utarbetning av den här delen är att även studera andra källor för att hitta mer exakta värden. I Kapitel 2.1 beskrivs det att solinstrålning bidrar till uppvärmningen av ett passivhus men i beräkningarna tas det ej hänsyn till solinstrålning, detta för att solen ger mest värmetilskott under sommaren då passivhus är beroende av ventilation. Dock ger solen även lite värmetilskott under vintern men det ansågs inte bidra med tillräckligt mycket för att förändra energiförbehovet.

Inomhustemperaturen för passivhuset valdes i rapporten att sättas till 22 °C. Detta utgör underlaget till antalet gradtimmar i beräkningarna för husets uppvärmningsbehov. Skulle temperaturen istället sättas till 20 °C hade kravbilderna varit betydligt mindre för uppvärmning. Å andra sidan skulle även andra kylbehov uppstå. I rapporten framgår för de olika systemen att energiförbehovet i Göteborg skulle bli 3,3; 0,9 och 0,9 kWh/m² och år vilket ligger relativt nära gränsen för ett nollenergihus, se Kapitel 10. Om inomhustemperaturen hade sänkts 2 °C till 20 °C skulle troligen passivhuset med placering i Göteborg kunna kategoriseras som ett nollenergihus. Dessutom hade antal kWh/m² och år sänkts för övriga orter och kanske kunnat bli en än mer rimlig investering.

Vid en ökad inomhustemperatur hade antalet gradtimmar ökat betydligt och ställt större krav på uppvärmningssystemen och därmed en större kostnad för att uppnå samma resultat. Inomhustemperaturen har en stor betydelse på det slutgiltiga energiförbehovet. Om de boende kan tänka sig en lite lägre temperatur skulle både kostnad och energiförbrukning minska för dem och för byggsektorn i Sverige.

Beräkningsprogrammet COPCALC, som använts för att räkna ut systemen för bergvärme och ytjordvärme är en demovariant som innehåller många förenklingar. COPCALC är ett bra förenklingsverktyg för att åskådliggöra energiberäkningar men kan innehålla vissa osäkerheter då det är en demovariant. För att få en mer korrekt utförlig bild av energibehovet bör en energiingenjör kontaktas som kan utföra noggrannare beräkningar.

Vid beräkning i COPCALC har flertalet förinställda värden antagits. För både ytjord- och bergvärme har bland annat förinställda värden valts vid storlek och gradantal på varmvattentanken, medeltemperaturer samt fram/returledningstemperaturen. De parametrar som ändrats är egenuppvärmningen och inkommande temperaturer på köldbärarna. Dessa har justerats med hänsyn till ett kallare klimat norrut och således för att kunna utnyttja markvärmeenergin har lägre tillåtna temperaturer satts på köldbäraren för att tillgodose värmebehovet. De olika markförhållandena har valts att endast kolla på en typ, med förinställda konduktiviteter och kapaciteter. Detta för att minska antalet olika utfall och studera ett typfall. Följderna av detta kan bli att energiupptagen blir överskattade och ökar det slutliga värmebehovet.

Vid beräkning av ytjordvärme har endast fallet då marken består av lera studerats. Förläggingsdjupet av värmeslingan har satts till samma för alla orter. Rimligtvis bör slingan förläggas djupare i norr än i söder med hänsyn till frostfritt djup.

När borrhåslängden beräknas studeras endast ett borrhål och bergtypen normal. Med två borrhål hade mer värmeenergi kunnat utvinnas. Borrhålet förutsätts borras rakt nedåt och ej vinklat. Detta kan tänkas ge upphov till ett annat energiupptag.

Viktningstalen i de olika kategorierna är bestämda utifrån vad författarna ansåg som rimligt. Kategorin *Kostnad* viktas med 0,2 då den inte anses lika viktig som de övriga kategorierna. Fokus ligger på markförhållande och livslängd. Skulle istället viktningspoängen slopas och kategorierna bedömas med poäng från ett till tre hade den inbördes ordningen värmesystemen emellan förändrats. I det fallet hade ytjordvärme varit först, följt utav markvärme och sist bergvärme.

Ytterligare kan diskussionen kring poängvalet vid kategorin *Livslängd* noteras, se Kapitel 9.2.4, där ytjordvärme och markvärme hade samma teoretiska livslängd men ytjordvärme fick en högre poäng med hänsyn till byte av systemet. Livslängden för systemen är dessutom inte fullt ut testade då inget nuvarande system har uppnått den uppskattade tiden. Det kan finnas större eller mindre avvikelser som skulle spela stor roll för poängdistributionen i urvalsprocessen.

För kategori *Kostnad* är de föreslagna priserna schablonvärden, dels för att ge en överskådlig uppfattning och dels för att priserna kan variera beroende på återförsäljare och de markförhållanden som råder där huset sätts upp. Variationerna i pris baserat på ort och uppvärmningssystem är relativt stora, se Kapitel 9.3, och man kan anta vilket av systemen som kommer ha högst kostnad. Olika förutsättningar kan dock göra att ett dyrare system skulle bli billigare och vice versa.

En faktor som inte finns med i poängsystemet beträffande markvärmelagret är dess funktionalitet. De beräkningar som gjorts påvisar att bottenplattans kapacitet inte uppgår till det faktiska energibehovet, se Tabell 3. Skulle bottenplattans area utökas hade kapaciteten också ökat. Intressant är det faktum att markvärmelagret skulle kunna ha en större kapacitet än byggnadens energibehov och således kunna kategoriseras som ett nollenergihus.

För att tillgodose behovet i Göteborg skulle bottenplattan behöva ha en area på $(12130,5-3000)/75 = 121,74 \text{ m}^2$ för att precis gå runt energimässigt, kontra den nuvarande arean på $114,8 \text{ m}^2$, se Kapitel 4.3. Motsvarande för Östersund skulle bli $(19221,2-3000)/75 = 216,3 \text{ m}^2$, och för Kiruna $(24629-3000)/75 = 288,4 \text{ m}^2$. Detta bör sättas i relation till vad som är ekonomiskt försvarbart. För Göteborg behöver inte bottenplattan expandera betydligt. Värre är fallet för Kiruna där bottenplattan skulle behöva vara mer än dubbelt så stor. Göteborg kan ses som en nationell gräns för hur långt upp i landet det är möjligt att uppnå nollenergistandard med systemet.

Då systemet är beroende av en stor bottenplatta försvåras situationen av att ha en villa i två plan. Förslagsvis kan systemet tillämpas med större kapacitet för villor i ett plan. Ingår dessutom ett garage direkt i anslutning till huset, som i detta fall, kan bottenplattan även innefatta det utrymme för en större lagringskapacitet. Att använda markvärmelagring är en metod som skulle ha en stor positiv effekt på energibehovet. Dock borde en balanspunkt finnas gällande ekonomi och estetik längre norrut än Göteborg där ett annat uppvärmningssystem skulle vara mer lämpligt.

De avgränsningar som valts syftade till att begränsa arbetets omfattning. Solinstrålningen medräknades ej vilket skulle kunna ge ett mer positivt fall än vad som är verkligt. Troligtvis spelar solinstrålningen en viss roll i att sänka energibehovet men det ansågs som otillförlitligt beroende på en rad parametrar som krävdes för att ge ett korrekt värde. Solcellspaketet som undersöktes hade kunnat brytas ned och istället undersöka hur mycket kvadratmeter som hade behövts för försörjning av uppvärmningssystemen. Vidare ingick inte priset vid val utav solcellspaketet. Det skulle kunna gjorts en bättre uppföljning på prestanda kontra pris för att ta hänsyn till olika städers elsystembehov.

I alla de beräkningar som utförts finns det en möjlighet att det har blivit en eller flera missar. Dessa beräkningsfel kan komma att påverka hela resultatet i en positiv eller negativ riktning. De beräkningar som varit svåra att begränsa är de gällande demoprogrammet COPCALC. Efter god rådgivning är förhoppningarna ändå stora att missarna är få till antalet. Även avgränsningarna kan ha en verkan på resultatet men är nödvändiga för att inte arbetet ska bli större.

Med reservation för avgränsningar och potentiella beräkningsmissar anses resultatet ha en bärkraftig rimlighet. Några av uppvärmningssystemen har varit aktuella under många år samt att ny teknik bidrar ständigt med mer energieffektiva produkter. Detsamma gäller standarden på de hus som byggs, de blir mer och mer energieffektiva. Med utgångspunkt i detta anses resultatet och möjligheten att förbättra passivhuset till ett noll- eller plusenergihus rimligt. I alla fall för Göteborg. Östersund kan vara en tuff brytpunkt som är svår att uppnå men inte omöjlig. För Kiruna ses klimatet som ett för stort hinder för att kunna uppföra ett noll- eller plusenergihus. Dock är det rimligt att med blickar framåt i tiden anta att det finns goda möjligheter att lyckas även där. Det kan även finnas belägg att resultatet har större chans att uppnås för andra passivhus då i rapporten endast ett passivhus undersöks.

När information om ytjordvärme tagits fram har en bok om markvärme från 1985 använts. Tekniken inom ytjordvärme har utvecklats efter dess men det är fortfarande samma princip som används. Övrig litteratur är mer nutida och kan anses vara korrekt. Webbaseerade källor tros också vara korrekta, framförallt de som inhämtas från myndigheter och branschorganisationer. Uppgifter som inhämtats från återförsäljare bör även de stämma men med viss skepsis till olika prisuppgifter som kan skilja sig åt gentemot andra återförsäljare. Troligt är ändå att priserna inte skiljer sig avsevärt mycket för att förändra utfallen i poängsystemet och resultaten. Muntliga källor är mer svårbedömda då kanske fler kontakter hade kunnat redogöra för att uppgifterna stämmer. De personer som kontaktats och räknas som muntliga källor antas ändå vara väl insatta i sina områden då de jobbar inom det förfrågade området samt är tekniska experter eller dylikt. Det kanske hade gett ett bättre resultat att kontakta flera personer för att undersöka trovärdigheten i de erhållna uppgifterna.

Vid beräkning av markvärmelagret studeras kapaciteten för bottenplattans area. Utifrån värmelagringskapaciteten i slangarna beräknas hur mycket värmeenergi det går att få ut från systemet. Vid beräkning av ytjordvärme och bergvärme matas de aktuella energibehovvärdena in och uppvärmningssystemet beräknas utifrån att täcka upp hela uppvärmningsbehovet. Systemen antas därmed kunna installeras med sitt areabehov oavsett stad då det ej utgås från en specifik tomt i rapporten. Urvalsprocessen kan vara missvisande utifrån detta då kapacitet mot faktiskt behov ställs mot varandra. Det hade varit fördelaktigt att alla systemen studeras utifrån uppvärmningsbehovet alternativt kapaciteten. Detta hade dock krävt att det studerats en specifik tomt med ingående area, marktyp och bergtyp.

12 Slutsats

Tillämpning av de tre uppvärmningssystemen; bergvärme, ytjordvärme och markvärmelager, på passivhuset visade att huset inte klarade kravet på noll- eller plusenergihus i något av fallen. Vid placering av huset i Göteborg behövdes minst tillförd elenergi för samtliga tre uppvärmningssystem.

I urvalsprocessen hamnar ytjordvärme och lagring av solenergi i markbädden på delad första plats. Resultatet av urvalsprocessen visar alltså att dessa två är de mest optimala för passivhuset. Det är svårt att installera ytjordvärme på alla platser i Sverige, det beror på hur markförutsättningarna är runt huset. När det gäller lagring av solenergi i markbädden måste det tillföras mycket elenergi i Östersund och Kiruna för att kunna värma upp huset. I Östersund blir behovet 48 kWh/m² och i Kiruna 83,4 kWh/m², därmed är det bättre att använda ytjordvärme eller bergvärme här eftersom de kräver mindre tillförd elenergi.

Några rekommendationer till fortsatt arbete är att applicera uppvärmningssystemen på andra passivhus, förslagsvis en enplansvilla med större bottenplatta så att markvärmelagret kan bli större. Det går även att räkna ut hur många solceller som behövs för att tillgodose hushållsbehovet. Ett annat alternativ är att studera olika typer av jord vid beräkning av ytjordvärme och olika typer av berg vid beräkning av bergvärme. Utredning av att placera flera passivhus i ett område och tillämpa en gemensam energikälla är också en möjlighet.

13 Referenser

- Andrén, L. Tirén, L. (2010) *Passivhus - En handbok om energieffektivt byggande*, ss. 12-22. Värnamo: Fält & Hässler AB. (2015-03-10)
- Andrén, L. (2011) *Solenergi - Praktiska tillämpningar i bebyggelse*, ss. 19-50. Halmstad: Bulls Graphics AB. (2015-04-10)
- ASES (2014) *Gratis energi?* http://www.ases.me/PDF/ASES_Presentation_2014-11.pdf (2015-02-25)
- Björk, J. et al. (2013) *Bergvärme på djupet*, US-AB, Stockholm, sid 73-83.
- Claesson, J. et al. (1985) *Ytjordvärme. Markvärme - En handbok om termiska analyser - Del 3 - Naturvärmekällor*. Stockholm: Liber Tryck AB (2015-04-08)
- Energimyndigheten (2010) *Solceller – Informationsbroschyr om att producera el med hjälp av solceller*, <http://www.energimyndigheten.se/Global/Hush%C3%A5ll/Solceller/090701-solceller%20broschyr.pdf> (2015-04-28)
- Energimyndigheten (2012a) *Bebyggelse* <http://www.energimyndigheten.se/sv/forskning/Byggeforskning/> (2015-05-22)
- Energimyndigheten (2012b) *Jord-, sjö- och grundvattenvärme* <http://www.energimyndigheten.se/sv/hushall/Din-uppvarmning/Varmepump/Jord--grundvatten--och-sjovarme/> (2015-04-20)
- Energimyndigheten (2014a) *Bergvärme* <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Dinuppvarmning/Varmepump/Bergvarme/> (2015-04-15)
- Energimyndigheten (2014b) *Solvärme* <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Solvärme/> (2015-04-07)
- Geotec – Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation (2012) *Geoenergin i samhället – En viktig del i en hållbar energiförsörjning* <http://www.geotec.se/wp-content/uploads/2012/06/Geoenergin-i-samh%C3%A4llet.pdf> (Sid 52 & 58) (2015-04-10)
- Glad, W. (2006) *Aktiviteter för passivhus*, ss, 18-19. Linköping: Tema Teknik och social förändring. (2015-03-10)
- NIBE (2015) *NIBETM SE-PV 3031* <http://www.nibe.se/Produkter/Solvärmeprodukter/NIBE-SE-PV-3031/> (2015-04-16)

- Palmblad, L. (2015) *Solceller*
http://www.solpanel.se/images/stories/solpaneler/090701-solceller_broschyr.pdf
(2015-04-07)
- Petersson, B-Å. (2009) *Tillämpad Byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB. (2015-01-26)
- Sol & Energiteknik (2015) *Solceller* <http://solenergiteknik.se/solceller/solceller.html>
(2015-05-13)
- Solar region Skåne, *Solvärme* <http://www.solarregion.se/index.php?id=170> (2015-03-25)
- Solportalen (2014) *Vakuumsrör* <http://www.solportalen.fi/styled-3/styled-14/styled-4/index.html> (2015-03-25)
- Solvärmegrossisten (2014) *Lär dig mer om solfångare*
<http://www.solvarmegrossisten.se/lar-dig-om-solfangare-2> (2015-04-07)
- Sveriges centrum för nollenergihus (2013) *Olika typer av lågenergihus*
<http://www.nollhus.se/lagenergihus> (2015-03-17)
- Thermia (2015) *Så fungerar värmepumpen* <http://www.thermia.se/varmepump/sa-har-fungerar-en-varmepump.asp> (2015-04-20)
- Vattenfall (2015) *Hur fungerar solceller* <http://www.vattenfall.se/sv/hur-fungerar-solceller.htm> (2015-05-05)
- Warfvinge, C. Dahlblom, M. (2010) *Projektering av VVS-installationer*, ss, 4:10-11. Lund: Studentlitteratur. (2015-04-15)

Areaberäkningar

Areaberäkningar på fönster

Fönstertyp 1, antal fönster 1.

$$A_1 = 2,10m \times 1,250m = 2,625m^2$$

Fönstertyp 2, antal fönster 3.

$$A_2 = 0,600m \times 2,5m \times 3 = 4,5m^2$$

Fönstertyp 3, antal fönster 2.

$$A_3 = 1,3m \times 1,25m \times 2 = 3,25m^2$$

Fönstertyp 4, antal fönster 1.

$$A_4 = 1,25m \times 1,9m = 2,375m^2$$

Fönstertyp 5, antal fönster 2.

$$A_5 = 1,566m \times 1,9m \times 2 = 5,9508m^2$$

Fönstertyp 6, antal fönster 2.

$$A_6 = 1,563m \times 1,3m \times 2 = 4,0638m^2$$

Fönstertyp 7, antal fönster 1.

$$A_7 = 0,4m \times 2,1m = 0,84m^2$$

Total fönsterarea, A_f :

$$A_f = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 = 23,6046m^2$$

Areaberäkningar på ytterdörr

$$A_d = 0,9 + 2,1 = 1,89m^2$$

Areaberäkningar på väggar

Omkrets på bottenplan: $O_b = 41,7774m$

Omkrets på övreplan: $O_ö = 27,968m$

Takhöjd: 2,5m

$$A_v + A_f + A_d = (41,7774 + 27,968) \times 2,5 = 174,3635m^2$$

Total väggarea, A_v :

$$A_v = 174,3635m^2 - (A_f + A_d) = 174,3635 - 23,6046 - 1,89 = 148,8689m^2$$

Area på tak från 3D-modell

$$A_t = 91,9720m^2$$

Area på grund från 3D-modell insida yttervägg exklusive garage

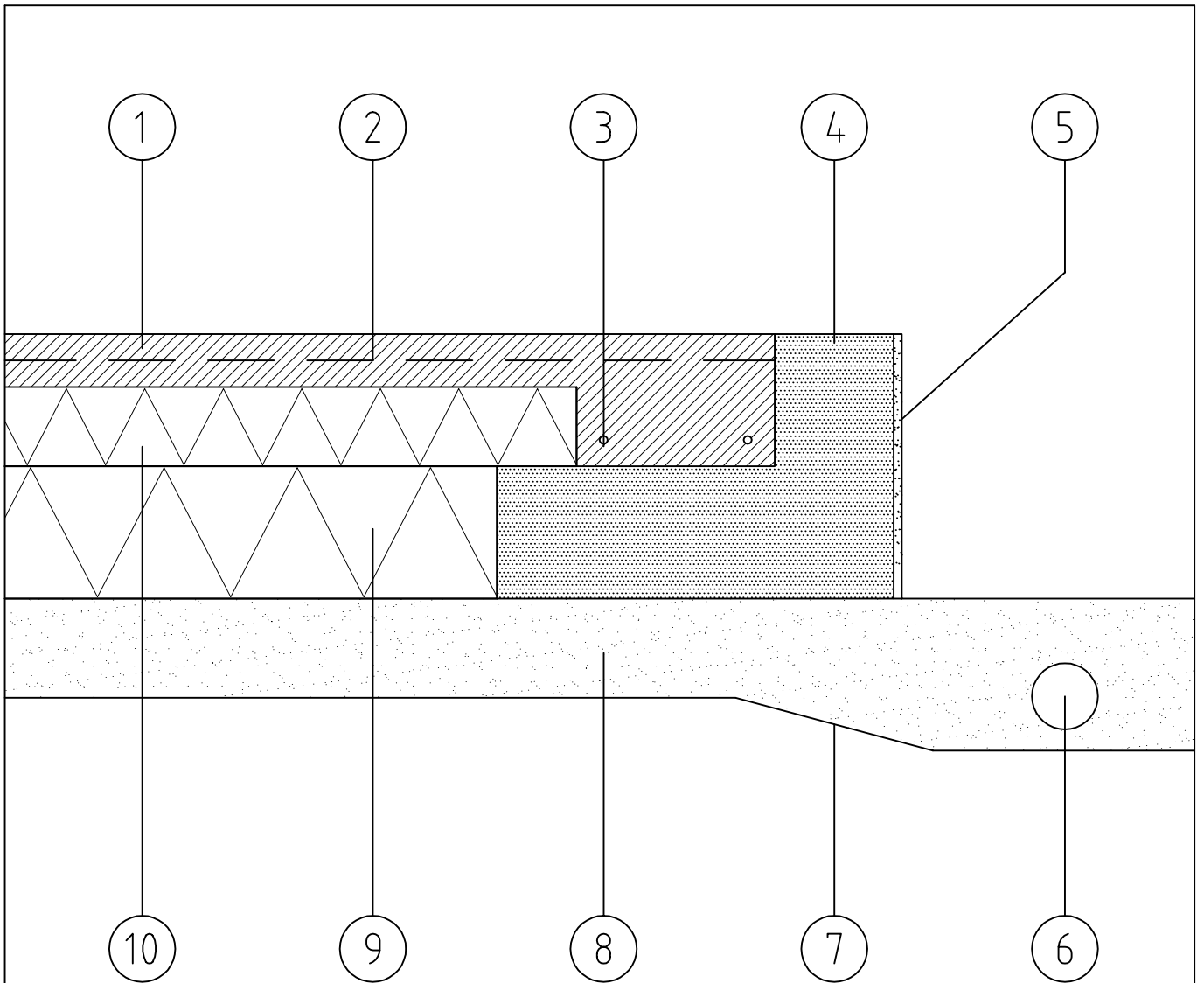
$$A_{gi} = 91,9720m^2$$

Area på grund från 3D-modell utsida yttervägg inklusive garage

$$A_{bottenplatta} = 114,8m^2$$

Omslutningsarea

$$A_{om} = 358,3075m^2$$



1. 100 BETONG K40
2. ARMERINGSNÄT ENLIGT K-RITNING
3. ARMERING ENLIGT K-RITNING
4. CTEN KANTELEMENT
5. PUTS
6. 100 DRÄNERINGSLEDNING
7. ORÖRD MARK ALT KOMPR FRIKTIONSJORD
8. MIN 150 DRÄNERANDE KOMPR GRUS
9. 200 EPS ENL. PLAN
10. 100 EPS ENL. PLAN



GRUNDETALJ
CTEN BYGGSYSTEM

Byggnaders energibalans (Tillämpad Byggnadsfysik, ekv. 4.7 s.133)

$$Q_{\text{energi}} = Q_t + Q_v + Q_l + Q_{\text{tvv}} + Q_{\text{dr,el}} - Q_{\text{vå}} - Q_{\text{tillskott}}$$

Q_t = transmissionsförluster inkl. köldbryggor

Q_v = ventilationsförluster

Q_l = luftläckageförluster (otätheter i klimatskärmen, vädring)

Q_{tvv} = uppvärmning tappvarmvatten

$Q_{\text{dr,el}}$ = distributions- och reglerförluster, elenergibehov för pumpar och fläktar, värmepumpar och klimatkylmaskiner, fastighetsel, etc.

$Q_{\text{vå}}$ = värme som tillgodogörs från växelvärmare, värmepumpar, solfångare, och solceller (liksom solinstrålning genom fönster)

$Q_{\text{tillskott}}$ = värme som tillgodogörs från personer, belysning, hushållsmaskiner, tappvarmvatten, etc.

Beräkningen av Q_{energi} görs för normalårstemperaturer utomhus och avsedd temperatur inomhus samt för normalt brukande av tappvarmvatten och vädring.

Maximal och minimal energiåtgång beräknas varvid de två fallen utgör underlag för vidare diskussion om tillförsel av energi via solceller.

Transmissionsförluster (Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m , Tillämpad Byggnadsfysik, ekv. 7.42 s.264)

$$U_m = \frac{\sum U_{\text{korrr},i} \times A_i + \sum \psi_k \times l_k + \sum \chi_j}{A_{\text{om}}}$$

$U_{\text{korrr},i}$ = värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelen i ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

A_i = area för byggnadsdelens yta mot uppvärmd inneluft i (m^2) (för fönster, dörrar, portar etc. beräknas A_i med karmyttermått)

ψ_k = värmegenomgångskoefficient för linjära köldbryggan k (W/mK)

l_k = längden av den linjära köldbryggan k mot uppvärmd inneluft (m)

χ_j = värmegenomgångskoefficient för punktformiga köldbryggan j (W/K)

A_{om} = totalt omslutande area som gränsar mot uppvärmd inneluft

I beräkningarna försummas de potentiella punktformiga köldbryggorna. Fokus hamnar på UA-värden för klimatskärmen samt linjära köldbryggor.¹ Linjära köldbryggor för fönster och dörrar är inräknade i dess U-värde. För areor, se bilaga *Areaberäkningar*.

Byggdela	U-värde ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	Area (m^2)	UA-värde (W/K)
Väggar	0,12	148,8689	17,86427
Fönster	0,79	23,6046	18,64763
Dörrar	0,6	1,89	1,134

¹ Håkan Blixt (VD, stiftelsen Bo46) Intervjuad av författarna den 15 mars 2015.

Tak	0,08	91,972	7,35776
Grund	0,08	91,972	7,35776
$\sum total$			52,36142

För de linjära köldbryggorna utnyttjas de olika extremerna för ψ_k -värdena.

Rimliga värden på ψ_k är

- Anslutning mellan utvändigt värmeisolerat varmtak eller värmeisolerat vindsbjälklag med yttertak och träregelvägg eller vägg av lättbetong: $\psi_k = 0,02(0,02-0,06)$ W/mK
- Anslutning mellan två ytterväggar av träregelväggar eller lättbetong: $\psi_k = 0,03(0,03-0,06)$ W/mK
- Anslutning mellan platta på mark och yttervägg där värmeisoleringarna i de båda byggnadsdelarna ansluter mot varandra, eller där väggisoleringen överlappar golvisoleringen utan direkt anslutning till varandra: $\psi_k = 0,00$ respektive $\psi_k = 0,10$ W/mK

För detta fall överlappar väggisoleringen golvisoleringen utan direkt anslutning till varandra, se bilaga Grunddetaljer. $\psi_k = 0,00$ W/mK är inte aktuellt utan $\psi_k = 0,10$ W/mK används.

Anslutningsdel	L_k (m)	$\psi_{k,min}$ W/mK	$\psi_{k,max}$ W/mK
Platta-Vägg	41,777	0,10	0,10
Vägg-Tak	87,68429	0,02	0,06
Vägg-Vägg	45	0,03	0,06

Längder mäts från ritning, se bilaga Areaberäkningar.

Platta-Vägg: 41,777 m

Vägg-Tak undervåning: 36,74879 m

Vägg-Tak övervåning: 50,9355 m

Vägg-Vägg: 45 m

$$\sum \psi_k \times l_k \text{ minimal} = 41,777 \times 0,10 + 87,68429 \times 0,02 + 45 \times 0,03 = 7,2813856$$

$$\sum \psi_k \times l_k \text{ maximal} = 41,777 \times 0,10 + 87,68429 \times 0,06 + 45 \times 0,06 = 12,13876$$

$$A_{om} = 358,3075 \text{ m}$$

$$U_{m,min} = \frac{52,36142 + 7,2813856}{358,3075} = 0,1664570404 \text{ W/mK}$$

$$U_{m,max} = \frac{52,36142 + 12,13876}{358,3075} = 0,18001348 \text{ W/mK}$$

Transmissionsförluster (Tillämpad Byggnadsfysik, ekv. 7.41 s.263)

$$U_m = \frac{Q_t}{A_{om}} \times \frac{1}{t\Delta T_m} \Rightarrow Q_t = U_m \times A_{om} \times t\Delta T_m$$

Q_t = erhålls ur sambandet för byggnaders energianvändning ovan

A_{om} = totalt omslutande area som gränsar mot uppvärmd inneluft

$t\Delta T_m$ = antalet gradtimmar under årets uppvärmningssäsong

(Tillämpad Byggnadsfysik, Tabell 4.3 s.83)

Inomhustemperatur sätts till 22°C

Göteborg: 97100 Kh/år

Östersund: 148500 Kh/år

Kiruna: 187700 Kh/år

Göteborg

$$Q_{t,min} = 0,1664570404 \times 358,3075 \times 97100 = 5791316,463 \text{ Wh/år}$$

$$Q_{t,max} = 0,18001348 \times 358,3075 \times 97100 = 6262967,477 \text{ Wh/år}$$

Östersund

$$Q_{t,min} = 0,1664570404 \times 358,3075 \times 148500 = 8856956,691 \text{ Wh/år}$$

$$Q_{t,max} = 0,18001348 \times 358,3075 \times 148500 = 9578276,728 \text{ Wh/år}$$

Kiruna

$$Q_{t,min} = 0,1664570404 \times 358,3075 \times 187700 = 11194954,69 \text{ Wh/år}$$

$$Q_{t,max} = 0,18001348 \times 358,3075 \times 187700 = 12106683,78 \text{ Wh/år}$$

Ventilationsförluster (Tillämpad Byggnadsfysik, kap. 4.3 s.113 + Tabell 12.37 s.502)

(Projektering av VVS-installationer ekv. 4.6+4.7 s.4:10-11)

Antar fem personer som bor i huset

Total golvarea: $A_{g1} + A_{g2} = 161,892 \text{ m}^2$

Takhöjd: 2,5 m

Dimensioneringskrav:

0,35 l/s per m^2

7 l/s per person

$$\text{Luftbehov} = 0,35 \times 161,892 + 7 \times 5 = 91,6622 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,0916622 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = \rho \times c_p \times V \times t\Delta T_m$$

$\rho =$ luftens densitet, $1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_p =$ luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kgK

$V =$ styrt ventilationsluftflöde (m^3/s)

$t\Delta T_m =$ antalet gradtimmar under årets uppvärmningssäsong ($^\circ\text{Ch}/\text{år}$)

(Tillämpad Byggnadsfysik, Tabell 4.3 s.83)

Inomhustemperatur sätts till 22°C

Göteborg: $97100 \text{ Kh}/\text{år}$

Östersund: $148500 \text{ Kh}/\text{år}$

Kiruna: $187700 \text{ Kh}/\text{år}$

$$Q = 1,2 \times 1000 \times 0,0916622 \times \Delta T = 109,99464 \times \Delta T$$

$$Q_{v,Göteborg} = 109,99464 \times 97100 = 10680479,54 \text{ W}/\text{år}$$

$$Q_{v,Östersund} = 109,99464 \times 148500 = 16334204,04 \text{ W}/\text{år}$$

$$Q_{v,Kiruna} = 109,99464 \times 187700 = 20645993,93 \text{ W}/\text{år}$$

Enligt utvecklaren av byggnaden ingår ett FTX-system med en verkningsgrad på 84 % vilket medräknas direkt². Slutgiltiga ventilationsförluster blir:

$$Q_{v,Göteborg} = 10680479,54 \times 0,16 = 1708876,727 \text{ W}/\text{år}$$

$$Q_{v,Östersund} = 16334204,04 \times 0,16 = 2613472,646 \text{ W}/\text{år}$$

$$Q_{v,Kiruna} = 20645993,93 \times 0,16 = 3303359,028 \text{ W}/\text{år}$$

Luftläckageförluster (Passivhus – en handbok om energieffektivt byggande s.43 FEBY
+ Projektering av VVS-installationer ekv. 4.6+4.7 s.4:10-11)

Krav: Max $0,30 \text{ l/s per m}^2$

Total golvarea: $A_{g1} + A_{g2} = 161,892 \text{ m}^2$

$$V = 0,30 \times 161,892 = 48,5676 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,0485676 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = \rho \times c_p \times V \times t\Delta T_m$$

$\rho =$ luftens densitet, $1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_p =$ luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kgK

$V =$ styrt ventilationsluftflöde (m^3/s)

$t\Delta T_m =$ antalet gradtimmar under årets uppvärmningssäsong ($^\circ\text{Ch}/\text{år}$)

(Tillämpad Byggnadsfysik, Tabell 4.3 s.83)

² Håkan Blixt (VD, stiftelsen Bo46) Intervjuad av författarna den 15 mars 2015.

Inomhustemperatur sätts till 22°C

Göteborg: 97100 Kh/år

Östersund: 148500 Kh/år

Kiruna: 187700 Kh/år

$$Q = 1,2 \times 1000 \times 0,0485676 \times t\Delta T_m = 58,28112 \times t\Delta T_m$$

$$Q_{l,Göteborg} = 58,28112 \times 97100 = 5659096,752 \text{ W/år}$$

$$Q_{l,Östersund} = 58,28112 \times 148500 = 8654746,32 \text{ W/år}$$

$$Q_{l,Kiruna} = 58,28112 \times 187700 = 10939366,22 \text{ W/år}$$

Uppvärmning av tappvarmvatten (Tillämpad Byggnadsfysik, Kap.4.7.2 s.135)

Antag 30 kWh/m² och år

Total golvarea: $A_{g1} + A_{g2} = 161,892 \text{ m}^2$

$$Q_{tvv} = 30 \times 161,892 = 4856,76 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} = 4856760 \frac{\text{Wh}}{\text{år}}$$

Distributions- och reglerförluster (Tillämpad Byggnadsfysik, Kap.4.7.2 s.136)

Tillämpad byggnadsfysik anger intervallet 500-1000 kWh per år och bostad. Minimala och maximala värden tillämpas för energiberäkningen.

$$Q_{dr,el \text{ min}} = 500\,000 \frac{\text{Wh}}{\text{år}}$$

$$Q_{dr,el \text{ max}} = 1000\,000 \frac{\text{Wh}}{\text{år}}$$

Värmetillskott (Tillämpad Byggnadsfysik, Kap.4.7.2 s.136-137)

Personvärme

Tillämpad byggnadsfysik anger riktvärdet 1000 kWh för ett tvåpersonershushåll. Antag 500 kWh för ett enpersonshushåll. Antalet personer som huset dimensioneras för är 5.

$$Q_{personvärme} = 5 \times 500 = 2500 \text{ kWh/år} = 2500000 \text{ Wh/år}$$

Elvärme

Tillämpad byggnadsfysik anger intervallet 70-80 % av hushållselen omvandlas till värme. Vidare väljs riktvärdena 4000-5000 kWh för hushållselen. Minimala och maximala värden tillämpas för energiberäkningen.

$$Q_{elvärme \text{ min}} = 0,70 \times 4000 = 2800 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

$$Q_{elvärme \text{ max}} = 0,80 \times 5000 = 4000 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Tappvarmvatten

Tillämpad byggnadsfysik anger att ca 20 % av uppvärmningen tillgodogörs bostaden som värmertilskott.

$$Q_{tvv \text{ återvunnet}} = 0,20 \times 4856760 = 971352 \text{ Wh/år}$$

Solinstrålning (Projektering av VVS-installationer s. 4:17)

Solinstrålning tas ej med i beräkningarna.

Total tillskottsvärme

$$\begin{aligned} Q_{tillskott \text{ min}} &= Q_{personvärme} + Q_{elvärme \text{ min}} + Q_{tvv \text{ återvunnet}} \\ &= 2500000 + 2800000 + 971352 = 6271352 \text{ Wh/år} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{tillskott \text{ max}} &= Q_{personvärme} + Q_{elvärme \text{ max}} + Q_{tvv \text{ återvunnet}} \\ &= 2500000 + 4000000 + 971352 = 7471352 \text{ Wh/år} \end{aligned}$$

Byggnaders energibalans (Tillämpad Byggnadsfysik, ekv. 4.7 s.133)

$$Q_{\text{energi}} = Q_t + Q_v + Q_l + Q_{\text{tvv}} + Q_{\text{dr,el}} - Q_{\text{vå}} - Q_{\text{tillskott}}$$

$$Q_{\text{energi min}} = Q_{t \text{ min}} + Q_v + Q_l + Q_{\text{tvv}} + Q_{\text{dr,el min}} - Q_{\text{vå}} - Q_{\text{tillskott max}}$$

$$Q_{\text{energi max}} = Q_{t \text{ max}} + Q_v + Q_l + Q_{\text{tvv}} + Q_{\text{dr,el max}} - Q_{\text{vå}} - Q_{\text{tillskott min}}$$

Göteborg

$$Q_{\text{Göteborg min}} = 5791316,463 + 1708876,727 + 5659096,752 + 4856760 + 500000$$

$$- 7471352 = 11044697,94 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 11045 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

$$Q_{\text{Göteborg max}} = 6262967,477 + 1708876,727 + 5659096,752 + 4856760 + 1000000$$

$$- 6271352 = 13216348,96 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 13216 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Östersund

$$Q_{\text{Östersund min}} = 8856956,691 + 2613472,646 + 8654746,32 + 4856760 + 500000$$

$$- 7471352 = 18010583,66 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 18011 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

$$Q_{\text{Östersund max}}$$

$$= 9578276,728 + 2613472,646 + 8654746,32 + 4856760 + 1000000$$

$$- 6271352 = 20431903,69 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 20432 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Kiruna

$$Q_{\text{Kiruna min}} = 11194954,69 + 3303359,028 + 10939366,22 + 4856760 + 500000$$

$$- 7471352 = 23323087,94 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 23323 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

$$Q_{\text{Kiruna max}} = 12106683,78 + 3303359,028 + 10939366,22 + 4856760 + 1000000$$

$$- 6271352 = 25934817,03 \frac{\text{Wh}}{\text{år}} \approx 25935 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

Indata	
Projektnamn	Bergvärme Göteborg
Företag	Chalmers
Fastighet	Bo46
Beräkningen utfördes	2015-04-30
Beräknings ID	NVJOVQ4KVJPGE
Energi/effekt behov	
Energiebehov brutto	kWh
Energiförbrukning uppvärmning	kWh/år
Energiförbrukning varmvatten	4857 kWh/år
Rumstemp nu	22,0 °C
Egenuppvärmning	8,0 K
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²
Temp VV tank	60,0 °C
Volym VV tank	0,2 m ³
Installation	
Värmepump	1 * Geo_04
Värmekälla	Berg
Bergstyp	Normal
Bergets konduktivitet	3,3 W/(m·°C)
Klimat	
Stad	
DUT	°C
Medeltemp	°C
Gradtimmar	
Tillskott	
Tillskottseffekt	40,0 kW
Tillskottstyp	El
Driftparametrar	
Framled. vid DUT	35,0 °C
Returled. vid DUT	30,0 °C

Beräkningsresultat	
Kalkylen bygger på en förenklad beräkningsmodell och att indata är riktiga. Resultatet skall inte tolkas som utfästelse.	
Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för investeringsbeslut	
Energiebehov för uppvärmning och varmvatten	kWh/år
Maximalt effektbehov för uppv	kW
Värmeeffektbrist	0,0 kW
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	kW
Medeleffekt för VV (kW)	kW
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	kW
Energi från värmepump för uppvärmning	kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	kWh/år
Energi från värmepump	kWh
Tillskottsenergi	kWh/år
Energifrist	0 kWh/år
Effektäckning DUT	%
Energitäckning värmepump	99,8 %
Min varmvatten temp	60,0 °C
Energiförbrukning	
Elförbr kompressor uppvärmning	kWh/år
Elförbr kompressor varmvatten	kWh/år
Tillskott för uppvärmning	kWh/år
Tillskott för varmvatten	kWh/år
Total energiförbrukning	kWh/år
Varav el	kWh/år
El (η=100%) för tillskott	kWh/år
Köpt energi per uppvärmd	kWh/m ²

Medeltemp ink. KB	°C
Medeltempdiff KB	3,0 K

yta	
Värmekälla: Berg	
Teor. aktivt borrhållängdsbehov	m
Max kyleffekt VP	kW
Max KB flöde	0,2 l/s
Total kylenergi VP	kWh/år
Sammanfattning	
COP1 (värmepump)	
Energifaktor ¹	
Energibesparing	kWh/år
Bruttobesparing, inköpt energi	kWh/år
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi	

Förklaringar till de icke-variabla parametrarna

- Energiförbrukning varmvatten – Se bilaga Byggnaders energibalans
- Rumstemperatur – Satt till 22 °C
- Egenuppvärmning – Enligt Jan-Erik Nowacki minst 3 K. För bra hus upp till 10 K, vi väljer 8 K.¹
- Uppvärmad yta – Tempererad inomhusgolvarea 162 m²
- Temperatur VV-tank – Satt till 60 °C
- Volym VV-tank – Satt till 0,2 m³
- Värmepump – Minsta effekten vald för geo.pump, 4 kW.
- Värmekälla – Berg
- Bergtyp – Undersöker endast för normal
- Bergets konduktivitet – Ingångsvärden från demomodellen.
- Tillskottseffekt/typ – Enligt Jan-Erik Nowacki ca 2-4 kW för en värmepump med 4 kW effekt.¹ Dock fungerar inte demomodellen utan 40 kW väljs. Spelar ingen roll för ekvationerna, endast hur mycket som finns tillgängligt blir väldigt överdimensionerat för systemet som värms med en elpatron.
- Fram/returledning – 35/30 °C typiskt för golvvärme enligt Jan-Erik Nowacki.¹
- Medeltemperatur inkommande köldbärare – Varierar beroende på ortsplacering i Sverige. För Göteborg är köldbäraren att till 3 °C för att inte utvinna för stora energimängder ur jorden så det förfrysar. För Östersund sätts köldbärarens inkommande temperatur till 0 °C och för Kiruna -3 °C
- Medeltemperaturdifferens – Satt till 3 K.

¹ Jan-Erik Nowacki (Teknisk expert, Svenska Kyl- och Värmepumpföreningen) Telefonintervjuad 28 april 2015



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning **Bergvärme Göteborg**

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Bergvärme Göteborg	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	12 131 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	12 131 kWh	Energislag (verkng.)	<i>Netto (Angivet brutto)</i>
Varav VV	4 857 kWh	<i>El (η=100%)</i>	12 130 (12 130) kWh
Rumtemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Göteborg
Värmekälla	Berg	DUT	-15,8 °C
Bergtyp	Normal	Medeltemp	7,5 °C
Bergets konduktivitet	3,30 W/m-K	Gradtimmar	56 306
Tillskottseffekt	40,0 kW	Temp VV tank	60 °C
		Volym VV tank	0,20 m³

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	3 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	12 131 kWh/år	Teor. aktivt borrhålslängdsbehov	85 m
Maximalt effektbehov för uppv	3,8 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	98,5 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	99,8 %	Total kylenergi VP	9 004 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,7 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	1,8 kW		
COP1 (värmepump)	3,90		
Energifaktor ¹	3,88		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energifrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	7 274 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	1 359 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	4 830 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 741 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	0 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	0 kWh/år
Tillskott för varmvatten	27 kWh/år	Tillskott för varmvatten	27 kWh/år
Total energiproduktion	12 131 kWh/år	Total energiförbrukning	3 127 kWh/år
		Varav el	3 127 kWh/år
		El (η=100%) för tillskott	27 kWh/år

Energibesparing

Bruttobesparing, inköpt energi	9 004 kWh/år
	9 003 kWh/år



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning **Bergvärme Östersund**

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Bergvärme Östersund	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	19 221 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	19 221 kWh	Energislag (verkng.)	<i>Netto (Angivet brutto)</i>
Varav VV	4 857 kWh	<i>El (η=100%)</i>	19 221 (19 221) kWh
Rumtemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Östersund
Värmekälla	Berg	DUT	-25,4 °C
Bergtyp	Normal	Medeltemp	2,6 °C
Bergets konduktivitet	3,30 W/m-K	Gradtimmar	98 352
Tillskottseffekt	40,0 kW	Temp VV tank	60 °C
		Volym VV tank	0,20 m³

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	0 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	19 221 kWh/år	Teor. aktivt borrhålslängdsbehov	120 m
Maximalt effektbehov för uppv	5,8 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	60,6 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	94,5 %	Total kylenergi VP	13 782 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,4 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	3,6 kW		
COP1 (värmepump)	4,14		
Energifaktor ¹	3,53		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energibrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	14 192 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	2 874 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	3 979 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 515 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	172 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	172 kWh/år
Tillskott för varmvatten	878 kWh/år	Tillskott för varmvatten	878 kWh/år
Total energiproduktion	19 221 kWh/år	Total energiförbrukning	5 439 kWh/år
		Varav el	5 439 kWh/år
		El (η=100%) för tillskott	1 050 kWh/år

Energibesparing

Bruttobesparing, inköpt energi	13 782 kWh/år
--------------------------------	----------------------



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning **Bergvärme Kiruna**

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Bergvärme Kiruna	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	24 629 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	24 629 kWh	Energislag (verkng.)	Netto (Angivet brutto)
Varav VV	4 857 kWh	El ($\eta=100\%$)	24 629 (24 629) kWh
Rumtemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Kiruna
Värmekälla	Berg	DUT	-29,9 °C
Bergtyp	Normal	Medeltemp	-1,3 °C
Bergets konduktivitet	3,30 W/m-K	Gradtimmar	139 354
Tillskottseffekt	40,0 kW	Temp VV tank	60 °C
		Volym VV tank	0,20 m ²

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	-3 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	24 629 kWh/år	Teor. aktivt borrhålslängdsbehov	139 m
Maximalt effektbehov för uppv	6,2 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	51,6 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	86,9 %	Total kylenergi VP	16 208 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,2 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	4,6 kW		
COP1 (värmepump)	4,11		
Energifaktor ¹	2,92		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energifrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	18 591 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	4 072 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	2 822 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 133 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	1 181 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	1 181 kWh/år
Tillskott för varmvatten	2 035 kWh/år	Tillskott för varmvatten	2 035 kWh/år
Total energiproduktion	24 629 kWh/år	Total energiförbrukning	8 421 kWh/år
		Varav el	8 421 kWh/år
		El ($\eta=100\%$) för tillskott	3 216 kWh/år

Energibesparing

Bruttobesparing, inköpt energi	16 208 kWh/år
--------------------------------	---------------

Indata	
Projektnamn	Ytjordvärme Göteborg
Företag	Chalmers
Fastighet	Bo46
Beräkningen utfördes	2015-04-27
Beräknings ID	EGUUONFJUYNLS
Energi/effekt behov	
Energiebehov brutto	kWh
Energiförbrukning uppvärmning	kWh/år
Energiförbrukning varmvatten	4857 kWh/år
Rumstemp nu	22,0 °C
Egenuppvärmning	8,0 K
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²
Temp VV tank	60,0 °C
Volym VV tank	0,2 m ³
Installation	
Värmepump	1 * Geo_04
Värmekälla	Jordslinga
Jordtyp	Lera
Konduktivitet (W/m·K)	2,6 W/(m·°C)
Kapacitivitet (MJ/m ³ K)	170,0 MJ/(m ³ K)
Förläggingsdjup (m)	0,9 m
Mellanrum C/C (m)	1,5 m
Klimat	
Stad	
DUT	°C
Medeltemp	°C
Gradtimmar	
Tillskott	

Beräkningsresultat	
Kalkylen bygger på en förenklad beräkningsmodell och att indata är riktiga. Resultatet skall inte tolkas som utfästelse.	
Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för investeringsbeslut	
Energiebehov för uppvärmning och varmvatten	kWh/år
Maximalt effektbehov för uppv	kW
Värmeeffektbrist	0,0 kW
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	kW
Medeleffekt för VV (kW)	kW
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	kW
Energi från värmepump för uppvärmning	kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	4857 kWh/år
Energi från värmepump	kWh
Tillskottsenergi	0 kWh/år
Energifrist	0 kWh/år
Effektäckning DUT	%
Energitäckning värmepump	100,0 %
Min varmvatten temp	60,0 °C
Energiförbrukning	
Elförbr kompressor uppvärmning	kWh/år
Elförbr kompressor varmvatten	kWh/år
Tillskott för uppvärmning	0 kWh/år
Tillskott för varmvatten	0 kWh/år
Total energiförbrukning	kWh/år
Varav el	kWh/år
El ($\eta=100\%$) för tillskott	0 kWh/år
Köpt energi per	kWh/m ²

Tillskottseffekt	40,0 kW
Tillskottstyp	El
Driftparametrar	
Framled. vid DUT	35,0 °C
Returled. vid DUT	30,0 °C
Medeltemp ink. KB	°C
Medeltempdiff KB	3,0 K

uppvärmd yta	
Värmekälla: Jordslinga	
Jordslingelängd	m
Max kyleffekt VP	kW
Max KB flöde	0,1 l/s
Total kylenergi VP	kWh/år
Sammanfattning	
COP1 (värmepump)	
Energifaktor ¹	
Energibesparing	kWh/år
Bruttobesparing, inköpt energi	kWh/år
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi	

Förklaringar till de icke-variabla parametrarna

- Energiförbrukning varmvatten – Se bilaga Byggnaders energibalans
- Rumstemperatur – Satt till 22 °C
- Egenuppvärmning – Enligt Jan-Erik Nowacki minst 3 K. För bra hus upp till 10 K, vi väljer 8 K.¹
- Uppvärmd yta – Tempererad inomhusgolvsarea 162 m²
- Temperatur VV-tank – Satt till 60 °C
- Volym VV-tank – Satt till 0,2 m³
- Värmepump – Minsta effekten vald för geo.pump, 4 kW.
- Värmekälla – Jordslinga
- Jordtyp – Undersöker endast för lertyp
- Konduktivitet & kapacitivitet – Ingångsvärden från demomodellen.
- Förläggningsdjup – Vi väljer 0,9 m.
- Mellanrum CC – Vi väljer 1,5 m.
- Tillskottseffekt/typ – Enligt Jan-Erik Nowacki ca 2-4 kW för en värmepump med 4 kW effekt.¹ Dock fungerar inte demomodellen utan 40 kW väljs. Spelar ingen roll för ekvationerna, endast hur mycket som finns tillgängligt blir väldigt överdimensionerat för systemet som värms med en elpatron.
- Fram/returledning – 35/30 °C typiskt för golvvärme enligt Jan-Erik Nowacki.¹
- Medeltemperatur inkommande köldbärare – Varierar beroende på ortsplacering i Sverige. För Göteborg är köldbäraren att till 3 °C för att inte utvinna för stora energimängder ur jorden så det förfrysar. För Östersund sätts köldbärarens inkommande temperatur till 0 °C och för Kiruna -3 °C
- Medeltemperaturdifferens – Satt till 3 K.

¹ Jan-Erik Nowacki (Teknisk expert, Svenska Kyl- och Värmepumpföreningen) Telefonintervjuad 28 april 2015)



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning **Ytjordvärme Göteborg**

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Ytjordvärme Göteborg	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	12 131 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	12 131 kWh	Energislag (verkng.)	<i>Netto (Angivet brutto)</i>
Varav VV	4 857 kWh	<i>El (η=100%)</i>	12 130 (12 130) kWh
Rumstemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Göteborg
Värmekälla	Jordslinga	DUT	-15,8 °C
Jordtyp	Lera	Medeltemp	7,5 °C
Konduktivitet (W/m·K)	2,6	Gradtimmar	56 306
Kapacitivitet (MJ/m ³ K)	170	Temp VV tank	60 °C
Förlägningsdjup (m)	0,9	Volym VV tank	0,20 m ²
Mellanrum C/C (m)	1,5		
Tillskottseffekt	40,0 kW		

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	3 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	12 131 kWh/år	Jordslingelängd	185 m
Maximalt effektbehov för uppv	3,8 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	98,5 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	99,8 %	Total kylenergi VP	9 004 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,7 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	1,8 kW		
COP1 (värmepump)	3,90		
Energifaktor ¹	3,88		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energibrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	7 274 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	1 359 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	4 830 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 741 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	0 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	0 kWh/år
Tillskott för varmvatten	27 kWh/år	Tillskott för varmvatten	27 kWh/år
Total energiproduktion	12 131 kWh/år	Total energiförbrukning	3 127 kWh/år
		Varav el	3 127 kWh/år
		El (η=100%) för tillskott	27 kWh/år

Energibesparing

9 004 kWh/år

Bruttobesparing, inköpt energi	9 003 kWh/år
--------------------------------	--------------



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning Ytjordvärme Östersund

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Ytjordvärme Östersund	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	19 221 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	19 221 kWh	Energislag (verkng.)	<i>Netto (Angivet brutto)</i>
Varav VV	4 857 kWh	<i>El (η=100%)</i>	19 221 (19 221) kWh
Rumstemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Östersund
Värmekälla	Jordslinga	DUT	-25,4 °C
Jordtyp	Lera	Medeltemp	2,6 °C
Konduktivitet (W/m·K)	2,6	Gradtimmar	98 352
Kapacitivitet (MJ/m ³ K)	170	Temp VV tank	60 °C
Förlägningsdjup (m)	0,9	Volym VV tank	0,20 m ²
Mellanrum C/C (m)	1,5		
Tillskottseffekt	40,0 kW		

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	0 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	19 221 kWh/år	Jordslingelängd	253 m
Maximalt effektbehov för uppv	5,8 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	60,6 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	94,5 %	Total kylenergi VP	13 782 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,4 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	3,6 kW		
COP1 (värmepump)	4,14		
Energifaktor ¹	3,53		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energifrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	14 192 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	2 874 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	3 979 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 515 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	172 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	172 kWh/år
Tillskott för varmvatten	878 kWh/år	Tillskott för varmvatten	878 kWh/år
Total energiproduktion	19 221 kWh/år	Total energiförbrukning	5 439 kWh/år
		Varav el	5 439 kWh/år
		El (η=100%) för tillskott	1 050 kWh/år

Energibesparing

Bruttobesparing, inköpt energi	13 782 kWh/år
	13 782 kWh/år



Nowab/Tangix Online
Värmepumpberäkning



Tangix Design & Development AB
Årsta Skolgränd 7
11743 Stockholm

Energiberäkning **Ytjordvärme Kiruna**

COPCALC Demo, Tangix Design & Development AB

**Teknikdemonstration - beräknade resultat skall ej användas för
investeringsbeslut**

Indata

Projektinformation

Projektnamn	Ytjordvärme Kiruna	Anteckning
Fastighet	Bo46	
Företag	Chalmers	

Energi/effekt behov

Energibehov brutto	24 629 kWh	Beräkningsmetod	Känd energiförbrukning
Energibehov netto	24 629 kWh	Energislag (verkng.)	Netto (Angivet brutto)
Varav VV	4 857 kWh	El ($\eta=100\%$)	24 629 (24 629) kWh
Rumstemp nu	22,0 °C		
Egenuppvärmning	8,0 K		
Uppvärmad yta A(temp)	162 m ²		

Installation

Värmepump	1 * Geo_04	Stad	Kiruna
Värmekälla	Jordslinga	DUT	-29,9 °C
Jordtyp	Lera	Medeltemp	-1,3 °C
Konduktivitet (W/m·K)	2,6	Gradtimmar	139 354
Kapacitivitet (MJ/m ³ K)	170	Temp VV tank	60 °C
Förlägningsdjup (m)	0,9	Volym VV tank	0,20 m ²
Mellanrum C/C (m)	1,5		
Tillskottseffekt	40,0 kW		

Driftparametrar

Framled. vid DUT	35 °C	Medeltemp ink. KB	-3 °C
Returled. vid DUT	30 °C	Medeltempdiff KB	3 K

Beräkningsresultat

Energibehov för uppvärmning och varmvatten	24 629 kWh/år	Jordslingelängd	242 m
Maximalt effektbehov för uppv	6,2 kW	Max kyleffekt VP	3 kW
Effektäckning DUT	51,6 %	Max KB flöde	0,2 l/s
Energitäckning värmepump	86,9 %	Total kylenergi VP	16 208 kWh/år
Värmeeff. för VP (uppv.+VV) vid DUT	3,2 kW		
Medeleffekt för VV (kW)	0,6 kW		
Maximal total eleffekt till värmepump och tillsk.	4,6 kW		
COP1 (värmepump)	4,11		
Energifaktor ¹	2,92		
Värmeeffektbrist	0,0 kW		
Energibrist	0 kWh/år		
¹ Energifaktorn är kvoten mellan nyttig och inköpt energi			
Energi från värmepump för uppvärmning	18 591 kWh/år	Elförbr kompressor uppvärmning	4 072 kWh/år
Energi från värmepump för varmvatten	2 822 kWh/år	Elförbr kompressor varmvatten	1 133 kWh/år
Tillskott för uppvärmning	1 181 kWh/år	Tillskott för uppvärmning	1 181 kWh/år
Tillskott för varmvatten	2 035 kWh/år	Tillskott för varmvatten	2 035 kWh/år
Total energiproduktion	24 629 kWh/år	Total energiförbrukning	8 421 kWh/år
		Varav el	8 421 kWh/år
		El ($\eta=100\%$) för tillskott	3 216 kWh/år

Energibesparing

16 208 kWh/år

Bruttobesparing, inköpt energi 16 208 kWh/år

INTELLI-HEAT PLANSOLFÅNGARE



Intelli-heat 

Plansolfångare Intelli-heat FP215

Funktion

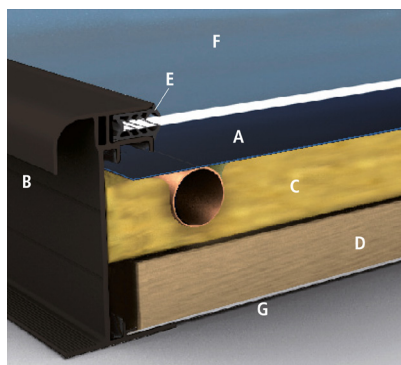
Intelli-heat FP215 finns både som stående (P) och liggande (PL) modell. Solfångaren består av en transparent täcksiva av glas, en absorbator, isolering, samt en baksida av aluminium. Solens strålar absorberas i absorbatorn som blir varm och kyls med en vätskekrets som går genom det serpentinformede kopparröret. Täcksivan och baksidans högeffektiva isolering minskar värmeförluster mot omgivningen. Rekommenderad lutning 30°-70°. Minsta lutning är 20°.

Driftsäker och minimalt underhåll

Solfångaren Intelli-heat är en effektiv plansolfångare med bra prestanda. Den är mycket driftsäker och underhållet är minimalt, du behöver bara se över några värden årligen. Driftskostnaden är låg, det är endast elektricitet till cirkulationspumpen som behövs.

Kvalitetsmärkta

Intelli-heat har Solar Keymark certifiering. Solar Keymark är en europeisk produktcertifiering för solvärmeprodukter. 5 års garanti.



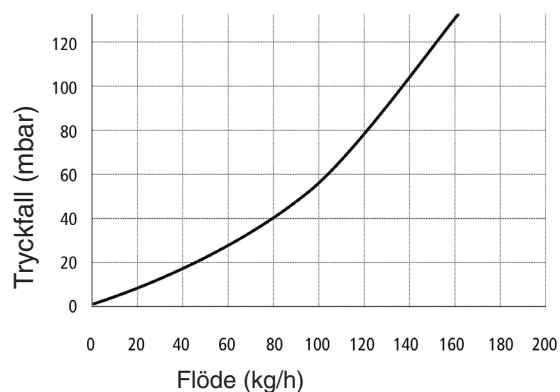
- A Absorbator
- B Solfångarram
- C Isolering av mineralull
- D Högtemperaturlång isolering
- E Glastätning av silicon
- F Skyddsglas
- G Robust baksida av aluminium

Sol & Energiteknik
SE AB

INTELLI-HEAT PLANSOLFÅNGARE

Tekniska data Intelli-heat FP215		
Modell	Intelli-heat FP215P	Intelli-heat FP215PL
Produkt nr	50110	50120
Bredd	1 031 mm	2 088 mm
Höjd	2 088 mm	1 031 mm
Tjocklek	81 mm	
Vikt (tom)	32 kg	
Bruttoarea	2,15 m ²	
Aperturarea	1,91 m ²	
Utbyte* vid 50°C	441 kWh/m ² /år	
Utbyte*/panel (50°C)	843 kWh/år	
Max tryck	10 bar	
Max arbetstemperatur	140°C	
Vätskevolym	1,6 liter	2.3 liter
Glastjocklek	3,2 mm	
Absorbator material	Blå högselektiv	
Absorbator tjocklek	0,4 mm	
Anslutning	koppar Ø= 22 mm	
Absorbatorrör	10 mm kopparrör i meander	
Distans mellan vertikaler	ca 139 mm	
Isolering	Mineralull /PIR	
Material på hölje	Aluminium, svart	

Tryckfallsdiagram
(vid enbart vatten i kretsen)



* OBS! Årsutbytet är beräknat av SP (Statens Tekniska forskningsinstitut) för en solfångare vänd mot söder i 45° lutning mot horisontalplanet. Utbytet beräknas med kalkylarket "Swedish annual energy gain v_200811-27".

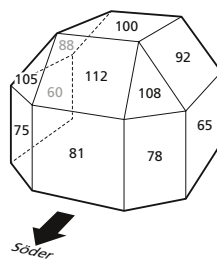
Observera att dessa siffror i första hand skall tjäna som ett jämförelsemått och att verkligt utbyte i ett system förutom tillgänglig solinstrålning kommer att bero av systemutförande, solfångarorientering, brukarvanor m.m.

Solcellspaket för villor.



- Polykristallina kiselcellspaneler
- Panelens ram är tillverkad i vridstyvt anodiserat aluminium och uppfyller de högsta kraven på stabilitet och korrosionsbeständighet
- 3,12 kW 230 V
- 19,5 m²

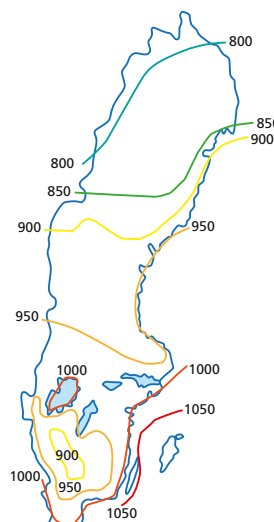
Uppställning och placering



Figuren ovan visar solinstrålningen i procent av globalinstrålningen mot några olika orienterade och lutande ytor.

Med hjälp av figuren och kartan kan man uppskatta årsvärdet på solinstrålningen mot den yta där solcellerna är monterade.

100 % är solinstrålningen mot en horisontell yta, vilket i södra Sverige ligger mellan 900 och 1050 kWh/m². Vinkeln på lutande ytor är 45°.



Kartan visar linjer med samma globalinstrålning, dvs solinstrålningen mätt mot horisontella ytor källa: SMHI

Princip

Panelerna är uppbyggda av kiselkristaller, täckta med specialglas. När solen lyser på solcellspanelerna tar de tillvara på minsta solljus och transformerar det till elektricitet.

Paketet innehåller:

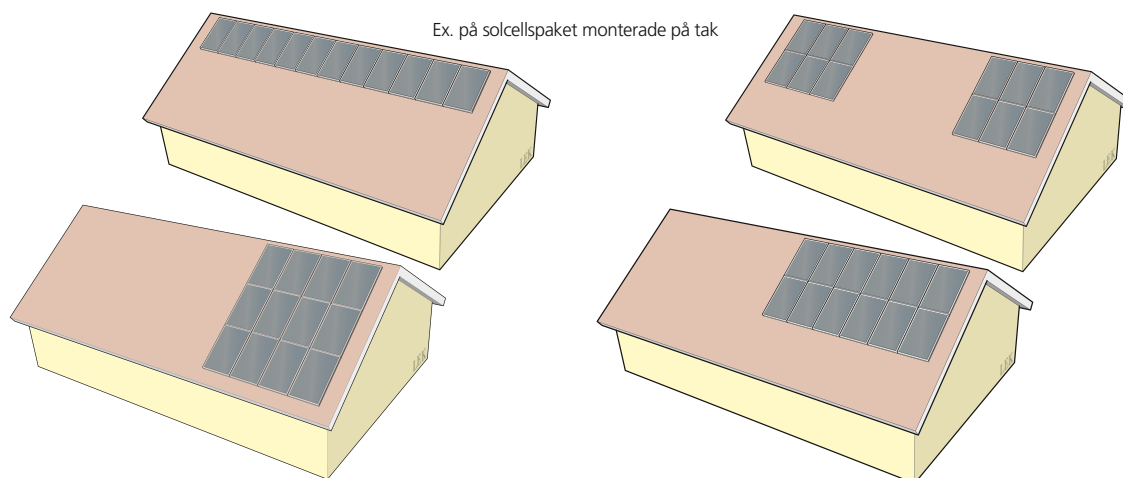
- 12 st. Polykristallina kiselcellspaneler
- 1 st. Växelriktare med väggfäste
- 32 st. Takfästen för tegeltak alt. plåttak
- 12 st. Al-skenor, 2,1 meter
- 38 st. Fästen för solpaneler (16 st. ändklämmor och 22 st. mittklämmor)
- 8 st. Anslutningskontakter för anslutning mellan panelerna och växelriktaren (4 st honor och 4 st hanar, elkabel ingår ej)
- 1 st. Anslutningskontakt från växelriktaren

1. Ta med hjälp av kartan fram den årliga solinstrålningen
2. Beroende på solpanelernas placering enligt figur, får man anläggningsspecifik solinstrålning i procent av punkt 1
3. Multiplicera resultatet med anläggningens topp effekt (3,12 kW)
4. Multiplicera med 0,9 och produktionen av energi fås i kWh*
Exempel: Visby, 45° montering, söder.
 $1050 \times 1,12 \times 3,12 \times 0,9 = 3302 \text{ kWh/år}$
*Reservation för skuggning, nedsmutsning och snötäckning

Installation

Elkablarna mellan panelerna och växelriktaren ska vara av typen dubbelisolerad och UV/väderbeständig (HD 605/A1) Photovoltaic-kabel

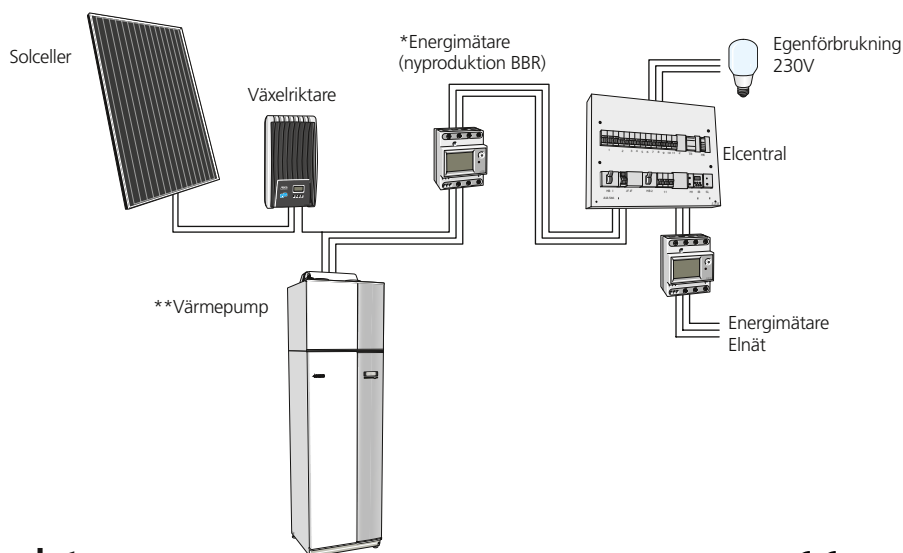
Speciellt anpassade takfäste för tegeltak alt. plåttak. Om panelerna monteras i annan formation kan eventuellt komplettering av montagematerial behövas.



Principkoppling

Vid nyproduktion av hus får byggnadens specifika energianvändning reduceras med energi från solceller i den omfattning byggnaden kan tillgodogöra sig energin.

Byggnadens köpta energianvändning minskar i motsvarande omfattning som energin från solceller tillgodogörs.



Tekniska data



Modell	
PV Modul JC260M-24/Bb	
Märkeffekt vid STC (Pmpp)	260 Wp
Märkspänning (Umpp)	30,5 V
Märkström (Impp)	8,53 A
Yttermått (LxBxH)	1640x992x40 mm
Utförande med aluminiumram	Anodiserad silver
Vikt solcellspanel	19 kg
Förkontakterade anslutningskablar	2 x 100 cm
Växelriktare Yttermått (LxBxH)	608x340x222 mm
Vikt växelriktare	9 kg
Art. Nr. med takfäste för tegeltak	057116
RSK-Nr med takfäste för tegeltak	620 24 09
Art. Nr. med takfäste för plåttak	057119

*Energimätare med nettomätning av förbrukad och genererad energi.

Reservation för ev mått- och konstruktionsändringar!

**Principkoppling visar system för nyproducerade småhus. SE-PV 3031 kan även användas utan kombination med värmepump.