

Avdelningen för Byggnadsfysik
Examensarbete TVBH-5096
Lund 2017

Solceller med tillhörande lagringsbatteri i flerbostadshus

- Analys av lönsamhet och möjlighet att uppfylla
kommande NNE-krav

Frida Hansson
Christian Jedhammar



LUND
UNIVERSITY

Solceller med tillhörande lagringsbatteri i flerbostadshus

- Analys av lönsamhet och möjlighet att uppfylla
kommande NNE-krav

Frida Hansson
Christian Jedhammar

© Frida Hansson & Christian Jedhammar

ISRN LUTVDG/TVBH-17/5096--SE(152)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Solceller med tillhörande lagringsbatteri i flerbostadshus
– Analys av lönsamhet och möjlighet att uppfylla kommande NNE-krav
- Författare:** Frida Hansson, Christian Jedhammar
- Handledare:** Karin Adalberth, Byggnadsfysik, LTH
Ludvig Andersson, Teknik och hållbarhet, NCC Building SE
- Examinator:** Åsa Wahlström, Installations- och klimatiseringslära, LTH
- Bakgrund:** Den 1 januari 2021 träder nya, skärpta krav på byggnaders energiprestanda i kraft. Dessa krav kallas nära-nollenergikrav (NNE-krav) eftersom de tillkommer som en åtgärd för att öka antalet nära-nollenergibyggnader i Sverige enligt nya direktiv från Europeiska Unionen.

Från och med juli 2017 ändras även sättet att beräkna energiprestanda på. Ändringarna 2021 medför att det blir mindre fördelaktigt att använda elenergi för att täcka energibehovet i en byggnad såvida elenergin inte produceras förnybart i anslutning till fastigheten (Boverket, 2017 (b)).

Om en byggnads energiprestanda behöver förbättras för att klara de nya NNE-kraven kan solceller vara ett alternativ. Detta då den levererade energin till byggnaden kan minskas. För flerbostadshus överensstämmer inte byggnadens ellastprofil med solcellers produktion av el. Detta medför att solcellernas fulla kapacitet inte kan utnyttjas till att förbättra energiprestandan eftersom överproduktion av el inte får tillgodoräknas.

För att det i flerbostadshus ska vara möjligt att utnyttja solceller mer effektivt för att minska mängden levererad energi till byggnaden, och därmed förbättra energiprestandan, krävs det att en större mängd elenergi som produceras i solcellerna kan utnyttjas. Detta kan åstadkommas genom att koppla lagringsbatterier till solcellsanläggningen.

Lagringsbatteri kopplade till byggnader är fortfarande relativt nytt och det finns inte några tidigare studier kring hur dessa kan användas i flerbostadshus. Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda (särskilt beträffande el) ökar intresset för hur lagringsbatterier kan utnyttjas för att förbättra byggnaders energiprestanda och klara BBR:s nya energikrav 2021. Eftersom priserna på lagringsbatterier dessutom har sjunkit under de senaste åren (Liebreich, 2015), är solceller och lagringsbatteri nu en investering som också skulle kunna vara lönsam.

Syfte: Syftet med examensarbetet är att undersöka om solceller i kombination med lagringsbatteri kan vara en möjlig åtgärd för att uppfylla de nya kraven på byggnaders energiprestanda från Boverket (nära-nollenergikraven), som träder i kraft den 1 januari 2021. Studien fokuserar på flerbostadshus i Sverige.

Metod: Byggnadens energiprestanda utgörs av byggnadens energianvändning, uttryckt i primärenergi, fördelat på A_{temp} (Boverket, 2017 (a)). Energianvändningen för referenshuset fastställs med hjälp av energiberäkningar i datorprogrammet IDA Indoor Climate & Energy (IDA ICE), där en modell av referenshuset byggs upp baserat på tillgängliga ritningar och visionsbilder. Energiberäkningarna genomförs för referenshuset placerat i Malmö respektive Stockholm och referenshuset tilldelas fyra olika uppvärmningssystem: fjärrvärme, frånluftsvärmepump, bergvärmepump respektive luft-/vattenvärmepump.

Resultatet från IDA ICE kompletteras med energiposter som inte inkluderas vid simuleringen så som vädring, köksventilation och VVC-förluster. Energiprestandan beräknas med den fastställda energianvändningen och jämförs sedan mot kravet från BBR samt mot Miljöbyggnad. Då kravnivåer för Miljöbyggnad ännu inte är fastställda för år 2021 används krav för 90 %, 85 % och 75 % av BBR.

Solceller och lagringsbatterier dimensioneras och optimeras för att förbättra energiprestandan så att byggnaden uppfyller respektive krav som presenterats ovan. Storlek för solceller uttrycks i topp effekt och lagringsbatterierna uttrycks i antal batterier med en viss lagringskapacitet. Resultatet presenteras sedan i en tabell där varje kravnivå, ort och uppvärmningssystem ingår.

Slutsats: Det valda referenshuset klarar för alla fall, utom frånluftsvärmepump, kravet på energiprestanda enligt BBR 2021. Detta indikerar att klimatskalet för byggnaden är tillräckligt bra för att kravet ska kunna uppfyllas utan att extra åtgärd krävs. För fallet med frånluftsvärmepump krävdes åtgärden solceller och lagringsbatteri för att uppnå kravet enligt BBR 2021. Eftersom detta är en fallstudie är slutsatserna endast giltiga för de fall som presenteras i arbetet med det givna referenshuset.

För strängare kravnivåer enligt exempelvis Miljöbyggnad kan det konstateras att solceller och lagringsbatterier kan förbättra energiprestandan. Solceller och lagringsbatterier är dock ingen lönsam investering i dagsläget men det finns potential att de i framtiden kan bli lönsamma eftersom priset för både solceller och lagringsbatterier minskar och har minskat de senaste åren.

Nyckelord:

Solceller, Batteri, Lagringsbatteri, Primärenergi, Primärenergital, PET, IDA ICE, Energiberäkning, Flerbostadshus

Abstract

Title: PV-cells and storage batteries in multifamily residential buildings – Analysis of the profitability and the ability to meet the upcoming nearly zero-energy requirements

Authors: Frida Hansson, Christian Jedhammar

Supervisors: Karin Adalberth, Building Physics, LTH
Ludvig Andersson, Teknik och hållbarhet, NCC Building SE

Examiner: Åsa Wahlström, Installation Technology, LTH

Problem: On 1 January 2021 new, stringent requirements for the energy performance of buildings in Sweden take effect. This is a measure to meet the new Directive from the European Union saying that all new buildings shall be nearly zero-energy buildings by 31 December 2020. The new requirements are supposed to increase the number of nearly zero-energy buildings in Sweden (Boverket, 2017 (b)).

A new calculation method for the energy performance of buildings will take effect in June/July 2017. The changes in the calculation method will make electricity a less advantageous energy source for covering the energy demand in a building. Unless the electricity is produced from a renewable energy source and the energy production takes place on-site (Boverket, 2017 (b)).

If a building needs to improve its energy performance, in order to meet the new requirements from Boverket, one option is to install photovoltaic cells (PV-cells) since this will help reduce the need for delivered energy to the building. In multifamily residential buildings, the peak energy need does not meet the peak production of electricity in the PV-cells. For this reason, the PV-cells cannot be used at their full capacity when trying to improve the energy performance unless overproduction is accepted.

In order to use the PV-cells more efficiently in multifamily residential buildings and thus improve the energy performance, more energy produced in the PV-cells need to be utilized. This might be possible to achieve by connecting a battery to the PV-cells.

The use of storage batteries in buildings is still relatively uncommon and no other studies of the use in multifamily residential buildings have been found. The new requirements from Boverket arouse a greater interest of how batteries can be used in order to improve the energy performance of buildings. Since batteries have become less expensive in recent years (Liebreich, 2015), the investment of PV-cells and storage batteries in

multifamily residential buildings might be profitable if the aim is to improve the energy performance of the building and meet the new requirements from Boverket that take effect in 2021.

Objective:

The objective of this study is to analyze if the combination of PV-cells and storage batteries can help improve the energy performance of buildings in order to meet the new requirements from Boverket that will take effect on 1 January 2021. This study focuses on multifamily residential buildings in Sweden.

Method:

The energy performance of a building is composed of the energy consumption of the building, expressed in primary energy, distributed over the A_{temp} (Boverket, 2017 (a)). The energy consumption of the reference building is determined using the simulation tool IDA Indoor Climate & Energy (IDA ICE), where a model of the building is created based on accessed drawings and visions for the building. The simulations are performed for the reference building placed in Malmö and Stockholm respectively. The reference building is studied with four different heating systems at those two locations: district heating, exhaust air heat pump, geothermal heat pump and air-source heat pump.

A few complementary calculations are needed since some of the energy consumption is not considered in IDA ICE, for instance energy losses from kitchen ventilation and hot water circulation. The results from those calculations are added to the result from IDA ICE to make sure that all energy consumption is considered. This total energy consumption is used when calculating the energy performance of the reference building. The determined energy performance is compared to the requirements from Boverket and also the requirements according to the Swedish system for certifying the sustainability of buildings called Miljöbyggnad. Since it is not yet determined how the new requirements from Boverket will affect Miljöbyggnad, the energy performance levels corresponding to 90 %, 85 % and 75 % of the requirements from Boverket are used in this study.

The size of the PV-system and the amount of batteries needed in order to meet the different requirements mentioned above are then determined. The size of the PV-system is expressed using peak power (kWp) and the batteries needed are expressed as a number of batteries with a certain storage capacity. The results are presented in a table along with the requirement, location and heating system for each case studied.

Conclusion:

The reference building subject to this study is able to meet the new requirements from Boverket in all of the studied cases except when the building is heated with an exhaust air heat pump. This indicates that the building envelope is good enough since no

improvement of the energy performance is needed in order for the building to meet the new requirements. When the reference building is heated with an exhaust air heat pump PV-cells and storage batteries are needed in order for the building to meet the new requirements. These conclusions are only valid for this particular reference building and the studied cases presented in this report.

From the results for the requirements according to Miljöbyggnad, which correspond to the energy performance levels 90 %, 85 % and 75 % of the requirements from Boverket, the conclusion can be made that PV-cells and batteries can be used in order to improve the energy performance in multifamily residential buildings. However, the investment of PV-cells and storage batteries cannot be considered a profitable investment today, but it is likely to become more profitable in the future since PV-cells and storage batteries are becoming less expensive.

Key word:

Photovoltaic cells, Battery, Storage Battery, Primary energy, Primary energy number, IDA ICE, Energy calculation, Multifamily residential buildings

Förord

Detta examensarbete fullbordar studierna på civilingenjörsutbildningen Väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet utfördes vid avdelningen för Byggnadsfysik och i samarbete med NCC Teknik och Hållbarhet i Malmö under första halvåret 2017.

Vi vill tacka Kajsa Flodberg Munck för möjligheten att skriva examensarbete på NCC Teknik och Hållbarhet samt tacka för ett intressant ämne. Vi vill också tacka vår handledare på NCC, Ludvig Andersson, för att alltid vara tillgänglig och hjälpsam när vi kommit med frågor. Vi vill även passa på att tacka alla trevliga medarbetare på NCC i Malmö som gjort vår tid på kontoret lärorik och inspirerande.

Ett stort tack skall också gå till Ricardo Bernardo, biträdande universitetslektor på LTH, för att han tog sig tiden att hjälpa oss med frågor relaterade till solceller och lagringsbatterier.

Sist men inte minst ett stort tack till vår handledare Karin Adalberth och till vår examinator Åsa Wahlström som givit bra feedback och återkoppling på vårt arbete under hela examensarbetsprocessen.

Ännu en gång, ett stort tack till alla inblandade som hjälpt oss längs vägen.

Christian Jedhammar & Frida Hansson

Lund 2017

Terminologi

A_{temp}

Invändig area för våningsplan, vindsplan och källarplan avsedd att värmas till mer än 10 °C. Inkluderar area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inkluderas inte.

BBR

Boverkets Byggregler. Innehåller föreskrifter och allmänna råd som ska följas både vid uppförande och vid ändring av en byggnad.

BEN

BEN innehåller föreskrifter och allmänna råd gällande hur byggnadens energianvändning fastställs vid normalt brukande och ett normalår genom beräkning eller genom mätning. I BEN presenteras bland annat brukarindata för olika byggnadskategorier som används då byggnadens energianvändning beräknas.

Byggnadens energiprestanda

Energiprestanda är ett mått på hur mycket energi som går åt till uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och för byggnadens fastighetsel. Energiprestandan uttrycks, från och med juli 2017 i primärenergi genom ett primärenergital.

Byggnadens energianvändning

Till byggnaden levererad energi för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi vid normalt brukande under ett normalår. Benämns ofta som köpt energi. Hushålls- och verksamhetsel inkluderas inte i byggnadens energianvändning.

COP

COP (Coefficient Of Performance) anger en värmepumps verkningsgrad det vill säga hur mycket värme som värmepumpen genererar i förhållande till hur mycket el som den använder.

Energidensitet

Kan även benämnas som energitäthet och är ett mått på mängd lagrad energi per volym eller viktsenhet.

Energitäckning

Hur stor andel av byggnadens energibehov som kan tillgodoses av ett specifikt uppvärmningssystem.

Fastighetsel(-energi)

Fastighetsel är den el som behövs för att byggnadens installationer och gemensamma funktioner ska kunna drivas så att byggnaden kan användas som den är avsedd. Gäller exempelvis el till fläktar, pumpar, hissar, fast installerad belysning i gemensamma utrymmen etc.

FTX

Ett fläktstyrt till- och frånluftssystem för ventilation med en värmeväxlare för värmeåtervinning. Värmeväxlaren tar tillvara på värmen i frånluften och använder denna för att värma den kallare tilluften.

Geografisk justeringsfaktor, F_{geo}

Används för att justera byggnaders energianvändning utifrån de klimatmässiga förutsättningarna där byggnaden är belägen vilket medför att det endast behövs en kravnivå för primärenergitalet per byggnadskategori i Sverige. Geografiska justeringsfaktorer på kommunnivå ersätter tidigare använda klimatzoner vid utvärdering av byggnaders energiprestanda.

Hushållsel(-energi)

El eller annan energi som används i hushållen. Gäller exempelvis energi till spis, kyl, frys, belysning, TV, datorer etc. Hushållsenergin inkluderas inte i byggnadens energianvändning.

Köpt energi

Ofta använd benämning på Byggnadens energianvändning, se förklaring ovan.

LCC

LCC är en förkortning av engelskans *Life Cycle Cost* som på svenska översätts till livscykelkostnad. Livscykelkostnaden för en investering är summan av alla kostnader och intäkter som inträffar under hela den antagna livslängden.

LCC-analys

En LCC-analys är en livscykelkostnadsanalys vilket innebär att olika investeringar analyseras baserat på deras livscykelkostnader.

Levererad energi

Kan även kallas köpt energi och är ett mått på den energi som levereras till byggnadens system för uppvärmning, komfortkyla och varmvatten samt fastighetsenergi.

Mikroproducent

Definitionen av en mikroproducent är enligt Skatteverket en producent av förnybar energi i liten skala vilket innebär en säkring i anslutningspunkten på högst 100 ampère.

Primärenergi

Energiinnehåll i en naturresurs, exempelvis träd, kol, olja eller uran, innan dess att omvandling eller transformering utförts av människan.

Primärenergifaktor

Anger förhållandet mellan primärenergi och till byggnaden levererad energi för en given energibärare. Primärenergifaktorn för en energibärare avspeglar den totala mängd energi som förbrukas i energisystemet för att producera den mängd energi som levereras till byggnaden.

Primärenergital (PET)

Mått på byggnadens energiprestanda uttryckt i primärenergi. Primärenergitalet är byggnadens energianvändning uttryckt i primärenergi, dividerad med byggnadens A_{temp} .

RTE

Round trip efficiency. Anger hur stor andel av den energi som lagrats i ett batteri som sedan kan lämnas tillbaka när behov finns. RTE är kvoten energi ut/energi in.

SFP

Specifik fläkteffekt (Specific Fan Power). Summerad eleffekt för samtliga fläktar i ventilationssystemet dividerat med det största flödet (tilluft eller frånluft) [$\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$].

Specifik energianvändning

Tidigare mått på byggnadens energiprestanda då Boverket ställde krav på byggnadens levererade energianvändning. Definierad som byggnadens energianvändning (utan hänsyn till primärenergi) per kvadratmeter A_{temp} [kWh/m²,år].

SPF

SPF (Seasonal Performance Factor) anger värmepumpens verkningsgrad sett över ett helt år, det vill säga kvoten mellan genererad och tillförd energi. SPF kan även uttryckas som den totala årsvärmefaktorn för en värmepump.

Sveby

Står för *Standardisera och Verifiera Energiprestanda i BYggnader* och är ett utvecklingsprogram inom bygg- och fastighetsbranschen. Sveby anger bygg- och fastighetsbranschens tolkning av funktionskraven på energihushållning som finns i BBR. Numera finns stora delar av Sveby angivet i BEN.

Systemgräns

Systemgränsen är den gräns i eller runt byggnaden som definierar vad som ska räknas in som tillförd energi till byggnadens drift. Systemgränsen kan sättas inom eller i direkt anslutning till den fysiska byggnaden, eller dras långt utanför byggnaden.

Toppeffekt

Toppeffekten är produkten av den totala arean solceller, standardiserad solinstrålning för Sverige vilken är 1000 W/m² samt solcellernas verkningsgrad. Denna har enheten kilowatt(peak) [kWp].

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Frågeställningar	2
1.4	Avgränsningar	2
2	Metod	5
3	Teori	9
3.1	Nära-nollenergikraven (NNE-kraven).....	9
3.1.1	Bakgrund	9
3.1.2	Sveriges handlingsplan för ökning av NNE-byggnader.....	9
3.1.3	Förslag på ändringar i Boverkets föreskrifter.....	10
3.1.4	Nära-nollenergikrav och ny beräkningsmetod för energiprestanda	11
3.1.5	Vad innebar ändringarna i Plan- och Byggförordningen	15
3.2	Solceller.....	16
3.2.1	Bakgrund	16
3.2.2	Solcellstekniker	16
3.2.3	Utveckling, pris och kostnad av solceller.....	18
3.3	Solcellsanläggning.....	20
3.3.1	Nätanslutet system.....	20
3.3.2	Fristående system	20
3.4	Lagringsbatterier.....	21
3.4.1	Bakgrund	21
3.4.2	Olika batterier för lagring av elenergi producerad av solceller.....	22
3.4.3	Systemlösningar för kombination solceller och batterier.....	24
3.4.4	Hur ett laddningsbart batteri fungerar	25
3.4.5	Produkter med litiumjonteknik på den svenska marknaden.....	26
3.5	Energiberäkning.....	27
3.6	Ellastprofil och överskottsproduktion av solet i flerbostadshus.....	29
3.6.1	Ellastprofil - fastighetselanvändning.....	29
3.6.2	Ellastprofil – Solceller och fastighetselanvändning	30
3.6.3	Överskottsproduktion av el	32
3.7	Ekonomiskt stöd för solet i Sverige	33
4	Energiberäkning	35
4.1	Förutsättningar.....	35

4.1.1	Referenshus	36
4.1.2	Indata IDA ICE	37
4.1.3	Indata producerad och lagrad solenergi	38
4.2	Beräkning av energianvändning	39
4.2.1	Beräkningar i IDA ICE	39
4.2.2	Kompletterande beräkningar till simuleringsresultat	41
4.2.3	Justering av energianvändning i fall med värmepump.....	43
4.3	Beräkning av producerad och lagrad solenergi	44
4.3.1	Producerad och lagrad solel	44
4.3.2	Optimering	46
4.4	Beräkning av energiprestanda	46
4.4.1	Primärenergital (PET)	46
4.4.2	Åtgärder för förbättring av PET	47
5	LCC-analys.....	49
5.1	Beräkningsmetod LCC-kalkyl	49
5.1.1	Annuitetsmetoden.....	50
5.2	Indata LCC-kalkyl	51
5.2.1	Åtgärd: Solceller respektive solceller med lagringsbatterier	51
5.2.2	Åtgärd: Förbättrat klimatskal	52
5.3	Beräkningsgång LCC - kalkyl	53
6	Resultat.....	55
6.1	Energiprestanda.....	55
6.1.1	Åtgärd: Solceller	56
6.1.2	Åtgärd: Solceller med lagringsbatteri.....	58
6.1.3	Åtgärd: Förbättrat klimatskal	60
6.2	Lösamhetsbedömning för kravnivåer enligt år 2021	62
6.2.1	BBR krav.....	63
6.3	Erforderlig sänkning av batterikostnad för att uppnå lönsamhet.....	64
7	Diskussion	65
7.1	Resultat	65
7.1.1	Energiprestanda.....	65
7.1.2	LCC-analys.....	67
7.2	Metodval.....	70
7.2.1	Beräkningsmetod lagring av solel	70
7.2.2	Val av solceller och lagringsbatteri	70

7.2.3 Val av uppvärmningssystem	70
7.3 Beräkningsmodeller	72
8 Slutsats	73
9 Förslag på fortsatta studier	75
10 Referenser.....	77
10.1 Litteraturförteckning	77
11 Bilagor.....	85

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Den 1:e januari 2021 träder nya, skärpta krav på byggnaders energiprestanda i kraft. Dessa krav kallas nära-nollenergikrav (NNE-krav) eftersom de tillkommer som en åtgärd för att öka antalet nära-nollenergibygnader i Sverige enligt nya direktiv från Europeiska Unionen (Boverket, 2017 (b)). Energi från sol, vind, mark, luft eller vatten som alstras i byggnaden alternativt på dess tomt skall nu räknas av från byggnadens energiprestanda (Boverket, 2017 (a)), vilket innebär att förnyelsebar energi kan utnyttjas i större utsträckning för att förbättra byggnaders energiprestanda.

Från och med den 1:e juli 2017 ändras även sättet att beräkna energiprestanda på. De nya ändringarna innebär bland annat att beräkningar skall genomföras för primärenergi med olika viktningsfaktorer för energibärare. Enligt en remiss från januari 2017 kommer kraven år 2021 medföra att elenergi viktas hårdare med en viktningsfaktor på 2,5 medan övrig energi endast får en viktningsfaktor på 1,0 (Boverket, 2017 (c)). Detta innebär att det blir mindre fördelaktigt att använda elenergi för att täcka energibehovet i en byggnad såvida elenergin inte produceras förnybart i anslutning till fastigheten.

Elenergi kan produceras förnybart på en byggnad med hjälp av solceller. Om denna energi kan tillgodoräknas i byggnaden får den enligt Boverkets föreskrifter räknas av från byggnadens energiprestanda. Därmed kan solceller vara ett alternativ om byggnadens energiprestanda behöver förbättras för att klara de nya NNE-kraven.

Det finns genomförda studier för kontorslokaler, bland annat en som heter *Solceller på svenska kontorsbyggnader* från Energiforsk (2016), som visar att solceller är en möjlig åtgärd för att minska mängden levererad elenergi till byggnaden och därmed även förbättra byggnadens energiprestanda. Även för flerbostadshus kan solceller hjälpa till att minska mängden levererad elenergi. Skillnaden är dock att flerbostadshus inte har samma ellastprofil som kontor har.

I kontor är nämligen fastighetselbehovet som störst under dagtid när verksamheten är igång medan i flerbostadshus är fastighetselbehovet mer konstant över dygnet med en viss variation beroende på när de boende är hemma. Detta innebär att det är mer fördelaktigt med solceller på kontorsbyggnader än på flerbostadshus eftersom solcellerna producerar som mest energi då energibehovet är som störst i dessa byggnader (dagtid). Medan det blir en sämre matchning mellan solelproduktion och energibehov i flerbostadshus.

Om ett solcellssystem i flerbostadshus skall tillgodose energibehovet i större utsträckning behövs ett större system vilket medför överproduktion. Denna överproduktion kan i vissa fall säljas och skickas ut på elnätet men det finns många osäkerheter vad gäller lönsamhet kopplade till detta alternativ bl.a. gällande subventioner från staten i form av skattereduktion samt elpris vid eventuell försäljning (Haegermark, 2016). Därför undviks ofta överproduktion och mindre solcellssystem installeras.

För att det i flerbostadshus ska vara möjligt att utnyttja solceller för att minska mängden levererad energi till byggnaden, och därmed förbättra energiprestandan, krävs det att en större mängd elenergi som produceras i solcellerna kan nyttjas. Detta kan åstadkommas genom att koppla lagringsbatterier till solcellsanläggningen. Batterierna gör det möjligt att lagra energi

under dagen då solcellerna producerar som mest. Denna energi kan sedan användas när solcellerna inte producerar alternativt producerar för lite el under kvällar, nätter och morgnar. Detta borde innebära att en större solcellsanläggning kan installeras eftersom en viss överproduktion är önskvärd under dagen för lagring i batteriet. Lagring medför därmed större produktion av elenergi, mindre överskottsenergi och större avdrag från energiprestandan.

Lagringsbatteri kopplade till byggnader är fortfarande relativt nytt och det finns inte några tidigare studier kring hur dessa kan användas i flerbostadshus. Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda, NNE-kraven, ökar intresset för hur lagringsbatterier kan utnyttjas för att förbättra byggnaders energiprestanda. Eftersom priserna på lagringsbatterier dessutom har sjunkit under de senaste åren (Liebreich, 2015), är solceller och lagringsbatteri nu en investering som möjligtvis skulle kunna vara lönsam för flerbostadshus i syfte att förbättra energiprestandan och klara BBR:s nya energikrav 2021.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka om solceller i kombination med lagringsbatteri kan vara en möjlig åtgärd för att uppfylla de nya kraven på byggnaders energiprestanda från Boverket (nära-nollenergikraven), som träder i kraft den 1 januari 2021 samt bedöma åtgärdens lönsamhet. Studien fokuserar på flerbostadshus i Sverige.

1.3 Frågeställningar

Följande frågeställningar ska utredas:

- Hur stor solcellsanläggning och hur många lagringsbatterier behövs i ett flerbostadshus för att uppfylla Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda som träder i kraft den 1 januari 2021
- Kan det vara lönsamt att investera i solceller och lagringsbatteri i syfte att uppnå en bättre energiprestanda för ett flerbostadshus?
- Är en investering av solceller och lagringsbatteri en bra åtgärd för att uppfylla de nya nära-nollenergikraven från Boverket?

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsas till att studera ett referenshus, ett flerbostadshus placerat på två orter i Sverige: Malmö och Stockholm. Detta referenshus utformas enligt tillhandahållna ritningar från byggföretaget. Resultaten bygger därmed på en given formfaktor.

Arbetet avgränsas också till att endast studera uppvärmningssystemen fjärrvärme, frånluftsvärmepump, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump.

Resultaten och beräkningarna i arbetet bygger på Boverkets utkast från januari gällande nya krav för att öka antalet nära- nollenergi byggnader (Boverket, 2017 (c)). Arbetet avgränsas till att endast gälla dessa förslag och inte de som slutligen blir fastställda efter att remissvar inkommit från myndigheter och branschorganisationer.

Vid lönsamhetsbedömning görs avgränsningen att endast studera lönsamheten av valda åtgärder. Det ingår inte att studera lönsamheten av kombinationen åtgärd och uppvärmningssystem. Likaså begränsas arbetet till att endast studera lönsamheten genom en livscykelkostnadsanalys (LCC-analys). Ingen känslighetsanalys för resultatet har genomförts.

Arbetet skulle också med fördel kunna genomgå en livscykelanalys för att klargöra de miljömässiga aspekterna av att installera lagringsbatterier i hus. Exempelvis de miljömässiga aspekterna kopplade till växthuseffekten. Vilken inverkan har solceller med lagringsbatterier på växthuseffekten?

Avgränsning har även gjorts vid beaktande av lagringsförmågan för batterierna där hänsyn endast tagits till lagringsbatteriets urladdningsförmåga samt den totala verkningsgraden uttryckt i Round Trip Efficiency (RTE).

2 Metod

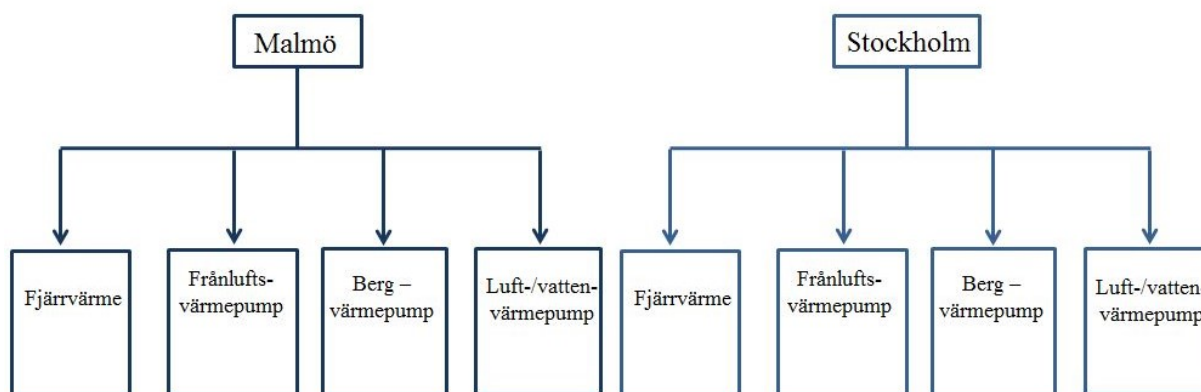
I detta avsnitt beskrivs den metod som använts för att uppfylla syftet med arbetet: att undersöka om solceller i kombination med lagringsbatteri kan vara en möjlig åtgärd i flerbostadshus för att uppfylla de nya kraven på byggnaders energiprestanda från Boverket (nära-nollenergikraven), som träder i kraft den 1 januari 2021.

Arbetet inleds med en litteraturstudie som behandlar Boverkets Byggregler (BBR), nära-nollenergikraven från Boverket, solceller, komponenter i solcellsanläggningar, lagringsbatterier på marknaden, energiberäkningar, ellastprofil för flerbostadshus samt möjlighet till ekonomiskt stöd för solel i Sverige. Denna studie ligger till grund för de tillämpningar av BBR som genomförs i arbetet samt utnyttjandet av solceller och lagringsbatteri i den byggnad som används som referensobjekt i arbetet. Resultatet av litteraturstudien återfinns i kapitel 3, där avsnitt 3.4.3 *Systemlösningar för kombination solceller och batterier* är begränsat i sin omfattning eftersom få utredningar genomförts på ämnet solceller i kombination med lagringsbatterier för byggnader.

Examensarbetet utförs i samarbete med ett svenskt byggföretag och ett utav deras objekt används som referenshus för studien. Referenshuset är ett flerbostadshus med utformning och orientering enligt kapitel 4.1. Referenshuset placeras på två olika orter i Sverige (Malmö och Stockholm) för att ge studien ett bredare tillämpningsområde. På taket placeras solceller och till solcellsanläggningen kopplas ett eller flera lagringsbatterier.

Som tidigare nämnts, utreds utnyttjandet av solceller och lagringsbatteri i flerbostadshus som en möjlig åtgärd för att uppfylla Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda, som träder i kraft den 1 januari år 2021. I januari 2017 skickade Boverket ut en remiss om ändringar i Boverkets Byggregler (BBR). I remissen fanns två nya föreskrifter: BBR A och BBR B, som träder i kraft 2017 respektive 2021 (Boverket, 2017 (d)), dessa benämns hädanefter som BBR 2017 respektive BBR 2021 förutom i kapitel 3.1. Energiprestandan beräknas i detta arbete enligt denna remiss från Boverket. Detta eftersom föreskrifterna i remissen, vid tidpunkten för beräkningarna, är de enda tillgängliga föreskrifterna som behandlar den nya beräkningsmetoden för energiprestanda, kopplad till de skärpta kraven från Boverket. Mer information om ändringarna som Boverket inför i sina föreskrifter finns i kapitel 3.1.

Byggnadens energiprestanda utgörs av byggnadens energianvändning, uttryckt i primärenergi, fördelat på A_{temp} (Boverket, 2017 (a)). Energianvändningen för referenshuset fastställs med hjälp av energiberäkningar i datorprogrammet IDA Indoor Climate & Energy (IDA ICE), där en modell av referenshuset byggs upp baserat på tillgängliga ritningar och visionsbilder. Energiberäkningarna genomförs för referenshuset placerat i Malmö respektive Stockholm och referenshuset tilldelas fyra olika uppvärmningssystem: fjärrvärme, frånluftsvärmepump, bergvärmepump respektive luft-/vattenvärmepump. Beräkningsfallen redovisas i figur 1.



Figur 1. Schema över de beräkningsfall som studeras för ort respektive uppvärmningssystem.

Syftet med att tilldela referenshuset olika uppvärmningssystem är att undersöka vilken effekt uppvärmningssystemet har på byggnadens möjlighet att uppfylla Boverkets krav. Indata till simuleringarna hämtas från byggföretagets handledning för energiberäkningar som baseras på Svebys Brukarindata för bostäder (2012 (a)) samt indata från Boverkets föreskrift BEN, se kapitel 4.1.2. Resultatet från IDA ICE kompletteras med beräkningar för bland annat vädring, köksventilation och VVC-förluster. Information om IDA ICE finns i kapitel 4.2 och mer information om genomförda energiberäkningar finns i kapitel 4.2 - 4.4.

Enligt Boverkets remiss från januari 2017 ska elenergi från förnyelsebara källor som alstras på eller i anslutning till fastigheten avräknas från byggnadens energianvändning om denna utnyttjas i byggnaden (Boverket, 2017 (a)). Detta innebär att den mängd energi som solcellerna och eventuella lagringsbatteri på referenshuset producerar ska subtraheras från den elenergianvändning som fastställs med hjälp av IDA ICE.

Från och med juli 2017 uttrycks även byggnaders energiprestanda i primärenergi genom ett primärenergital istället för specifik energianvändning (Boverket, 2017 (e)). Primärenergitalet beräknas både enligt BBR 2017 och BBR 2021 för att det ska bli tydligt hur stor skärpning som förväntas de kommande åren. Primärenergitalen för referenshuset på respektive ort och med respektive uppvärmningssystem jämförs sedan med krav från Boverket och hypotetiskt krav från Miljöbyggnad. Respektive byggnads förmåga att uppfylla kraven utvärderas för åtgärderna: *solceller*, *solceller med lagringsbatteri* och *förbättrat klimatskal*.

Åtgärderna *solceller* och *solceller med lagringsbatteri* dimensioneras och optimeras för att uppfylla energiprestandakravet från BBR 2021 och Miljöbyggnad. Då kravnivåer för Miljöbyggnad inte är fastställda genomförs beräkningar för 90 %, 85 % och 75 % av kravnivå för BBR 2021. För *solceller* redovisas storlek på solcellsanläggningen uttryckt i topp effekt medan storlek på lagringsbatterier uttrycks i lagringsförmåga och antal batteri. För åtgärden *förbättrat klimatskal* antags olika förbättringsåtgärder för att uppfylla kravnivåerna ovan. Resultaten redovisas i tabellform i kapitel 6.1 för respektive ovan nämnd åtgärd. Resultat för BBR 2017 redovisas i bilaga 9.

Utöver beräkning av energiprestanda utförs även lönsamhetsbedömningar för de tre åtgärderna *solceller*, *solceller med lagringsbatteri* och *förbättrat klimatskal*.

Lönsamhetsbedömningen genomförs genom en livscykelkostnadsanalys (LCC-analys) för referenshuset på respektive ort och med respektive uppvärmningssystem. LCC-analysen

förklaras närmre i kapitel 5. Resultaten från LCC-analysen redovisas för respektive åtgärd för kravnivå enligt BBR 2021 i kapitel 6.2. Övriga kravnivåer redovisas i bilaga 10.

Resultaten diskuteras i kapitel 7. Fokus ligger på åtgärden solceller med lagringsbatteri. I kapitel 7 diskuteras även metodval och beräkningsmodeller, främst om lagring av solenergi.

Utifrån examensarbetets resultat ges även förslag på fortsatta studier inom ämnet både generellt och studier som kan vara värdefulla för byggföretagets verksamhet, se kapitel 9.

3 Teori

3.1 Nära-nollenergikraven (NNE-kraven)

3.1.1 Bakgrund

Den 19 maj 2010 gick Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd ut med ett direktiv gällande byggnaders energiprestanda (2010/31/EU). Detta var en omarbeting av det tidigare direktivet (2002/91/EG) utgivet år 2002 (Miljö- och energidepartementet, 2015 (a)). Omarbetningen av direktivet är en del i arbetet mot målet att minska unionens energianvändning med 20 % senast år 2020 (Europeiska Unionen, 2010, s. 13).

Följande citat är hämtat ur det nya direktivet och anges som ett av skälen till att direktivet från 2002 omarbetades:

Det behövs åtgärder för att öka antalet byggnader som inte bara uppfyller nuvarande minimikrav avseende energiprestanda, men som också är mer energieffektiva, för att på så sätt sänka både energianvändningen och koldioxidutsläppen. För detta ändamål bör medlemsstaterna upprätta nationella planer för att öka antalet nära-nollenergibyggnader och regelbundet rapportera om sådana planer till kommissionen (Europeiska Unionen, 2010, s. 15).

I det nya direktivet definieras en nära-nollenergibyggnad som: ”En byggnad som har mycket hög energiprestanda” (Europeiska Unionen, 2010, s. 18). Det nämns även att ”Nära nollmängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten,” (Europeiska Unionen, 2010, s. 18).

Enligt artikel 9 i direktivet ska alla nya byggnader i samtliga medlemsstater vara nära-nollenergibyggnader senast den 31 december 2020. Dessutom anges att nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter ska vara nära-nollenergibyggnader efter den 31 december redan år 2018. Direktivet ställer även krav på medlemsländerna att utforma politik och vidta åtgärder för att främja omvandling av byggnader till nära-nollenergibyggnader vid renovering. Detta ska länderna presentera i de nationella planer som efterfrågas i direktivet för att öka antalet nära-nollenergibyggnader i unionen (Europeiska Unionen, 2010, s. 21).

Ett direktiv från EU är bindande för medlemsländerna (EUR-Lex, u.å.). Det innebär att samtliga medlemsländer ska uppnå målen som presenteras i direktivet, men det finns ett visst handlingsutrymme för hur målen uppnås (Boverket, 2017 (b)). Därför efterfrågas nationella planer för hur målen ska uppnås i respektive medlemsland och länderna ska regelbundet rapportera om planerna till EU kommissionen, som sedan utvärderar de presenterade åtgärderna (Europeiska Unionen, 2010). Eftersom ett EU-direktiv inte är direkt gällande i medlemsländerna är det viktigt att ländernas nationella lagar och förordningar är förenliga med direktivet, så att målen i direktivet kan nås (Boverket, 2017 (b)).

3.1.2 Sveriges handlingsplan för ökning av NNE-byggnader

Den svenska regeringen tog, i enlighet med EU:s ovan nämnda direktiv, fram en nationell handlingsplan för att öka antalet nära-nollenergihus i Sverige och möta de specifika kraven: att alla nya byggnader ska vara nära-nollenergibyggnader senast den 31 december år 2020, samt att nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter ska vara nära-nollenergibyggnader efter den 31 december år 2018. Handlingsplanen redovisades i en

skrivelse, som regeringen överlämnade till riksdagen i mars år 2012, med namnet *Vägen till nära-nollenergibyggnader* (Boverket och Energimyndigheten, 2015).

I skrivelsen presenterades regeringens bedömning av den svenska tillämpningen av begreppet nära-nollenergibyggnad (Boverket och Energimyndigheten, 2015) definierat i EU-direktivet som: ”En byggnad som har mycket hög energiprestanda” (Europeiska Unionen, 2010, s. 18). Regeringen gjorde bedömningen att tillämpningen av begreppet innebar skärpta krav på energihushållning jämfört med dåvarande krav i byggreglerna. Regeringen ansåg dock att det vid tidpunkten inte fanns tillräckligt med underlag för att sätta siffror på hur stor skärpning som skulle kunna bli aktuell för att möta kraven i direktivet. Därför infördes en kontrollstation i handlingsplanen som skulle äga rum år 2015. Fram till dess skulle underlag tas fram för att göra det möjligt att ange hur stor skärpning som skulle krävas för att möta kraven. Underlaget som efterfrågades var bl.a. utvärdering av befintliga lågenergibyggnader, vissa demonstrationsprojekt av nya energieffektiva byggnader, och ekonomiska analyser (Boverket och Energimyndigheten, 2015). Boverket och Energimyndigheten kopplades in för att samla in det efterfrågade underlaget och de ombads även ge förslag på hur nära-nollenergikrav kan införas i Sverige (Boverket, 2015 (b)).

3.1.3 Förslag på ändringar i Boverkets föreskrifter

Den 15 juni 2015 överlämnade Boverket ett förslag till regeringen på hur nära-nollenergibyggnader kan tillämpas i Sverige (Boverket, 2016). Förslaget innefattade hur kraven på energiprestanda hos byggnader ska ställas (vilken energimängd som ska räknas in) och även kvantitativa nivåer på energiprestandan för nära-nollenergibyggnader (Boverket, 2015 (a)). Regeringen skickade därefter ut Boverkets förslag på remiss till många instanser som fick komma med synpunkter på förslaget (Boverket, 2016). Flera remissinstanser ansåg att kravnivåerna i förslaget var rimliga, men det var även många som ansåg att det skulle bli svårt att uppnå nivåerna, framförallt de för flerbostadshus (Boverket, 2017 (a)).

För att Boverkets förslag gällande tillämpningen av nära-nollenergibyggnader i Sverige skulle kunna träda i kraft, krävdes att regeringen genomförde ändringar i Plan- och Byggförordningen (PBF), det vill säga i de bestämmelser som reglerar energihushållning i byggnader (Boverket, 2016). Regeringens beslut om ändringar i PBF, för att möta EU:s direktiv om byggnaders energiprestanda, dröjde fram till den 8 december 2016 och ändringarna genomfördes först den 20 december 2016. Ändringarna trädde sedan i kraft den 1 april 2017 och i dem fastställdes övergripande vad en nära-nollenergibyggnad är och hur energiprestanda ska beräknas. Efter regeringens beslut om ändringar i PBF var det Boverkets uppgift att återigen ta fram nivåer för energiprestandan som ska uppfyllas i byggnader (nära-nollenergikrav), samt att ta fram en detaljerad beräkningsmetod av energiprestandan för en byggnad (Regeringskansliet, 2016).

Den 12 januari 2017 höll Boverket en presentation av deras utkast på tillämpningsföreskrifter till de ändringar i förordningen som regeringen vid tidpunkten hade beslutat om för att möta kraven i EU-direktivet (Boverket, 2017 (d)). Utkastet innehöll ändringar i tre av verkets föreskrifter: ”Boverkets byggregler”, *BBR*, ”Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår”, *BEN* och ”Boverkets föreskrifter och allmänna råd om energideklaration för byggnader”, *BED* (Boverket, 2017 (c)). Föreskrifterna *BEN* och *BED* ändras enbart för att anpassas till nya formuleringar i Plan- och Byggförordningen, PBF, och Boverkets byggregler, *BBR*. Denna

rapport syftar dock bara till att belysa ändringarna i BBR. Tillämpningsföreskrifterna skickades ut på remiss i januari 2017 och många instanser fick komma med synpunkter på förslaget. Dessa föreskrifter planerades börja gälla då ändringarna i PBF trädde i kraft den 1 april 2017 (Boverket, 2017 (c)) men processen försenades och nu planeras de istället träda i kraft i juli 2017 (Boverket, 2017 (e)).

Förslaget i remissen innebar ett nytt sätt att beräkna energiprestandan för en byggnad i Sverige (Boverket, 2017 (a)). I efterföljande avsnitt förklaras ingående vilka ändringar i energikraven och beräkningsmetoden för energiprestanda som Boverket föreslog i sin remiss.

3.1.4 Nära-nollenergikrav och ny beräkningsmetod för energiprestanda

I Boverkets remiss från januari 2017 presenterades ändringar i avsnittet om energihushållning i Boverkets Byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd (Boverket, 2017 (a)). Eftersom energin, enligt EU-direktivet, ska mätas i primärenergi krävdes en ny beräkningsmetod för byggnaders energiprestanda, där energiprestandan uttrycks i primärenergi istället för specifik energianvändning, som tidigare var fallet (Boverket, 2017 (a)).

Boverket valde att genomföra ändringarna i två steg. I det första steget anpassas Boverkets Byggregler till ändringarna i Plan- och Byggförordningen genom att regler om nära-nollenergibygnader införs (Boverket, 2017 (a)). Boverket vill att kravnivåerna ska vara oförändrade så länge som möjligt och steg 1 innebär därför endast en konvertering av föregående krav på energiprestanda till den nya formuleringen med primärenergi. En ny beräkningsmetod för energiprestanda införs också i detta steg (Boverket, 2017 (d)). Ändringarna enligt steg 1 planeras träda i kraft i juli 2017 (Boverket, 2017 (e)).

Ändringarna i steg 2, som föreslås träda i kraft den 1 januari 2021, innebär skärpta krav på byggnaders energiprestanda som en åtgärd för att möta EU:s krav att samtliga nya byggnader ska vara nära-nollenergibygnader senast den 31 december 2020 (Boverket, 2017 (d)). Dessa krav ska hjälpa till att driva på utvecklingen mot mer energieffektivt byggande (Boverket, 2017 (b)). Boverkets ändringar i steg 1 och steg 2 förklaras mer ingående nedan.

3.1.4.1 Steg 1: Regler om nära-nollenergibygnader införs i BBR

Enligt EU:s direktiv gällande byggnaders energiprestanda (2010/31/EU) ska medlemsländernas praktiska tillämpning av definitionen av nära-nollenergibygnader innefatta en ”numerisk indikator för primärenergianvändning” [kWh/m² och år] (Europeiska Unionen, 2010, s. 21). I Boverkets remiss från januari 2017 var förslaget därför att energiprestandan för en byggnad ska bedömas med hjälp av ett beräknat primärenergital, PET (Boverket, 2017 (d)). Boverket föreslår följande formel för beräkning av PET (BFS, 2017 (a)):

$$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el}\right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}} \quad [3.1]$$

där

$E_{uppv,el}$	Elenergi till uppvärmning, kWh/år
$E_{kyl,el}$	Elenergi till komfortkyla, kWh/år
$E_{tvv,el}$	Elenergi till tappvarmvatten, kWh/år

$E_{f,el}$	Elenergi till fastighetsenergi, kWh/år
E_{uppv}	Annan energi än el till uppvärmning, kWh/år
E_{kyl}	Annan energi än el till komfortkyla, kWh/år
E_{tvv}	Annan energi än el till tappvarmvatten, kWh/år
PE_{el}	Primärenergifaktor för elenergi, - (se bilaga 1)
$PE_{övr}$	Primärenergifaktor för annan energi än el, - (se bilaga 1)
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor, - (se bilaga 1)
A_{temp}	Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas mer än 10°C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte (BFS, 2017 (a)).

Beräkningsmetoden för PET, redovisad i ekvation 3.1, kan jämföras med beräkningsmetoden för specifik energianvändning, som används innan Boverkets ändringar i juli 2017 (Boverket, 2017 (e)). Vid beräkning av specifik energianvändning beräknas först en total mängd levererad energi till byggnaden (för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten, fastighetsenergi) vid normalt brukande under ett normalår. Denna energimängd divideras sedan med A_{temp} för att ge en specifik energianvändning uttryckt i kWh/m² och år. Den specifika energianvändningen jämförs sedan med angivna krav för den klimatzon som byggnaden är belägen i och kraven är olika beroende på byggnadskategori och om byggnaden är eluppvärmd eller icke eluppvärmd, se bilaga 2. (BFS, 2016:13).

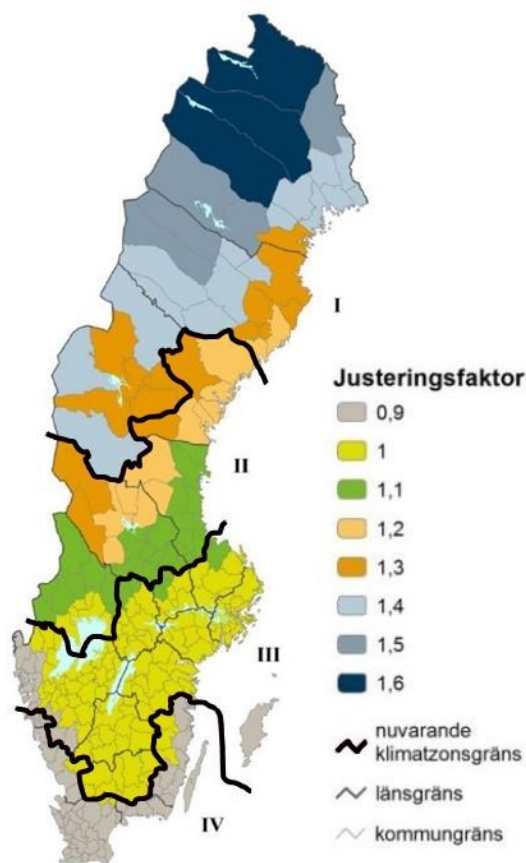
Vid beräkning av primärenergitalet PET för en byggnad, ekvation 3.1, tillkommer några steg i beräkningsgången jämfört med beräkningen av den specifika energianvändningen. Energianvändningen för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi fastställs även här vid normalt brukande, under ett normalår. Energianvändningen delas dock upp i elenergi och övrig energi, vilket inte är fallet vid beräkningen av specifik energianvändning. Den mängd energi som används till uppvärmning divideras sedan med en geografisk justeringsfaktor för att ta hänsyn till klimatet där byggnaden är belägen. Eftersom energianvändningen ska vara uttryckt i primärenergi, istället för levererad energi, multipliceras använd elenergi och övrig energi med respektive energibärarens primärenergifaktor. Primärenergianvändningen för el respektive övrig energi summeras därefter och divideras med A_{temp} vilket ger ett PET i kWh/m² och år (Boverket, 2017 (a)).

I fallet med specifik energianvändning är kravnivån, som tidigare nämnts, olika beroende på om byggnaden är eluppvärmd eller icke eluppvärmd samt beroende på i vilken klimatzon den är belägen (BFS, 2016:13). I det nya förslaget från Boverket, BBR (A), införs alltså istället primärenergifaktorer och geografiska justeringsfaktorer för att ta hänsyn till energislag och geografisk placering (Boverket, 2017 (d)). Dessa två begrepp förklaras närmre i de två efterföljande styckena. Denna skillnad mellan de båda beräkningsmetoderna gör att det är möjligt att enbart ha en kravnivå per byggnadskategori (småhus, flerbostadshus, lokaler) för hela landet (Boverket, 2017 (a)). Det bör observeras att energiprestandan uttryckt med ett primärenergital PET inte direkt kan översättas till energianvändning i byggnaden. Det innebär att den totala energianvändningen (kWh/m² och år) inte kan beräknas genom att multiplicera PET med A_{temp} , som tidigare var möjligt då specifik energianvändning användes (Boverket, 2017 (d)).

Primärenergifaktorerna som nämnts ovan är viktningsfaktorer. De gör det möjligt att vikta energin som levereras till byggnaden utifrån energibärare och därmed ta hänsyn till den totala energin som krävs i energisystemet för att producera den levererade energin. Genom att ställa krav på byggnadens primärenergianvändning, istället för att ställa krav på byggnadens levererade energianvändning, förflyttas fokus till energisystemet i högre grad än tidigare. Istället för att enbart titta på levererad energi till byggnaden tas alltså även hänsyn till den totala energin som krävs i energisystemet för att producera den levererade energin. Den totala energin som krävs i energisystemet återspeglas alltså genom användningen av primärenergifaktorer, PE_{el} och $PE_{övr}$. I Boverkets förslag på ändringar, bilaga 1, är primärenergifaktorn för el 1,6 och primärenergifaktorn för övrig energi 1,0. Den högre faktorn för el gör att elenergi viktas hårdare än övrig energi. Detta innebär att BBR även fortsättningsvis kommer att förespråka hushållning med elenergi i enlighet med särskilt ställda krav i Plan- och byggförordningen (PBF) (Boverket, 2017 (a)).

Geografiska justeringsfaktorer, F_{geo} , nämndes ovan. Dessa ersätter klimatzonerna som användes då energikraven var formulerade med specifik energianvändning (Boverket, 2017 (d)). Det fanns då fyra klimatzoner i Sverige där varje klimatzon hade ett angivet krav på den specifika energianvändningen för respektive byggnadskategori. På det viset anpassades kravnivåerna till de klimatmässiga förutsättningarna i respektive zon. Klimatzonerna var dock kritiserade redan år 2013 eftersom de täckte stora geografiska områden, vilket innebar att det fanns skillnader i klimatet inom varje zon. Detta ledde till att förutsättningarna för att uppfylla energikraven kunde skilja sig beroende på byggnadens placering inom zonen. För att bättre kunna anpassa kravnivåerna till de klimatmässiga förutsättningarna där den aktuella byggnaden är belägen, och därigenom ge byggnaderna runt om i Sverige mer likvärdiga förutsättningar till att uppfylla energikraven, ersätts de fyra klimatzonerna av geografiska justeringsfaktorer på kommunnivå. Varje kommun får en geografisk justeringsfaktor som gäller vid beräkning av energiprestanda för en byggnad inom kommunen. De geografiska justeringsfaktorerna varierar mellan 0,9 och 1,6 beroende på var i landet som byggnaden är placerad, fördelningen av faktorerna redovisas i figur 2 (Boverket, 2017 (a)). De fyra klimatzonerna (I-IV) finns även redovisade i figuren, avskilda med hjälp av tjockare svarta linjer.

Den del av energianvändningen som huvudsakligen påverkas av klimatet, det vill säga energin som används till uppvärmning av byggnaden, divideras med den geografiska justeringsfaktorn (F_{geo}) vid beräkning av PET (ekvation 3.1). Detta bidrar till att energianvändningen för uppvärmning justeras upp eller ner beroende på om justeringsfaktorn är mindre eller större än 1,0. I mildare klimat är justeringsfaktorn mindre än 1,0 vilket gör att energianvändningen justeras upp och i kallare klimat är den större än 1,0 vilket gör att energianvändningen justeras ner. Detta gör det möjligt att använda samma kravnivå för byggnader inom en viss byggnadskategori oberoende av byggnadens placering i landet (Boverket, 2017 (a)).



Figur 2. Geografiska justeringsfaktorer i Sverige (Boverket, 2017 (a)). För bild i färg, se digital version av denna rapport.

Det beräknade primärenergitalet (PET) enligt ekvation 3.1 jämförs med kravet på energiprestanda för den aktuella byggnaden. Energikravet för flerbostadshus är enligt BBR (A) $85 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år (BFS, 2017 (a)). Energikraven för resterande byggnadskategorier presenteras i Tabell 9:2a i bilaga 1.

3.1.4.2 Steg 2: Nära-nollenergikraven

Ändringarna enligt steg 2 redovisas i föreskrifterna BBR (B) som ingår i Boverkets utkast från januari 2017. Dessa innebär som tidigare nämnt, främst en skärpning av kraven i byggreglerna jämfört med förslagen i BBR (A) (Boverket, 2017 (a)). Eftersom förslaget till ändringar i Boverkets Byggregler legat ute på remiss under våren 2017 (Boverket, 2017 (c)) finns det risk för att korrigeringar i förslaget krävs innan det träder i kraft år 2021. I detta avsnitt presenteras förslaget kortfattat enligt utkastet från januari 2017.

I BBR (B) föreslås kravnivåerna för energiprestanda skäras så långt det är möjligt med den teknik som finns tillgänglig i samband med att förslaget träder i kraft. Förslaget innebär också en ändring av primärenergifaktorn för el, PE_{el} , från 1,6 (enligt BBR (A)) till 2,5. Primärenergifaktorn för övrig energi förblir 1,0. Detta innebär att elenergin viktas högre än tidigare och därmed skärps kravet på den oviktade levererade elenergin till uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och fastighetsenergi med 10-35 %. Även om energikravet för en byggnadskategori har samma värde på PET i BBR (A) som i BBR (B) har alltså kravet på levererad energi skärpts genom ändringen av primärenergifaktorn för el. Byggnader som använder el får därmed en större skärpning av kraven på levererad energi jämfört med

byggnader som inte använder el i samma utsträckning (Boverket, 2017 (b)). I föreskrifterna BBR (B) föreslås, utöver nämnda ändringar, även skärpta krav på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient (U_m). Det införs även en areakorrekting för småhus med A_{temp} mindre än 130 m^2 , vilket gör att skärpningen av energikraven blir mildare för denna kategori småhus. Den sista ändringen som föreslås i BBR (B) gäller tillägget som får göras på energikravet och kravet på installerad eleffekt, där nivån skärps jämfört med BBR (A) (Boverket, 2017 (b)), se bilaga 1 och bilaga 3 Tabell 9:2a.

Kravnivån för energiprestandan i flerbostadshus är $90 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ och är enligt förslaget i BBR (B) (BFS, 2017:xx-B). Resterande kravnivåer för energiprestandan finns redovisade i bilaga 3 Tabell 9:2a.

3.1.5 Vad innebar ändringarna i Plan- och Byggförordningen

I samband med att det nya EU-direktivet presenterades fick regeringen, som tidigare nämnts, göra en bedömning av hur begreppet nära-nollenergibyggnad skulle tillämpas i Sverige. Regeringen beslutade senare om en ändring i bestämmelserna gällande energihushållning och reglerna om nära-nollenergibyggnader i Plan- och Byggförordningen. Ändringarna trädde i kraft den 1 april 2017 (Boverket, 2017 (a)) och i dem fastställdes övergripande vad en nära-nollenergibyggnad är och hur energiprestanda ska beräknas (Regeringskansliet, 2016). Ändringarna sammanfattades i Boverkets Konsekvensutredning BBR (A) enligt följande:

- ”En byggnads energiprestanda är den mängd levererad energi som behövs för uppvärmning, kylning, ventilation, varmvatten och belysning vid normalt bruk.”
- ”Energi från sol, vind, mark, luft eller vatten som alstras i byggnaden eller på dess tomt medräknas inte i energiprestandan”
- ”För att uppfylla kravet på energihushållning i plan- och bygglagen ska en byggnad ha en mycket hög energiprestanda – det vill säga vara en nära-nollenergibyggnad – uttryckt som primärenergi beräknad med en primärenergifaktor per energibärare. Byggnader ska särskilt hushålla med elenergi.”
- ”En byggnad ska ha en god värmeisolering.” (Boverket, 2017 (a))

Tidigare var det bara solenergi genererad i byggnaden eller på dess tomt som inte skulle räknas med i energiprestandan. Nu har alltså detta utökats och gäller även för energi från vind, mark, luft och vatten (Boverket, 2017 (d)).

Energiprestandan är, som ovan nämnt, uttryckt i förordningen som ”primärenergi beräknad med en primärenergifaktor per energibärare” (Plan- och Byggförordning, SFS 2011:338 (b)). Denna ändring gjorde att Boverket omformulerade sina krav på energiprestanda från att uttryckas med specifik energianvändning till att uttryckas med primärenergital (Boverket, 2017 (d)), förklarar kapitel 3.1.4 ovan. Primärenergi definieras i förordningen som: ”energi som inte har genomgått någon omvandling” (Plan- och Byggförordning, SFS 2011:338 (a)) vilket innebär att istället för avgöra energiprestandan för byggnaden med hjälp av mängden inköpt energi avgörs energiprestandan nu genom primärenergianvändningen. Som nämnts i kapitel 3.1.4 innebär detta att hänsyn tas till resursåtgången sett över hela energisystemet (Göransson, o.a., 2013).

3.2 Solceller

3.2.1 Bakgrund

Utnyttjande av solenergi för att skapa el har funnits under lång tid och uppfanns redan på 1800-talet av fransmannen Edmund Becquerel. Upptäckten fick dåligt genomslag och det var inte förrän på 1950- och 60-talet som det verkliga genombrottet för tekniken kom. Genombrottet berodde på ny teknik om halvledare som material, varav en tillämpning av materialet kom att bli solceller (Andrén, 2015).

Solceller och dess teknik har främst använts inom den globala rymdverksamheten, för att tillhandahålla elektricitet för satelliter (Andrén, 2015). Tekniken fick ett lyft då världen drabbades av oljekrisen på 1970-talet. Den har sedan dess vuxit stadigt fram till 2000-talet då den ökat med ca 30 % per år (Green, 2004).

3.2.2 Solcellstekniker

Marknaden idag består främst av två olika typer av solceller; tunnfilmsceller och kristallina kiselceller (Andrén, 2015). Tunnfilmscellerna utgör ca 7 % av den globala marknaden, medan kristallina kiselceller utgör 91 % (Fraunhofer Institute for Solar Energy, 2016).

Det finns även andra tekniker som det forskas om. En sådan teknik är den så kallade Grätzelcellen som är en variant av en tunnfilmscell. Tekniken är än så länge i forskningsstadiet (Andrén, 2015). En annan typ av solcell är den så kallade Multi-junction solar cell, även denna en variant av en tunnfilmscell, vilken har visats ha väldigt bra verkningsgrad jämfört med de andra typerna av celler som nämnts ovan (U.S Department of energy, 2015).

Både tunnfilmsceller och kiselceller bygger på konceptet att en halvledare bestrålas med fotoner (solljus) och genom detta omstruktureras de laddade partiklarna i materialet. Detta sker genom att fotonerna tillfälligt får elektronerna i halvledaren att förflytta sig vilket ger upphov till en spänningspotential mellan halvledarens bägge sidor.

Vanligt förekommande halvledare som används är olika föreningar av grundämnet kisel. Andra halvledarmaterial som används förklaras längre ner. Halvledaren brukar även benämnas i termer som aktivt material och görs så hädanefter. Det aktiva materialet brukar beskrivas som en platta, varpå det läggs tunna strängar av metall som leder ström. Denna kombination utgör själva cellen. En cell kan sedan skapa mellan 0-0,5 V beroende på val av aktivt material. Den låga spänningen medför att flera celler seriekopplas för att få en högre spänning. När flera celler kopplas samman kallas de för en modul. Till modulen tillhör även en fram och baksida samt en ram, vilka beskrivs längre ner för respektive typ av solceller (Green, 2000).

Tunnfilmscellerna är en samling av celler med liknande egenskaper. Tunnfilmscellen kan bestå av föreningar med antingen Cadmium telluride (CdTe), Amorphous silicon (a-Si) eller Copper indium gallium selenide (CIGS) som aktivt material. Det finns även andra kombinationer av föreningar men dessa är mindre vanliga (Bernardo, 2017).

Tunnfilmscellerna är uppbyggda av tunna lager aktivt material, mindre än $3\mu\text{m}$. Det aktiva materialet kapslas in mellan en fram- och baksida. Framsidan är ofta av glas för att solljus ska kunna emitteras mot det aktiva materialet. Baksidan är mindre begränsad och kan bestå av en vid mängd material såsom glas eller stål. Cellen som helhet med, både fram- och baksida, kan

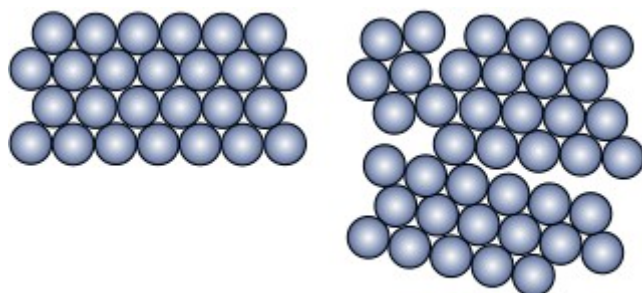
även omslutas med en ram för att bli självbärande. Detta beror på hur cellen skall integreras med byggnaden (Solelprogrammet, u.å. (b)).

Fördelen med tunnfilmsceller ligger i den låga produktionskostnaden då det är låg materialåtgång i jämförelse med kristallina kiselceller som kräver en tjocklek på $300\ \mu\text{m}$ för det aktiva lagret. På grund av tunnfilmscellernas minimala tjocklek fungerar det utmärkt på flexibla material. Detta gör att solcellerna lättare kan integreras i byggnaden (Solelprogrammet, u.å. (b)). Ytterligare en fördel är att på grund av den låga materialåtgången kan andra halvledarmaterial väljas som annars inte är lönsamma (Green, Photovoltaics: technology overview, 2000). Nackdelen med tunnfilmsceller är deras låga verkningsgrad. Verkningsgraden varierar mellan 5 till 12 % för kommersiella solceller vilket motsvarar ungefär hälften av verkningsgraden för kristallina kiselceller (Solelprogrammet, u.å. (b)).

Tillverkning av kristallina kiselceller sker genom bearbetning av antingen mineralet kvarts eller av vanlig sand (Andrén, 2015). Kiselceller är uppbyggda av tunna skivor kisel som har dopats för att verka som ledare. Doping används för att få ett aktivt material med bättre ledningsförmåga (PV Education, 2017). Kiselcellerna skyddas sedan från fukt och yttre påverkan genom att omslutas av en ram. På ramen fästs en fram och baksida likt processen för tunnfilmscellerna. Framsidan består precis som innan av ett transparent material, oftast härdat glas. Baksidan är mer flexibel och ger större frihets gällande val av material. Vanligt förekommande är glas, stål eller teflonduk (Wolf, 2011).

Kristallina kiselceller omfattar två typer av celler, monokristallina och polykristallina celler. Monokristallina celler består av en typ av kiselkristallstruktur medan polykristallina celler består av flera kristallstrukturer (Solelprogrammet, u.å. (b)). Den polykristallina kiselcellen är den mest vanliga och innehar 45-50 % av den totala solcellsmarknaden (Wolf, 2011).

Skillnaden mellan en monokristallin och en polykristallin kiselcell ligger i dess uppbyggnad. En monokristallin kiselcell är att betrakta som homogen och har en tydlig rak struktur mellan atomerna. Att den är homogen innebär också att alla dess egenskaper är homogena. Detta har direkt påverkan på kiselcellens verkningsgrad (Green, 2004). I kontrast till den monokristallina är en polykristallin kiselcell endast delvis homogen det vill säga delar av uppbyggnaden följer inte den raka strukturen, vilket visas i figur 3 (Green, 2004). Verkningsgraden för denna solcellstyp är därför något lägre i jämförelse med den monokristallina kiselcellen. Verkningsgraden ligger i snitt på mellan 12-20 % för de kommersiella kiselcellerna (Solelprogrammet, u.å. (b)).



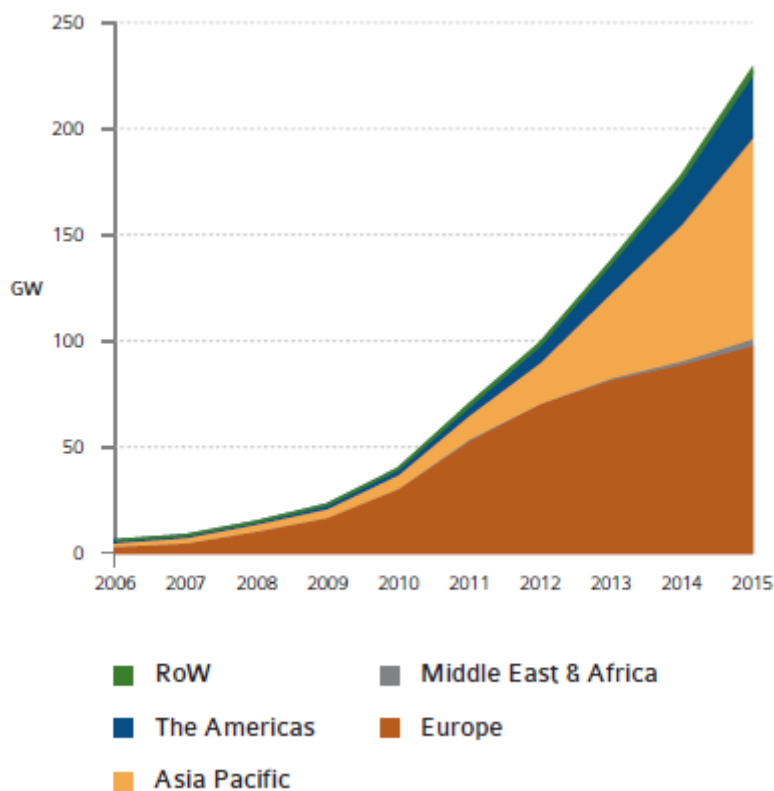
Figur 3. Till vänster: Monokristallin struktur. Till höger: Polykristallin struktur (Cdangderivative work, 2016 [Bild]).

En fördel med kiselceller, vare sig det är mono- eller polykristallina celler, är den relativt höga verkningsgraden i förhållande till tunnfilmscellerna. Skillnaden mellan en mono- och

polykristallin cell är också liten. Monokristallina celler har, som tidigare nämnt, något bättre verkningsgrad. Nackdelen är då att denna kostar lite mer än en polykristallin cell. Det finns även en viss skillnad i färg på solcellerna, där den monokristallina solcellen har en mörkare blåsvart nyans. Kiselcellerna har ytterligare en fördel jämfört med tunnfilmscellerna. Fördelen är att de kan motstå verkningsgradsminskning på grund av ålder bättre. Nackdelen är priset (Electrotec Energy, 2017).

3.2.3 Utveckling, pris och kostnad av solceller

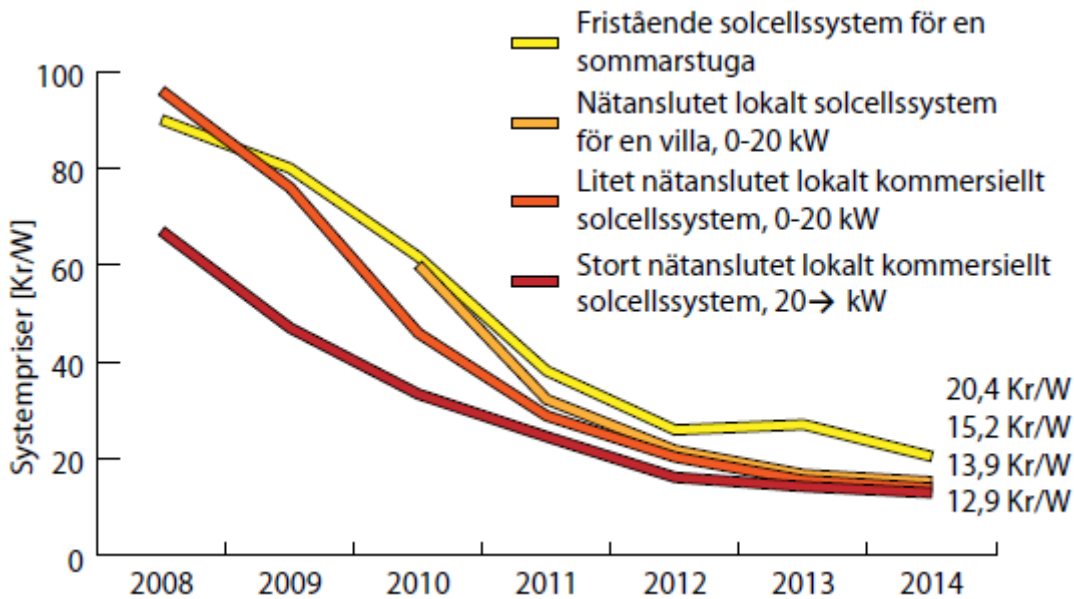
Globalt sett styrs utvecklingen främst av länder tillhörande IEA (International Energy Agency). Till IEA hör bland annat USA, Japan, Tyskland och Sverige. IEA länder stod år 2015 för 40,6 GW av totalt 50,7 GW installerad soleffekt. Den installerade effekten ökade också med 26,5% av den sammanlagda effekten världen över 2015. Detta är historiskt sett den största ökningen hittills. Utvecklingen av installerad eleffekt världen över finns redovisat i figur 4 fördelat över olika regioner. Figuren visar även att det råder ökad tillväxt i Asien och något avstannande tillväxt i Europa. Prisutvecklingen på ett solcellsystem med kringutrustning har genom åren minskat. 2006 kostade 1 W ca 6 USD och 2015 kostar samma W ca 2 USD. Det vill säga priset har minskat med en tredjedel (International Energy Agency, 2016).



Figur 4. Kumulativ årlig installerad solcellseffekt globalt för olika regioner räknat i Giga Watt. RoW står för övriga världen (International Energy Agency, 2016).

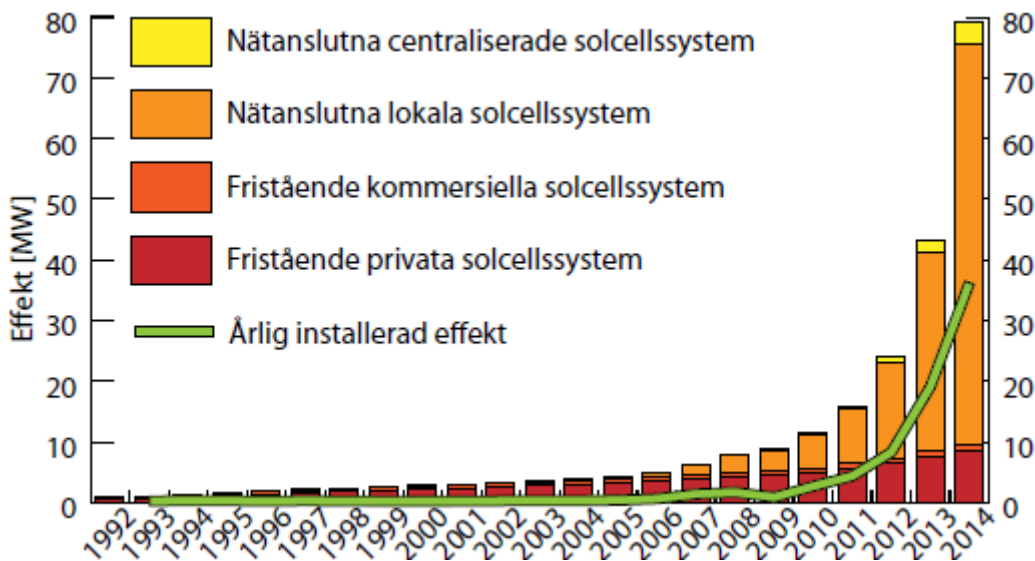
I Sverige har solceller använts sedan 1970-talet. De har främst använts som självförsörjande system för platser eller områden som saknar möjlighet att anslutas till elnätet, så som; fyror, sommarstugor och båtar. På grund av ny teknik och storskalig produktion i länder som Kina, Japan och USA har solcellssystem minskat i pris (Andrén, 2015). Utvecklingen beror inte enbart på att priset på moduler med tillhörande komponenter har minskat internationellt. Den

beror också på att den svenska marknaden växer och skapar en mer jämn efterfrågan, vilket leder till att priserna kan pressas ner ytterligare. Exempelvis ökade andelen företag verksamma inom solcellsmarknaden i Sverige från 37 företag 2010 till 126 stycken 2014 (Energimyndigheten, 2014). Prisutvecklingen i Sverige visas i figur 5.



Figur 5. Medelvärde av systempriser för färdiga solcellssystem per år för Sverige. Pris är exklusive moms (Energimyndigheten, 2014).

Prisminskningen har i kombination med ökad miljömedvetenhet och strängare krav på energianvändning lett till en kraftig utbyggnad av solcellsanläggningar i Sverige under senare delen av 2000-talet se figur 6 (Energimyndigheten, 2014). Förutom priset på investerad effekt bör hänsyn även tas till andra aspekter rörande investering. Sådana aspekter kan vara regler, krav eller mervärde genom att investera i solceller jämfört med andra energiproducerande processer (Andrén, 2015).



Figur 6. Kumulativ årlig installerad solcellseffekt i Sverige räknat i Mega Watt (Energimyndigheten, 2014).

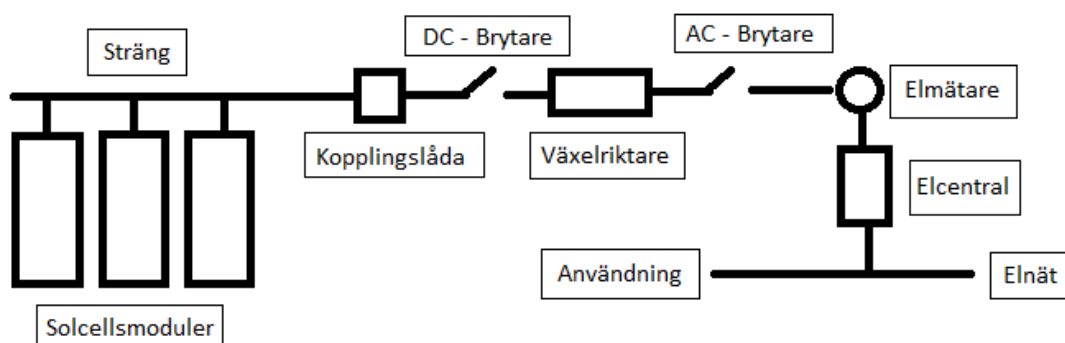
3.3 Solcellsanläggning

En solcellsanläggning innefattar hela systemet inklusive material för att solcellerna ska kunna leverera el till önskat syfte. Solcellssystemen kan vara kopplade till elnätet alternativt vara fristående. Fristående anläggningar kan i sin tur vara kopplade till ett eller flera batterier alternativt vara isolerade, det vill säga bara fungera för momentan förbrukning (Energimyndigheten, 2009).

3.3.1 Nätanslutet system

Grunden för en solcellsanläggning som är ansluten till elnätet är att omvandla den likström som produceras i solcellerna till växelström som kan användas i fastigheten. Anläggningen är uppbyggd av ett antal solcellsmoduler som kopplas samman i serier via långa strängar av elkablage. Varje grupp av strängar parallellkopplas sedan till en kopplingslåda. Om risk för skuggning förekommer bör varje modul ha en bypass funktion som gör att strömmen kan fortsätta cirkulera i kretsen. Detta därför att hela strängen inte ska påverkas av att en mindre del av systemet inte bestrålas med solljus. Det är efter denna kopplingslåda som växelriktaren kopplas in (Solelprogrammet, u.å. (b)). Växelriktaren konverterar likström till växelström och ser även till att rätt spänningsnivå bibehålls för cellerna. Detta görs för att maximera systemets effekt (Energimyndigheten, 2009).

För att kunna utföra service och reparationsarbete kopplas en DC-brytare (likströmsbrytare) in på systemet. Detsamma gäller efter växelriktaren där det kopplas in en AC-brytare (växelströmsbrytare). Efter brytaren kopplas det normalt in en elmätare, för att ha full kontroll på elproduktionen. Systemet kopplas sedan in i byggnadens elcentral. Härifrån kan elen sedan användas vid behov alternativt skickas ut på elnätet (Solelprogrammet, u.å. (b)). Hela förloppet visas i en schematisk bild i figur 7. Beroende på vilka elhandelsavtal och nätägare som innehar marknaden finns olika möjligheter att sälja den producerade elen (Vattenfall, 2017). Den hållbara lösningen för småskalig produktion är nettodebitering, det vill säga att den producerade elen räknas av från elfakturan (netto = köpt el - inmatad el). Denna modell finns i flertalet EU länder men tillåts än så länge inte av svensk lagstiftning. Istället faktureras utmatad el och köpt el var för sig till olika pris (Svesol, u.å.).

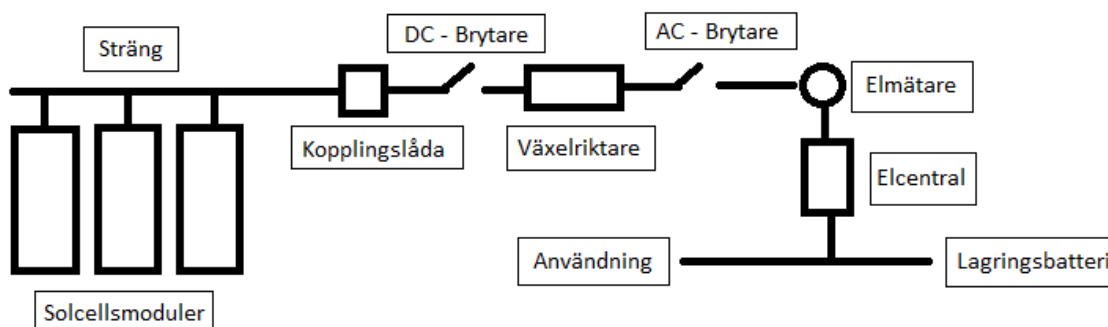


Figur 7. Schematisk bild över det nätanslutna elsystemet för en standardfastighet.

3.3.2 Fristående system

Ett fristående system fungerar precis som ett nätanslutet med skillnaden att överskottsel inte matas ut på elnätet. Överskottet lagras istället i ett lagringsbatteri, alternativt bryts kretsen då

behov inte finns om batteri saknas vilket visas i figur 8. Om lagringsbatteri används krävs det, för vissa typer av batterier, även en laddningsregulator för att förhindra överladdning eller djupurladdning. I vissa fall behövs inte en växelriktare då batterier används (Solar Region Skåne, 2016). För detaljerad information om lagringsbatterier se kapitel 3.4.



Figur 8. Schematisk bild över det fristående elsystemet för en standardfastighet

3.4 Lagringsbatterier

3.4.1 Bakgrund

Det finns en rad olika batterier för olika typer av ändamål. De kan bland annat användas inom elektronikvärlden där de fungerar som strömkälla till både mobiler, surfplattor och datorer. De finns även i köksutrustning och i elbilar. Detta avsnitt syftar främst till att belysa lagringsbatterier kopplade till lagring av elenergi för fastigheter.

Dagens batteri är en vidareutveckling av Voltas stapel som Alessandro Volta konstruerade redan år 1800 (Warell & Karlsson, u.å.) (Larsson & Ståhl, 2012 (b)). Det batteriet bestod av negativa zinkplattor och positiva kopparplattor som var seriekopplade och separerade med tyglappar indränkta i svavelsyra (Warell & Karlsson, u.å.). Det var första gången som en konstant ström skapades från ett batteri (Larsson & Ståhl, 2012 (b)). Det första laddningsbara batteriet uppfanns år 1860 av en fransk fysiker som hette Gaston Planté. Det var ett blybaserat batteri där blyplattor var nedsänkta i en lösning med svavelsyra (Nationalencyklopedin, u.å.).

Sedan år 1800, då det första batteriet demonstrerades, har batteriet utvecklats i takt med att behovet av batterier i olika applikationer har ökat (Larsson & Ståhl, 2012 (b)). Till en början användes batterier främst inom telegrafi, senare inom telefoni och kring sekelskiftet 1900 användes batterier i elektriska bilar (Warell & Karlsson, u.å.). På senare år är det främst bärbara apparater och elbilar som har drivit utvecklingen av batterier framåt, där förbättrad vikt, energidensitet och kostnad har varit fokus för utvecklingen. Den historiska utvecklingen av batterier följer alltså ganska tydligt applikationsmarknadens utveckling och idag finns det bl.a. bly-, nickel- och litiumbaserade batterier (Larsson & Ståhl, 2012 (b)).

3.4.2 Olika batterier för lagring av elenergi producerad av solceller

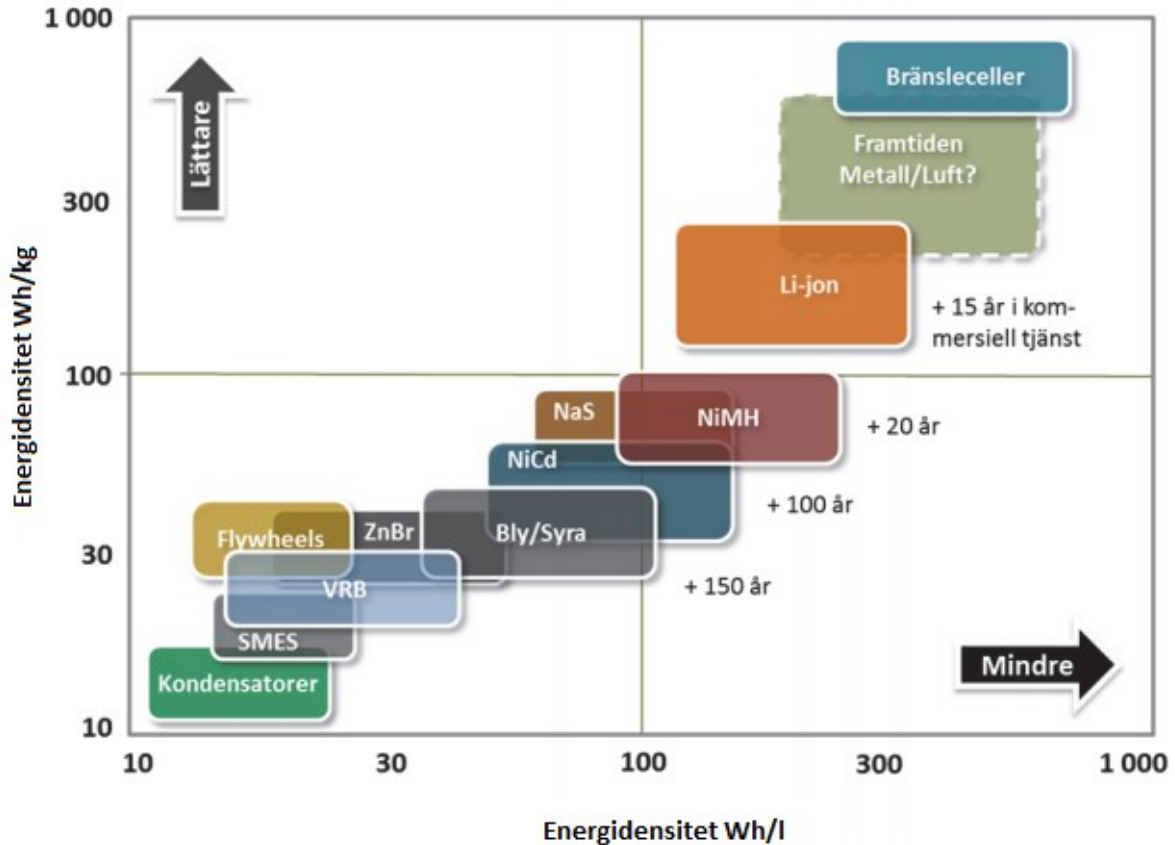
Den ökade produktionen av förnyelsebar energi har lett till ett ökat behov av att kunna lagra energi. Förr betraktades elenergi som något som tillverkades momentant för att sedan konsumeras direkt, men detta synsätt håller alltså nu på att förändras (Hansson, 2016). Ett sätt att lagra energi på är att använda så kallade ackumulatörer även kallade laddningsbara batterier.

Batterier har använts till solceller för energilagring under lång tid men då främst för områden som saknar tillgång till elnätet. Med ny teknik har syftet även blivit att lagra elenergi i fastigheter som är anslutna till elnätet för att kunna maximera solcellernas och solens kapacitet (de Oliveira e Silva & Hendrick, 2016). Batterier brukar utvärderas baserat på egenskaper såsom säkerhet, effektivitet/verkningsgrad, motståndskraft mot fukt och temperatur, energi- och effektdensitet, antal laddningscykler, underhåll och läckage av energi på grund av ålder (Diouf & Pode, 2015).

3.4.2.1 Litiumjon- och blybatteri

Det finns två huvudsakliga typer av batterier för lagring av elenergi i bostäder. Dessa är litiumjonbatterier och blybatterier, där blybatterierna är de än så länge vanligast förekommande (Diouf & Pode, 2015). Batterierna fungerar på ungefär samma sätt med skillnaden att de har olika föreningar, vilka verkar som anod och katod i batteriet, det vill säga deras plus och minuspoler är uppbyggda av olika material som ger dem olika egenskaper (Åquist, Cell, u.å. (a)). Varje typ av batteri har i sin tur undergrupper, det vill säga det finns olika varianter av litiumjon- och blybatterier (Larsson & Ståhl, 2012 (b)).

Blybatterier tillhör den äldre generationens batterier och har en låg energi- och effektdensitet (de Oliveira e Silva & Hendrick, 2016). Livslängden för denna typ av batteri uppgår till några år. Litiumjonbatterier har tvärtom blybatterier en lång livstid på upp till ca 20 år beroende på antalet cykler. Antalet cykler innebär hur många fulla laddningar batteriet klarar av innan det är att betrakta som förbrukat. Styrande för antalet cykler ett batteri klarar av är kopplat till batteriets förmåga att urladdas, en högre urladdningsprocent ger fler antal cykler. Risken med en hög urladdningsprocent är dock att batteriet inte får totalt urladdas eftersom det då inte längre är stabilt (Diouf & Pode, 2015) och risk finns för brand eller explosion (Larsson & Ståhl, 2012 (a)). Denna risk finns även vid överladdning av batterierna. Förutom batteriers förmåga att urladdas/överladdas styrs även antalet cykler av klimatförhållande. Högre relativ fuktighet i luften och en för hög alternativt för låg temperatur medverkar till att livslängden minskar. Normalt sett krävs inget underhåll av litiumbatterier, vilket är en stor fördel. Litiumjonbatterier har också en hög energidensitet jämfört med bland annat blybatterier vilket visas i figur 9 (Diouf & Pode, 2015).



Figur 9. Energidensitet för olika batterityper. Energidensiteten redovisas med avseende på volym på x-axeln och med avseende på vikt på y-axeln. I figuren visas även hur länge batterierna har funnits (Larsson & Ståhl, 2012 (a)).

Blybatterier kräver större plats än litiumjonbatterier på grund av lägre energidensitet, det vill säga för samma mängd energi krävs större volym. För fastigheter är platsbrist oftast inget problem men frågan bör beaktas (Diouf & Pode, 2015). Likaså bör hänsyn tas till brandrisk och risk för överhettning i kombination med placering av batteriet.

Verkningsgraden för litiumjonbatteri ligger på ca 85-100 % medan verkningsgraden för blybatteri är något lägre, 60-90 % (Jernkontoret, u.å.). Verkningsgraden kallas även för RTE (Round-trip Efficiency) och är ett mått på hur mycket energi som fås ut jämfört med hur mycket energi som matats in. RTE är lika med kvoten elenergi ut/elenergi in. Vilken ände av intervallet som används beror på förlusterna i anläggningen (Larsson & Ståhl, 2012 (a)). Detta berörs även i kap 2.3.3.

Det som gör litiumjonbatterier mindre fördelaktiga är dess höga pris. 2009 var medelpriset 650 USD/kWh och till år 2020 beräknas medelpriset ha minskat till ungefär 325 USD/kWh (Diouf & Pode, 2015). Motsvarande siffra är i medel 145 USD/kWh under 2014 för ett blybatteri (Vetter & Rohr, 2014).

I takt med att den förnyelsebara sektorn av elenergi ökar, ökar också behovet av att kunna lagra el när stora överskott i elnätet uppstår. Detta är också en potentiell framtid för lagringsbatterier både vad det gäller småskaliga batterier i fastigheter men också för större anläggningar (Diouf & Pode, 2015). Potentialen finns också att tillhandahålla elnätsägaren en tjänst genom att låta ägaren låna lagringsbatteriet vid överbelastning på elnätet. Detta skulle göra investeringen av ett lagringsbatteri mer kostnadseffektiv (Vetter & Rohr, 2014).

3.4.2.2 Framtida batteri

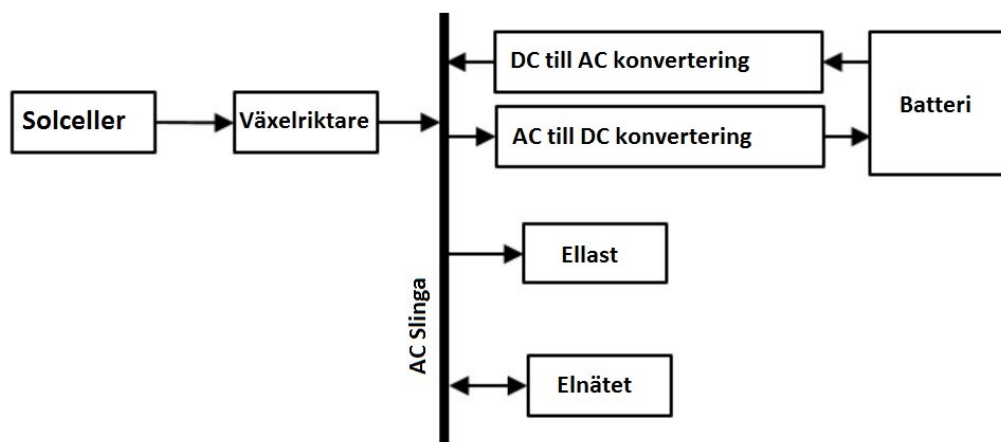
Framtiden för energilagring i batterier är god och omfattande ny forskning görs för att förbättra och hitta nya lösningar för att lagra energi i batterier. En teknik det forskas om är den så kallade litium/luft-principen vilken bygger på utbyte av elektroder från luften till litumanoden. Skulle principen gå att kommersialiseras skulle den kunna tiodubbla energidensiteten jämfört med ett vanligt litiumjonbatteri.

Det pågår också utveckling på nanonivå för att med kiselmaterial lagra energi i nanotrådar och på så vis tiodubbla batteriets kapacitet. Förutom redan nämnd forskning pågår det även test av batterier som består av anod och katod av partiklar i en trögflytande vätska. Batteristrukturen kallas för en ”semisolid flödescell” och fördelen med batteriet är att det kan skalas upp i stor storlek (Larsson & Ståhl, 2012 (b)).

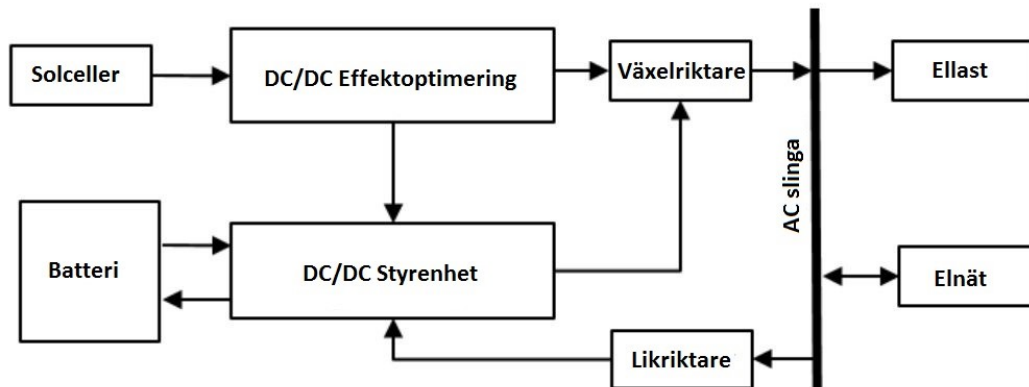
Förutom redan nämnda nya batterityper finns också de så kallade ”gröna batterierna”. Dessa bygger på delvis gammal teknik hämtad från redox flow där batterierna är uppbyggda av ett vätskeflöde i kombination med tungmetaller. Skillnaden nu är att tungmetallerna byts ut mot miljövänlig plast. Det forskas även på gröna batterier där den cirkulerande vätskan byts ut mot en fast plast. Problemet med denna typ är att forskare ännu inte har lyckats få batteriet stabilt nog. För närvarande finns ingen kommersiell produkt att tillgå, men utvecklingen går snabbt framåt på grund av stora investeringsstöd i bland annat länder som Japan, USA och Tyskland (Hansson, 2016).

3.4.3 Systemlösningar för kombination solceller och batterier

Genom möjligheten att el kan användas både som likström och som växelström finns det olika sätt att kombinera komponenterna i systemet för en solcellsanläggning med batteri. Storleken på systemet är också avgörande för hur sammankopplingarna mellan olika komponenter kommer att se ut. Utgångspunkten bör vara att minimera förlusterna i systemet, det vill säga systemet skall utformas så att den totala verkningsgraden blir så hög som möjligt. I figur 10 och figur 11 redovisas två vanliga typer av system med tillhörande komponenter. Vissa batterier har en inbyggd växelriktare, nedan redovisas dock batteri och växelriktare som två separata komponenter.



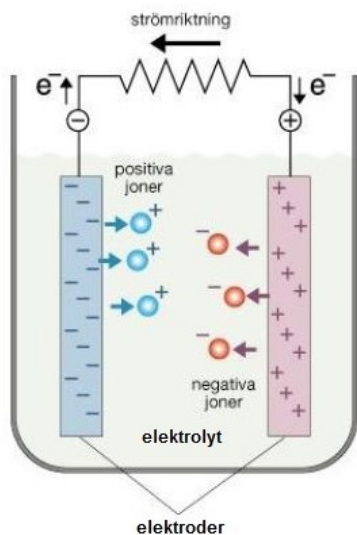
Figur 10. Schematisk skiss över ett växelströmsystem utan hänsyn till strömbrytare och kopplingsboxar (NREL, 2017).



Figur 11. Schematisk skiss över ett likströmssystem utan hänsyn till strömbrytare och kopplingsboxar (NREL, 2017).

3.4.4 Hur ett laddningsbart batteri fungerar

Ett laddningsbart batteri är generellt uppbyggt av en elektrokemisk cell alternativt flera elektrokemiska celler (Karlsson, u.å.) som alstrar elektrisk ström genom kemiska reaktioner i cellen (Åquist, Cell, u.å. (b)). I varje elektrokemisk cell finns en positiv elektrod, en negativ elektrod och en elektrolyt mellan de båda elektroderna. Elektrolyten är ofta uppsugen i en porös separator (Karlsson, u.å.) som endast tillåter joner att röra sig mellan elektroderna, inte elektroner (Larsson & Ståhl, 2012 (b)). De båda elektroderna i cellen är kopplade till varandra genom en yttre strömkrets (Åquist, Cell, u.å. (b)). I figur 12 visas en elektrokemisk cell och dess ingående komponenter. I det fall batteriet är uppbyggt av flera elektrokemiska celler är dessa serie- eller parallellkopplade (Karlsson, u.å.) för att uppnå önskvärd spänning (Åquist, Cell, u.å. (b)).



Figur 12. Elektrokemisk cell (Åquist, Cell, u.å. (b)).

Batterier laddas ur då en yttre belastning, såsom en glödlampa, sluter kretsen och kopplar samman elektroderna, vilket gör att elektroner kan färdas från minuspol till pluspol (Larsson & Ståhl, 2012 (b)). Ett batteri som har laddats ur kan laddas upp igen, förutsatt att det är laddningsbart, genom att det ansluts till någon yttre strömkälla. Denna strömkälla matar

strömmen i motsatt riktning jämfört med riktningen vid urladdning och elektronerna rör sig alltså från pluspol till minuspol vid laddning (Karlsson, u.å.).

I litiumjonbatterier är vanligtvis den positiva elektroden en litium-metall-oxid, exempelvis litium-kobolt-oxid LiCoO_2 , den negativa elektroden är grafit och elektrolyten är en litiumsalltösning i en organisk lösning (Scrosati & Garche, 2010).

3.4.5 Produkter med litiumjonteknik på den svenska marknaden

Marknaden består idag av en blandning mellan den äldre tekniken med blybatterier och den nya tekniken med litiumjonbatterier. Leverantörer av litiumjonbatterier är bland annat Tesla och Eon. Eon köper in sina batterier från den tyska tillverkaren SOLARWATT och de riktar sig mot villor (Eon, 2017). Tesla producerar sina litiumjonbatterier i USA och säljer de sedan till en global marknad. Deras batterier produceras för bostäder under namnet Powerwall 2. De producerar även större batterier för industrier och storskalig lagring genom deras produkt Powerpack (Tesla, u.å. (b)). En helsvensk lösning är den så kallade Box of Energy som är ett litiumjonbatteri framtaget av svenska ingenjörer och marknadsförs mot villor och flerbostadshus men finns även för större anläggningar (Box of energy, u.å.).

Teslas Powerwall 2 har en kapacitet på 13 kWh och kan sammankopplas till totalt nio enheter. Enligt deras produktblad kan de även urladdas till 100 %. Batteriet är uppbyggt av en del som innehar batteriet samt en inbyggd växelriktare och en vätskekylare, tillsammans har dessa komponenter en total verkningsgrad på 90 %. Batteriet är testat och godkänt för att leverera el under temperaturvariationen -20 °C till $+50\text{ °C}$ vilket tillsammans med ett tätt skal gör det möjligt att placera såväl inomhus som utomhus. Batteriet fungerar för både nätanslutna och självständiga system (Tesla, 2017).

Powerpack är Teslas stora batterier och de har en kapacitet på 210 kWh (Tesla, u.å. (a)). Powerpack har i princip ingen övre gräns för uppskalning och det finns projekt där 800 enheter har sammankopplats och kan leverera en kapacitet på 80 MWh (Randall, 2017). Powerpack består av 16 kapslar som alla innehåller ett batteri och en växelriktare. Kapslarna kyls med vätskekylning och kontrolleras av sensorer som mäter varje cells prestanda i batterierna. Powerpacken är konstruerad för att klara en temperaturvariation mellan -30 °C och $+50\text{ °C}$. Verkningsgraden för Powerpack och dess komponenter är 88-89 % och kan urladdas till 100 % (Tesla, u.å. (a)).

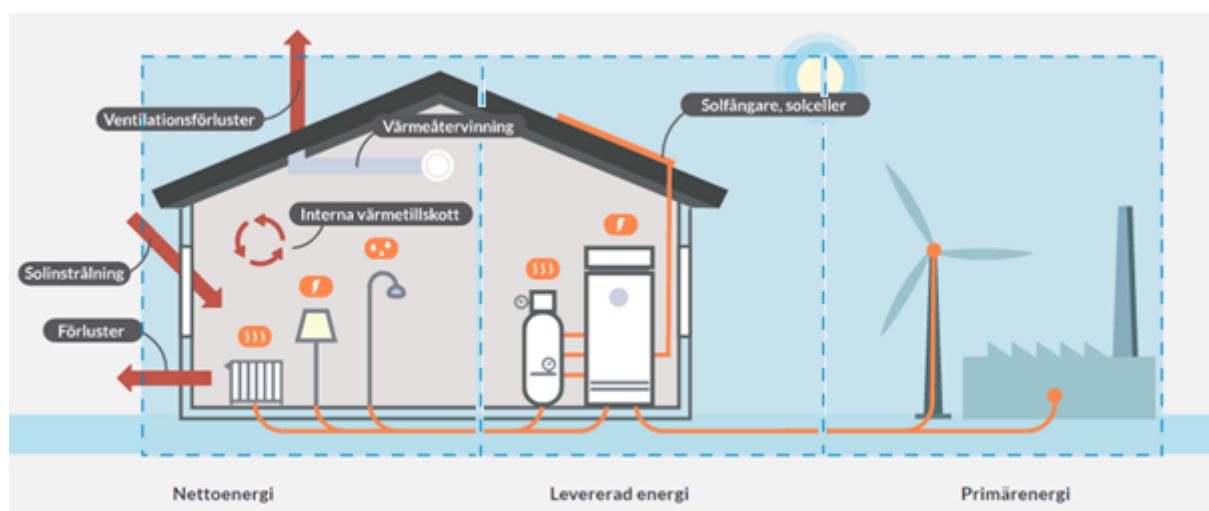
Eons batterier har tillskillnad mot Teslas endast en kapacitet på 4,4 kWh (Eon, 2017) och de har en övre gräns på 11 kWh vid seriekoppling (SOLARWATT, u.å.). Verkningsgraden för batteriet ligger på mellan 93-96 %, dock saknas uppgift om det inkluderar växelriktare. Livslängden är uppskattad till 20 år med 4200 laddningscykler vilket motsvarar 210 stycken per år. Kostnaden för ett batteri från Eon ligger på 60 000 kr (Eon, 2017) vilket kan jämföras med ca 55 000 kr för Teslas Powerwall 2. Priserna är exklusive installation (Tesla, 2017).

Box of energy finns i ett flertal kapacitetsnivåer men för batteriet som riktar sig till flerbostadshus börjar storleken på 72 kWh och kan sedan ökas på i steg om 12 kWh. Produkten går att använda både till fristående och nätanslutna system och har en uteffekt på 6,4 kW. Verkningsgraden ligger på ca 85 % och kan operera under temperaturintervallet -25 °C till $+35\text{ °C}$. Boxen innehåller förutom lagringsbatterier även en inbyggd växelriktare samt ett vätskekylsystem (Box of energy, u.å.).

3.5 Energiberäkning

En energiberäkning genomförs för att fastställa energianvändningen i en byggnad. Detta genom att beräkna en energibalans mellan tillförd och bortförd energi. Tillförd energi utgörs av den energimängd som byggnaden tillgodoses varav en del utgörs av levererad energi vilken motsvarar energianvändningen. Energinvändningen ligger sedan till grund för om myndighetskrav på energihushållning uppfylls eller ej (Energilyftet, u.å.).

För att en energiberäkning skall kunna genomföras för en byggnad, krävs val av systemgräns. Boverkets definition av systemgräns är den gräns, i eller runt byggnaden, som definierar vilken energi som räknas in i energiberäkningen. Val av systemgräns är således vital för att genomföra en korrekt beräkning (Boverket, 2015 (a)). De nya NNE-kraven (kapitel 3.1.4) föreslår en systemgräns som tar hänsyn till hur energin är producerad, den så kallade primärenergien (Boverket, 2017 (c)). Tidigare BBR krav har haft som regel att enbart beakta den levererade energin. Ett exempel på systemgränser redovisas i figur 13. Figuren redovisar även viktiga energiposter som används vid en energiberäkning och som beskrivs längre ner (Energilyftet, u.å.).



Figur 13. Systemgränser för en typbyggnad. De systemgränser som redovisas är Nettoenergi, Levererad energi och Primärenergi. (Energilyftet, u.å.)

Den bortförda energin i energibalansen är bland annat transmissionsförluster genom klimatskalet, vilka styrs av byggnadens U-värde och köldbryggor. Utöver transmissionsförluster genom klimatskalet sker det även förluster på grund av ventilation och på grund av luftläckage genom byggnaden. Storlek på ventilationsförlusten beror på vilken värmeåtervinningsgrad ventilationssystemet har. Avlopp i byggnaden bidrar också till energiförluster i form av värme (Energilyftet, u.å.).

Den tillförda energin i energibalansen utgörs av interna laster, externa laster och levererad energi. De interna lasterna kan exempelvis utgöras av personer, belysning och elektronisk utrustning. De externa lasterna utgörs främst av solinstrålning, både direkt och indirekt. Gratisenergin kommer byggnaden tillgodo genom att sänka dess värmebehov och således minskas den levererade energin (Energilyftet, u.å.).

Den levererade energin utgörs av dels egenproducerad energi i anslutning till byggnaden och dels av köpt energi. Den egenproducerade energin kan exempelvis vara från solceller,

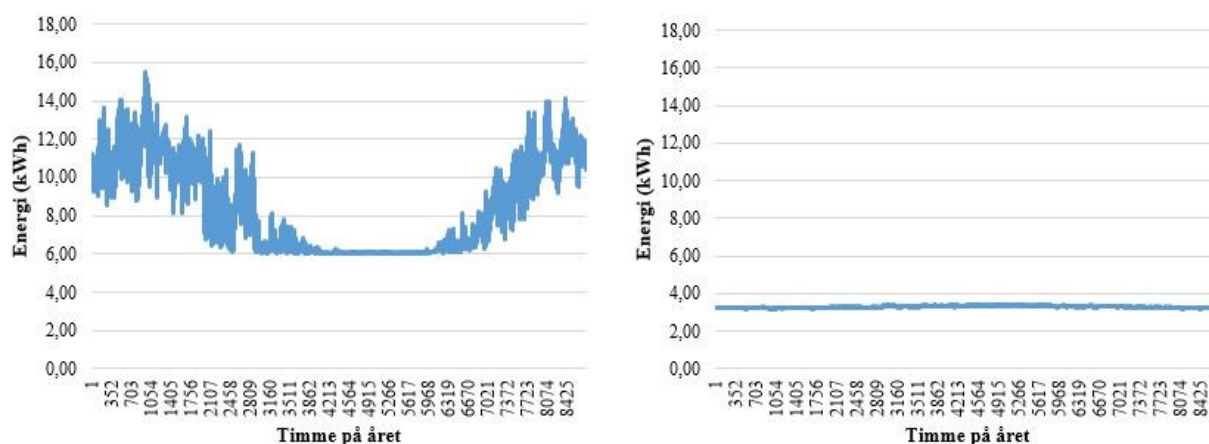
solfångare eller vindkraftverk. Köpt energi är energi levererad av externa producenter. Dessa kan vara fjärrvärmeverk eller elnätsbolag. Levererad energi används till både energiposten fastighetsel och till uppvärmningsenergin i energiberäkningen. Fastighetsel inkluderar el till pumpar, fläktar, utomhusbelysning med mera medan uppvärmningsenergin används till tappvarmvatten och till att värma byggnaden (Energilyftet, u.å.). Hushållsel bidrar endast till internlast, i övrigt påverkar den inte byggnadens energianvändning.

En energiberäkning kan göras antingen via handberäkning eller med hjälp av beräkningsprogram beroende på storlek och komplexitet. Vanliga beräkningsprogram som används inom branschen är IDA ICE och VIP Energy. Ibland kan ytterligare program behöva användas, exempelvis om energitillskott från solenergi ska beräknas (Energilyftet, u.å.).

3.6 Ellastprofil och överskottsproduktion av sol i flerbostadshus

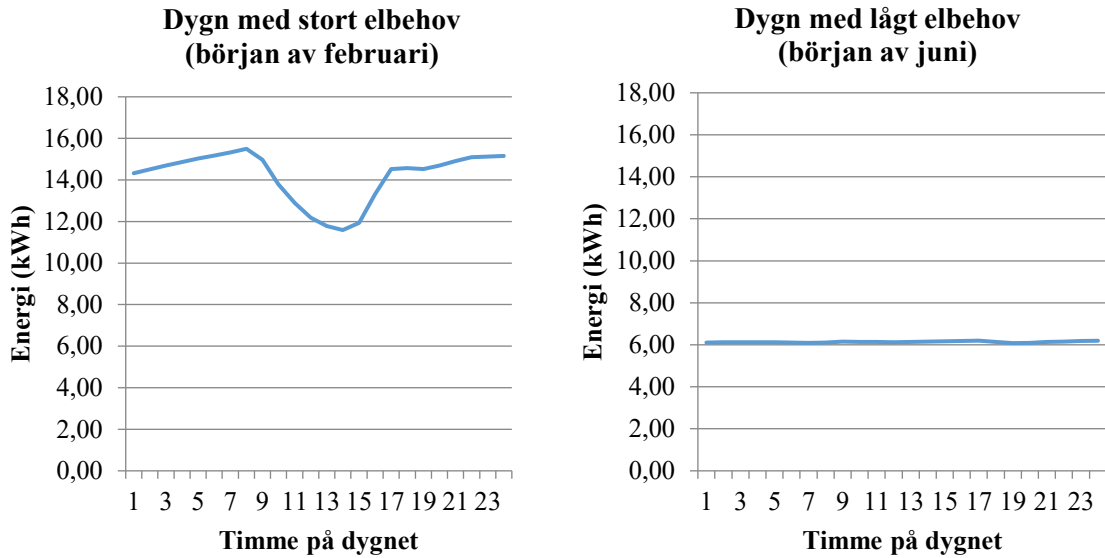
3.6.1 Ellastprofil - fastighetselanvändning

Ellastprofilen för ett flerbostadshus redovisar byggnadens fastighetselanvändning för varje timme under ett år (Fahlén, o.a., 2016). Vid nybyggnation är byggnadens framtida energianvändning osäker och ellastprofilen baseras då på en beräknad fastighetselanvändning under ett normalår. Denna fastställs genom en energiberäkning och processen för denna beräkning förklarades övergripande i kapitel 3.5. I figur 14 redovisas exempel på en ellastprofil för ett flerbostadshus med värmepump respektive fjärrvärme som uppvärmningssystem. Ellastprofilen är i princip konstant i fallet med fjärrvärme medan i fallet med värmepump finns det en viss variation över året.



Figur 14. Ellastprofil flerbostadshus med värmepump som uppvärmningssystem (t.v.) och fjärrvärme (t.h.) (baserat på resultat från beräkningar i detta arbete)

Om en solcellsanläggning ska installeras i en byggnad, vilket utreds i detta arbete, finns det intresse av att studera ellastprofilen sett över ett dygn. Detta eftersom elproduktionen i solcellerna ska matcha fastighetselanvändningen i byggnaden för att solcellerna ska kunna utnyttjas på bästa möjliga sätt. I figur 15 redovisas ett utdrag från ellastprofilen för ett flerbostadshus med värmepump som redovisades i figur 14. Ellastprofilen redovisas för ett dygn i februari med årets största elbehov och ett dygn i juni med årets lägsta elbehov.

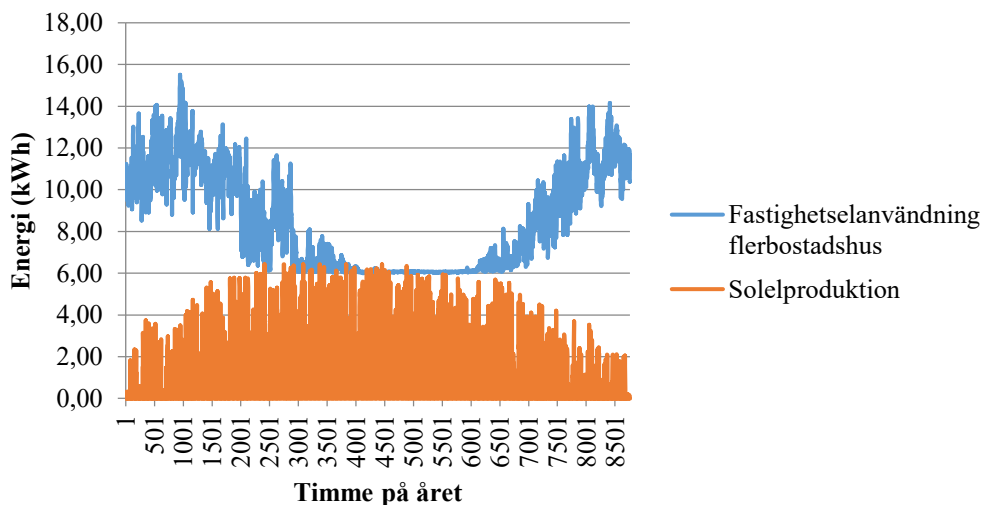


Figur 15. Exempel på elastprofil sett över ett dygn i ett flerbostadshus med värmepump som uppvärmningssystem

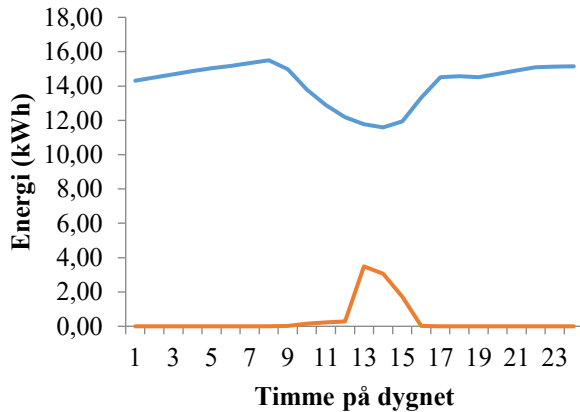
Det finns en viss variation i fastighetselanvändningen i februari. Elanvändningen är som lägst mitt på dagen när de boende inte är hemma i lika stor utsträckning som på kvällar, nätter och morgnar. Fastighetselanvändningen en dag i juni är i princip konstant enligt figur 15. För fjärrvärme ser dygnsprofilen ut som för värmepump fast med ett mer konstant utseende på kurvan och med lägre elförbrukning.

3.6.2 Elastprofil – Solceller och fastighetselanvändning

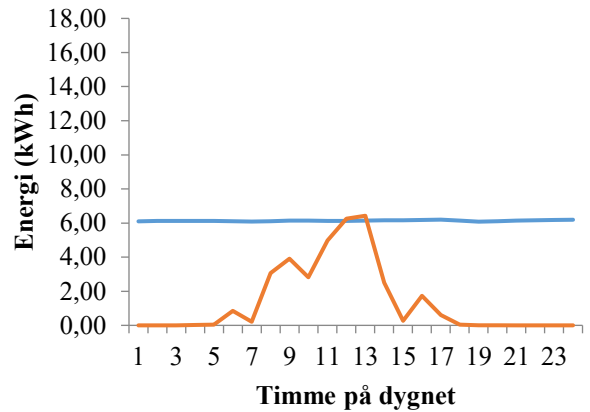
Om solceller installeras i flerbostadshuset med värmepump vars elastprofil redovisats ovan erhålls solelproduktion enligt figur 16, figur 17 och figur 18 om överskottsproduktion undviks. Överskottsproduktion erhålls om solelproduktionen överstiger fastighetselanvändningen i byggnaden vid en specifik tidpunkt. Överskottsproduktionen är därmed den andel av energin som producerats i solcellerna som inte kunnat användas i byggnaden på timbasis (Fahlén, o.a., 2016).



Figur 16. Solelproduktion sett över ett normalår då överproduktion undviks



— Fastighetselanvändning dygn i februari
— solelproduktion

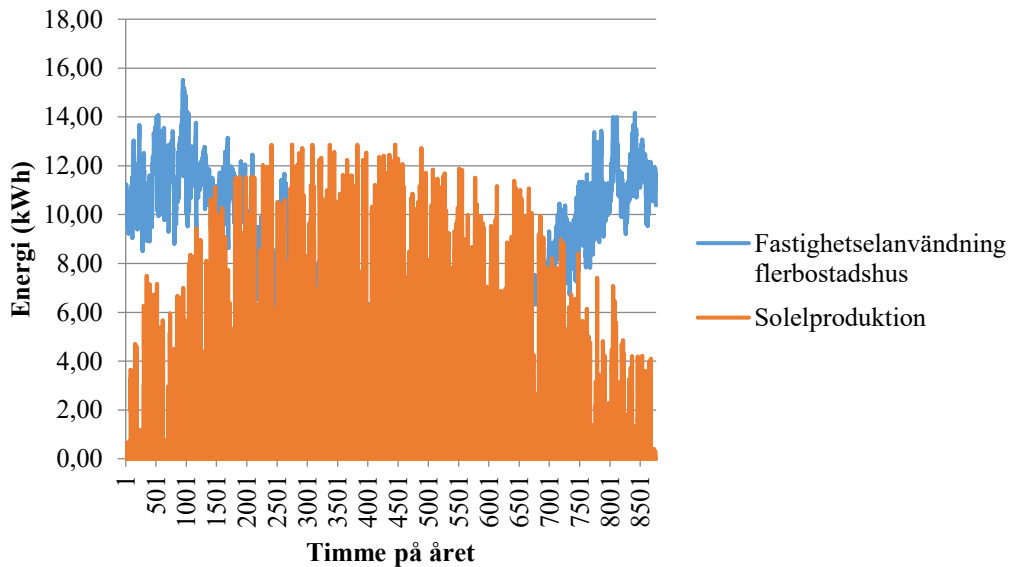


— Fastighetselanvändning dygn i juni
— Solelproduktion

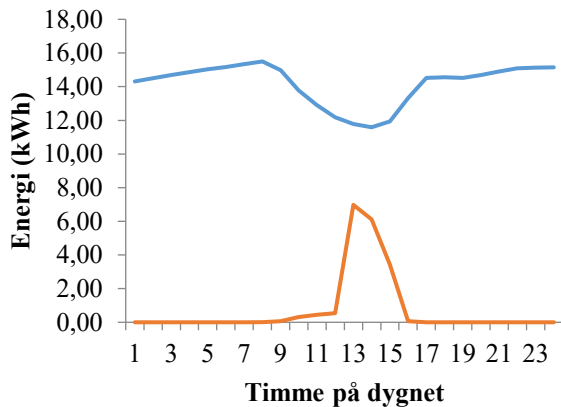
Figur 17. Solelproduktion ett dygn i februari

Figur 18. Solelproduktion ett dygn i juni

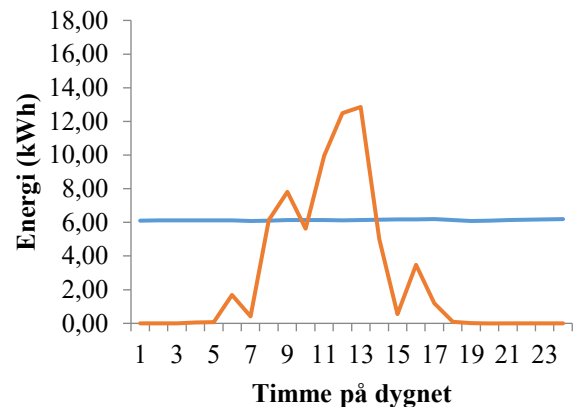
Om en större andel av fastighetselanvändningen ska täckas av el som genereras i solcellerna behöver solcellsanläggningen vara större än den i figur 16, figur 17 och figur 18. En större solcellsanläggning genererar också överskottsproduktion av el. Detta illustreras i figur 19, figur 20 och figur 21 för ett fall då överskottsproduktionen är ca 15 % sett över ett år i ett flerbostadshus med värmepump.



Figur 19. Solelproduktion sett över ett normalår då ca 15 % överskottsproduktion erhålls



— Fastighetselanvändning dygn i februari
— solelproduktion



— Fastighetselanvändning dygn i juni
— Solelproduktion

Figur 20. Solelproduktion ett dygn i februari vid ca 15 % överskottsproduktion över året

Figur 21. Solelproduktion ett dygn i juni vid ca 15 % överskottsproduktion över året

Från figur 19 kan det konstateras att överskottsproduktion främst erhålls under vår, sommar och höst. Det blir också tydligt från figur 20 som redovisar solelproduktionen ett dygn i februari då ingen överskottsproduktion erhålls samt från figur 21 där överproduktion erhålls ett dygn i juni. På samma sätt som ovan kan liknande ellastprofiler för fjärrvärme erhållas. Dessa ellastprofiler kommer vara mer konstanta över både dygnet och året jämfört med de för värmepump.

3.6.3 Överskottsproduktion av el

Överskottsproduktion av el är, som tidigare nämnts, den andel av energin som producerats i solcellerna och som inte kunnat användas direkt i byggnaden på timbasis. Denna överskottsproduktion behöver användas på något vis. Den kan antingen skickas ut på elnätet mot ersättning eller lagras i ett batteri i byggnaden.

Om överskottselen skickas ut på elnätet används den inte i byggnaden och den kan därmed inte avräknas från elenergianvändningen vid beräkning av byggnadens energiprestanda. Överskottsproduktionen kan i det fallet inte hjälpa till att förbättra energiprestandan. Överskottsproduktionen som matas ut på elnätet kan säljas till ett elbolag. Försäljningspriset beror av det avtal som skrivs med elbolaget (Solar Region Skåne, 2017). Överskottsproduktionen kan därmed bidra till intäkter men storleken på dessa är direkt beroende av överenskommet försäljningspris.

Om överskottsproduktionen istället lagras i ett batteri i byggnaden kan den användas vid en tidpunkt då solelproduktionen inte kan tillgodose fastighetselbehovet. Detta innebär att överskottselen kan användas i byggnaden och därmed kan den avräknas från elenergianvändningen vid beräkning av byggnadens energiprestanda. Exempelvis kan batterier lagra den elenergi som fastigheten inte kan tillgodoräkna sig vilket visas tydligt i figur 21 mellan kl 8 och kl 14. Dock kan batterier inte lagra all producerad solenergi då det skulle innebära orimligt stor lagringskapacitet hos batterier, vilket inte är ekonomiskt försvarbart.

3.7 Ekonomiskt stöd för solel i Sverige

Vid installation av solceller på en byggnad finns möjlighet att få tre olika ekonomiska stöd vilka nämns och förklaras närmre nedan.

- *Elcertifikat*
Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem som ska öka produktionen av förnybar el på ett kostnadseffektivt sätt. Systemet medger att producenter av förnyelsebar elproduktion erhåller elcertifikat för varje megawattimme el de producerar. Dessa certifikat kan sedan säljas till elleverantörer som är skyldiga att köpa ett visst antal certifikat i förhållande till deras elförsäljning. Elleverantörerna tar i sin tur ut kostnaden på sina kunder (Energimyndigheten, 2016 (a)).
- *Investeringsbidrag*
Investeringsbidrag är ett bidrag som går att söka från Energimyndigheten och har till syfte att främja nyinvestering av solceller för att lättare ställa om till förnyelsebar energiproduktion. Investeringsbidraget är 30 % på investeringskostnaden för företag men kan maximalt uppgå till 1,2 miljoner kr (Energimyndigheten, 2015 (b)).
- *Skattereduktion*
Skattereduktion har mikroproducenter möjlighet att få på den el som matas ut på elnätet. Definitionen av en mikroproducent är en producent av förnybar energi i liten skala vilket innebär en säkring i anslutningspunkten på högst 100 Ampère. Skattereduktionen är 60 öre per såld kilowattimme på årsbasis, dock max 18 000 kr/år. Skattereduktion erhålls endast för motsvarande mängd kilowattimmar som mikroproducenten tagit ut från elnätet och begränsas till högst 30 000 kWh/år (Skatteverket, u.å.).

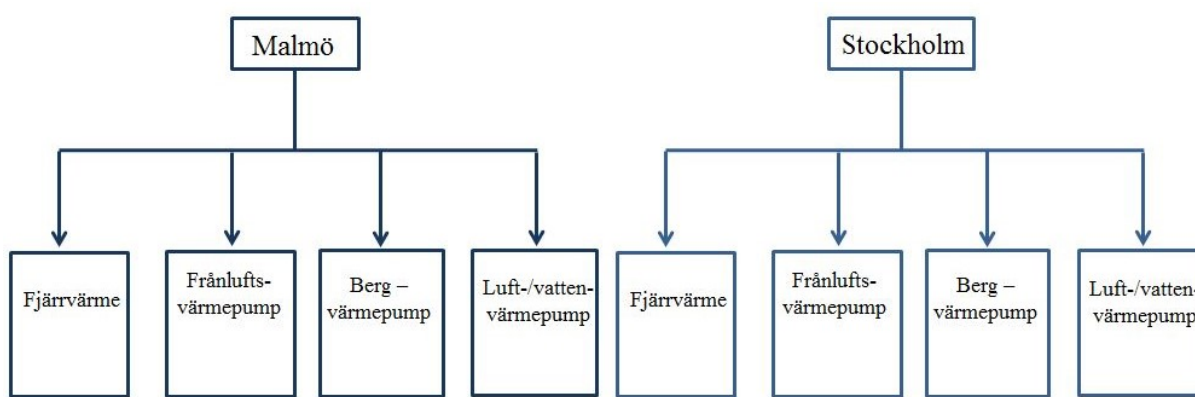
4 Energiberäkning

Detta avsnitt behandlar beräkningsgången för fastställandet av referenshusets energiprestanda uttryckt i primärenergital (PET). Ett fullständigt beräkningsexempel redovisas i bilaga 4.

4.1 Förutsättningar

I detta avsnitt redovisas referensobjektet som används vid samtliga beräkningar i arbetet tillsammans med relevant indata för den del av energiberäkningen som genomförs i datorprogrammet IDA Indoor Climate & Energy (IDA ICE), samt indata till beräkningen av producerad och lagrad solenergi som utförs i byggföretagets verktyg för solet.

Energiberäkningarna utförs för åtta olika fall där byggnaden är belägen på två olika orter i Sverige (Malmö och Stockholm) och med fyra olika uppvärmningssystem på respektive ort. Samtliga beräkningsfall illustreras i figur 22.

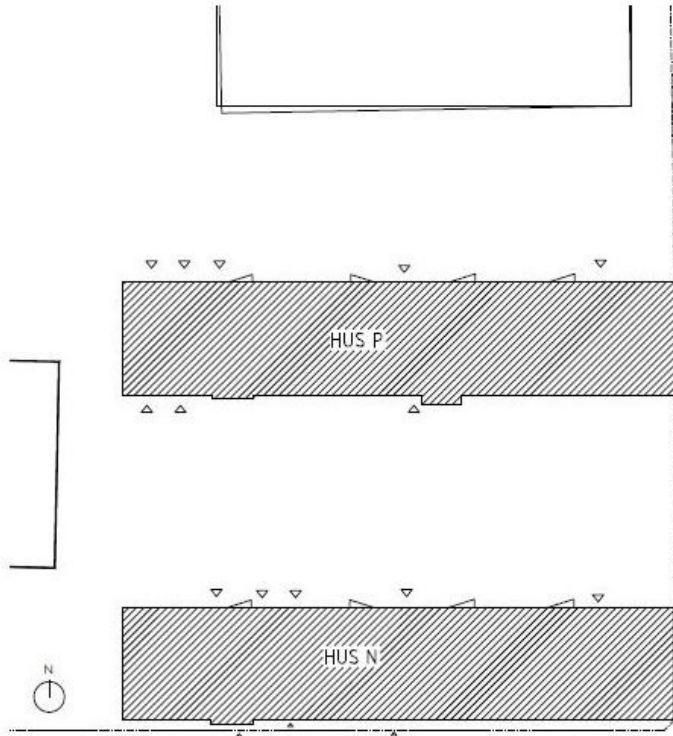


Figur 22. Schema över de beräkningsfall som studeras för ort respektive uppvärmningssystem.

Energiberäkningarna i detta arbete utförs i huvudsak i datorprogrammet IDA ICE(version 4.7.1), med undantag för producerad och lagrad solenergi som beräknas i byggföretagets verktyg för solet.

4.1.1 Referenshus

Referensobjektet som används vid beräkningarna i detta arbete är ett flerbostadshus med rektangulär geometri. Utformning och orientering framgår av figur 23, där Hus P är den byggnad som används som referensobjekt. Även figur 24 och figur 25 redovisar byggnadens utformning.



Figur 23. Utformning och orientering referenshus. Hus P används som referenshus.

Referenshuset inrymmer hyreslägenheter på 5 plan tillsammans med tvättstuga, förråd, teknikrum, trapphus och miljörum (soprum med källsortering). Utformningen på respektive plan redovisas i bilaga 5. Byggnadens totala A_{temp} är 3762 m^2 . Taklutningen är 39° och en stor del av takytan åt söder kan utnyttjas av solceller, se figur 25.



Figur 24. Referenshusets fasad mot norr.



Figur 25. Referenshusets fasad mot söder.

4.1.2 Indata IDA ICE

I detta avsnitt presenteras, i stora drag, den indata som används vid energiberäkningarna i IDA ICE. Indata redovisas i sin helhet i bilaga 6. För indata som rör energi till uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi antogs värden som gäller vid normalt brukande under ett normalår, i enlighet med Boverkets definition av byggnaders energianvändning. Dessa värden hämtas från Boverkets författning *BEN 2*.

Referenshuset placeras på två olika *orter* i Sverige: Malmö och Stockholm. Anledningen till detta är att ett större geografiskt område ska kunna tillämpa resultatet som presenteras i detta arbete. Stockholm väljs eftersom det är Sveriges största stad, vilket gör att många människor och företag direkt kan dra nytta av studien. Malmö väljs eftersom examensarbetet utförs i samarbete med byggföretagets kontor i Malmö, som därför har stort intresse av att tillämpa resultatet i kommande projekt.

Referenshuset inrymmer, som tidigare nämnts, lägenheter (1, 2, 3 och 4 rok), tvättstuga, förråd, teknikrum, trapphus, miljörum samt schakt vid trapphus. Planlösningen för respektive plan framgår av bilaga 6. Av dessa utrymmen är det endast miljörum och schakt vid trapphus som inte inkluderas i byggnadens A_{temp} .

Byggnaden har grundläggningsmetoden platta på mark, bjälklag av betong och lätta utfackningsväggar. Utformningen av respektive konstruktionsdel redovisas i bilaga 6. Byggföretagets erfarenhetsvärden för köldbryggor används i modellen i IDA ICE, se tabell *Konstruktion* i bilaga 6. Den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för byggnaden är $U_m = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ och krav enligt BBR 2021 ($U_m = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) uppfylls därmed.

Referenshuset analyseras med fyra olika *uppvärmningssystem*: fjärrvärme, frånluftsvärmepump, bergvärmepump samt luft-/vattenvärmepump. Detta för att redovisa uppvärmningssystem beroende av övrig energi respektive elenergi. Anledningen till detta är att byggnaders energiprestanda, efter Boverkets ändringar år 2017, beräknas med primärenergifaktorer för elenergi respektive övrig energi. Primärenergifaktorn för el är större än den för övrig energi vilket innebär att 1 kWh elenergi har större inverkan på byggnadens energiprestanda än 1 kWh övrig energi.

I fallet med fjärrvärme är *ventilationssystemet* i byggnadens uppvärmda utrymmen av typen FTX med en roterande värmeväxlare. Den roterande värmeväxlaren har en torr temperaturverkningsgrad på 80%. Miljörummet, som är ett icke uppvärmt utrymme, har

endast ett självdragssystem som i IDA ICE representeras av ett F-system med lågt frånluftsflöde. I fallet med frånluftsvärmepump är ventilationssystemet i byggnadens uppvärmda utrymmen istället ett frånluftssystem (F-system). Det finns alltså ingen tilluftsfläkt och det sker ingen uppvärmning av tilluften. Värmeåtervinningen i ventilationssystemet stängs också av i IDA ICE. Ventilationssystemet i miljörummet är detsamma som i fallet med fjärrvärme. För uppvärmning med bergvärmepump respektive luft-/vattenvärmepump är ventilationssystemet uppbyggt på samma sätt som för fallet med fjärrvärme. Samtliga luftflöden presenteras i bilaga 6.

*Internlast*er i form av personer, elektronisk utrustning och belysning ger upphov till spillvärme och inkluderas därför i modellen i IDA ICE. Antalet personer per lägenhet hämtas från Boverkets föreskrift *BEN 2*, som också anger att varje person kan antas avge 80 W till omgivningen 14 h/dygn (BFS, 2017 (b)). Användningen av elektronisk utrustning i lägenheterna (såsom datorer, tvättmaskin och spis) räknas till hushållselen, men inkluderas i modellen i IDA ICE eftersom elanvändningen bidrar till uppvärmning av byggnaden. Enligt *BEN 2* får endast 70 % av hushållselanvändningen tillgodoräknas som värme under uppvärmningssäsongen (BFS, 2017 (b)). Anledningen till detta är att en del av den värme som alstras av hushållsel-användningen försvinner direkt från huset, en del försvinner med avloppsvattnet och en del vädras bort när det är för varmt i byggnaden (Sveby, 2012 (a)). Därför säkerställs i IDA ICE att den totala lasten från hushållselen inte överstiger $21 \text{ kWh/m}^2(A_{\text{temp}})$, vilket motsvarar 70 % av årsschablonen enligt *BEN 2* som är $30 \text{ kWh/m}^2(A_{\text{temp}})$. Belysning i trapphus, tvättstuga, förråd, teknikrum och miljörum, vilket är fastighetsel, bidrar också till uppvärmning av byggnaden och inkluderas därför i modellen i IDA ICE. Antagna drifttider och effekter för belysningen är hämtade från Svebys Energiangivningar version 1.0 (Sveby, 2012 (b)) och redovisas i bilaga 6.

Infiltrationen i byggnaden antags vara $0,4 \text{ l/s,m}^2$ (utvändig yta) vid 50 Pa över-/undertryck i enlighet med byggföretagets rutiner för energiberäkningar. Eftersom 50 Pa över-/undertryck inte avspeglar driftsituationen divideras $0,4 \text{ l/s,m}^2$ med talet 20 (Elmroth, 2012) och därmed erhålls infiltrationen $0,02 \text{ l/s,m}^2$ (utvändig yta) för byggnaden. Beräkningen av infiltrationen genomförs i enlighet med byggföretagets handledning för energiberäkningar.

4.1.3 Indata producerad och lagrad solenergi

I detta avsnitt presenteras indata som används vid beräkningarna av producerad och lagrad solenergi i byggföretagets verktyg för solel.

Byggföretagets verktyg för solel baseras på beräkningar i datorprogrammet Polysun. Polysun använder väderdata som består av interpolerade normalårsvärden från mätstationer på den ort som simuleringen utförs för. I detta fall: Malmö (lat: $55,61^\circ$, long: $13,0^\circ$) och Stockholm (lat: $59,33^\circ$, long: $18,052^\circ$).

Nedan redovisas typ av solceller, växelriktare, batteri samt övrig indata som används vid beräkningarna av producerad och lagrad solenergi.

Solcellsmodul	YL260P-29b från Yingli Solar
	Polykristallin kiselcell
	Verkningsgrad modul: 15,9 %
	Area modul: $1,6 \text{ m}^2$
	Effekt per modul: 260 W
	Effekt per m^2 : 159 W/m^2

Växelriktare	Sunny Boy 3000HF från SMA Verkningsgrad: 96,3 %
Batteri	Tesla Powerwall 2 DC Lagringskapacitet: 13,5 kWh/batteri RTE: 92 % Urladdningsdjup: 100 %
Övrig indata	Riktning solceller: Syd Vinkel solceller: 30°

4.2 Beräkning av energianvändning

I detta avsnitt redovisas den beräkningsgång som används vid fastställandet av referenshusets energianvändning utan reducering för energi producerad av solcellerna på byggnaden.

Beräkningen av producerad och lagrad solenergi presenteras i kapitel 4.3.

Energianvändningen fastställs för referenshuset på respektive ort (Malmö respektive Stockholm) och med respektive uppvärmningssystem (fjärrvärme, frånluftsvärmepump, bergvärmepump, luft-/vattenvärmepump).

I detta arbete används datorprogrammet IDA ICE (version 4.7.1) för att beräkna referenshusets energibehov för uppvärmning och ventilation. IDA ICE är ett simuleringsverktyg som gör det möjligt att modellera byggnaden i 3D tillsammans med dess VVS-system samt styr- och reglersystem. IDA ICE kan genomföra detaljerade dynamiska flerzons- och helårsstudier och det används inom branschen för att analysera byggnaders energianvändning och termiska komfort (EQUA Simulation AB, 2017). I detta arbete beräknas energiförluster på grund av vädring, köksventilation och varmvattencirkulation (VVC) separat och adderas sedan till det värmebehov som erhålls från IDA ICE. Detta är ett val som baseras på byggföretagets rutiner för energiberäkningar. Mer information om dessa beräkningar finns i kapitel 4.2.2.

Energibehovet för tappvarmvatten och en del av energibehovet för fastighetsenergi beräknas också separat och adderas till resultatet från IDA ICE, se kapitel 4.2.2.

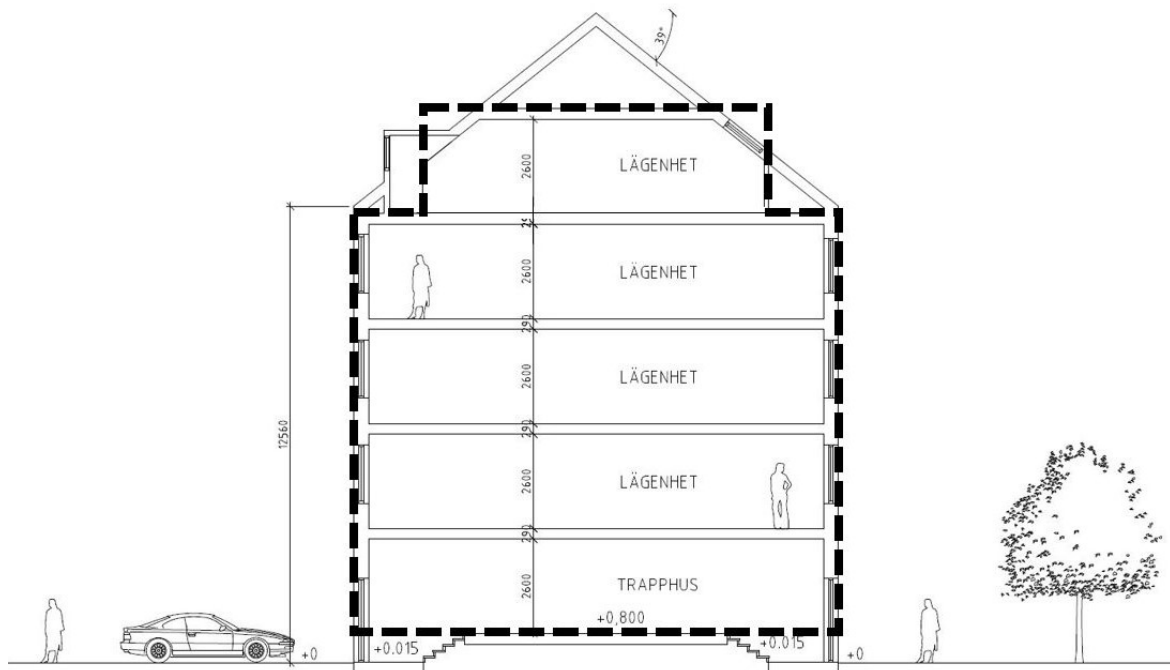
4.2.1 Beräkningar i IDA ICE

Beräkningen av byggnadens energianvändning inleds med att en 3D-modell av referenshuset byggs upp i IDA ICE baserat på tillgängliga ritningar och visionsbilder (se bilaga 5 samt figur 24 och figur 25). Modellen byggs upp med hjälp av invändiga mått på ritningarna. Varje lägenhet modelleras som en egen zon. Trapphus, tvättstuga, förråd, teknikrum, miljörum och schakt vid trapphus är också egna zoner. Vägg-, bjälklags- och takkonstruktioner väljs enligt bilaga 6 och fönster och dörrar placeras enligt tillgängliga fasadritningar (figur 24 och figur 25). Resultatet av modellen redovisas i figur 26 nedan.



Figur 26. 3D-modell i IDA ICE

Taket på referenshuset i modellen är plant och horisontellt trots att den verkliga taklutningen är 39° , se figur 27. Anledningen till detta är att taklutningen inte bedöms påverka energiberäkningen i någon större utsträckning eftersom takisoleringen ligger plant på majoriteten av takytorna. Denna bedömning baseras på sektionsritningen i figur 27 och planlösningen över plan 5 i bilaga 5 där det kan noteras att den yta av innertaket som har lutningen 39° , och därmed inte kan ha samma takisolering som resterande delar av taket, är relativt liten i förhållande till den takyta som är plan. Detta är således en förenkling av verkligheten som bedöms rimlig i detta fall.



Figur 27. Referenshuset i sektion. Streckad linje visar sektionen för modellen med plant tak i IDA ICE.

Då byggnadens geometri och zonindelning är färdigställd kompletteras modellen med övrig indata enligt bilaga 6. Modellen är därefter komplett och det är möjligt att genomföra simuleringar i IDA ICE. Den matematiska noggrannheten för beräkningarna i programmet

ställs in genom val av zonmodell. Zonmodellen *Energi* väljs eftersom denna bedöms ge tillräcklig noggrannhet för beräkningarna. Simuleringen anges vara dynamisk med periodisk uppstart. Referenshusets energianvändning loggas varje timme under det år som simuleras.

4.2.2 Kompletterande beräkningar till simuleringsresultat

Resultatet från simuleringen i IDA ICE ger, som tidigare nämnts, bara information om byggnadens energibehov för uppvärmning och ventilation. Följande energiposter inkluderas inte i beräkningarna i IDA ICE:

- Energiförluster på grund av:
 - Vädring
 - Köksventilation
 - Varmvattencirkulation (VVC)
- Energibehov för
 - Tappvarmvatten
 - Fastighetsenergi (med undantag för fastighetsenergi till fläktar i ventilationssystemet)

Därför behöver resultatet från IDA ICE kompletteras med separata beräkningar för dessa energiposter för att referenshusets energianvändning ska bli fullständig.

Energiförluster på grund av *vädring* i bostaden bör beaktas vid beräkning av referenshusets energianvändning. Detta eftersom uppvärmningssystemet behöver kompensera för den energi som går förlorad och energibehovet för uppvärmning ökar därmed på grund av vädring. I detta arbete beräknas vädringen som ett schablonpåslag på den beräknade energiprestandan. Detta är en rekommendation i Svebys Brukarindata för bostäder (2012 (a)) eftersom vädringspåslaget på så vis blir oberoende av energiberäkningsprogrammets inbyggda schabloner. Vädringspåslaget på byggnadens uppvärmningsbehov beräknas därför med schablonvärdet $4 \text{ kWh/m}^2(A_{\text{temp}})$, år (BFS, 2017 (b)).

Energi som lämnar byggnaden med frånluft via *köksventilationen* är en värmeförlust som påverkar byggnadens uppvärmningsbehov. Därför beaktas denna förlust vid beräkning av referenshusets energianvändning. Värmeförluster via köksventilationen beräknas separat eftersom det är lättare att beräkna förlusterna för hand än att inkludera dem i modellen i IDA ICE. Anledningen till detta är att frånluftsfloppet via köksventilationen inte är kopplat till resterande ledningar i ventilationssystemet på grund av risk för spridning av matos. Byggföretagets erfarenhetsvärde för luftflöde vid forcering av köksventilationen är 46 l/s,lg och detta används därför vid beräkningarna. Forcering antas ske 30 minuter per dygn i enlighet med *BEN 2* (BFS, 2017 (b)). Den effekt som förloras via frånluften i varje lägenhet beräknas med ekvation 4.1 [W/lg].

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot q \cdot \Delta T \quad [4.1]$$

$c_{p,luft}$ = specifik värmekapacitet för luft, 1000 J/kgK

ρ_{luft} = densitet luft, $1,2 \text{ kg/m}^3$

q = flöde frånluft, 46 l/s,lg

ΔT = temperaturskillnad mellan inne och ute beroende på ort, $(T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}})$ [K]

Temperaturen i lägenheterna är $22 \text{ }^\circ\text{C}$ och normalårstemperaturen utomhus är $8,8 \text{ }^\circ\text{C}$ i Malmö och $6,8 \text{ }^\circ\text{C}$ i Stockholm, enligt Svebys klimatfiler som byggföretaget använder. Den totala

energimängd som förloras via köksventilationen, under ett normalår, beräknas med ekvation 4.2 och adderas till resultatet från IDA ICE.

$$E_{tot} = (E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh) / 1000 \quad [\text{kWh/år}] \quad [4.2]$$

E = energimängd i frånluft per lgh, från ekvation 4.1 [W/lgh]

t = drifttid per dygn, 0,5 h/dygn

lgh = antal lägenheter totalt i byggnaden, 49 st

Varmvattencirkulation (VVC) används i flerbostadshus för att förkorta den tid det tar för varmvattnet att nå blandaren. Varmt vatten cirkulerar konstant i ledningarna och en del av värmeenergin i vattnet avges till den omgivande luften. Under uppvärmningssäsongen kan denna energi tillgodoräknas i byggnaden eftersom spillvärmen hjälper till att avlasta uppvärmningssystemet. Då byggnaden inte har något uppvärmningsbehov blir den avgivna energin istället en ren energiförlust. Referenshuset har *inget* uppvärmningsbehov under 2000 timmar (ca 3 månader) av ett normalår då det värms med fjärrvärme. Detta hämtas från resultatet i IDA ICE. Den mängd energi som går förlorad under dessa timmar beräknas genom antagandet att värmeavgivningen är 8 W/m ledning och att det i referenshuset finns totalt 600 m ledning. Detta resulterar i en energiförlust på 9600 kWh/år som fördelas på referenshusets A_{temp} , vilket resulterar i en schablon på 2,6 kWh/m²(A_{temp}),år. Denna schablon används vid beräkning av den totala energiförlusten på grund av VVC i samtliga beräkningsfall för referenshuset. Detta trots att schablonvärdet baseras på fallet då byggnaden värms med fjärrvärme och antalet timmar utan uppvärmningsbehov varierar mellan ca 1000 och 3500 timmar av ett normalår för dem beräkningsfall som studeras i detta arbete. Användningen av samma schablonvärde i samtliga beräkningsfall är därmed en förenkling för att underlätta vid beräkningarna. Den totala energiförlusten på grund av VVC adderas sedan till resultatet från simuleringen i IDA ICE i enlighet med byggföretagets rutiner för energiberäkningar.

Energi för uppvärmning av *tappvarmvatten* beräknas med schablonen 25 kWh/m²(A_{temp}),år enligt *BEN 2* (BFS, 2017 (b)) och adderas i efterhand till resultatet som erhålls från IDA ICE. Anledningen till att energi för tappvarmvatten beräknas separat är att värmesystemet i IDA ICE har COP = 0,9 enligt indata som redovisas i bilaga 6. Det innebär att 10 % av värmeenergin går förlorad i systemet. Om uppvärmningsbehovet för tappvarmvatten skulle beräknas i IDA ICE innebär detta att schablonen hade behövt anpassas för dessa förluster. Schablonen 25 kWh/m²(A_{temp}),år skulle då divideras med COP = 0,9 för värmesystemet och värdet som då erhålls är det som hade behövt användas i IDA ICE. Om schablonen hade använts utan denna korrigering skulle nämligen förlusterna i systemet räknas dubbelt eftersom schablonen redan inkluderar förluster. Därför genomförs separata beräkningar av energi för uppvärmning av tappvarmvatten där årsschablonen från *BEN 2* används.

Energibehovet för *fastighetsenergi* till pumpar, belysning och hissar beräknas, som tidigare nämnts, separat och adderas till resultatet från simuleringen i IDA ICE. Den energi som används till att driva pumparna i värmesystemet antas motsvara 1 % av det totala värmebehovet för uppvärmning och tappvarmvatten i byggnaden, i enlighet med byggföretagets rutiner för energiberäkningar. Energi till belysning i trapphus, tvättstuga, teknikrum, förråd och miljörum beräknas med hjälp av angivna drifttider och effekter per kvadratmeter i bilaga 6 för dessa utrymmen. Hissarna i byggnaden kräver fastighetsenergi till belysning och styrning. Belysning i hissarna antas kräva 350 kWh/hiss och styrningen

50 kWh/lgh enligt byggföretagets rutiner för energiberäkningar som baseras på Svebys Energianvisningar version 1.0 (Sveby, 2012 (b)). Det finns 3 st hissar och 49 lägenheter i referenshuset.

Då resultatet från IDA ICE har kompletterats med ovanstående energiposter erhålls byggnadens energianvändning vid normalt brukande, under ett normalår. Denna ska dock reduceras med den energimängd som produceras av solcellerna på taket och den energi som lagras i batterierna i byggnaden för åtgärderna solceller och solceller med lagringsbatteri. Beräkningen av producerad och lagrad solenergi presenteras i kapitel 4.3.

4.2.3 Justering av energianvändning i fall med värmepump

I de beräkningsfall då referenshuset värms med en värmepump behöver energianvändningen justeras med värmepumpens verkningsgrad. En värmepumps verkningsgrad anges med ett s.k. COP (Coefficient Of Performance) som redovisar hur mycket värme som värmepumpen genererar i förhållande till hur mycket el som den använder. COP gäller dock endast för ett specifikt driftfall och för att ta hänsyn till att värmepumpens verkningsgrad varierar med utetemperaturen samt olika förutsättningar i byggnaden används istället värmepumpens verkningsgrad sett över ett helt år som uttrycks med ett *SPF*-tal (Seasonal Performance Factor) (Nordman, 2007). Detta tal återspeglar alltså bättre värmepumpens verkningsgrad i verklig drift än vad COP gör. *SPF*-talet för respektive värmepump erhålls vid dimensioneringen av respektive värmepump som i detta arbete utförs med hjälp av datorprogrammet *NIBE Dim* (Nibe, u.å.).

I *NIBE Dim* anges förutsättningar så som byggnadens geografiska läge, A_{temp} , inomhustemperatur och energiförbrukning. Med hjälp av detta dimensioneras respektive värmepump och följande *SPF*-tal och energitäckning erhålls från *NIBE Dim*:

- Frånluftsvärmepump (1xNIBE F1345-40)
 - *SPF* 4,1
 - Energitäckning 65 %
- Bergvärmepump (1xNIBE F1345-60)
 - *SPF* 4,0
 - Energitäckning 99 %
- Luft-/vattenvärmepump (3xNIBE F2120-20)
 - *SPF* 3,3
 - Energitäckning 96 %

Frånluftsvärmepumpen har en låg energitäckning och fjärrvärme antags användas som spetsvärme i detta fall. I resterande fall är energitäckningen näst intill 100 % och för att underlätta vid beräkningarna antags värmepumpen täcka hela energibehovet.

Fastställda *SPF*-tal används alltså för att justera byggnadens behov av köpt energi till uppvärmning och tappvarmvatten i de fall då referenshuset värms med en värmepump. Detta redovisas tydligare i beräkningsexemplet i bilaga 4.

Kravnivån för installerad eleffekt för uppvärmning enligt BBR 2021 uppfylls med de redovisade värmepumparna.

4.3 Beräkning av producerad och lagrad solenergi

Producerad och lagrad solenergi beräknas, som tidigare nämnts, med företagets verktyg för solet. Den del av verktyget som används för att beräkna producerad solenergi har företaget själv tagit fram och utvecklat. Som en del i detta arbete har verktyget kompletterats med en lagringsfunktion, vilket gör det möjligt att använda samma verktyg för att beräkna både producerad och lagrad solenergi. Lagringsfunktionen har kontrollerats mot tillgängliga program på marknaden. Dessa är programmet System Adviser Model (NREL, 2017) samt Excel-verktyget Simple economic model - household solar + battery (Cooper, 2015).

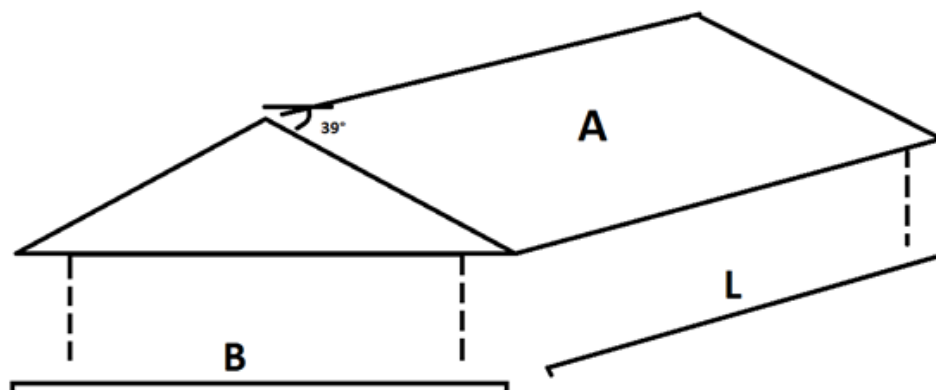
4.3.1 Producerad och lagrad solet

Som ovan nämnts beräknas producerad elenergi med företagets verktyg för solet. I verktyget, som utgörs av en Excel-fil, väljs vilken ort som beräkningen ska utföras för, hur många kvadratmeter solceller som behövs för det aktuella projektet och solcellsmodulens vinkel i förhållande till horisontalplanet. Genom att ange dessa parametrar sker en simulering varpå timvärden för soletproduktionen under ett normalår erhålls.

Då detta arbete har till syfte att avgöra storlek på solcellsanläggning i kombination med lagringsbatterier har olika antal kvadratmeter solceller testats för att på så vis få fram den optimala storleken på systemet. Denna process sker samtidigt som antalet lagringsbatterier optimeras. För optimering av producerad och lagrad solet se kapitel 4.3.2.

Storleken på solcellsanläggningen uttrycks i resultatet som toppeffekt (kWp) eftersom detta är ett bättre sätt att definiera storlek på än solcellsanläggningens area då den beror på solcellsmodulens verkningsgrad. Exempelvis innebär detta att solceller med liten area och hög verkningsgrad kan generera samma effekt som solceller med stor area och låg verkningsgrad. På grund av detta är toppeffekt ett bättre sätt att uttrycka en solcellsanläggnings storlek.

Solcellsanläggningen har ett par begränsningar som sätter ramarna för storleken på systemet. Första kriteriet är en övre gräns för solcellsanläggningens toppeffekt (kWp). Toppeffekten beräknas utifrån en standardiserad solinstrålning (1000 W/m^2), verkningsgrad för solcellerna samt total tillgänglig takarea för solceller. Begränsning av toppeffekten styrs därför av referenshusets användbara takarea. Den användbara ytan styrs av takets totala area för ett givet väderstreck, dock görs avdrag för andel av takarean som är obrukbar på grund av skuggning, fönster, ventilationshuv med mera. Nedan följer en enkel beräkning för framtagning av referenshusets brukbara takarea.



Figur 28. Principskiss över byggnadens tak area uttryckt i längd, bredd och taklutning.

$$A = \frac{1}{\cos(39)} \cdot \frac{B}{2} \cdot L \cdot S \quad [4.3]$$

A = Brukbar takarea [m^2]

B = Byggnadens bredd [m]

L = Byggnadens längd [m]

S = Brukbar andel av tak [%]

Från ekvation 4.3 erhålls maximal brukbar takarea för referenshuset genom insättning av $L=65,44$ m, $B=13,42$ m och $S=80$ %. Maximal brukbar takarea är 450 m^2 vilket utgör solcellssystemets övre gräns och motsvarar en topp effekt på $71,6 \text{ kWp}$ vid standardinstrålning 1000 W/m^2 och verkningsgrad för solcellerna på $15,9$ %.

Det andra kriteriet är solcellsanläggningens nedre gräns, det vill säga minsta storlek på anläggningen. Denna gräns antas till samma storlek som "areastegen", ett sätt att praktiskt underlätta vid optimering. Areastegen har satts till steg om 50 m^2 och således blir detta den nedre begränsningen.

Solcellsmodulerna ska placeras på referenshusets tak i söderläge och modulerna har samma lutning som taket, det vill säga 39° . När simuleringen görs i verktyget för solet kan dock endast en modulvinkel i steg om 15° användas. Beräkningarna simuleras därför med vinkeln 30° . För att säkerställa att resultatet blir likvärdigt den verkliga takvinkeln 39° har resultatet också kontrollerats mot beräkningar med takvinkeln 45° . Från resultatet drogs slutsatsen att båda vinklarna producerar ett likvärdigt resultat.

Till verktyget för solet har en batterifunktion lagts till. Denna bygger på att överskottet av elenergi, som bildas när det finns en för hög elproduktion i förhållande till elanvändning, lagras i batterier för att kunna nyttjas när elproduktionen är otillräcklig. Lagringsfunktionen är uppbyggd på så vis att den har en maxkapacitet för hur mycket batteriet klarar av att lagra samt att det finns möjlighet att ange utnyttjandegrad av batteriet och batterisystemets verkningsgrad uttryckt i RTE. Övriga förluster som inte täcks av RTE försummas för att minska dess komplexitet. Lagringsfunktionen är också uppbyggd av ett tidsschema, vilket endast medger en lagring mellan kl. 9.00 till kl. 17.00 då solcellerna antas generera störst mängd elenergi samtidigt som energianvändningen i byggnaden är relativt låg. Övrig tid sker urladdning av lagringsbatteriet. Tidsschemat möjliggör kontroll av antalet fulla laddningscykler, vilket kan vara av intresse vid exempelvis LCC beräkning. Vid beräkning av utnyttjad elenergi försummas solcellsanläggningens och lagringsbatteriets degradering av kapacitet.

Solenergin som kan nyttjas momentant varje timme med lagringbatteri beräknas genom logiska tester i verktyget för solet, så kallade "if-satser", där hänsyn tas till producerad, använd och lagrad solenergi. Genom summering av årets alla timvärden, närmare bestämt 8760 h, erhålls den totala nyttjade solenergin. Denna mängd energi skall, som nämns i kapitel 4.2, användas för att reducera byggnadens energianvändning, vilket beskrivs mer utförligt i kapitel 4.4. Resultatet av solenergi beräkningen uttryckt i topp effekt och lagringskapacitet redovisas i kapitel 6.1 för respektive beräkningsfall. Den indata som verktyget kräver samt den utdata som beräkningsverktyget genererar redovisas i ett beräkningsexempel i bilaga 4.

4.3.2 Optimering

För att få fram det mest kostnadseffektiva solcellssystemet (dvs. det system som ger störst energibesparing per investerad krona) testas olika stora system av solceller (50 - 450 m²) i kombination med olika antal batterier (1 – 9 st) kopplade till systemet. Sedan räknar verktöget för solel ut, för varje kombination, ett mått på hela systemets kostnad per producerad kilowattimme. Detta nyckeltal tillsammans med villkoret att krav på energiprestanda, PET, skall vara uppfyllt gör det möjligt att välja ut det system som är mest ekonomiskt lönsamt för vidare analys genom LCC metoden.

Pris per kilowattimme beräknas genom att dividera investeringskostnaden för solceller och eventuella lagringsbatterier med tillgodoräknad energi från solcellsanläggningen.

Investeringskostnaden fastställs genom att anta en kostnad per installerad topp effekt (se kapitel 5.2.1) och multiplicera denna med given topp effekt för den aktuella solcellsanläggningen. Till denna kostnad adderas investeringskostnaden för eventuella batterier och därefter divideras den med den producerade elenergin som kommit byggnaden tillgodo under ett år.

Optimeringen genomförs genom test av storlekar av solcellsanläggningar i steg om 50 m² mellan den nedre och den övre begränsningen: 50 till 450 m². Samtidigt som test av solcellsanläggningens storlek sker görs även test av batteriets/batteriernas lagringskapacitet. Detta görs i steg om 13,5 kWh och maximalt kan 9 st batterier seriekopplas enligt föreskrifter från Tesla då beräkningen bygger på uppgifter från Teslas Powerwall 2 (Tesla, 2017). I bilaga 7 redovisas en sammanställning av en optimering för fallet Malmö med uppvärmningssystem fjärrvärme där den kombination av solceller och lagringsbatteri som är mest kostnadseffektiv väljs.

4.4 Beräkning av energiprestanda

I detta avsnitt redovisas den beräkningsgång som används vid fastställandet av referenshusets energiprestanda.

4.4.1 Primärenergital (PET)

Energiprestandan utgörs av byggnadens energianvändning, som beräknas enligt kapitel 4.2, med avdrag för producerad och lagrad solenergi, som beräknas enligt kapitel 4.3, omräknat till primärenergi och fördelat på byggnadens A_{temp} . Detta beräknas med ekvation 3.1 (från kapitel 3.1.4) som genererar ett primärenergital (PET) för byggnaden, vilket från och med juli 2017 är det som ska användas för att uttrycka byggnaders energiprestanda. Det är endast den energi från solceller och lagringsbatteri som kan utnyttjas i byggnaden till uppvärmning, tappvarmvatten och fastighetsenergi som får avräknas från byggnadens energianvändning. Eftersom byggnadens elenergianvändning ska reduceras med energin från solceller och lagringsbatteri innan energianvändningen omräknas till primärenergi, tillkommer en post i ekvation 3.1 som i detta arbete uttrycks med beteckningen E_{solel} . I ekvation 4.4 presenteras denna energipost och det är denna ekvation som används vid beräkning av referenshusets energiprestanda.

$$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}} \quad [4.4]$$

där

$E_{uppv,el}$	Elenergi till uppvärmning, kWh/år
$E_{kyl,el}$	Elenergi till komfortkyla, kWh/år
$E_{tvv,el}$	Elenergi till tappvarmvatten, kWh/år
$E_{f,el}$	Elenergi till fastighetsenergi, kWh/år
E_{solel}	Elenergi från solceller och batteri, kWh/år
E_{uppv}	Annan energi än el till uppvärmning, kWh/år
E_{kyl}	Annan energi än el till komfortkyla, kWh/år
E_{tvv}	Annan energi än el till tappvarmvatten, kWh/år
PE_{el}	Primärenergifaktor för elenergi, -
$PE_{övr}$	Primärenergifaktor för annan energi än el, -
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor, -
A_{temp}	Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas mer än 10°C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dyligt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte (BFS, 2017 (a)).

Energiposterna $E_{uppv,el}$, $E_{tvv,el}$ och $E_{f,el}$ samt E_{uppv} och E_{tvv} i ekvation 4.4 hämtas från kapitel 4.2 för respektive fall som utreds. Ingen annan energi än el används i fallen då byggnaden värms med bergvärmepump respektive luft-/vattenvärmepump. Då byggnaden värms med fjärrvärme används annan energi än el till uppvärmning och tappvarmvatten medan elenergi används till fastighetsenergin. Då byggnaden värms med frånluftsvärmepump används el till 65 % av energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten. Annan energi än el används till resterande 35 %. Detta eftersom frånluftsvärmepumpen endast kan täcka 65 % av energibehovet och fjärrvärme behövs som spetsvärme. Elenergi används till fastighetsenergin precis som i resterande fall. Energi till komfortkyla är inte aktuellt för referenshuset.

Byggnadens energianvändning, som reducerats med producerad och lagrad solenergi, omräknas till primärenergi med hjälp av primärenergifaktorer för el respektive övrig energi. Primärenergifaktorn för elenergi, PE_{el} , är 1,6 enligt BBR 2017 och 2,5 enligt BBR 2021. Primärenergifaktor för övrig energi, $PE_{övr}$, är 1,0 både enligt BBR 2017 och BBR 2021.

Resterande parametrar i ekvation 4.4 är den geografiska justeringsfaktorn F_{geo} , som är 0,9 för Malmö och 1,0 för Stockholm (enligt BBR 2017 och BBR 2021) samt referenshusets A_{temp} som är 3762 m², vilket redovisats i kapitel 4.1.1.

4.4.2 Åtgärder för förbättring av PET

För ovanstående arbetsgång erhålls ett primärenergital för respektive fall som utreds. Eftersom syftet med arbetet är att utreda om solceller och batterier är en möjlig åtgärd för att uppfylla Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda, är det av intresse att utreda hur stor inverkan som solceller och batterier har på förbättringen av byggnadens PET. Därför beräknas ett PET för referenshuset i tre olika scenarier:

- då varken solceller eller lagringsbatteri är installerat
- då solceller är installerat
- då både solceller och lagringsbatteri är installerat

Detta genomförs för varje beräkningsfall som tidigare nämnts och resultaten redovisas i kapitel 6.1. I bilaga 4 redovisas ett beräkningsexempel som förtydligar hur byggnadens energiprestanda beräknas i fallet då referenshuset är beläget i Malmö och värms med en frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme.

Utredningen kompletteras även med ett alternativ till åtgärden solceller och batteri i form av en förbättring av klimatskalets U-värde. Detta för att utreda om det finns andra alternativ än solceller och lagringsbatteri för att förbättra byggnadens PET och på det viset uppfylla Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda. Följande åtgärder studeras för klimatskalet:

- Ytterväggarnas U-värde sänks från 0,15 till 0,10 genom att 100 mm isolering ($\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$) läggs till.
- Bottenplattans U-värde sänks från 0,19 till 0,09 genom att 200 mm isolering ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$) läggs till.
- Fönstrens U-värde sänks från 0,9 till 0,6 genom att bättre fönster väljs.

Den sammanlagda effekten av dessa tre åtgärder förbättrar klimatskalets genomsnittliga U-värde (U_m) från $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ till $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Åtgärden med bättre fönster innebär att U-värdet på samtliga fönster i byggnaden sänks från 0,9 till 0,6. Detta är ett väldigt lågt U-värde men syftet med detta är att redovisa ytterligheten för hur stor inverkan som fönstren kan ha på byggnadens PET.

Det beräknade primärenergitalet för respektive fall jämförs med krav på energiprestanda enligt BBR 2021. Eftersom byggföretaget ofta är involverade i projekt där krav enligt Miljöbyggnad silver ska uppfyllas studeras även strängare krav än BBR 2021 i detta arbete. Miljöcertifieringssystemet Miljöbyggnad kommer med största sannolikhet att behöva uppdatera sina kravnivåer i samband med att ändringarna i BBR träder i kraft år 2021. Eftersom det inte finns några uppgifter att tillgå kring hur dessa kommer att uppdateras, genomförs beräkningarna i detta arbete för kravnivåer som motsvarar 90 %, 85 %, 75 % och 65 % av kravet enligt BBR 2021. 75 % används i dagsläget för kravnivån Miljöbyggnad silver och kan därmed betraktas som den lägsta möjliga silvernivån. 65 % används i dagsläget för nivån Miljöbyggnad guld, vilken troligtvis kommer vara för sträng efter ändringarna år 2021 och därmed redovisas dessa resultat endast i bilaga 9. Resterande resultat redovisas i kapitel 6.1.

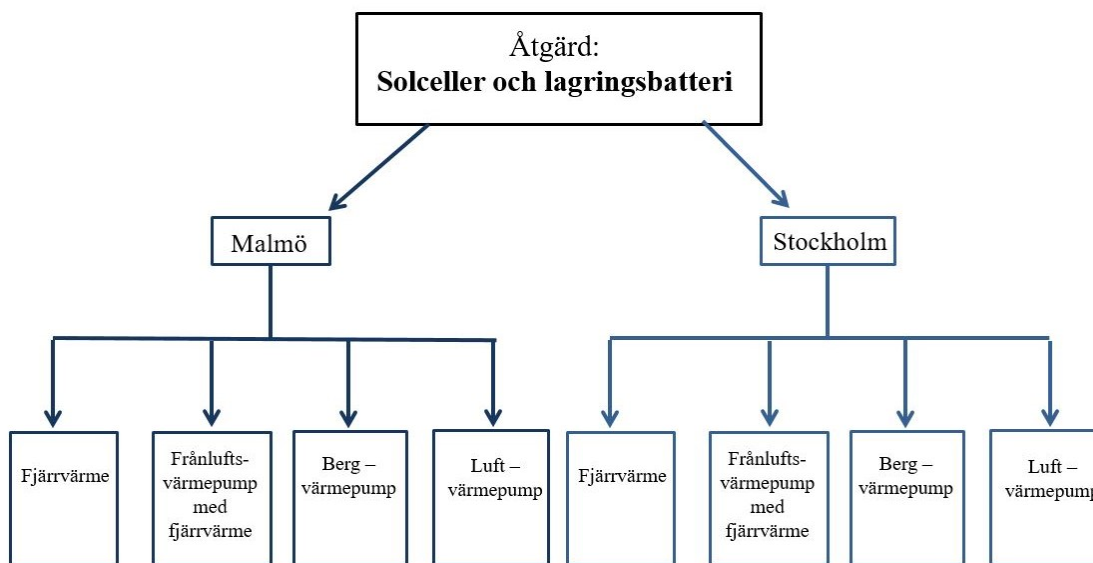
5 LCC-analys

LCC är en förkortning av engelskans *Life Cycle Cost* som på svenska översätts till livscykelkostnad. Livscykelkostnaden för en investering är summan av alla kostnader som inträffar under hela den antagna livslängden (Upphandlingsmyndigheten, 2017 (a)). En livscykelkostnadsanalys (LCC-analys) innebär därmed att olika investeringar analyseras baserat på deras livscykelkostnader.

I detta avsnitt presenteras den LCC-analys som genomförs för att bedöma lönsamheten för de olika åtgärder som utreds för att klara Boverkets strängare krav på byggnaders energiprestanda. De åtgärder som utreds är:

- installation av solceller
- installation av solceller och lagringsbatteri
- förbättrat klimatskal

Dessa åtgärder analyseras för samtliga tidigare beräknade fall, där byggnaden är belägen på två olika orter i Sverige (Malmö och Stockholm) och värms med fyra olika uppvärmningssystem på respektive ort. Figur 29 illustrerar vilka fall som beräkningarna utförs för då åtgärden solceller med lagringsbatteri utreds. Samma fall utreds för åtgärden solceller respektive förbättrat klimatskal.



Figur 29. Illustrativt schema för de fall som utreds. Här redovisat med åtgärd solceller med lagringsbatteri men samma gäller för åtgärderna solceller och förbättrat klimatskal.

Den teoretiska beräkningsmetod som används för att fastställa livscykelkostnaden för respektive åtgärd och beräkningsfall presenteras i kapitel 5.1. Indata till beräkningarna presenteras i kapitel 5.2 och den beräkninggång som används vid LCC-analysen i detta arbete presenteras i kapitel 5.3. Ett fullständigt beräkningsexempel redovisas i bilaga 10.

5.1 Beräkningsmetod LCC-kalkyl

Det finns olika beräkningsmetoder för investeringskalkylering som kan användas för att genomföra en LCC-kalkyl. Den vanligaste är nuvärdemetoden. En annan metod är annuitetsmetoden och denna bör enligt Upphandlingsmyndigheten (2017 (b)) användas då

investeringsalternativen har olika livslängd, vilket är fallet i detta arbete. Komponenterna som ingår i investeringen av solceller respektive solceller och lagringsbatteri har nämligen annan livslängd jämfört med dem som ingår i investeringen av ett bättre klimatskal.

5.1.1 Annuitetsmetoden

Med annuitetsmetoden beräknas ett årligt värde för en investering genom att intäkter och utgifter kopplade till investeringen fördelas jämnt över dess livslängd (Becker, 2013). Det årliga värdet kallas för annuiteten och det är detta värde som används för att jämföra olika investeringsalternativ. Annuiteten är konstant över investeringens livslängd och, som nämndes tidigare, bör metoden därför användas då investeringsalternativ med olika livslängd jämförs (Upphandlingsmyndigheten, 2017 (b)).

Annuiteten för en investering beräknas med ekvation 5.1.

$$A = \left(-G + \frac{S}{(1+i)^n} \right) \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} + a \geq 0 \rightarrow \text{lönsam} \quad [5.1]$$

där

A = annuitet [kr/år]

G = grundinvestering [kr]

S = restvärde (investeringens förväntade värde vid uppnådd livslängd) [kr]

i = kalkylränta [-]

n = livslängd [år]

$a = I - U$ = inbetalningsöverskott per år [kr/år]

I = löpande inbetalningar per år [kr/år]

U = löpande utbetalningar per år [kr/år]

Vid beräkning av annuiteten tas hänsyn till att enskilda kostnader och intäkter inträffar vid olika tidpunkter under investeringens livslängd. Detta genom att först förflyttas i tiden till tidpunkten för investeringen och sedan fördelas över investeringens livslängd så att ett årligt värde erhålls. En kostnad eller intäkt förflyttas bakåt i tiden (diskonteras) genom att den divideras med uttrycket $(1+i)^k$ där i är kalkylräntan i procent och k är antalet år som den förflyttas (Becker, 2013). På detta vis räknas värdet på pengarna om till dagens värde och i ekvation 5.1 är detta aktuellt för restvärdet (S). Kostnader och intäkter uttryckta i dagens värde fördelas sedan över livslängden (kapitaliseras) genom att de multipliceras med annuitetsfaktorn: $\frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}}$, där n är livslängden i antal år. I ekvation 5.1 sker detta för

grundinvesteringen (G) och restvärdet (S). Inbetalningsöverskottet (a) är redan ett årligt värde och behöver därför varken diskonteras eller kapitaliseras.

Enligt ekvation 5.1 är investeringen lönsam om annuiteten är positiv eller lika med noll. Att en investering är lönsam innebär att den genererar en bättre avkastning på det kapital som binds till investeringen än vad en alternativ placering av kapitalet skulle generera. Avkastningen för den bästa alternativa placeringen representeras i ekvation 5.1 av kalkylräntan. Investeringen jämförs därmed med den alternativa placeringen vid beräkning av annuiteten och om annuiteten antar värdet noll kan investeringen därmed betraktas som likvärdig med den bästa alternativa placeringen av kapitalet (Becker, 2013).

5.2 Indata LCC-kalkyl

5.2.1 Åtgärd: Solceller respektive solceller med lagringsbatterier

Nedan redovisas indata för LCC-kalkylen för ett fall med solceller (tabell 1) och ett fall för solceller med tillhörande lagringsbatteri (tabell 2).

Tabell 1. Indata för LCC-kalkyl för solceller. Samtliga redovisade prisuppgifter är inklusive moms.

Indataposter	
Energi från solceller tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energi lagrad i batteri och tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energiöverskott [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energipris el Sälja [kr/kWh]	0,8 (1)
Energipris el Köpa [kr/kWh]	1,1 (2)
Storlek topp effekt solcellsanläggning [kWp]	Hämtas från verktyget för sole
Investeringskostnad solcellsanläggning [kr/kWp]	17000 (3)
Årlig drift & underhållskostnad [% av investeringskostnaden]	1 (4)
Investeringsbidrag [%]	30 (5)
Kalkylränta [%]	4 (6)
Livslängd solceller [år]	30 (7)
Livslängd batterier [år]	15 (8)
Elcertifikat [kr/MWh]	140 (9)
Energipris fjärrvärme [kr/kWh]	0,8 (10)

⁽¹⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽²⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽³⁾(Tesla, 2017),

⁽⁴⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽⁵⁾ (Energimyndigheten, 2015 (b)), ⁽⁶⁾ (Upphandlingsmyndigheten, 2016), ⁽⁷⁾ (Frischknecht, Itten, & Wyss, 2015), ⁽⁸⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽⁹⁾ (Svensk Kraftmäkling, u.å.), ⁽¹⁰⁾ (Jönsson, 2017)

Tabell 2. Indata för LCC-kalkyl för solceller med lagringsbatteri. Samtliga redovisade prisuppgifter är inklusive moms.

Indataposter	
Energi från solceller tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energi lagrad i batteri och tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energiöverskott [kWh]	Hämtas från verktyget för sole
Energipris el Sälja [kr/kWh]	0,8 (1)
Energipris el Köpa [kr/kWh]	1,1 (2)
Storlek topp effekt solcellsanläggning [kWp]	Hämtas från verktyget för sole
Investeringskostnad solcellsanläggning [kr/kWp]	17000 (3)
Investeringskostnad batteri [kr/st]	70000 (4)
Antal batteri [st]	Hämtas från verktyget för sole
Årlig drift & underhållskostnad [% av investeringskostnaden]	1 (5)
Investeringsbidrag [%]	30 (6)
Kalkylränta [%]	4 (7)
Livslängd solceller [år]	30 (8)
Livslängd batterier [år]	15 (9)
Elcertifikat [kr/MWh]	140 (10)
Energipris fjärrvärme [kr/kWh]	0,8 (11)

⁽¹⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽²⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽³⁾

(Energimyndigheten, 2014), ⁽⁴⁾(Tesla, 2017), ⁽⁵⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽⁶⁾

(Energimyndigheten, 2015 (b)), ⁽⁷⁾ (Upphandlingsmyndigheten, 2016), ⁽⁸⁾ (Frischknecht, Itten, & Wyss, 2015), ⁽⁹⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽¹⁰⁾ (Svensk Kraftmäklare, u.å.), ⁽¹¹⁾ (Jönsson, 2017)

Indataposterna som betecknas med ”Hämtas från verktyget för solel” hämtas för respektive fall (ort och uppvärmningssystem) för LCC-analysen. Investeringskostnaden för solceller som anges i tabellen inkluderar installation. Priset 17000 kr/kWp är inklusive moms tillskillnad från Energimyndighetens rapport där den anges exklusive moms.

Livslängden för ett batteri är uppskattad till 15 år. Detta antagande baseras på produktblad från Tesla, vilka garanterar en livslängd på minst 10 år (Tesla, 2017). Antagande baseras även på tester om litiumbatteriers laddningscykler vilket visar en möjlig livslängd på upp till 16 år med en degradering av dess kapacitet på 20 % (Xu, Oudalo, Ulbig, Andersson, & Kirschen, 2016).

Elcertifikatet för LCC-kalkylen antags gälla för hela tidsperioden trots att det endast får brukas under 15 år enligt regler från Energimyndigheten (2016 (a)), detta för att underlätta kalkylarbetet.

5.2.2 Åtgärd: Förbättrat klimatskal

Nedan redovisas indata för åtgärd förbättrat klimatskal. Åtgärden förbättrat klimatskal innebär sänkt U-värde på fönster (från 0,9 till 0,6 för glas plus karm) samt extra isolering ytterväggar (U-värde sänks från 0,15 till 0,10) och extra isolering grund (U-värde sänks från 0,19 till 0,09).

Tabell 3. Indata för LCC-kalkyl för förbättrat klimatskal. Samtliga redovisade prisuppgifter är inklusive moms.

Indataposter	
Besparing energi med förbättrat klimatskal [kWh]	Hämtas från energiberäkning Excel
Energipris el [kr/kWh]	1,1 ⁽¹⁾
Energipris fjärrvärme [kr/kWh]	0,8 ⁽²⁾
Investeringskostnad lägre U-värde fönster [kr/st]	3390 ⁽³⁾
Investeringskostnad extra isolering grund [kr/m ²]	250 ⁽⁴⁾
Investeringskostnad extra isolering yttervägg [kr/m ²]	450 ⁽⁵⁾
Arbetskostnad hantverkare [kr/h]	500 ⁽⁶⁾
Tidsåtgång isolering [h/m ²]	0,1 ⁽¹⁴⁾
Årlig drift & underhållskostnad [% av investeringskostnaden]	0 ⁽⁷⁾
Kalkylränta [%]	4 ⁽⁸⁾
Livslängd isolering [år]	80 ⁽⁹⁾
Livslängd fönster [år]	40 ⁽¹⁰⁾
Vägg area [m ²]	2340 ⁽¹¹⁾
Golv area [m ²]	845 ⁽¹²⁾
Antal fönster [st]	280 ⁽¹³⁾

⁽¹⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽²⁾ (Jönsson, 2017), ⁽³⁾ (Elitfönster, 2016), ⁽⁴⁾ (Beijer, u.å. (a)), ⁽⁵⁾ (Beijer, u.å. (b)), ⁽⁶⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽⁷⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽⁸⁾ (Upphandlingsmyndigheten, 2016), ⁽⁹⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽¹⁰⁾Antagande baserat på informationssökning, ⁽¹¹⁾ Uppskattad från modell, ⁽¹²⁾ Uppskattad från modell, ⁽¹³⁾Uppskattad från modell, ⁽¹⁴⁾ Antagande baserat på informationssökning.

Investeringskostnaden för förbättrat fönster har antagits till 1130 kr/fönster per 0,1 sänkning av U-värdet. Värdet har interpolerats fram från givna prisuppgifter från Elitfönster och antal fönster har uppskattats till 280 stycken efter granskning av modell.

Livslängden för isolering har antagits till 80 år. Isoleringen är satt till 80 år därför att den troligen aldrig kommer att bytas under byggnadens livslängd. Samma resonemang gäller för isolering i grund. Livslängden för fönster har antagits till 40 år.

5.3 Beräkningsgång LCC - kalkyl

LCC-kalkylen bygger på annuitetsmetoden vilken förklarades i kapitel 5.1. I detta arbete modifieras ekvation 5.1 något för att bättre spegla de kostnader och intäkter som inkluderas i kalkylen. Modifieringen medför att restvärdet tagits bort då detta är svårt att uppskatta samt att en inkomstdel för bidrag läggs till. Annuiteten för respektive investeringsalternativ beräknas med ekvation 5.2.

$$A = (-\sum G + B) \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} + \sum a \quad [5.2]$$

Där

A = annuitet [kr/år]

G = grundinvestering [kr]

B = inkomster från bidrag [kr]

i = kalkylränta [-]

n = livslängd [år]

a = differens mellan årliga intäkter och årliga kostnader [kr]

Indata från kapitel 5.2 används för att fastställa posterna i ekvation 5.2. Dessa förtydligas i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Kalkylposter för åtgärdsalternativen: solceller, solceller med lagringsbatteri och förbättrat klimatskal.

Solceller	Solceller med lagringsbatteri	Förbättrat klimatskal
Besparing från solel, (a_1)	Besparing från solel, (a_1)	Besparing energi (a_1)
Intäkt från överproduktion, (a_3)	Besparing med batteri, (a_2)	Nyinvestering fönster (G_1)
Intäkt från elcertifikat, (a_4)	Intäkt från överproduktion, (a_3)	Underhållskostnader (a_2)
Underhållskostnader, (a_5)	Intäkt från elcertifikat, (a_4)	Investeringskostnad (G_2)
Investeringskostnad, (G_2)	Nyinvestering batteri, (G_1)	
Investeringsbidrag, (B)	Underhållskostnader, (a_5)	
	Investeringskostnad, (G_2)	
	Investeringsbidrag, (B)	

Kalkylposterna *Besparing från solel* och *Besparing med batteri* är egentligen uteblivna kostnader som i arbetet ses som intäkter vid beräkning av livscykelkostnaden. Kalkylposterna *Nyinvestering batteri* och *Nyinvestering fönster* är specialfall då dessa är engångskostnader som inträffar ett antal år efter investeringen. Detta innebär att kostnaderna först måste räknas

om till nuvärdet med ekvation 5.3 för att sedan kunna betraktas som grundinvesteringar G_1 i ekvation 5.2.

$$K = \frac{C}{(1+i)^r} \quad [5.3]$$

där

K = Investeringskostnad omräknat till nutid [kr]

C = framtida investeringskostnad [kr]

i = kalkylränta [-]

r = Antal år till nyinvestering

Med givna kalkylposter i tabell 4 kan annuiteten beräknas. Annuiteten beräknas för respektive möjlig åtgärd för att klara krav på energiprestanda enligt BBR och Miljöbyggnad. De åtgärder som utreds är: installation av solceller, installation av solceller och lagringsbatteri samt förbättrat klimatskal. Dessa åtgärder analyseras för samtliga tidigare beräknade geografiska placeringar (Stockholm och Malmö) och med uppvärmningssystem fjärrvärme, frånluftsvärmepump och fjärrvärme, bergvärmepump respektive luft-/vattenvärmepump. Bedömning av lönsamheten genomförs endast för fall där åtgärd krävs för att uppfylla krav på energiprestanda enligt 2021-års regelverk för BBR samt kravnivåer motsvarande 90 %, 85 % och 75 % av BBR 2021. I de fall där kravnivån uppfylls utan åtgärd genomförs alltså ingen beräkning av annuiteten.

Beräkning av annuiteten för ett givet fall görs för två olika alternativ där alternativen innehåller olika kombinationer av kalkylposterna redovisade i tabell 4. *Alternativ 1* inkluderar samtliga kalkylposter vid beräkning av annuiteten medan *Alternativ 2* bortser från *Investeringsbidrag* och *Intäkt från överproduktion*. Detta görs för att få ett bästa och ett sämsta värde på annuiteten. Ett positivt värde på annuiteten innebär ett årligt överskott vilket innebär att investeringen är lönsam. Ett negativt värde på annuiteten innebär ett årligt underskott vilket innebär att investeringen inte är lönsam. Genom att jämföra flera alternativ erhålls den mest lönsamma investeringen. Ett fullständigt beräkningsexempel är redovisat i bilaga 8. Ingen av kalkylposterna tar hänsyn till prisändringar eller kapacitetsdegradering av material. Samtliga resultat redovisas i kapitel 6.2 och i bilaga 10.

6 Resultat

6.1 Energiprestanda

I detta avsnitt redovisas resultatet av byggnadens energiprestanda uttryckt i primärenergital (PET) samt åtgärder för att uppfylla kravnivåer för BBR 2021 för fallen *fjärrvärme* och *frånluftsvärmepump med fjärrvärme*. Då det inte finns uppgifter att tillgå kring hur kraven enligt Miljöbyggnad kommer att uppdateras, efter att ändringarna i BBR träder i kraft år 2021, genomförs beräkningar även för tänkbara kravnivåer för Miljöbyggnad som motsvarar 90 %, 85 % och 75 % av kravet enligt BBR 2021.

För de två uppvärmningssystemen *bergvärmepump* och *luft-/vattenvärmepump* kan det, utifrån genomförda beräkningar, konstateras att det för referenshuset inte krävs åtgärd förrän kravnivåer på 65 % respektive 75 % av BBR 2021 efterfrågas. . Beroende på kravnivå krävs olika åtgärder men för den strängaste nivån räcker förbättrat klimatskal för alternativet med bergvärmepump. Däremot för luft-/vattenvärmepump krävs antingen åtgärden solceller eller åtgärden solceller med lagringsbatteri. Resultaten för dessa fall presenteras i bilaga 9.

Kravnivåer för installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) och genomsnittligt luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad är uppfyllda för alla fall som beräknats.

I tabell 5 – tabell 10 anges PET för respektive beräknat fall. I de fall där en åtgärd krävs för att klara den angivna kravnivån anges två PET där det första är PET utan åtgärd och det andra är det PET som uppnås med åtgärd. På raderna under PET anges om krav uppnås. Detta uttrycks på tre sätt: *Uppfylls utan åtgärd*, *Uppfylls med följande åtgärd* samt *Ej möjligt*. I de fall åtgärd krävs anges även storlek på solceller i topp effekt (kWp), antal lagringsbatteri (å 13,5 kWh) respektive förbättringsåtgärd av klimatskalet. Toppeffekt används eftersom det är ett bättre sätt att uttrycka solcellsanläggningens storlek på, som nämndes i kapitel 4.3.1. Formuleringen *Ej möjligt* används om kravnivån inte kan uppnås med aktuell åtgärd när denna utnyttjas maximalt (det vill säga 71,6 kWp solceller, 9 st batterier eller samtliga förbättringar av klimatskalet).

För åtgärden *solceller* respektive *solceller med lagringsbatterier* redovisas det mest kostnadseffektiva solcellssystemet (dvs. det system som ger störst energibesparing per investerad krona). Detta har fastställts genom den optimeringsprocess som beskrevs i kapitel 4.3.2.

För respektive uppvärmningssystem redovisas om FTX system finns, dess verkningsgrad samt eventuellt SPF-tal för uppvärmningssystemet om det inkluderar en värmepump.

6.1.1 Åtgärd: Solceller

Tabell 5. Resultat för åtgärden solceller för att uppfylla kravnivåer med ort Malmö. Samtliga resultat är optimerade utifrån lägsta pris per besparad kilowattimme el enligt kapitel 4.3.2.

Åtgärd: Solceller		
Ort: Malmö	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 104→91 kWh/m ² (Ej möjligt)
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 84→79 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller	PET: 104→85 kWh/m ² (Ej möjligt)
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 31,8 kWp solceller	PET: 104→85 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 84→76 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 104→85 kWh/m ² (Ej möjligt)

Tabell 6. Resultat för åtgärden solceller för att uppfylla kravnivåer med ort Stockholm. Samtliga resultat är optimerade utifrån lägsta pris per besparad kilowattimme el enligt kapitel 4.3.2.

Åtgärd: Solceller		
Ort: Stockholm	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 111→97 kWh/m ² (Ej möjligt)
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 87→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kW _p solceller	PET: 111→97 kWh/m ² (Ej möjligt)
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 111→97 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 111→97 kWh/m ² (Ej möjligt)

6.1.2 Åtgärd: Solceller med lagringsbatteri

Tabell 7. Resultat för åtgärden solceller med lagringsbatteri för att uppfylla kravnivåer med ort Malmö. Samtliga resultat är optimerade utifrån lägsta pris per besparad kilowattimme el enligt kapitel 4.3.2.

Åtgärd: Solceller med lagringsbatterier		
Ort: Malmö	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 104→90 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 31,8 kWp solceller 2 st 13,5 kWh batteri
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 84→79 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 104→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 63,7 kWp solceller 7 st 13,5 kWh batteri
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 104→79 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 84→68 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 63,7 kWp solceller 6st 13,5 kWh batteri	PET: 106→79 kWh/m ² (Ej möjligt)

Tabell 8. Resultat för åtgärden solceller med lagringsbatteri för att uppfylla kravnivåer med ort Stockholm. Samtliga resultat är optimerade utifrån lägsta pris per besparad kilowattimme el enligt kapitel 4.3.2.

Åtgärd: Solceller med lagringsbatterier		
Ort: Stockholm	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 111→90 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 47,8 kW _p solceller 6 st 13,5 kWh batteri
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 87→80 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kW _p solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 111→85 kWh/m ² (Ej möjligt)
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 87→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 23,9 kW _p solceller 2 st 13,5 kWh batteri	PET: 111→85 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 87→71 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 111→85 kWh/m ² (Ej möjligt)

6.1.3 Åtgärd: Förbättrat klimatskal

Tabell 9. Resultat med åtgärden förbättrat klimatskal för att uppfylla kravnivåer med ort Malmö. Förbättringsåtgärd av klimatskalet redovisas under tabellen. Vid resultat Ej möjligt är samtliga åtgärder använda.

Åtgärd: Förbättrat klimatskal		
Ort: Malmö	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 104 →97 kWh/m ² (Ej möjligt)
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 84→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ^{2,3}	PET: 104 →97 kWh/m ² (Ej möjligt)
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ¹	PET: 104 →97 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 84→74 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 104 →97 kWh/m ² (Ej möjligt)

¹ U-värde hela fönster från 0,9 till 0,6.

² Ytterväggar isoleras från U-värde 0,15 till 0,11.

³ Grundplatta isoleras från U-värde 0,19 till 0,09.

Tabell 10. Resultat med åtgärden förbättrat klimatskal för att uppfylla kravnivåer med ort Stockholm. Förbättringsåtgärd av klimatskalet redovisas under tabellen. Vid resultat Ej möjligt är samtliga åtgärder använda.

Åtgärd: Förbättrat klimatskal		
Ort: Stockholm	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme
	FTX: Ja, 80 %	65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej
BBR 2021 PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² (Uppfylls utan åtgärd)	PET: 111→103 kWh/m ² (Ej möjligt)
90 % av BBR 2021 PET 81 kWh/m ²	PET: 87→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ^{1,2}	PET: 111→103 kWh/m ² (Ej möjligt)
85 % av BBR 2021 PET 77 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 111→103 kWh/m ² (Ej möjligt)
75 % av BBR 2021 PET 68 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² (Ej möjligt)	PET: 111→103 kWh/m ² (Ej möjligt)

¹ U-värde hela fönster från 0,9 till 0,6.

² Ytterväggar isoleras från U-värde 0,15 till 0,11.

³ Grundplatta isoleras från U-värde 0,19 till 0,09.

6.2 Lönsamhetsbedömning för kravnivåer enligt år 2021

Redovisade LCC resultat är beräknade utan hänsyn till kostnader för uppvärmningssystemet, det vill säga det är bara en lönsamhetsbedömning utifrån åtgärderna solceller, solceller med lagringsbatterier och förbättrat klimatskal. Nedan redovisas endast fallen fjärrvärme respektive frånluftsvärmepump och fjärrvärme för kravnivåer enligt BBR 2021.

I tabell 11 redovisas också olika procentsatser av kravet för BBR 2021 på samma sätt som i kapitel 6.1. Resultat för övriga uppvärmningssystem redovisas i bilaga 10. Formuleringen *Krav uppnås ej* i tabell 12 – tabell 13 innebär att kravet inte kan uppnås för den specifika kombinationen av uppvärmningssystem och ort. Formuleringen *Uppfylls utan åtgärd* för samma tabeller som ovan innebär att kravet för BBR redan är uppfyllt före föreslagen åtgärd.

Tabell 11. Redogörelse för de poster som ligger till grund för LCC analysen samt vad som inkluderas i de respektive alternativen 1 och 2.

Åtgärd: Solceller	Åtgärd: Solceller med lagringsbatteri	Åtgärd: Förbättrat klimatskal
Besparing från solel Intäkter från överproduktion Intäkter från elcertifikat Underhållskostnader Investeringskostnad Investeringsbidrag	Besparing från solel Besparing med batteri Intäkter från överproduktion Intäkter från elcertifikat Nyinvestering batteri Underhållskostnader Investeringskostnad Investeringsbidrag	Besparing energi Underhållskostnader Investeringskostnad fönster Investeringskostnad grund Investeringskostnad yttervägg Nyinvestering fönster
Alternativ 1	Inkluderar alla poster ovan för respektive åtgärd	
Alternativ 2	Inkluderar alla poster ovan utom investeringsbidrag och intäkter från överproduktion för respektive åtgärd	

6.2.1 BBR krav

Tabell 12. LCC kostnader för definierade alternativ enligt tabell 11 avrundade till närmsta tusental.

Malmö Åtgärd: Solceller	Annuitetsberäknat [kr/år]	
	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Malmö Åtgärd: Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	-7 000	-27 000
Malmö Åtgärd: Klimatskal		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	

Tabell 13. LCC kostnader för definierade alternativ enligt tabell 11 avrundade till närmsta tusental.

Stockholm Åtgärd: Solceller	Annuitetsberäknat [kr/år]	
	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Stockholm Åtgärd: Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	-27 000	-61 000
Stockholm Åtgärd: Klimatskal		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	

6.3 Erforderlig sänkning av batterikostnad för att uppnå lönsamhet

Nedan redovisas erforderlig sänkning av batteripriset i procent för att uppnå lönsamhet. I de fall där prissänkning av batteri uppgår till 100 % och lönsamhet ej kan uppnås redovisas de med *Ej möjlig*. För att alternativ 2 skall bli lönsam krävs även en prissänkning på solceller. Fallet med fjärrvärme för respektive ort har redan uppnått kravet enligt BBR 2021 utan åtgärd och uteblir därför ur tabell 14.

Tabell 14. Sänkning av pris på batteri för att uppnå lönsamhet enligt alternativ 1 och 2 definierade i kapitel 6.2

Malmö		
Sänkning av pris på batteri, BBR		
Åtgärd:	Alternativ 1	Alternativ 2
Solceller med lagringsbatteri		
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	63 %*	Ej möjlig

* Endast möjligt att uppnå lönsamhet med 63 % prissänkning om både investeringsbidrag och försäljning av överproduktion inkluderas. Vid utebliven överproduktion kan alternativ 1 inte bli lönsam.

Stockholm		
Sänkning av pris på batteri, BBR		
Åtgärd:	Alt 1	Alt 2
Solceller med lagringsbatteri		
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	79 %*	Ej möjlig

* Endast möjligt att uppnå lönsamhet med 79 % prissänkning om både investeringsbidrag och försäljning av överproduktion inkluderas. Vid utebliven överproduktion kan alternativ 1 inte bli lönsam.

7 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras de resultat som presenterades i kapitel 6 samt metodval och särskilt utvalda beräkningsmodeller som använts i arbetet. Resultaten som presenteras är endast giltiga för de fall som redovisas i arbetet och kan se annorlunda ut om andra hustyper, orter eller uppvärmningssystem används.

7.1 Resultat

7.1.1 Energiförbrukning

Samtliga beräkningar av energiförbrukning har utförts enligt den beräkningsmetod som presenterades i Boverkets remiss från januari 2017. Det innebär att primärenergifaktorn för el är 2,5 i samtliga beräkningar enligt BBR 2021. Denna faktor kritiserades av många då remissen presenterades i januari och den kan därmed komma att ändras innan ändringarna enligt BBR 2021 träder i kraft. Denna studie kan därmed behöva upprepas då dessa ändringar har fastställts.

Resultaten för referenshusets energiförbrukning (PET) som redovisades i tabell 5 – tabell 10 samt bilaga 9 visar att kraven enligt förslaget på BBR 2021 kan uppfyllas med en bra byggnad och med ett bra uppvärmningssystem i de flesta fall. Då byggnaden värms med fjärrvärme, bergvärmepump eller luft-/vattenvärmepump och har ett FTX-system krävs nämligen ingen extra åtgärd för att kraven enligt BBR 2021 ska uppfyllas. Det är endast i fall då referenshuset värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme som extra åtgärder krävs och i vissa av dessa fall kan inte kravnivån uppnås trots extra åtgärd.

7.1.1.1 Åtgärd: Solceller med/utan lagringsbatteri

Då referenshuset värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme behövs åtgärden solceller och lagringsbatteri för de båda studerade orterna, det vill säga då byggnaden är placerad i Malmö samt i Stockholm. Kravet enligt BBR 2021 kan inte uppfyllas med enbart solceller i varken Malmö eller Stockholm. Lagringsbatterier är alltså en nödvändig investering i dessa fall.

Resultatet visar att det endast krävs åtgärd för att uppfylla krav enligt BBR 2021 då referenshuset värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme, men inte då det värms med de övriga uppvärmningssystemen. Detta antyder att referenshuset är ”för bra” för att det ska kunna vara möjligt att utvärdera batteriernas inverkan på förbättring av PET. Detta trots att referenshuset som beräkningarna baseras på är uppbyggt enligt byggföretagets standard och därmed inte representerar ett exceptionellt fall.

För att utvärdera batteriers inverkan på förbättring av PET har därför beräkningar utförts även för om referenshuset ska uppfylla krav enligt Miljöbyggnad. Det finns inga uppgifter att tillgå kring hur kraven enligt Miljöbyggnad kommer att uppdateras då ändringarna i BBR träder i kraft år 2021. Därför genomfördes beräkningarna i detta arbete för kravnivåer som motsvarar 90 %, 85 % och 75 % av kravet enligt BBR, där 75 % motsvarar dagens kravnivå för Miljöbyggnad silver och därmed betraktas som den lägsta möjliga silvernivån.

Även beräkningar för 65 % av kravet enligt BBR har utförts, vilket motsvarar dagens nivå för Miljöbyggnad guld, dessa redovisas endast i bilaga 9. Både nivån 75 % och 65 % av krav enligt BBR 2021 kan anses vara för stränga efter det att BBR 2021 träder i kraft. Därmed är

det inte troligt att dessa kommer att gälla efter ändringarna. Resultaten från dessa nivåer kan dock utnyttjas för att se potentialen i respektive uppvärmningssystem och åtgärd.

Resultatet för referenshuset med fjärrvärme är att det inte behövs något batteri för att uppfylla krav som motsvarar 90 % av BBR 2021. Kravet kan uppfyllas med samma storlek på solcellsanläggningen med och utan batteri och det är alltså inte befogat att investera i batteri för denna kravnivå.

Från resterande resultat för referenshuset med fjärrvärme kan det konstateras att om kravnivån för Miljöbyggnad silver blir 85 % av kravet enligt BBR 2021 kan silver-nivån uppnås i Malmö med hjälp av enbart solceller, medan det i Stockholm behövs både solceller och lagringsbatteri för att det ska vara möjligt att uppfylla silver-nivån. Om kravnivån för Miljöbyggnad silver blir lägre än 85 % av kravet enligt BBR 2021 kommer lagringsbatterier att behövas för att det ska vara möjligt att uppfylla silver-nivån. I Stockholm blir det dock endast möjligt att uppfylla nivån 80 % av BBR 2021 med hjälp av solceller och lagringsbatteri, en lägre nivå kan inte uppnås med de åtgärder som studeras i detta arbete. I Malmö är nivån 75 % av krav enligt BBR 2021 den lägsta nivå som kan uppnås med åtgärden solceller och lagringsbatteri.

Då referenshuset värms med bergvärmepump eller luft-/vattenvärmepump krävs endast åtgärd för att uppfylla krav som motsvarar 75 % respektive 65 % av krav enligt BBR 2021. Detta innebär att om något av dessa uppvärmningssystem installeras i kombination med FTX-system kan strängare krav uppfyllas utan annan åtgärd.

7.1.1.2 Åtgärd: Förbättrat klimatskal

Åtgärden att förbättra klimatskalet för att minska PET representerar ett alternativ till åtgärden solceller och lagringsbatteri. Som tidigare nämnts, studeras i detta arbete endast åtgärderna bättre fönster, extra isolering i ytterväggarna samt extra isolering i grunden för att förbättra klimatskalet.

Åtgärden med bättre fönster innebär att U-värdet på samtliga fönster i byggnaden sänks från 0,9 till 0,6 vilket är något orealistiskt, men syftet med detta var att kontrollera hur stor inverkan som fönstren maximalt kan ha på byggnadens energiprestanda (PET) och därför valdes ett extremt värde.

Åtgärden med förbättrade fönster kan konstateras ha störst inverkan på PET, ca 5-7 kWh/m²A_{temp}, medan extra isolering i ytterväggar respektive grund har en betydligt lägre inverkan på PET, ca 1 - 2 kWh/m²A_{temp} vardera.

Åtgärden att förbättra klimatskalet för att minska PET kan konstateras otillräcklig i samtliga fall då referenshuset värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme. Då referenshuset värms med fjärrvärme är det en möjlig åtgärd ner till nivån 85 % av krav enligt BBR 2021 i Malmö-fallet. I Stockholm kan åtgärden endast utnyttjas för att nå nivån 90 % av krav enligt BBR 2021. Då referenshuset värms med berg- eller luft-/vattenvärmepump är energiprestandan så pass bra redan innan åtgärd att en förbättring av klimatskalet endast kan bli aktuell för kravnivåerna 75 % respektive 65 % av krav enligt BBR 2021.

7.1.1.3 Alternativa åtgärder

Andra åtgärder som skulle vara intressanta att utvärdera för att kunna jämföra dem med installation av solceller och batterier är bland annat snålspolande armaturer, avloppsvärmeväxlare, bättre verkningsgrad på den roterande värmeväxlaren i FTX-systemet samt lägre SFP-tal för fläktarna i systemet. Om åtgärderna ska kunna jämföras med solceller och lagringsbatteri bör fokus i första hand ligga på åtgärder som sänker elanvändningen. Då referenshuset värms med fjärrvärme är det endast åtgärderna för den roterande värmeväxlaren och fläktarna som kan ha inverkan på elanvändningen. Då referenshuset värms med en värmepump har däremot samtliga åtgärder en inverkan på elanvändningen eftersom värmepumparna drivs av el.

7.1.1.4 Den nya beräkningsmetoden för energiprestanda

Den nya beräkningsmetoden som presenterades i remissen från januari 2017 skulle göra det möjligt att ta bort uppdelningen elvärmdda och icke elvärmdda byggnader i formuleringen av kravet samt de fyra klimatzonerna som används idag. Endast en kravnivå per byggnadskategori (småhus, flerbostadshus och lokaler) ska finnas framöver och den ska gälla i hela Sverige. Det innebär att samma byggnad ska ha samma energiprestanda oberoende av var den geografiskt är placerad i landet.

Resultaten från beräkningarna som redovisades i bland annat tabell 5 visar att energiprestandan för samma byggnad, trots detta, beror av den geografiska placeringen i landet. Referenshuset i Malmö med fjärrvärme har energiprestandan $PET = 84 \text{ kWh/m}^2$ medan samma byggnad i Stockholm har energiprestandan $PET = 87 \text{ kWh/m}^2$. Då referenshuset värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme erhålls energiprestandan $PET = 104 \text{ kWh/m}^2$ i Malmö och $PET = 111 \text{ kWh/m}^2$ i Stockholm. Det innebär att de geografiska justeringsfaktorerna i remissen från januari 2017 inte kan justera energianvändningen för uppvärmning tillräckligt mycket för att samma kravnivå ska kunna gälla i hela landet. I maj 2017 skickades en extra remiss ut från Boverket. I denna hade bland annat de geografiska justeringsfaktorerna ändrats till viss del vilket kan hjälpa till att minska skillnaderna inom landet.

7.1.2 LCC-analys

Resultaten som redovisades i kapitel 6.2 visar att det i dagsläget inte är lönsamt att investera i lagringsbatteri för att uppfylla krav enligt BBR 2021. Inte ens då både investeringsbidrag och intäkter från försäljning av överskottsel inkluderas i LCC-kalkylen (Alternativ 1).

I kapitel 6.3 fastställdes att batteripriset behöver minska med 63 % för att investeringen ska bli lönsam om referenshuset är placerat i Malmö och värms med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme. Om samma byggnad är placerad i Stockholm krävs det istället att batteripriset minskar med 79 % för att investeringen ska bli lönsam. Procentsatserna anges för fall då investeringsbidrag och intäkter från försäljning av överskottsel inkluderas (Alternativ 1). Om dessa intäkter inte erhålls blir investeringen inte ens lönsam om batterierna är gratis, det vill säga det krävs även en prissänkning på solceller.

De erforderliga prissänkningarna på lagringsbatterier som presenterades i kapitel 6.3 bedöms, inom ramen för detta arbete, som möjliga. Detta efter att graferna över prisutvecklingen på solceller i figur 5 (kapitel 3.2.3) studerats. Från graferna framgår det att priset på solceller har minskat med mellan 60-80 %, beroende på solcellssystemets storlek, under en 6 års period mellan åren 2008 till 2014. Att den erforderliga prissänkningen på lagringsbatterier bedöms

möjlig görs med antagandet att prisutvecklingen på lagringsbatterier följer samma kurva som den för solceller över de senaste åren.

Den enda lönsamma åtgärden för att minska PET är installation av solceller. Denna är lönsam för samtliga fall där intäkt från överproduktion och bidrag inkluderas i beräkningen, det vill säga alternativ 1. Om dessa poster inte kan inkluderas (alternativ 2) blir solceller olönsamma. Det bör dock noteras att LCC-analysen endast inkluderar fall där åtgärd krävs för att uppfylla kraven. I många fall är referenshusets energiprestanda så pass bra att krav enligt BBR 2021 uppfylls utan åtgärd och i dessa fall har alltså ingen lönsamhetsbedömning genomförts.

Som konstateras ovan är solceller den mest lönsamma åtgärden följt av solceller med lagringsbatterier. Minst lönsam är åtgärden förbättrat klimatskal (enligt given definition i arbetet) vid jämförelse med alternativ 1 för solceller och solceller med lagringsbatteri. För alternativ 2 varierar vilken som är den minst lönsamma åtgärden beroende på vilken kravnivå av BBR 2021 som studeras. Trenden är dock tydlig, strängare kravnivåer indikerar mer lönsamhet med åtgärden solceller med lagringsbatterier än med åtgärden förbättrat klimatskal dock utan att uppnå positivt resultat för LCC beräkningen. Det bör noteras att lönsamhet för en åtgärd inte är nödvändig att uppnå om åtgärden krävs för att uppfylla en önskvärd kravnivå. I det fallet väljs den åtgärd som är minst olönsam.

Kostnaden för investering och installation av respektive uppvärmningssystem inkluderas inte i LCC-kalkylerna, vilket bör beaktas då resultaten analyseras. Anledningen till detta är att kostnad för inköp och installation av respektive uppvärmningssystem är svår att uppskatta och dessutom behöver byggnaden ett uppvärmningssystem oavsett om solceller eller solceller och lagringsbatteri installeras. Eftersom utvärdering av solceller och batteri är det huvudsakliga syftet med LCC-analysen gjordes därför bedömningen att utesluta kostnad för investering och installation av uppvärmningssystemen från analysen. Den mest lönsamma åtgärden i detta arbete kan därmed visa sig vara den minst lönsamma åtgärden om kostnader för uppvärmningssystemet beaktas. Det är alltså viktigt att inkludera dessa kostnader om en LCC-analys utförs i ett verkligt projekt i syfte att bedöma hela investerings lönsamhet.

Det finns en viss osäkerhet i möjligheten att få investeringsbidrag samt att sälja överskottsel. Därför togs beslutet att i arbetet beräkna ett bästa fall (Alternativ 1) och ett värsta fall (Alternativ 2) som tar hänsyn till osäkerheten kring investeringsbidrag och intäkter från försäljning av överskottsel. Om exempelvis försäljning av överskottsel inte är möjligt uteblir denna intäkt och den resulterande lönsamheten är närmre alternativ 2 än alternativ 1, dvs. mindre lönsam.

Intäkter från försäljning av överskottsel är beroende av om avtal kan skrivas med elnätägaren för försäljning av överskottsel. I det fall avtal skrivs beror intäkten även på försäljningspriset som avtalas. Försäljningspriset för överskottsel är i detta arbete angivet till 0,8 kr/kWh. Eftersom priset är beroende av det avtal som skrivs med nätägaren skulle det i verkligheten kunna vara lägre eller högre än så, vilket bidrar till en osäkerhet i LCC-kalkylerna. Det högre försäljningspriset á 1,40 kr/kWh erhålls om skattereduktion kan tillämpas. Skattereduktion har den som är mikroproducent och juridisk person möjlighet att få. Eftersom det är osäkert om referenshuset kan räknas som mikroproducent utelämnas skattereduktion från LCC-kalkylen i detta arbete och det lägre försäljningspriset används vid beräkningarna. Ett alternativ till att sälja överskottselen är att använda den till hushållselen. Då kan

solcellsanläggningen användas i större utsträckning men intäkter från överproduktionen uteblir. Överskottselen blir då istället en förmån för de boende i flerbostadshuset.

Som nämndes i kapitel 5.2.1 antags elcertifikatet gälla för hela tidsperioden trots att det endast får brukas under 15 år enligt regler från Energimyndigheten. Detta antagande görs för att underlätta kalkylarbetet och eftersom intäkter från elcertifikat i samtliga beräkningsfall har en liten inverkan på lönsamheten bedöms det vara en rimlig förenkling. Intäkterna uppgår nämligen till högst 5000 kr/år i de LCC-kalkyler som genomförs och utgör i samtliga fall den minsta posten i kalkylerna.

En osäkerhet i LCC-analysen är det faktum att det är svårt att förutspå vad som kommer hända med energipriset över de nästkommande 30-80 åren som LCC-analysen utförs för i detta arbete. Vid beräkningarna tas ingen hänsyn till energiprisets utveckling vilket bidrar till en stor osäkerhet i kalkylerna. En annan osäkerhet i LCC-analysen är det faktum att ersättningsystem, bidrag och subventioner för solceller och lagringsbatteri förmodligen kommer att förändras under årens lopp efter hand som förnyelsebar energi stärker sin position i vårt samhälle. Detta innebär att kalkylposterna som beror av gällande regler bidrar till en osäkerhet i kalkylerna.

7.2 Metodval

Det är viktigt att notera att arbetet bygger på en fallstudie för ett referenshus på två orter i Sverige där referenshuset har en given formfaktor. De resultat som erhållits i arbetet är därför endast giltiga för de fall som beräknas.

Datorprogrammen IDA ICE och NIBE Dim som använts i arbetet samt byggföretagets verktyg för solel antags fungera bra utan större osäkerheter eftersom de alla är beprövade inom branschen och av byggföretaget. Dock finns alltid risk för inmatningsfel vid beräkning och detta bidrar till en osäkerhet i beräkningarna. Någon säkerhetsmarginal inkluderas inte i de presenterade resultaten i arbetet.

I detta avsnitt diskuteras vald beräkningsmetod för lagring av solel, valet av solceller och lagringsbatteri som använts i studien samt valet av de fyra uppvärmningssystemen som studerats i arbetet.

7.2.1 Beräkningsmetod lagring av solel

Den beräkningsmetod som använts för att fastställa mängden lagrad energi i batterierna innehåller många osäkerheter. Detta eftersom lagringsbatteri i byggnader är väldigt nytt. Det finns därför inte mycket information om batterier och deras egenskaper så som hur stor andel av batteriets lagringskapacitet som kan utnyttjas vid lagring, hur lagringskapaciteten försämras med åren samt vilka laddningscykler som är optimala för batterierna. De enda hjälpmedel som har hittats under arbetets gång är datorprogrammet System Advisor Model (SAM) (NREL, 2017) samt en Excel-beräkning för energilagring i batterier ”Simple economic model - household solar + battery” (Cooper, 2015). SAM har en batterifunktion för solcellsanläggningar som lanserades i 2015 i en Beta-version. Sedan dess har funktionen utvecklats, men den blev inte färdigställd innan detta arbete publicerades. Beräkningar för lagringsbatterier är därmed generellt sett ganska oprövade, vilket gör att detta arbete innehåller många oprövade metoder kopplade till lagring av solel. Dessa har dock verifierats med hjälp av nämnda tillgängliga program efter bästa förmåga. Beräkningsmodellen för lagring av solel diskuteras närmre i kapitel 7.3.

7.2.2 Val av solceller och lagringsbatteri

I detta arbete har endast en typ av solcell och en typ av lagringsbatteri utvärderats. Det finns solceller med bättre verkningsgrad än de som ligger till grund för studien, men dessa har valts som ett basfall för studien och om intresse finns för vidare studier kan andra solceller utvärderas på samma sätt.

När det gäller batteri så har Teslas Powerwall 2 använts vid beräkningarna. Det finns större batteri på marknaden, men Powerwall 2 är det batteri som under arbetets gång haft bäst pris. Vid beräkningarna har det dessutom konstaterats att en större lagringskapacitet inte bidrar till förbättring av PET i någon större utsträckning. Inte i något beräkningsfall behövs den maximala lagringskapaciteten 121,5 kWh som åstadkoms med 9 st seriekopplade Powerwall 2. Det är därmed inte befogat att räkna på fall med större och dyrare batteri.

7.2.3 Val av uppvärmningssystem

De uppvärmningssystem som används vid beräkningarna i detta arbete är valda med syfte att ge värdefull information till branschen med specifikt fokus på byggföretagets intresse. Bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump inkluderas i beräkningarna för att resultaten ska

kunna tillämpas även på platser där fjärrvärme inte finns tillgängligt. Bergvärmepump tillsammans med FTX-system ger en oerhört väl presterande byggnad avseende energi och inneklimat. Syftet med att inkludera detta alternativ i beräkningarna är att redovisa hur bra en byggnads energiprestanda kan bli enbart genom ett medvetet val av uppvärmnings- och ventilationssystem. Anledningen till att både uppvärmning med hjälp av bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump studeras i arbetet är att det på vissa platser inte är ett möjligt alternativ att installera en bergvärmepump. Genom att inkludera båda värmepumparna i arbetet är förhoppningen att resultatet ska bli användbart i fler fall inom branschen.

7.3 Beräkningsmodeller

Resultaten som diskuteras i kapitel 7.1.1 är starkt beroende av en korrekt beräkningsmodell. I arbetet har energisimuleringsprogrammet IDA ICE använts med kompletterande beräkningar i Excel för att simulera en realistisk energianvändning. Vad gäller simulering av tillgodoräknad solexel har ett färdigt verktyg använts från byggföretaget. Till verktyget har en funktion lagts till som möjliggör beräkning av lagrad elenergi. Denna funktion är en stor osäkerhetskälla då liknande program för att erhålla timvärden för lagring av solexel knappt existerar i branschen.

I detta avsnitt diskuteras endast denna lagringsfunktion. Intressanta aspekter av de andra modellerna eller datorprogrammen som använts i arbetet för att få fram ett resultat diskuteras inte eftersom dessa anses vara etablerade och validerade.

Eftersom liknande program för att erhålla timvärden för lagring av solexel knappt existerar i branschen har det varit svårt att verifiera att de beräkningar som genomförts för lagring av elenergi är korrekta. Jämförelser har dock gjorts med det ännu icke fullt utvecklade programmet System Adviser Model (SAM) där slutsats drogs att resultaten underskattades något. Lagringsfunktionen har även utvärderats mot en annan oberoende utvecklad programvara ”Simple economic model - household solar + battery” och dessa visar likvärdiga resultat. Av denna slutsats bedöms lagringsfunktionen, som används i detta arbete, generera ett rimligt resultat.

Lagringsfunktionen är också uppbyggd av ett tidsschema vilket möjliggör lagring av el under vissa tider för att sedan möjliggöra urladdning under resterande tid på dygnet. Denna funktion lades till i programmet eftersom det i början av arbetet bedömdes vara viktigt att kontrollera antalet laddningscykler för batteriet. Detta har sedan visat sig vara en funktion som inte behövs, efter att en kontroll utförts för lagringsfunktionen med och utan tidsschema där slutsats drogs att resultaten är likvärdiga. Dock har inte alla fall som presenteras i arbetet kontrollerats med och utan tidschema, därför kan det inte uteslutas att tidsschemat har en viss påverkan på resultatet.

En annan brist/potentiell felkälla för verktyget som använts för beräkning av solexel är att det inte tar hänsyn till degradering av kapaciteten hos solceller och lagringsbatteri. Detta är en förenkling av verkligheten som tyvärr överskattar de resultat som presenteras i arbetet.

8 Slutsats

Följande slutsatser dras utifrån examensarbetets syfte och de antaganden och förutsättningar som gjorts:

- **Referenshuset har tillräckligt bra energiprestanda utan åtgärd**

Det valda referenshuset klarar för alla fall, utom frånluftsvärmepump med fjärrvärme, kravet på PET enligt BBR 2021. Detta indikerar att klimatskalet och de tekniska systemen för byggnaden är tillräckligt bra för att krav enligt BBR 2021 ska kunna uppfyllas eftersom ingen åtgärd krävs.

- **Solceller i kombination med lagringsbatterier är en möjlig åtgärd för att förbättra PET**

Åtgärden solceller i kombination med lagringsbatterier fungerar för att referenshuset med frånluftsvärmepump tillsammans med fjärrvärme skall klara krav enligt BBR 2021. Likaså fungerar åtgärden för att referenshuset med fjärrvärme ska kunna klara krav som motsvarar 90 % och 85 % av BBR 2021.

- **Solceller i kombination med lagringsbatterier ej lönsamt**

Att solceller i kombination med lagringsbatterier är en åtgärd som kan förbättra PET konstaterades i föregående punkt. Det är dock ingen lönsam åtgärd i dagsläget 2017, då samtliga testade fall gav en negativ kalkyl.

- **Framtida lönsamhet för solceller och lagringsbatteri**

Som konstaterats finns ingen lönsamhet i dagsläget, men det finns möjlighet för att det i framtiden kommer vara lönsamt att investera i solceller och batterier. Detta då priset på solceller har minskat under lång tid och trenden för batterier är också att priset minskar allt eftersom produktionstakten ökar.

- **Solceller är lönsamma med ekonomiskt stöd**

Solceller är lönsamma när hänsyn tas till intäkter från överproduktion och investeringsbidrag. De är lönsamma för alla beräkningsfall där åtgärden solceller krävs. Om dessa intäkter utesluts ur beräkningsmodellen blir ingen av de beräknade fallen lönsamma.

- **Lönsamhetsbedömning mellan åtgärder – solceller bästa åtgärden**

Vid lönsamhetsbedömning mellan de tre åtgärderna solceller, solceller med lagringsbatteri och förbättrat klimatskal visar det sig att solceller är det mest lönsamma alternativet medan förbättrat klimatskal är det mest olönsamma.

9 Förslag på fortsatta studier

Nedan följer förslag på fortsatta studier inom studerat område:

- Liknande studie för flerbostadshus med andra referensbyggnader (exempelvis andra formfaktorer och annan konstruktion) tillsammans med en kontroll av hur behovet av solceller och lagringsbatteri ändras jämfört med erhållna resultat för referenshuset i detta arbete.
- Genomföra en liknande studie för flerbostadshus på andra *orter* än Malmö och Stockholm.
- Genomföra en liknande studie för småhus samt för kontor eftersom förutsättningarna är annorlunda. Denna kan även genomföras för andra *orter* och *uppvärmningssystem*.
- Fastställande av nyckeltal för hur stor solcellsanläggning och hur många lagringsbatterier som behövs för att förbättra PET. Förslagsvis nyckeltal i form av $kWp \text{ solceller}/m^2 A_{temp}$ och $kWh \text{ lagring}/kWp \text{ solceller}$.
- Genomföra beräkningar med andra typer av solceller med bättre verkningsgrad och utvärdera effekten av solceller och lagringsbatteri för sådana system.
- Genomföra en liknande studie där FTX systemet byts ut mot solceller och lagringsbatterier. Hur påverkar detta PET? Vilket alternativ är mest lönsamt?
- Mer detaljerad LCC-analys av andra intressanta åtgärder för att förbättra PET. Exempel på åtgärder kan vara avloppsvärmeväxling, snålspolande vattenarmaturer, högre värmeåtervinning i FTX systemet m.m.
- Undersökning av lönsamheten för investering av solceller och batteri i andra länder inom Norden (där byggföretaget är verksamt). Hänsyn bör tas till dessa länders regelverk för bidrag till investering av solcellsanläggningar med batteri, försäljning av överskottsels etc.
- Analys av investeringen av solceller och batteri ur ett miljömässigt perspektiv genom en livscykelanalys (LCA). Kan sedan jämföras med andra åtgärder.
- Utföra lönsamhetsbedömningar för solceller med lagringsbatterier samt andra energibesparande åtgärder och sedan jämföra dessa utifrån perspektivet med befintliga hus. Är solceller och lagringsbatteri en bra åtgärd för detta ändamål?

10 Referenser

10.1 Litteraturförteckning

- Andrén, L. (2015). *Solenergi - Praktiska tillämpningar i bebyggelse*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst .
- Becker, M. (2013). *Kompendium i MIO012/MIOA01 Industriell ekonomi AK HT2013-VT2014*. Lund: Institutionen för Teknisk ekonomi och Logistik Lunds universitet.
- Beijer. (u.å. (a)). *CELLPLAST JP 200 KPA 1200MM*. Hämtat från www.beijerbygg.se: <https://www.beijerbygg.se/store/privat/byggmaterial/isolering/cellplast-eps/cellplast-jp-200-kpa-1200mm?artikel=521013> den 24 April 2017
- Beijer. (u.å. (b)). *Fasadskiva 30*. Hämtat från www.beijerbygg.se: <https://www.beijerbygg.se/store/privat/byggmaterial/isolering/glasull/fasadskiva-31-618?artikel=301501#> den 24 April 2017
- Bernardo, R. (den 2 februari 2017). *Photovoltaic systems, components, costs, shading and bypass diodes [PowerPoint-presentation]*. Hämtat från Lunds Tekniska Högskola webbplats: https://liveatlund.lu.se/departments/ebd/AEB020/AEB020_2017VT_100_1_NML__1281/CourseDocuments/PV%20systems%20components%20bypass%20diodes%20metering%20costs%20-%20RB.pdf den 3 februari 2017
- BFS. (2016:13). Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd. *BFS: 2011:6 med ändringar till och med BFS 2016:13*. Hämtat från http://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf den 27 januari 2017
- BFS. (2017 (a)). Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd BBR (A).
- BFS. (2017 (b)). Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår BEN 2.
- BFS. (2017:xx-B). Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd BBR.
- Boverket. (2011). *Bör byggreglerna ändras för att öka användningen av förnybara energikällor i bebyggelsen?* Karlskrona: Boverket. Hämtat från <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2011/fornybara-energikallor-i-bebyggelsen.pdf> den 17 Mars 2017
- Boverket. (2015 (a)). *Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader - Definition av energiprestanda och kvantitativ riktlinje*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2015 (b)). *Nära-nollenergibyggnader i Sverige*. Hämtat från www.boverket.se: <http://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/nara-nollenergibyggnader-i-sverige/> den 23 januari 2017

- Boverket. (den 25 februari 2016). *Tidplan för Boverkets föreskrifter om nära-nollenergibyggnader*. Hämtat från www.boverket.se:
<http://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/nara-nollenergibyggnader-i-sverige/andrad-tidplan-for-boverkets-foreskrifter-om-nara-nollenergibyggnader/> den 24 januari 2017
- Boverket. (2017 (a)). *Konsekvensutredning BBR (A)*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2017 (a)). *Konsekvensutredning BBR (A)*. Karlskrona: Boverket. Hämtat från [file://fs-n.net.lth.se/home/vov11fha/Downloads/konsekvensutredning-bbr---a%20\(1\).pdf](file://fs-n.net.lth.se/home/vov11fha/Downloads/konsekvensutredning-bbr---a%20(1).pdf) den 27 januari 2017
- Boverket. (2017 (b)). *Konsekvensutredning BBR (B)*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2017 (b)). *Konsekvensutredning BBR (B)*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (den 24 januari 2017 (c)). *Presentation av förordning och förslag till föreskrifter om nära-nollenergibyggnader*. Hämtat från www.boverket.se:
<http://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/kalender/presentation-av-forordning-och-foreskrifter-om-nara-noll-energibyggnader/> den januari 25 2017
- Boverket. (den 12 januari 2017 (d)). *Presentation av förordning och förslag till föreskrifter om nära-nollenergibyggnader[webbsändning]*. Hämtat från www.boverket.se:
<http://edge.media-server.com/m/p/hhaygvem> den 24 januari 2017
- Boverket. (den 3 maj 2017 (e)). *Tidplan för Boverkets föreskrifter om nära-nollenergibyggnader*. Hämtat från www.boverket.se:
<http://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/nara-nollenergibyggnader-i-sverige/andrad-tidplan-for-boverkets-foreskrifter-om-nara-nollenergibyggnader/> den 12 maj 2017
- Boverket och Energimyndigheten. (2015). *Utvärdering av lågenergibyggnader - bilagor (Bilagor till rapporten: Utvärdering av lågenergibyggnader - en fallstudie 2015:25)*. Boverket och Energimyndigheten. Hämtat från www.boverket.se:
<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/utvardering-av-lagenergibyggnader-bilagor-ny.pdf> den 20 januari 2017
- Box of energy. (u.å.). *Products*. Hämtat från www.boxofenergy.se:
<http://www.boxofenergy.se/products> den 10 februari 2017
- Cdangderivative work. (2016 [Bild]). *Crystalline polycrystalline amorphous*. Hämtat från www.wikipedia.org: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35476650> den 26 jan 2017
- Cooper, C. (den 06 Maj 2015). SIMPLE ECONOMIC MODEL - HOUSEHOLD SOLAR + BATTERY. Hämtat från <http://reneweconomy.com.au/what-the-tesla-powerwall-battery-means-for-households-61055/> den 23 maj 2017
- de Oliveira e Silva, G., & Hendrick, P. (2016). Lead–acid batteries coupled with photovoltaics for increased electricity self-sufficiency in households. *Applied Energy*, 856-867.
- Diouf, B., & Pode, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. *Renewable Energy*, 375-380.

- Electrotec Energy. (2017). *Olika typer av solceller*. Hämtat från www.electrotecenergy.se: <http://electrotecenergy.se/typer-av-solceller/> den 27 jan 2017
- Elitfönster. (2016). *Prisbok*. Växjö: Elitfönster.
- Elmroth, A. (2012). *Energihushållning och värmeisolering: en handbok i anslutning till Boverkets byggregler* (3. uppl.). Svensk byggtjänst.
- Enberg, H. (2015). *Minimikrav på luftväxling - En tolkning av Boverkets Byggregler, Arbetsmiljöverkets föreskrifter, Folkhälsomyndighetens allmänna råd och andra dokument (Utgåva 10)*. Lilla Edet: H. Enberg Ventilationskonsult AB.
- Energilyftet. (u.å.). *Energilyftet*. Hämtat från www.energilyftet.learnways.com: <http://energilyftet.learnways.com/Resources/Courses/266/block-2/index.html?v=1468713600029> den 17 Mars 2017
- Energimyndigheten. (2009). *Informationsbroschyr om att producera el med hjälp av solceller*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2014). *Svensk sammanfattning av IEA-PVPS National Survey Report of PV power applications in Sweden 2014*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2015 (a)). *Energimyndighetens syn på viktning- och primärenergifaktorer*. Eskilstuna: Energimyndigheten. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/om-oss/stallningstaganden/energimyndighetens-syn-pa-viktning-faktorer.pdf> den 27 januari 2017
- Energimyndigheten. (den 15 September 2015 (b)). *Investeringsstöd*. Hämtat från www.energimyndigheten.se: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/stod-till-solceller/investeringsstod/> den 20 April 2017
- Energimyndigheten. (den 16 Juni 2016 (a)). *Om elcertifikatsystemet*. Hämtat från www.energimyndigheten.se: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/> den 20 April 2017
- Energimyndigheten. (2016 (b)). *Solceller*. Hämtat från www.energimyndigheten.se: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/> den 24 jan 2017
- Eon. (2017). *Lagra din solenergi*. Hämtat från www.eon.se: <https://www.eon.se/privat/solfarmare/lagra-din-solenergi.html> den 9 februari 2017
- EQUA Simulation AB. (2017). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hämtat från www.equa.se: <http://www.equa.se/se/ida-ice> den 27 mars 2017
- EUR-Lex. (u.å.). *EU-rättsakter*. Hämtat från eur-lex.europa.eu: http://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/community_legal_instruments.html?locale=sv den 3 februari 2017

- Europeiska Unionen. (den 18 juni 2010). Europeiska unionens officiella tidning. *Lagstiftning L 153*, ss. 13-28. Hämtat från <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L:2010:153:TOC> den 20 januari 2017
- Fahlén, E., Karlsson, J., Johansson, N., Grill, E., Flodberg, K., & Heincke, C. (2016). *Solceller på svenska kontorsbyggnader*. Energiforsk.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy. (2016). Hämtat från www.ise.fraunhofer.de: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf> den 20 januari 2017
- Frischknecht, R., Itten, R., & Wyss, F. (2015). *Life Cycle Assessment of Future Photovoltaic Electricity Production from Residential-scale Systems Operated in Europe*. International Energy Agency.
- Green, M. (den 24 maj 2000). Photovoltaics: technology overview. Sydney, New South Wales, Australien.
- Green, M. (2004). Recent developments in photovoltaics. Sydney, New South Wales, Australien.
- Göransson, A., Sköldberg, H., Unger, T., Wahlström, Å., Filipsson, P., & Sundström, T. (2013). *Reglerna för nära-nollenergihus - Konsekvenser av olika formuleringar av energikraven*. Stockholm: Fjärrsyn.
- Haegermark, M. (2016). *Solcellssystem i svenska byggnader*. Göteborg: Chalmers University of Technology. Hämtat från www.chalmers.se: <https://www.chalmers.se/sv/institutioner/cee/nyheter/Sidor/Solcellers-lonsamhet-pa-fastigheter.aspx>
- Hansson, M. (2016). *Grönt batteri – tänkbar lösning för lagring av el*. Hämtat från www.sverigesradio.se: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=3345&artikel=6344265> den 31 januari 2017
- International Energy Agency. (2016). *Trends 2016 in photovoltaic applications*. International Energy Agency.
- Jernkontoret. (u.å.). *Jernkontorets energihandbok - Lagring av elektrisk energi*. Hämtat från www.energihandbok.se: <http://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi/> den 17 februari 2017
- Jönsson, M. (den 11 Januari 2017). *Fjärrvärmepriiser*. Hämtat från www.energiforetagen.se: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/fjarrvarmepriiser/> den 24 April 2017
- Karlsson, G. (u.å.). *Ackumulator*. Hämtat från www.ne.se: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/ackumulator> den 10 februari 2017
- Larsson, Ö., & Ståhl, B. (2012 (a)). *Lösningar på lager - Energilagringstekniken och framtidens hållbara energiförsörjning*. Stockholm: Vinnova.

- Larsson, Ö., & Ståhl, B. (2012 (b)). *Utan nät - Batterimarknadens utvecklingsmöjligheter och framtida tillväxt*. Stockholm: Vinnova.
- Liebreich, M. (2015). Bloomberg new energy finance summit 2015. (ss. 12-13). New York: Bloomberg New Energy Finance .
- Miljö- och energidepartementet. (den 2 april 2015 (a)). *Omarbetat direktiv om byggnaders energiprestanda - Del I Förslag och bedömningar avseende energideklarationer*. Hämtat från www.regeringen.se:
<http://www.regeringen.se/49bbc4/contentassets/2f37dc7654d444f0be5622dc686b6878/omarbetat-direktiv-om-byggnaders-energi-prestanda-den-20-januari-2017>
- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Gaston Planté*. Hämtat från www.ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/gaston-plante> den 17 februari 2017
- Nibe. (u.å.). *PROFFS - För konsulten*. Hämtat från www.nibe.se:
<http://www.nibe.se/Proffs/For-konsulten/> den 23 maj 2017
- Nordman, R. (2007). *Undersökning av värmepumpars miljöpåverkan*. Göteborg: Naturskyddsföreningen. Hämtat den 26 maj 2017
- NREL. (2017). System Adviser Model. <https://sam.nrel.gov/>.
- Plan- och Byggförordning. (SFS 2011:338 (a)). 1 kap. 3 a §. Stockholm: Näringsdepartementet. Hämtat från http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338 den 27 januari 2017
- Plan- och Byggförordning. (SFS 2011:338 (b)). 3 kap. 14 §. Stockholm: Näringsdepartementet. Hämtat från http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338 den 27 januari 2017
- PV Education. (2017). *Doping*. Hämtat från <http://pveducation.org/>:
<http://pveducation.org/pvcdrom/doping> den 25 jan 2017
- Randall, T. (2017). *Tesla's Battery Revolution Just Reached Critical Mass*. Hämtat från www.bloomberg.com: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-30/tesla-s-battery-revolution-just-reached-critical-mass> den 9 februari 2017
- Regeringskansliet. (den 8 december 2016). *Regeringen beslutar om krav på nära-nollenergibyggnader*. Hämtat från www.regeringen.se:
<http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/12/regeringen-beslutar-om-krav-pa-nara-noll-energibyggnader/> den 25 januari 2017
- Scrosati, B., & Garce, J. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 2419-2430.
- Skatteverket. (u.å.). *Skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el*. Hämtat från www.skatteverket.se:
<https://www.skatteverket.se/privat/fastigheterochbostad/mikroproduktionavfornybarel/>

- skattereduktionformikroproduktionavfornybarel.4.12815e4f14a62bc048f4220.html
den 29 April 2017
- Solar Region Skåne. (2016). *Hur fungerar ett solelssystem?* Hämtat från www.solarregion.se:
<http://solarregion.se/om-solenergi/solceller/hur-installeras-solceller/> den 27 jan 2017
- Solar Region Skåne. (den 16 februari 2017). *Vilka regler gäller om jag säljer el?* Hämtat från
www.solarregion.se: <https://solarregion.se/om-solenergi/solceller/vilka-regler-galler-om-jag-saljer-el/> den 31 maj 2017
- SOLARWATT. (u.å.). *SOLARWATT MyReserve 500 storage system*. Hämtat från
www.solarwatt.net: <https://www.solarwatt.net/components/storage-system-myreserve-500> den 9 februari 2017
- Solelprogrammet. (u.å. (a)). *Installationsguide solceller*. Hämtat från
<http://www.solelprogrammet.se/>:
http://www.solelprogrammet.se/global/installationsguide_solceller.pdf?epslanguage=s
v den 20 januari 2017
- Solelprogrammet. (u.å. (b)). *Moduler och cellteknologi*. Hämtat från
www.solelprogrammet.se:
<http://www.solelprogrammet.se/projekteringsverktyg/moduler/> den 23 januari 2017
- Sveby. (2012 (a)). *Brukarindata bostäder*. Stockholm: Sveby. Hämtat den 17 Mars 2017
- Sveby. (den 22 oktober 2012 (b)). *www.sveby.org*. Hämtat från Energiavisningar:
<http://www.sveby.org/> den 6 april 2017
- Svensk Kraftmäkling. (u.å.). *SKM Elcertificate price history*. Hämtat från www.skm.se:
<http://www.skm.se/priceinfo/history/2016/> den 24 April 2017
- Svesol. (u.å.). *Mikroproduktion - Sälj din egen el*. Hämtat från www.svesol.se:
<http://www.svesol.se/solel/mikroproduktion> den 26 jan 2017
- Tesla. (2017). *Powerwall*. Hämtat från www.tesla.com: <https://www.tesla.com/powerwall> den
9 februari 2017
- Tesla. (u.å. (a)). *Powerpack*. Hämtat från www.tesla.com: <https://www.tesla.com/powerpack>
den 9 februari 2017
- Tesla. (u.å. (b)). *Tesla Energy*. Hämtat från www.tesla.com:
https://www.tesla.com/sv_SE/presskit/teslaenergy?redirect=no den 9 februari 2017
- U.S Department of energy. (september 2015). Hämtat från energy.gov:
https://energy.gov/sites/prod/files/2016/04/f30/efficiency_chart_0.jpg den 20 januari
2017
- Upphandlingsmyndigheten. (den 23 November 2016). *LCC-verktyg*. Hämtat från
www.upphandlingsmyndigheten.se:
<http://www.upphandlingsmyndigheten.se/omraden/lcc/lcc-kalkyler/> den 20 April 2017
- Upphandlingsmyndigheten. (den 12 januari 2017 (a)). *LCC-guiden*. Hämtat från
utbildning.upphandlingsmyndigheten.se:
<http://utbildning.upphandlingsmyndigheten.se/lcc/index.html> den 19 april 2017

- Upphandlingsmyndigheten. (den 12 Januari 2017 (b)). *Olika typer av investeringskalkyler*. Hämtat från www.upphandlingsmyndigheten.se:
<http://www.upphandlingsmyndigheten.se/omraden/lcc/perspektiv/olika-typer-av-investeringskalkyler/> den 06 April 2017
- Warell, J., & Karlsson, G. (u.å.). *Batteri*. Hämtat från www.ne.se:
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/batteri> den 10 februari 2017
- Vattenfall. (2017). *Mikroproduktion - vi köper din överskottsel*. Hämtat från www.vattenfall.se: <https://www.vattenfall.se/smarta-hem/solceller/salj-din-overskottsel/> den 24 jan 2017
- Vetter, M., & Rohr, L. (2014). *Lithium-Ion Batteries for Storage of Renewable Energies and Electric Grid Backup*. Freiburg: Fraunhofer institute for solar energy systems.
- Wolf, A. (2011). *El från solen - för en ljusare framtid*. Stockholm: Naturskyddsförening.
- Xu, B., Oudalo, A., Ulbig, A., Andersson, G., & Kirschen, D. (2016). Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment. *IEEE Transactions on Smart Grid*.
- Åquist, C. (u.å. (a)). *Cell*. Hämtat från www.ne.se:
[http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/cell-\(elektrokemisk\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/cell-(elektrokemisk)) den 17 februari 2017
- Åquist, C. (u.å. (b)). *Cell*. Hämtat från www.ne.se:
[http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/cell-\(elektrokemisk\)](http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/cell-(elektrokemisk)) den 10 februari 2017

11 Bilagor

Förteckning

Bilaga 1 BBR 2017 (BBRA)

Bilaga 2 Kravnivåer i BBR innan ändring av träder i kraft 2017

Bilaga 3 BBR 2021 (BBR B)

Bilaga 4 Beräkningsexempel primärenergital

Bilaga 5 Planlösning referenshuset

Bilaga 6 Indata IDA ICE

Bilaga 7 Optimering för fallet Malmö med uppvärmningssystem fjärrvärme

Bilaga 8 Beräkningsexempel LCC

Bilaga 9 Resultat energiprestanda

Bilaga 10 Resultat lönsamhetsbedömning

Boverkets författningssamling

Utgivare: Förnamn Efternamn

BFS 2017:xx
BBR (A)

Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd;

Utkom från trycket
den 0 månad 0

beslutade den 0 månad 0.

Med stöd av 10 kap. 3, 4, 9, 22 och 24 §§ plan- och byggförordningen (2011:338) föreskriver Boverket i fråga om verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd följande

dels att avsnitten 9:21–9:24, 9:4 och 9:8 upphör att gälla,

dels att avsnitten 1:2, 3:11, 9, 9:11, 9:12, 9:2 och 9:92 ska ha följande lydelse.

1:2¹ Föreskrifterna

Föreskrifterna gäller

- vid uppförandet av nya byggnader,
- vid mark- och rivningsarbeten, samt
- för obebyggda tomter som ska förses med en eller flera byggnader.

Vid uppförandet av andra anläggningar än byggnader på tomter gäller föreskrifterna i avsnitt 8:9.

Vid ändring av byggnader gäller föreskrifterna i den utsträckning som följer av avsnitt 1:22.

Allmänt råd

Av 1 kap. 4 § PBL framgår att även ombyggnader och tillbyggnader innefattas i begreppet ändring av byggnader.

Föreskrifter om byggnaders utformning m.m. meddelas även av andra myndigheter än Boverket. Till exempel utfärdar Arbetsmiljöverket föreskrifter om arbetsplatser och Jordbruksverket föreskrifter om utformning av djurstallar.

3:11 Allmänt

Föreskrifterna i avsnitt 3 Tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen gäller inte för fritidshus med högst två bostäder.

Allmänt råd

Att fritidshus med högst två bostäder är undantagna från vissa regler i avsnitten 3 Tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen följer redan av PBL.

¹ Senaste lydelse BFS 2014:3. Ändringen innebär att föreskriftens sista stycke och det allmänna rådets sista stycke är flyttad till 3:11.

9² Energihushållning

Detta avsnitt innehåller föreskrifter och allmänna råd till 3 kap. 14 § PBF. Avsnitt 9:9 innehåller också föreskrifter och allmänna råd till 8 kap. 7 § PBL.

9:11³ Tillämpningsområde

Reglerna i avsnitt 9 Energihushållning gäller för alla byggnader med undantag för

- växthus eller motsvarande byggnader som inte skulle kunna användas för sitt ändamål om dessa krav behövde uppfyllas,

- bostadshus som används eller är avsedda för användning antingen mindre än fyra månader per år eller under en begränsad del av året motsvarande en energianvändning som beräknas vara mindre än 25 procent av vad som skulle vara fallet vid helårsanvändning,

- byggnader där inget behov av uppvärmning eller komfortkyla finns under större delen av året, och

- byggnader där inget utrymme avses värmas till mer än 10 °C och där behovet av energi för komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi är lågt.

Kraven i avsnitten 9:2 behöver inte uppfyllas för byggnader där värmetillskottet från industriella processer inom byggnaden täcker större delen av uppvärmningsbehovet. Detta ska visas genom särskild utredning.

Kravet på hushållning med elenergi gäller inte lokaler avsedda för verksamhet av tillfällig karaktär eller fristående byggnader med en area som är mindre än 50 kvadratmeter.

9:12⁴ Definitioner

A_f	Sammanlagd area för fönster, dörrar, portar och dylikt (m ²), beräknad med karmyttermått.
A_{temp}	Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte.
<i>Byggnadens energianvändning</i>	Den energi som vid normalt brukande under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning (E_{uppv}), komfortkyla (E_{kyl}), tappvarmvatten (E_{tvv}) och byggnadens fastighetsenergi (E_f). Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning. Energi från sol, vind, mark, luft eller vatten som alstras på byggnaden eller tomten och används till byggnadens uppvärmning, komfortkyla, varmvatten

² Senaste lydelse BFS 2016:13.

³ Senaste lydelse BFS 2015:3.

⁴ Senaste lydelse BFS 2015:3.

och fastighetsenergi räknas inte med i byggnadens energianvändning.

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f$$

Byggnadens fastighetsenergi

Den del av byggnadens energianvändning som är relaterad till byggnadens behov där den energikrävande apparaten finns inom, under eller anbringad på utsidan av byggnaden. I fastighetsenergin ingår fast belysning i allmänna utrymmen och driftsutrymmen. Dessutom ingår energi som används i värmekablar, pumpar, fläktar, motorer, styr- och övervakningsutrustning och dylikt. Även externt lokalt placerad apparat som försörjer byggnaden, exempelvis pumpar och fläktar för frikyla, inräknas. Apparater avsedda för annan användning än för byggnaden, exempelvis motor- och kupévärmare för fordon, batteriladdare för extern användare, belysning i trädgård och på gångstråk, inräknas inte. Med fastighetsel menas den del av fastighetsenergin som är elbaserad.

Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT

Den temperatur, för representativ ort, som framgår av 1-dagsvärdet i "n-day mean air temperature" enligt SS-EN ISO 15927-5. Temperaturen får ökas om byggnadens tidskonstant överstiger 24 timmar. Ökningen framgår av standardens redovisade temperaturer för 2, 3 eller 4 dygn. Byggnadens tidskonstant, mätt i dygn, används för val av motsvarande tabellvärde (n-day). Temperaturökning, beroende på högre tidskonstant än 96 timmar kan fastställas genom särskild utredning.

Energi för komfortkyla

Den till byggnaden levererade kyl- eller energimängd som används för att sänka byggnadens innetemperatur inomhustemperatur för människors komfort. Kylenergi som hämtas direkt från omgivningen utan kylmaskin från sjövattnen, uteluft eller dylikt (s.k. frikyla), inräknas inte.

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient U_m

Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor (W/m^2K) bestämd enligt SS-EN ISO 13789:2007 och SS 24230 (2) samt beräknad enligt nedanstående formel,

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \Psi_k + \sum_{j=1}^p X_j}{A_{temp}}$$

där

U_i	Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdel i (W/m^2K).
A_i	Arean för byggnadsdelen i:s yta mot uppvärmd inneluft (m^2). För fönster, dörrar, portar och dylikt beräknas A_i med karmyttermått.
ψ_k	Värmegenomgångskoefficienten för den linjära köldbrygga k (W/mK).

l_k	Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan k (m).
χ_j	Värmegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan j (W/K).
A_{om}	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft (m^2). Med omslutande byggnadsdelar avses sådana byggnadsdelar som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen.
<i>Hushållsenergi</i>	Den el eller annan energi som används för hushållsändamål. Exempel på detta är elanvändningen för diskmaskin, tvättmaskin, torkapparat (även i gemensam tvättstuga), spis, kyl, frys, och andra hushållsmaskiner samt belysning, datorer, TV och annan hemelektronik och dyligt.
<i>Innetemperatur</i>	Den temperatur som avses hållas inomhus när byggnaden brukas.
<i>Installerad eleffekt för uppvärmning</i>	Den sammanlagda eleffekt som maximalt kan upptas av de elektriska apparater för uppvärmning som behövs för att kunna upprätthålla avsett inomhusklimat, tappvarmvattenproduktion och ventilation när byggnadens maximala effektbehov föreligger. Det maximala effektbehovet kan beräknas vid DVUT och tappvarmvattenanvändning motsvarande minst 0,5 kW per lägenhet, om inte annat högre belastningsfall är känt vid projekteringen.
<i>Normalår</i>	Medelvärde av utomhusklimatet (t.ex. temperatur) under en längre tidsperiod (t.ex. 30 år).
<i>Normalårskorrigerig</i>	Korrigerig av byggnadens uppmätta klimatberoende energianvändning utifrån skillnaden mellan klimatet på orten under ett normalår och det verkliga klimatet under den period då byggnadens energianvändning verifieras.
<i>Primärenergifaktor</i>	Primärenergi dividerad med den levererade energin till byggnaden för en given energibärare.
<i>Primärenergital (PET)</i>	Det värde som beskriver byggnadens energiprestanda uttryckt i primärenergi. Primärenergitalet utgörs av byggnadens energianvändning, med hänsyn tagen till byggnadens geografiska läge i landet, uttryckt i primärenergi fördelat på A_{temp} (kWh/m^2 och år). Primärenergitalet (<i>PET</i>) beräknas enligt nedanstående formel.
$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el} \right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv} \right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$	
där	
$E_{uppv,el}$	Elenergi till uppvärmning, kWh/år

$E_{kyl,el}$	Elenergi till komfortkyla, kWh/år
$E_{tvv,el}$	Elenergi till tappvarmvatten, kWh/år
$E_{f,el}$	Elenergi till fastighetsenergi, kWh/år
E_{uppv}	Annan energi än el till uppvärmning, kWh/år
E_{kyl}	Annan energi än el till komfortkyla, kWh/år
E_{tvv}	Annan energi än el till tappvarmvatten, kWh/år
PE_{el}	Primärenergifaktor för elenergi, -
$PE_{övr}$	Primärenergifaktor för annan energi än el, -
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor, -
Specifik fläkteffekt (SFP)	Summan av eleffekten för samtliga fläktar som ingår i ventilationssystemet dividerat med det största av tilluftsflödet eller frånluftsflödet, kW/(m ³ /s).
Verksamhetsenergi	Den el eller annan energi som används för verksamheten i lokaler. Exempel på detta är processenergi, belysning, datorer, kopiatorer, TV, kyl-/frysdiskar, maskiner samt andra apparater för verksamheten samt spis, kyl, frys, diskmaskin, tvättmaskin, torkapparat, andra hushållsmaskiner och dylikt.

9:2⁵ Bostäder och lokaler

Bostäder och lokaler ska vara utformade så att

- primärenergitalet (PET),
- installerad eleffekt för uppvärmning,
- klimatskärmens genomsnittliga luftläckage, och
- genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden (A_{om}),

högst uppgår till de värden som anges i tabell 9:2a. Vid fastställande av byggnadens primärenergital ska hänsyn tas till primärenergifaktorer enligt tabell 9:2b och geografiskt läge enligt 9:2c.

Ett högre primärenergital och högre eleffekt än vad som anges i tabell 9:2a kan godtas om särskilda förhållanden föreligger.

⁵ Senaste lydelse BFS 2016:13.

Allmänt råd

Exempel på särskilda förhållanden där ett högre primärenergital och högre eleffekt kan vara motiverat är när alternativ till el för uppvärmning och tappvarmvatten inte finns och värmepump inte kan användas.

Hur mycket högsta tillåtna primärenergital och eleffekt enligt tabell 9:2a behöver överskridas som en följd av de särskilda förhållandena bör visas i en särskild utredning.

Om en byggnad försörjs med värme eller kyla från en annan närbelägen byggnad eller apparat, anses energislaget och kylsättet för den mottagande byggnaden vara detsamma som för den levererande byggnaden, under förutsättning att byggnaderna finns på samma fastighet eller byggnaderna har samma ägare. Detsamma gäller för fastigheter inom samma byggnad vid tredimensionell fastighetsbildning.

För byggnader som innehåller både bostäder och lokaler viktas kraven på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m), primärenergital (PET) och installerad eleffekt för uppvärmning i proportion till golvarean (A_{temp}).

Allmänt råd

Hantering av energi från sol, vind, mark, luft eller vatten regleras i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

Tabell 9:2a Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler.

	Primärenergital (PET) [$kWh/m^2 A_{temp}$ och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) [$W/m^2 K$]	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad [$l/s m^2$]
Bostäder				
Småhus som är 50 m ² eller större	90	$4,5 \times F_{geo}^{1)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	85 ⁴⁾	$4,5 \times F_{geo}^{1) 5)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokaler som är 50 m ² eller större	80 ²⁾	$4,5 \times F_{geo}^{1), 3)}$	0,60	Enligt avsnitt 9:26
Lokal där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

¹⁾ Tillägg får göras med $F_{geo} \times 0,025(A_{temp} - 130)$ då A_{temp} är större än 130 m². Om den geografiska justeringsfaktorn F_{geo} är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

²⁾ Tillägg får göras med $70 \times (q_{medel} - 0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 l/s per m².

³⁾ Tillägg får göras med $F_{geo} \times 0,022(q - 0,35)A_{temp}$ då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT. Om den geografiska justeringsfaktorn F_{geo} är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

- 4) Tillägg får göras med $70(q_{medel} - 0,35)$ i flerbostadshus där A_{temp} är 50 m² eller större och som till övervägande delen (>50 % A_{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m² vardera och q_{medel} är uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen överstiger 0,35 l/s per m². Tillägget kan enbart användas på grund av krav på ventilation i särskilda utrymmen som badrum, toalett och kök.
- 5) Tillägg får göras med $F_{geo} \times 0,022(q - 0,35)A_{temp}$ i flerbostadshus där A_{temp} är 50 m² eller större och som till övervägande delen (>50 % A_{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m² vardera. Tillägget kan enbart användas då det maximala uteluftsflödet vid DVUT i temperaturreglerade utrymmen q överstiger 0,35 l/s per m² på grund av krav på ventilation i särskilda utrymmen som badrum, toalett och kök. Om den geografiska justeringsfaktorn F_{geo} är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

Tabell 9:2b Primärenergifaktorer

Energibärare	Primärenergifaktor (PE)
El (PE_{el})	1,6
Annan energibärare än el ($PE_{övr}$)	1,0

Tabell 9:2c Geografiska justeringsfaktorer

Län	Geografiskt läge (kommun)	Geografisk justeringsfaktor (F_{geo})
Blekinge	Samtliga kommuner	0,9
Dalarna	Avesta, Borlänge, Falun, Gagnef, Hedemora, Leksand, Ludvika, Smedjebacken och Säter	1,1
	Mora, Orsa, Rättvik och Vansbro	1,2
	Malung-Sälen och Älvdalen	1,3
Gotland	Gotland	0,9
Gävleborg	Samtliga utom Ljusdal och Ovanåker	1,1
	Ljusdal och Ovanåker	1,2
Halland	Samtliga utom Hylte	0,9
	Hylte	1,0
Jämtland	Berg, Bräcke, Krokoms, Ragunda och Östersund	1,3
	Härjedalen, Strömsund och Åre	1,4
Jönköping	Samtliga kommuner	1,0
Kalmar	Borgholm, Emmaboda, Kalmar, Mönsterås, Mörbylånga, Nybro, Oskarshamn, Torsås och Västervik	0,9
	Hultsfred, Högsby och Vimmerby	1,0
Kronoberg	Samtliga kommuner	1,0
Norrbotten	Piteå	1,3
	Boden, Haparanda, Kalix, Luleå, Älvsbyn, Övertorneå	1,4
	Arjeplog, Arvidsjaur och Pajala	1,5
	Gällivare, Jokkmokk och Kiruna	1,6
Skåne	Samtliga kommuner utom Osby	0,9
	Osby	1,0
Stockholm	Samtliga kommuner	1,0
Södermanland	Samtliga kommuner	1,0
Uppsala	Samtliga utom Tierp och Älvkarleby	1,0
	Tierp och Älvkarleby	1,1
Värmland	Forshaga, Grums, Hammarö, Karlstad, Kil, Kristinehamn och Säffle	1,0

	Övriga	1,1
Västerbotten	Nordmaling och Umeå	1,2
	Bjurholm, Robertsfors, Skellefteå, Vindeln och Vännäs	1,3
	Dorotea, Lycksele, Malå, Norsjö, Vilhelmina och Åsele	1,4
	Sorsele och Storuman	1,5
Västernorrland	Samtliga utom Sollefteå och Ånge	1,2
	Sollefteå och Ånge	1,3
Västmanland	Arboga, Hallstahammar, Kungsör, Köping, Sala, Surahammar och Västerås	1,0
	Fagersta, Norberg och Skinnskatteberg	1,1
Västra Götaland	Bollebygd, Färgelanda, Göteborg, Härryda, Kungälv, Lerum, Lysekil, Mark, Munkedal, Mölndal, Orust, Partille, Sotenäs, Stenungsund, Strömstad, Svenljunga, Tanum, Tjörn, Uddevalla och Öckerö	0,9
	Övriga	1,0
Örebro	Samtliga utom Hällefors och Ljusnarsberg	1,0
	Hällefors och Ljusnarsberg	1,1
Östergötland	Samtliga kommuner	1,0

9:25⁶ Krav på verifiering

Byggnadens primärenergital ska verifieras. Vid verifiering av byggnadens primärenergital ska byggnadens energianvändning fastställas enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

Allmänt råd

Vid projekteringen bör byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient och primärenergital beräknas som en del i verifieringen av att byggnaden uppfyller kraven i 9:2.

Installerad eleffekt för uppvärmning bör beräknas vid projekteringen och verifieras i färdig byggnad genom summering av märkeffekter. Verifiering av att en byggnad uppfyller kraven på primärenergital i 9:2 bör göras utifrån mätning i den färdiga byggnaden. Byggnadens energianvändning fastställs utifrån att den uppmätta energianvändningen korrigeras så att energianvändningen avspeglar ett normalt brukande enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

Mätningar av byggnadens energianvändning kan utföras enligt avsnitt 9:7. Byggnadens energianvändning bör mätas under en sammanhängande 12-månadersperiod, avslutad senast 24 månader efter det att byggnaden tagits i bruk. En energideklaration som upprättas enligt lagen (2006:985) om energideklaration kan användas vid verifiering genom mätning.

Verifiering av att en byggnad uppfyller kraven på primärenergital i 9:2 kan även göras genom beräkning enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

⁶ Senaste lydelse BFS 2016:13.

9:26 Klimatskärmens lufttätethet

Byggnadens klimatskärm ska vara så tät att kraven på byggnadens primärenergital och installerad eleffekt för uppvärmning uppfylls.

Allmänt råd

Ytterligare regler om klimatskärmens lufttätethet ur fukt- och ventilationssynpunkt framgår av avsnitten 6:255 Täthet och 6:531 Lufttätethet. Regler om täthet mot brandspridning finns i avsnitt 5 Brandskydd.

9:9 Krav på energihushållning vid ändring av byggnader

9:91⁷ Allmänt

Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kyl användning och effektiv elanvändning. Regler om ändring av byggnader finns också i avsnitt 1:22.

Kraven på energihushållning ska tillämpas så att de övriga tekniska egenskapskraven kan tillgodoses och så att byggnadens kulturvärden inte skadas och att de arkitektoniska och estetiska värdena kan tas tillvara.

Vid verifiering av kraven i 9:2 ska byggnadens energianvändning fastställas enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

Allmänt råd

För att verifiera kravet på energihushållning kan, om inte de i avsnitt 9:2 angivna kraven på byggnadens primärenergital är uppfyllda, en genomgång behöva göras av vilka åtgärder som kan vidtas för att minska byggnadens energianvändning. Har en energideklaration upprättats i enlighet med lagen (2006:985) om energideklarationer kan det där finnas förslag på åtgärder för att förbättra byggnadens primärenergital.

Ändring av byggnader får inte medföra att energieffektiviteten försämras, om det inte finns synnerliga skäl. Dock får energieffektiviteten försämras om byggnaden efter ändring ändå uppfyller kraven i avsnitt 9:2–9:6.

Allmänt råd

Synnerliga skäl kan vara när det krävs för att tillgodose andra tekniska egenskapskrav, till exempel en god inomhusmiljö.

9:92⁸ Klimatskärm

Uppfyller byggnaden efter ändring inte de i avsnitt 9:2 angivna kraven på primärenergital, ska vid ändring i klimatskärmen följande U-värden eftersträvas.

Tabell 9:92 U_i [W/m²K]

U_i	Byggnad
U_{tak}	0,13
$U_{\text{vägg}}$	0,18
U_{golv}	0,15
$U_{\text{fönster}}$	1,2
$U_{\text{ytterdörr}}$	1,2

⁷ Senaste lydelse BFS 2016:13.

⁸ Senaste lydelse BFS 2015:2

Allmänt råd

Enkla åtgärder för att förbättra byggnadens energieffektivitet kan vara tätning eller komplettering av fönster och dörrar och tilläggsisolering av vindsbjälklag.

Om klimatskärmen tätas, bör uteluftstillförseln säkerställas. Vid tilläggsisolering förändras kondensationspunkten i konstruktionen. Regler om hur detta ska beaktas finns i avsnitt 6:92 respektive 6:95.

Yttervägg: Skäl för att medge ett högre U-värde kan vara om t.ex.

- endast en del av en yttervägg berörs eller
- det medför att användbarheten av en balkong minskar avsevärt.

Av tekniska skäl kan det vara olämpligt att tilläggsisolera vissa väggkonstruktioner.

Vid utvärdig tilläggsisolering bör det övervägas hur detta påverkar byggnadens karaktär, detaljer såsom dörr- och fönsteromfattningar, samt relationen mellan fasad och takfot respektive sockel. T.ex. kan fönstren behöva flyttas ut för att bibehålla husets karaktär. Vid invändig tilläggsisolering behöver konsekvenserna för byggnadens invändiga kulturvärden klarläggas.

Fönster: Fönstren är ofta av stor betydelse för hur byggnaden upplevs och dess kulturvärden. Skäl för avsteg från kravet på högsta U-värde kan vara om fönstren tillverkats speciellt för att tillgodose byggnadens estetiska värden eller kulturvärden. Ursprungliga fönster bör endast bytas om de kan ersättas av fönster som med avseende på material, proportioner, indelning och profilering är väl anpassade till husets karaktär. Fönster kan också ha så betydande kulturvärden att de inte bör bytas om det inte finns synnerliga skäl. Istället bör andra åtgärder vidtas för att öka värmemotståndet.

Ytterdörr: Dörrar är ofta av stor betydelse för hur byggnaden upplevs och dess kulturvärden. Skäl för avsteg från kravet på högsta U-värde kan vara om dörren har tillverkats för att tillgodose byggnadens estetiska värden eller kulturvärden. Ursprungliga dörrar bör endast bytas om de kan ersättas av sådana som är väl anpassade till husets karaktär. Dörrar kan också ha så betydande kulturvärden att de inte bör bytas om det inte finns synnerliga skäl. De kan t.ex. vara hantverksmässigt utförda eller vara speciellt ritade för en viss byggnad. Istället bör andra åtgärder vidtas för att öka värmemotståndet.

Tak: Om vindsutrymmet inte är avsett att vara uppvärmt kan isoleringen placeras i vindsbjälklaget. Vid tilläggsisolering av vind bör risken för fuktskador beaktas. Regler om detta finns i avsnitt 6. Skäl för avsteg från U-värdeskraven kan vara om inte fuktproblematiken kan hanteras på ett betryggande sätt, eller om kravet påtagligt försämrar användbarheten av vindsutrymmet.

-
1. Denna författning träder i kraft den 1 april 2017.
 2. Äldre bestämmelser får tillämpas på arbeten som
 - a) kräver bygglov och ansökan om bygglov kommer in till kommunen före den 1 april 2018,
 - b) kräver anmälan och anmälan kommer in till kommunen före den 1 april 2018,
 - c) varken kräver bygglov eller anmälan och arbetena påbörjas före den 1 april 2018.

På Boverkets vägnar

FÖRNAMN EFTERNAMN

Förnamn Efternamn

UTKAST

Bilaga 2 - Kravnivåer i BBR innan ändringar träder i kraft 2017

9:21 Zon I

Tabell 9:21a Byggnader som har annat uppvärmningssätt än elvärme, zon I

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder			
Småhus	130	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	115	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	125	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler			
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	105 ¹⁾	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med 110(q_{medel}-0,35) då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²). (BFS 2016:13).

Tabell 9:21b Byggnader med elvärme, zon I

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus	95	5,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	85	5,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	90	5,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	85 ²⁾	5,5 ^{1), 3)}	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med 0,035(A_{temp}-130) då A_{temp} är större än 130 m².

²⁾ Tillägg får göras med 65(q_{medel}-0,35) då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²).

³⁾ Tillägg får göras med 0,030(q-0,35) A_{temp} då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT. (BFS 2016:13).

Tabell 9:22a Byggnader som har annat uppvärmningssätt än elvärme, zon II

	Byggnadens specifika energi-användning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Genomsnittlig värmeegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder			
Småhus	110	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	100	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	110	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler			
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	90 ¹⁾	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med $90(q_{\text{medel}}-0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 [l/s per m²]. (BFS 2016:13).

Tabell 9:22b Byggnader med elvärme, zon II

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmeegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus	75	5,0 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	65	5,0 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	70	5,0 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	65 ²⁾	5,0 ^{1), 3)}	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med $0,030(A_{\text{temp}}-130)$ då A_{temp} är större än 130 m².

²⁾ Tillägg får göras med $55(q_{\text{medel}}-0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²).

³⁾ Tillägg får göras med $0,026(q-0,35)A_{\text{temp}}$ då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT. (BFS 2016:13).

9:23 Zon III

Tabell 9:23a Byggnader som har annat uppvärmningssätt än elvärme, zon III

	Byggnadens specifika energi-användning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder			
Småhus	90	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	80	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	90	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler			
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	70 ¹⁾	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med 70(q_{medel}-0,35) då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²). (BFS 2016:13).

Tabell 9:23b Byggnader med elvärme, zon III

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus	55	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	50	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	55	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	50 ²⁾	4,5 ^{1), 3)}	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med 0,025(A_{temp}-130) då A_{temp} är större än 130 m².

²⁾ Tillägg får göras med 45(q_{medel}-0,35) då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²).

³⁾ Tillägg får göras med 0,022(q-0,35) A_{temp} då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT.

(BFS 2016:13).

Konsoliderad version (fulltext)

9:24 Zon IV

Tabell 9:24a Byggnader som har annat uppvärmningssätt än elvärme, zon IV

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder			
Småhus	80	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	75	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	80	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler			
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	65 ¹⁾	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med $70(q_{\text{medel}}-0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²).
(BFS 2016:13).

Tabell 9:24b Byggnader med elvärme, zon IV

	Byggnadens specifika energianvändning (kWh/m ² A _{temp} och år)	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U _m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus	50	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	45	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Flerbostadshus där A _{temp} är 50 m ² eller större och som till övervägande delen (>50 % A _{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m ² vardera	50	4,5 ¹⁾	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokal där A _{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Lokaler	45 ²⁾	4,5 ^{1), 3)}	0,60	Enligt avsnitt 9:26

¹⁾ Tillägg får göras med $0,025(A_{\text{temp}}-130)$ då A_{temp} är större än 130 m².

²⁾ Tillägg får göras med $45(q_{\text{medel}}-0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 (l/s per m²).

³⁾ Tillägg får göras med $0,022(q-0,35) A_{\text{temp}}$ då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen. Där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT.

(BFS 2016:13).

Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd;

Utkom från trycket
den 0 månad 0

beslutade den 0 månad 0.

Informationsförfarande enligt förordningen (1994:2029) om tekniska regler har genomförts¹.

Med stöd av 10 kap. 3, 4, 9, 22 och 24 §§ plan- och byggförordningen (2011:338) föreskriver Boverket i fråga om verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR, att avsnitt 9:2 ska ha följande lydelse.

9:2² Bostäder och lokaler

Bostäder och lokaler ska vara utformade så att

- primärenergitalet (*PET*),
- installerad eleffekt för uppvärmning,
- klimatskärmens genomsnittliga luftläckage, och
- genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden (A_{om}),

högst uppgår till de värden som anges i tabell 9:2a. Vid fastställande av byggnadens primärenergital ska hänsyn tas till primärenergifaktorer enligt tabell 9:2b och geografiskt läge enligt 9:2c.

Ett högre primärenergital och högre eleffekt än vad som anges i tabell 9:2a kan godtas om särskilda förhållanden föreligger.

Allmänt råd

Exempel på särskilda förhållanden där ett högre primärenergital och högre eleffekt kan vara motiverat är när alternativ till el för uppvärmning och tappvarmvatten inte finns och värmepump inte kan användas.

Hur mycket högsta tillåtna primärenergital och eleffekt enligt tabell 9:2a behöver överskridas som en följd av de särskilda förhållandena bör visas i en särskild utredning.

Om en byggnad försörjs med värme eller kyla från en annan närbelägen byggnad eller apparat, anses energislaget och kylsättet för den mottagande byggnaden vara detsamma som för den levererande byggnaden, under förutsättning att byggnaderna finns på samma fastighet eller byggnaderna har samma ägare. Detsamma gäller för fastigheter inom samma byggnad vid tredimensionell fastighetsbildning.

¹ Anmälan har gjorts enligt Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2015/1535 av den 9 september 2015 om ett informationsförfarande beträffande tekniska föreskrifter och beträffande föreskrifter för informationssamhällets tjänster (EGT L 204, 21.7.1998, s. 37, Celex 398L0034), ändrat genom Europaparlamentets och rådets direktiv 98/48/EG (EGT L 217, 5.8.1998, s. 18, Celex 398L0048).

² Senaste lydelse BFS 2017:xx.

För byggnader som innehåller både bostäder och lokaler viktas kraven på genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m), primärenergital (PET) och installerad eleffekt för uppvärmning i proportion till golvarean (A_{temp}).

Allmänt råd

Hantering av energi från sol, vind, mark, luft eller vatten regleras i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN.

Tabell 9:2a **Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler.**

	Primärenergital (PET) (kWh/m ² A_{temp} och år)	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (U_m) (W/m ² K)	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m ²)
Bostäder				
Småhus större än 130 m ²	90	$4,5 \times F_{geo}^{1)}$	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A_{temp} är över 90 och upp till och med 130 m ²	$110 - 0,50(A_{temp} - 90)$	$4,5 \times F_{geo}^{1)}$	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A_{temp} är 50 m ² och upp till och med 90 m ²	110	$4,5 \times F_{geo}^{1)}$	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	90 ⁴⁾	$4,5 \times F_{geo}^{1)5)}$	0,35	Enligt avsnitt 9:26
Lokaler				
Lokaler som är 50 m ² eller större	80 ²⁾	$4,5 \times F_{geo}^{1), 3)}$	0,45	Enligt avsnitt 9:26
Lokal där A_{temp} är mindre än 50 m ²	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

- 1) Tillägg får göras med $F \times 0,020(A_{temp} - 130)$ då A_{temp} är större än 130 m². Om den geografiska justeringsfaktorn F är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.
- 2) Tillägg får göras med $40(q_{medel} - 0,35)$ då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m², där q_{medel} är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 l/s per m².
- 3) Tillägg får göras med $F \times 0,0132(q - 0,35)A_{temp}$ då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m² i temperaturreglerade utrymmen, där q är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT. Om den geografiska justeringsfaktorn F är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.
- 4) Tillägg får göras med $40(q_{medel} - 0,35)$ i flerbostadshus där A_{temp} är 50 m² eller större och som till övervägande delen (>50 % A_{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m² vardera och q_{medel} är uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen överstiger 0,35 l/s per m². Tillägget kan enbart användas på grund av krav på ventilation i särskilda utrymmen som badrum, toalett och kök.
- 5) Tillägg får göras med $F_{geo} \times 0,0132(q - 0,35)A_{temp}$ i flerbostadshus där A_{temp} är 50 m² eller större och som till övervägande delen (>50 % A_{temp}) innehåller lägenheter med en boarea om

högst 35 m² vardera. Tillägget kan enbart användas då det maximala uteluftsflödet vid DVUT i temperaturreglerade utrymmen q överstiger 0,35 l/s per m² på grund av krav på ventilation i särskilda utrymmen som badrum, toalett och kök. Om den geografiska justeringsfaktorn F_{geo} är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

Tabell 9:2b Primärenergifaktorer

Energibärare	Primärenergifaktor (PE)
El (PE_{el})	2,5
Annan energibärare än el ($PE_{övr}$)	1,0

Tabell 9:2c Geografiska justeringsfaktorer

Län	Geografiskt läge (kommun)	Geografisk justeringsfaktor (F_{geo})
Blekinge	Samtliga kommuner	0,9
Dalarna	Avesta, Borlänge, Falun, Gagnef, Hedemora, Leksand, Ludvika, Smedjebacken och Säter	1,1
	Mora, Orsa, Rättvik och Vansbro	1,2
	Malung-Sälen och Älvdalen	1,3
Gotland	Gotland	0,9
Gävleborg	Samtliga utom Ljusdal och Ovanåker	1,1
	Ljusdal och Ovanåker	1,2
Halland	Samtliga utom Hylte	0,9
	Hylte	1,0
Jämtland	Berg, Bräcke, Krokomb, Ragunda och Östersund	1,3
	Härjedalen, Strömsund och Åre	1,4
Jönköping	Samtliga kommuner	1,0
Kalmar	Borgholm, Emmaboda, Kalmar, Mönsterås, Mörbylånga, Nybro, Oskarshamn, Torsås och Västervik	0,9
	Hultsfred, Högsby och Vimmerby	1,0
Kronoberg	Samtliga kommuner	1,0
Norrbotten	Piteå	1,3
	Boden, Haparanda, Kalix, Luleå, Älvsbyn, Övertorneå	1,4
	Arjeplog, Arvidsjaur och Pajala	1,5
	Gällivare, Jokkmokk och Kiruna	1,6
Skåne	Samtliga kommuner utom Osby	0,9
	Osby	1,0
Stockholm	Samtliga kommuner	1,0
Södermanland	Samtliga kommuner	1,0
Uppsala	Samtliga utom Tierp och Älvkarleby	1,0
	Tierp och Älvkarleby	1,1
Värmland	Forshaga, Grums, Hammarö, Karlstad, Kil, Kristinehamn och Säffle	1,0
	Övriga	1,1
Västerbotten	Nordmaling och Umeå	1,2
	Bjurholm, Robertsfors, Skellefteå, Vindeln och Vännäs	1,3

	Dorotea, Lycksele, Malå, Norsjö, Vilhelmina och Åsele	1,4
	Sorsele och Storuman	1,5
Västernorrland	Samtliga utom Sollefteå och Ånge	1,2
	Sollefteå och Ånge	1,3
Västmanland	Arboga, Hallstahammar, Kungsör, Köping, Sala, Surahammar och Västerås	1,0
	Fagersta, Norberg och Skinnskatteberg	1,1
Västra Götaland	Bollebygd, Färgelanda, Göteborg, Härryda, Kungälv, Lerum, Lysekil, Mark, Munkedal, Mölndal, Orust, Partille, Sotenäs, Stenungsund, Strömstad, Svenljunga, Tanum, Tjörn, Uddevalla och Öckerö	0,9
	Övriga	1,0
Örebro	Samtliga utom Hällefors och Ljusnarsberg	1,0
	Hällefors och Ljusnarsberg	1,1
Östergötland	Samtliga kommuner	1,0

Denna författning träder i kraft den 1 januari 2021.

På Boverkets vägnar

FÖRNAMN EFTERNAMN

Förnamn Efternamn

Bilaga 4 Beräkningsexempel primärenergital

Bilaga 4.1 Malmö med frånluftsvärmepump och fjärrvärme

Följande beräkningsexempel redovisar beräkningsgången som förklaras i kapitel 4.2 - 4.4 för referenshuset placerat i Malmö med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. I exemplet redovisas åtgärden solceller med lagringsbatteri för att om möjligt uppnå kravnivå enligt BBR 2021. Exemplet redovisar även beräkningsmetoden för BBR 2017 fast då med samma storlek på solceller och antal batteri, och därmed samma värden på soletproduktion, som för fallet med BBR 2021. Frånluftsvärmepumpen täcker 65 % av byggnadens totala värmebehov, resterande 35 % täcks av fjärrvärme. Den totala årsvärmefaktorn (SPF) för frånluftsvärmepumpen är 4,1.

Energi för uppvärmning

Resultat från Simulering i IDA ICE

Energibehov uppvärmning: 286523 kWh/år

Tillägg vädring

Schablon vädring: 4 kWh/m²(A_{temp}),år

A_{temp}: 3762 m²

Vädringspåslag: 15048 kWh/år

Tillägg köksventilation

Luftflöde köksfläkt: 46 l/s,lägenhet

Drifttid: 0,5 h/dygn

Inomhustemperatur: 22 °C

Utomhustemperatur: 8,8 °C

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T$$

$c_{p,luft}$ = specifik värmekapacitet för luft, 1000 J/kgK

ρ_{luft} = densitet luft, 1,2 kg/m³

V = volym frånluft, 46 l/s,lgh

ΔT = temperaturskillnad mellan inne och ute ($T_{inne} - T_{ute}$) [K]

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T = 1000 \cdot \frac{1,2}{1000} \cdot 46 \cdot (22 - 8,8) = 728,64 \text{ W}$$

$$E_{tot} = (E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh) / 1000$$

E = energimängd i frånluft per lgh [W/lgh]

t = drifttid per dygn, 30 min/dygn

lgh = antal lägenheter totalt i byggnaden, 49 st

$$E_{tot} = \frac{E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh}{1000} = \frac{728,64 \cdot (0,5 \cdot 365) \cdot 49}{1000} = 6516 \text{ kWh/år}$$

Tillägg köksventilation:	6516	kWh/år
--------------------------	------	--------

Tillägg VVC-förlust

Schablon VVC:	2,6	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Totala VVC-förluster:	9781	kWh/år

Energi för tappvarmvatten

Uppvärmning tappvarmvatten

Schablon tappvarmvatten:	25	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Energibehov:	94050	kWh/år

Fastighetsenergi

Resultat från Simulering i IDA ICE

Fastighetsenergi fläktar:	14154	kWh/år
---------------------------	-------	--------

Fastighetsenergi till pumpar

Andel av totalt värmebehov:	1	%
Totalt värmebehov*:	411918	m ²
Fastighetsenergi pumpar:	4119	kWh/år

**Summan av ovan redovisat uppvärmningsbehov från IDA ICE, tillägg vädring, tillägg köksventilation, tillägg VVC-förlust samt energibehov till tappvarmvatten*

Övrig fastighetsenergi*

	Effekt [W/enhet]	Enhet	Antal enheter**	Drifttid [h/år]	Energi [kWh/år]
Belysning trapphus	5	m ²	303	1300	1969,5
Belysning tvättstuga	12	m ²	16	500	96
Belysning övrigt	5	m ²	196	300	294

	Energi [kWh/enhet]	Enhet	Antal enheter	Energi [kWh/år]
Belysning hiss	350	st	3	1050
Hiss (direktstyrd)	50	lgh	49	2450

Total övrig fastighetsenergi	5860
-------------------------------------	-------------

*Schabloner enligt Exceldokument *Energianvisningar, Svebyprogrammet Version 1.0 (2012-10-22)*

**Uppmätt i modell IDA ICE

Energi från solceller och batteri**Förutsättningar solceller**

Simuleringsort:	Malmö
Monteringsriktning:	Syd
Vinkel mot horisontalplan:	30°
Yta solceller [m ²]:	200
kWp installerat [kW]	31,8

Förutsättningar batteri

Lagringskapacitet [kWh]:	13,5
Verkningsgrad (RTE) [%]:	92
Antal batteri [st]:	2

Förutsättningar byggnad

A _{temp} [m ²]:	3762
Baslast el [kWh/h]:	8,6
Fastighetsel [kWh/m ² ,år]	10,1

Beräkningsresultat

Total solet [kWh/år]	30086
Använd solet utan batteri [kWh/år]	15741
Andel använd utan batteri [%]	52 %
Använd solet med batteri [kWh/år]	20399
Andel använd med batteri [%]	68 %
Avdrag primärenergital med solceller och batteri [kWh/m ² ,år]	14

Sammanställning av resultat och beräkning av byggnadens primärenergital

Resultatet från ovanstående beräkningar redovisas i tabellen nedan.

Sammanställning energianvändning	Använd energi [kWh/år]	Totalt behov [kWh/år]
Energi för uppvärmning, $E_{uppv,el}$		
Frånluftsvärmepump		
Simulering IDA ICE	286523	
Tillägg vädring	15048	
Tillägg köksventilation	6516	
Tillägg VVC-förlust	9781	
Energi för tappvarmvatten, $E_{tvv,el}$		
Frånluftsvärmepump		
Enligt schablon <i>BEN 2</i>	94050	
		$E_{uppv,el} + E_{tvv,el} =$ $E_{värme} = 411\,918$
Fastighetsenergi, $E_{f,el}$		
Fläktar (Simulering IDA ICE)	14154	
Pumpar	4119	
Övrig fastighetsenergi	5860	
		$\Sigma E_{f,el} = 24\,133$
Solenergi, E_{solel}		
Solceller med batterier	20399	

$$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$$

Frånluftsvärmepumpen täcker 65 % av byggnadens totala värmebehov, resterande 35 % täcks av fjärrvärme. I första hand går fjärrvärmen till uppvärmning av tappvarmvatten vilket motsvarar 23 % av det totala värmebehovet, resterande 12 % går till uppvärmning av byggnaden. Nedanstående formel tillämpar dessa uppgifter vid beräkning av PET.

$$PET = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot E_{värme}}{F_{geo} \cdot SPF} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{0,12 \cdot E_{värme}}{F_{geo}} + 0,23 \cdot E_{värme}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$$

Beräkning PET

Geografiskt läge:	Malmö, Skåne län	
Geografisk justeringsfaktor:	0,9	
Primärenergifaktor el:	1,6	enligt BBR A 2017
	2,5	enligt BBR B 2021
Primärenergifaktor övrig energi:	1,0	enligt BBR A och BBR B
SPF frånluftsvärmepump:	4,1	
$E_{värme}$:	411918	kWh (summa uppv och tvv)
$E_{f,el}$:	24133	kWh (Σ fastighetsenergi)
E_{solel} :	20399	kWh (solceller och batteri)
A_{temp} :	3762	m ²

Enligt BBR A som gäller from 2017

Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2017} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,1} + 24133\right) \cdot 1,6 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 81$$

Åtgärd: Solceller och batteri

$$PET_{2017} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,1} + 24133 - 20399\right) \cdot 1,6 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 72$$

Enligt BBR B som gäller från 2021

Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2021} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,1} + 24133\right) \cdot 2,5 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 104$$

Åtgärd: Solceller och batteri

$$PET_{2021} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,1} + 24133 - 20399\right) \cdot 2,5 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 90$$

Bilaga 4.2 Malmö med fjärrvärme

Följande beräkningsexempel redovisar beräkningsgången som förklaras i kapitel 4.2 - 4.4 för referenshuset placerat i Malmö med uppvärmning fjärrvärme. Exemplet redovisar beräkningsmetoden för BBR 2017 och BBR 2021. Exemplet redovisas utan någon åtgärd eftersom krav enligt BBR 2017 och 2021 uppfylls utan åtgärd.

Energi för uppvärmning

Resultat från Simulering i IDA ICE

Energibehov uppvärmning: 88621 kWh/år

Tillägg vädring

Schablon vädring: 4 kWh/m²(A_{temp}),år

A_{temp}: 3762 m²

Vädringspåslag: 15048 kWh/år

Tillägg köksventilation

Luftflöde köksfläkt: 46 l/s,lägenhet

Drifttid: 0,5 h/dygn

Inomhustemperatur: 22 °C

Utomhustemperatur: 8,8 °C

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T$$

$c_{p,luft}$ = specifik värmekapacitet för luft, 1000 J/kgK

ρ_{luft} = densitet luft, 1,2 kg/m³

V = volym frånluft, 46 l/s,lgh

ΔT = temperaturskillnad mellan inne och ute ($T_{inne} - T_{ute}$) [K]

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T = 1000 \cdot \frac{1,2}{1000} \cdot 46 \cdot (22 - 8,8) = 728,64 \text{ W}$$

$$E_{tot} = (E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh) / 1000$$

E = energimängd i frånluft per lgh [W/lgh]

t = drifttid per dygn, 30 min/dygn

lgh = antal lägenheter totalt i byggnaden, 49 st

$$E_{tot} = \frac{E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh}{1000} = \frac{728,64 \cdot (0,5 \cdot 365) \cdot 49}{1000} = 6516 \text{ kWh/år}$$

Tillägg köksventilation: 6516 kWh/år

Tillägg VVC-förlust

Schablon VVC:	2,6	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Totala VVC-förluster:	9781	kWh/år

Energi för tappvarmvatten**Uppvärmning tappvarmvatten**

Schablon tappvarmvatten:	25	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Energibehov:	94050	kWh/år

Fastighetsenergi**Resultat från Simulering i IDA ICE**

Fastighetsenergi fläktar:	27438	kWh/år
---------------------------	-------	--------

Fastighetsenergi till pumpar

Andel av totalt värmebehov:	1	%
Totalt värmebehov*:	411918	m ²
Fastighetsenergi pumpar:	2138	kWh/år

**Summan av ovan redovisat uppvärmningsbehov från IDA ICE, tillägg vädring, tillägg köksventilation, tillägg VVC-förlust samt energibehov till tappvarmvatten*

Övrig fastighetsenergi*

	Effekt [W/enhet]	Enhet	Antal enheter**	Drifttid [h/år]	Energi [kWh/år]
Belysning trapphus	5	m ²	303	1300	1969,5
Belysning tvättstuga	12	m ²	16	500	96
Belysning övrigt	5	m ²	196	300	294

	Energi [kWh/enhet]	Enhet	Antal enheter	Energi [kWh/år]
Belysning hiss	350	st	3	1050
Hiss (direktstyrd)	50	lgh	49	2450

Total övrig fastighetsenergi	5860
------------------------------	------

*Schabloner enligt Exceldokument *Energianvisningar, Svebyprogrammet Version 1.0 (2012-10-22)*

**Uppmätt i modell IDA ICE

Energi från solceller och batteri**Förutsättningar solceller**

Simuleringsort:	Malmö
Monteringsriktning:	Syd
Vinkel mot horisontalplan:	30°
Yta solceller [m ²]:	0
kWp installerat [kW]	0

Förutsättningar batteri

Lagringskapacitet [kWh]:	13,5
Verkningsgrad (RTE) [%]:	92
Antal batteri [st]:	0

Förutsättningar byggnad

A _{temp} [m ²]:	3762
Baslast el [kWh/h]:	8,6
Fastighetsel [kWh/m ² ,år]	10,1

Beräkningsresultat

Total solet [kWh/år]	0
Använd solet utan batteri [kWh/år]	0
Andel använd utan batteri [%]	0 %
Använd solet med batteri [kWh/år]	0
Andel använd med batteri [%]	0 %
Avdrag primärenergital med solceller och batteri [kWh/m ² ,år]	0

Sammanställning av resultat och beräkning av byggnadens primärenergital

Resultatet från ovanstående beräkningar redovisas i tabellen nedan.

Sammanställning energianvändning	Använd energi [kWh/år]	Totalt behov [kWh/år]
Energi för uppvärmning, E_{uppv}		
Frånluftsvärmepump		
Simulering IDA ICE	88621	
Tillägg vädring	15048	
Tillägg köksventilation	6516	
Tillägg VVC-förlust	9781	
		$E_{uppv} = 119966$
Energi för tappvarmvatten, E_{tvv}		
Frånluftsvärmepump		
Enligt schablon <i>BEN 2</i>	94050	
Fastighetsenergi, $E_{f,el}$		
Fläktar (Simulering IDA ICE)	27438	
Pumpar	2138	
Övrig fastighetsenergi	5860	
		$\Sigma E_{f,el} = 35436$
Solenergi, E_{solel}		
Solceller med batterier	0	

$$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$$

Beräkning PET

Geografiskt läge:	Malmö, Skåne län	
Geografisk justeringsfaktor:	0,9	
Primärenergifaktor el:	1,6	enligt BBR A 2017
	2,5	enligt BBR B 2021
Primärenergifaktor övrig energi:	1,0	enligt BBR A och BBR B
$E_{upp.v}$:	119783	kWh
E_{tvy} :	94050	kWh
$E_{f,el}$:	35436	kWh (Σ fastighetsenergi)
E_{solel} :	0	kWh (solceller och batteri)
A_{temp} :	3762	m ²

Enligt BBR A som gäller from 2017

Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2017} = \frac{(35436) * 1,6 + \left(\frac{119783}{0,9} + 94050\right) * 1,0}{3762} = 75$$

Enligt BBR B som gäller från 2021

Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2021} = \frac{(35436) * 2,5 + \left(\frac{119783}{0,9} + 94050\right) * 1,0}{3762} = 84$$

Bilaga 4.3 Stockholm med frånluftsvärmepump och fjärrvärme

Följande beräkningsexempel redovisar beräkningsgången som förklaras i kapitel 4.2 - 4.4 för referenshuset placerat i Stockholm med frånluftsvärmepump och fjärrvärme. I exemplet redovisas åtgärden solceller med lagringsbatteri för att om möjligt uppnå kravnivå enligt BBR 2021. Exemplet redovisar även beräkningsmetoden för BBR 2017 fast då med samma storlek på solceller och antal batteri, och därmed samma värden på solelproduktion, som för fallet med BBR 2021.

Frånluftsvärmepumpen täcker 65 % av byggnadens totala värmebehov, resterande 35 % täcks av fjärrvärme. Den totala årsvärmefaktorn (SPF) för frånluftsvärmepumpen är 4,1.

Energi för uppvärmning

Resultat från Simulering i IDA ICE

Energibehov uppvärmning: 349243 kWh/år

Tillägg vädring

Schablon vädring: 4 kWh/m²(A_{temp}),år

A_{temp}: 3762 m²

Vädringspåslag: 15048 kWh/år

Tillägg köksventilation

Luftflöde köksfläkt: 46 l/s,lägenhet

Drifttid: 0,5 h/dygn

Inomhustemperatur: 22 °C

Utomhustemperatur: 8,8 °C

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T$$

$c_{p,luft}$ = specifik värmekapacitet för luft, 1000 J/kgK

ρ_{luft} = densitet luft, 1,2 kg/m³

V = volym frånluft, 46 l/s,lgh

ΔT = temperaturskillnad mellan inne och ute ($T_{inne} - T_{ute}$) [K]

$$E = c_{p,luft} \cdot \rho_{luft} \cdot V \cdot \Delta T = 1000 \cdot \frac{1,2}{1000} \cdot 46 \cdot (22 - 8,8) = 728,64 \text{ W}$$

$$E_{tot} = (E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh) / 1000$$

E = energimängd i frånluft per lgh [W/lgh]

t = drifttid per dygn, 30 min/dygn

lgh = antal lägenheter totalt i byggnaden, 49 st

$$E_{tot} = \frac{E \cdot (t \cdot 365) \cdot lgh}{1000} = \frac{728,64 \cdot (0,5 \cdot 365) \cdot 49}{1000} = 6516 \text{ kWh/år}$$

Tillägg köksventilation:	6516	kWh/år
--------------------------	------	--------

Tillägg VVC-förlust

Schablon VVC:	2,6	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Totala VVC-förluster:	9781	kWh/år

Energi för tappvarmvatten

Uppvärmning tappvarmvatten

Schablon tappvarmvatten:	25	kWh/m ² (A _{temp}),år
A _{temp} :	3762	m ²
Energibehov:	94050	kWh/år

Fastighetsenergi

Resultat från Simulering i IDA ICE

Fastighetsenergi fläktar:	14154	kWh/år
---------------------------	-------	--------

Fastighetsenergi till pumpar

Andel av totalt värmebehov:	1	%
Totalt värmebehov*:	475437	m ²
Fastighetsenergi pumpar:	4754	kWh/år

**Summan av ovan redovisat uppvärmningsbehov från IDA ICE, tillägg vädring, tillägg köksventilation, tillägg VVC-förlust samt energibehov till tappvarmvatten*

Övrig fastighetsenergi*

	Effekt [W/enhet]	Enhet	Antal enheter**	Drifttid [h/år]	Energi [kWh/år]
Belysning trapphus	5	m ²	303	1300	1969,5
Belysning tvättstuga	12	m ²	16	500	96
Belysning övrigt	5	m ²	196	300	294

	Energi [kWh/enhet]	Enhet	Antal enheter	Energi [kWh/år]
Belysning hiss	350	st	3	1050
Hiss (direktstyrd)	50	lgh	49	2450

Total övrig fastighetsenergi					5860
-------------------------------------	--	--	--	--	-------------

*Schabloner enligt Exceldokument *Energianvisningar, Svebyprogrammet Version 1.0 (2012-10-22)*

**Uppmätt i modell IDA ICE

Energi från solceller och batteri**Förutsättningar solceller**

Simuleringsort:	Malmö
Monteringsriktning:	Syd
Vinkel mot horisontalplan:	30°
Yta solceller [m ²]:	300
kWp installerat [kW]	47,8

Förutsättningar batteri

Lagringskapacitet [kWh]:	13,5
Verkningsgrad (RTE) [%]:	92
Antal batteri [st]:	6

Förutsättningar byggnad

A _{temp} [m ²]:	3762
Baslast el [kWh/h]:	9,8
Fastighetsel [kWh/m ² ,år]	11,4

Beräkningsresultat

Total solet [kWh/år]	46115
Använd solet utan batteri [kWh/år]	19175
Andel använd utan batteri [%]	42 %
Använd solet med batteri [kWh/år]	31271

Andel använd med batteri [%]	68 %
Avdrag primärenergital med solceller och batteri [kWh/m ² ,år]	21

Sammanställning av resultat och beräkning av byggnadens primärenergital

Resultatet från ovanstående beräkningar redovisas i tabellen nedan.

Sammanställning energianvändning	Använd energi [kWh/år]	Totalt behov [kWh/år]
Energi för uppvärmning, $E_{uppv,el}$		
Frånluftsvärmepump		
Simulering IDA ICE	349243	
Tillägg vädring	15048	
Tillägg köksventilation	6516	
Tillägg VVC-förlust	9781	
Energi för tappvarmvatten, $E_{tvv,el}$		
Frånluftsvärmepump		
Enligt schablon <i>BEN 2</i>	94050	
		$E_{uppv,el} + E_{tvv,el} =$ $E_{värme} = 475437$
Fastighetsenergi, $E_{f,el}$		
Fläktar (Simulering IDA ICE)	14154	
Pumpar	4754	
Övrig fastighetsenergi	5860	
		$\Sigma E_{f,el} = 24\ 768$
Solenergi, E_{solel}		
Solceller med batterier	31271	

$$PET = \frac{\left(\frac{E_{uppv,el}}{F_{geo}} + E_{kyl,el} + E_{tvv,el} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{E_{uppv}}{F_{geo}} + E_{kyl} + E_{tvv}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$$

Frånluftsvärmepumpen täcker 65 % av byggnadens totala värmebehov, resterande 35 % täcks av fjärrvärme. I första hand går fjärrvärmens till uppvärmning av tappvarmvatten vilket motsvarar 20 % av det totala värmebehovet, resterande 15 % går till uppvärmning av byggnaden. Nedanstående formel tillämpar dessa uppgifter vid beräkning av PET.

$$PET = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot E_{värme}}{F_{geo} \cdot SPF} + E_{f,el} - E_{solel}\right) * PE_{el} + \left(\frac{0,12 \cdot E_{värme}}{F_{geo}} + 0,23 \cdot E_{värme}\right) * PE_{övr}}{A_{temp}}$$

Beräkning PET

Geografiskt läge:	Malmö, Skåne län	
Geografisk justeringsfaktor:	1,0	
Primärenergifaktor el:	1,6	enligt BBR A 2017
	2,5	enligt BBR B 2021
Primärenergifaktor övrig energi:	1,0	enligt BBR A och BBR B
SPF frånluftsvärmepump:	4,1	
$E_{värme}$:	475437	kWh (summa uppv och tvv)
$E_{f,el}$:	24768	kWh (Σ fastighetsenergi)
E_{solel} :	31271	kWh (solceller och batteri)
A_{temp} :	3762	m ²

Enligt BBR A som gäller from 2017

Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2017} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 475437}{0,9 \cdot 4,1} + 24768\right) \cdot 1,6 + \left(\frac{0,12 \cdot 475437}{0,9} + 0,23 \cdot 475437\right) \cdot 1,0}{3762} = 87$$

Åtgärd: Solceller och batteri

$$PET_{2017} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 475437}{0,9 \cdot 4,1} + 24768 - 31271\right) \cdot 1,6 + \left(\frac{0,12 \cdot 475437}{0,9} + 0,23 \cdot 475437\right) \cdot 1,0}{3762} = 74$$

Enligt BBR B som gäller från 2021

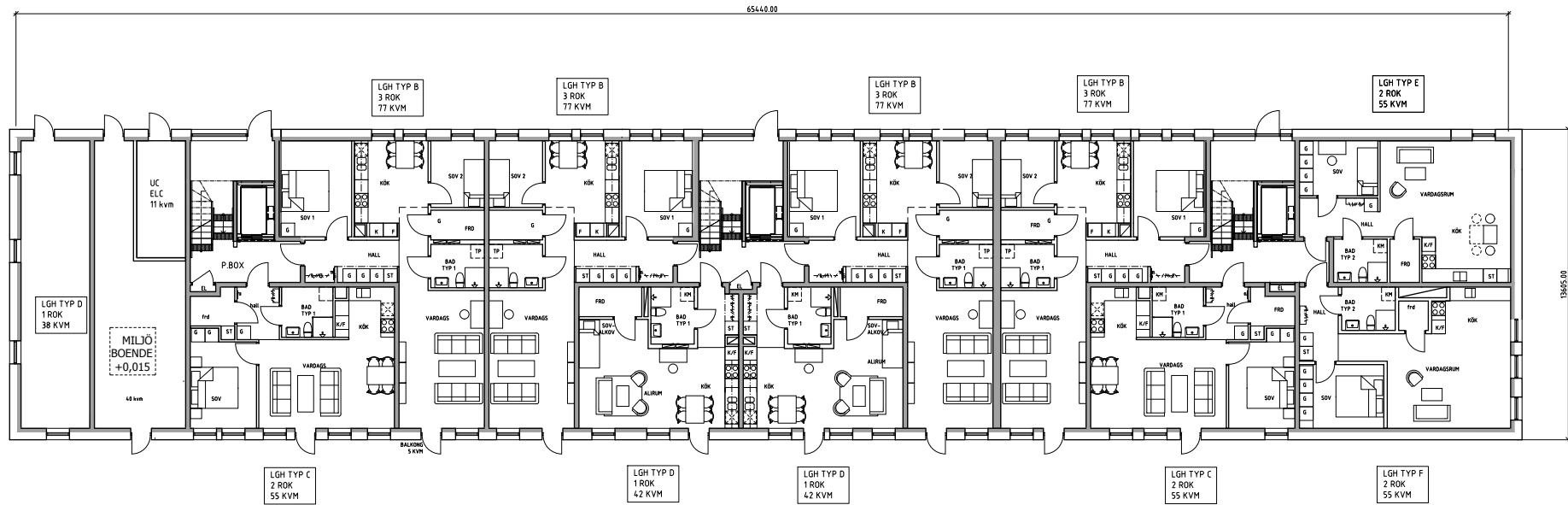
Utan åtgärd ($E_{solel} = 0$)

$$PET_{2021} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,0} + 24133\right) \cdot 2,5 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 111$$

Åtgärd: Solceller och batteri

$$PET_{2021} = \frac{\left(\frac{0,65 \cdot 411918}{0,9 \cdot 4,0} + 24133 - 20399\right) \cdot 2,5 + \left(\frac{0,12 \cdot 411918}{0,9} + 0,23 \cdot 411918\right) \cdot 1,0}{3762} = 90$$

Bilaga 5 - Planlösning referenshuset

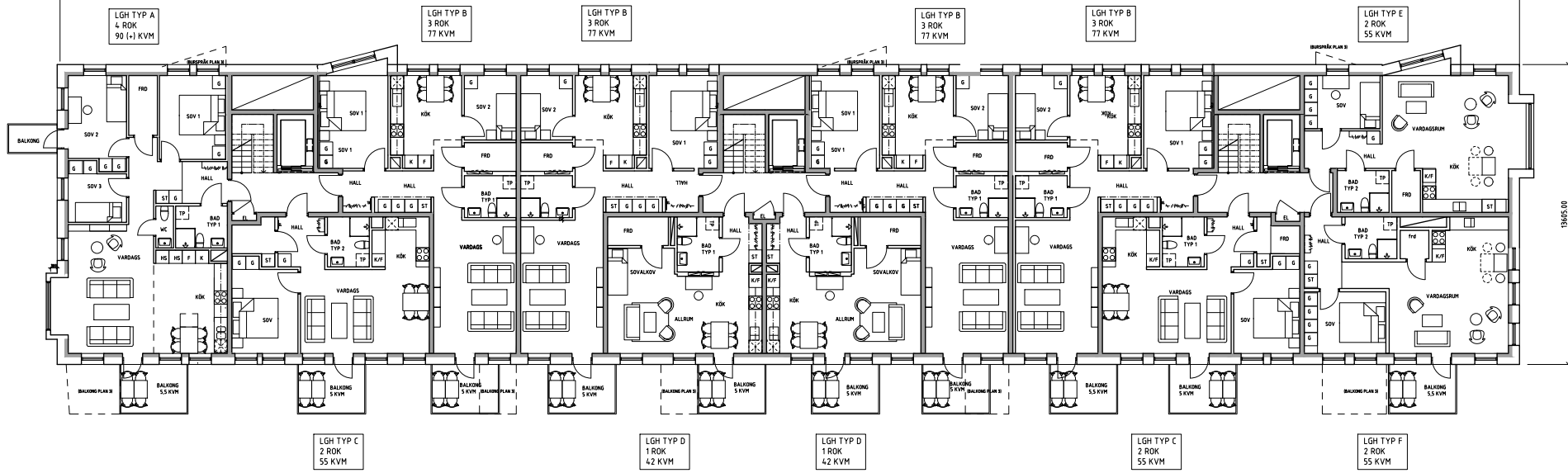


Lägenhetsfördelning
Hus P - Plan 1

- 1 rok: 3st
- 2 rok: 4st
- 3 rok: 4st
- 4 rok: -

totalt: 11 st

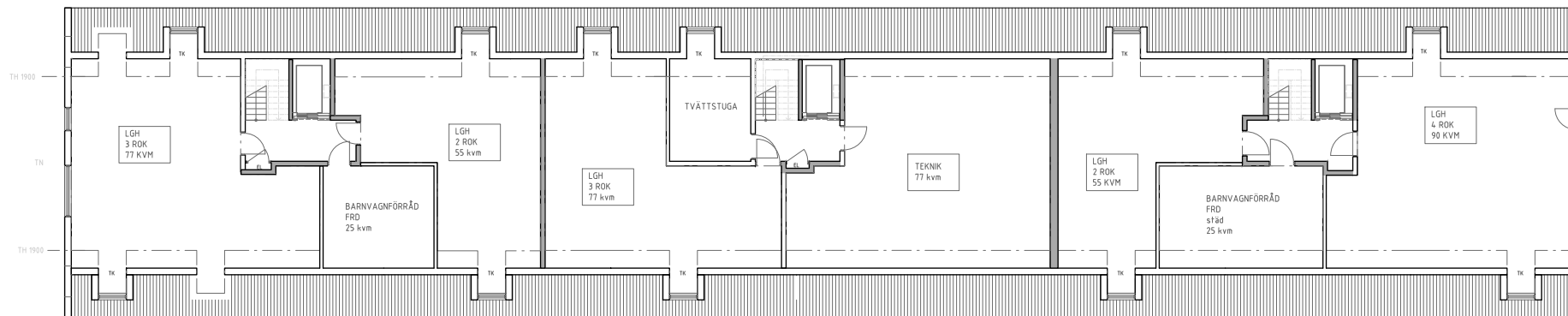
66190.00



PLAN 2-4
Hus P

Lägenhetsfördelning
Hus P - Plan 2-4

1 rok: 2st	x3 : 6 st
2 rok: 4st	x3 : 12 st
3 rok: 4st	x3 : 12 st
4 rok: 1st	x3 : 3 st
total: 11st	x3 : 33 st



Lägenhetsfördelning
Hus P - Plan 5

- 1 rok: -
- 2 rok: 2st
- 3 rok: 2st
- 4 rok: 1st

totalt: 5st

Bilaga 6 Indata IDA ICE

Placering		
Ort	Malmö/Sturup Stockholm-Bromma	ASHRAE 2013 ASHRAE 2013
Klimatfil	Malmö Stockholm <i>SMHI Klimatfiler 1981-2010</i>	SMHI-Sveby SMHI-Sveby
Vindprofil	Normal tätort	
Orientering	Öst-Väst enligt figur 23	

Konstruktion			
Ytterväggar	13 mm 45 mm 170 mm 3 mm 50 mm	Gipsskiva Träreglar/Mineralull c/c 600 Träreglar/Mineralull c/c 600 Gipsskiva Isover Fasadskiva 33	<i>Byggnadsdel</i> Tjocklek: 281 mm U-värde: 0,151 W/m ² K
Innervägg	150 mm 100 mm	Betong Mineralull ($\lambda = 0,036$ W/mK)	<i>Byggnadsdel</i> Tjocklek: 250 mm U-värde: 0,330 W/m ² K
Mellanbjälklag	130 mm 100 mm 130 mm	Betong Mineralull ($\lambda = 0,036$ W/mK) Betong	<i>Byggnadsdel</i> Tjocklek: 360 mm U-värde: 0,323 W/m ² K
Yttertak	200 mm 200 mm 250 mm	Lösull ($\lambda = 0,042$ W/mK) Lösull Takstolar c/c 1200 ($\lambda = 0,046$ W/mK) Betong	<i>Byggnadsdel</i> Tjocklek: 650 mm U-värde: 0,106 W/m ² K
Bottenbjälklag	200 mm 200 mm	Betong Cellplast ($\lambda = 0,038$ W/mK)	<i>Byggnadsdel</i> Tjocklek: 400 mm U-värde: 0,180 W/m ² K
Fönster norr	Karmandel: 25% Glaset g-värde: 0,52 Avskärmningsfaktor: 0,5 för alla väderstreck (BFS, 2017 (b)) Glaset g-värde multipliceras med ovan angiven faktor för avskärmning.		U-värde: 0,9 W/m ² K g-värde: 0,52 · 0,5

Fönster övriga väderstreck	Karmandel: 25% Glaset g-värde: 0,25 Avskärmningsfaktor: 0,5 för alla väderstreck (BFS, 2017 (b)) Glaset g-värde multipliceras med ovan angiven faktor för avskärmning.	U-värde: 0,9 W/m ² K g-värde: 0,25 · 0,5
Balkongdörrar	Karmandel: 25% Glaset g-värde: 0,25 Avskärmningsfaktor: 0,5 för alla väderstreck (BFS, 2017 (b)) Glaset g-värde multipliceras med ovan angiven faktor för avskärmning.	U-värde: 0,9 W/m ² K g-värde: 0,25 · 0,5
Ytterdörrar		U-värde: 1,1 W/m ² K
Balkonger	Balkonger modelleras i syfte att åstadkomma en korrekt beräkning av köldbryggor. Balkongerna i modellen är smala och låga eftersom avskärmningsfaktorn 0,5 redan tar hänsyn till skuggning.	Längd: 3 m Djup: 0,05 m Höjd: 0,05 m
Köldbryggor	<i>Yttervägg / bjälklag</i> <i>Yttervägg / innervägg</i> <i>Yttervägg / yttervägg</i> <i>Fönster i yttervägg omkrets</i> <i>Ytterdörr omkrets</i> <i>Tak / yttervägg</i> <i>Yttergolv / yttervägg</i> <i>Balkongplatta / yttervägg</i> <i>Yttergolv / innervägg</i> <i>Tak / innervägg</i>	0,1 W/K/(m anslutning) 0,03 W/K/(m anslutning) 0,08 W/K/(m anslutning) 0,0375 W/K/(m omkrets) 0,0375 W/K/(m omkrets) 0,1 W/K/(m anslutning) 0,225 W/K/(m anslutn.) 0,3 W/K/(m anslutning) 0,02 W/K/(m anslutning) 0,02 W/K/(m anslutning)

Värme- och Kylsystem		
Verkningsgrad	Antagande om 10 % förluster i reglersystemet för både värme och kyla (byggföretagets erfarenhetsvärde).	COP = 0,9
Värmesystem	Fyra olika värmesystem testas: - fjärrvärme - frånluftsvärmepump och fjärrvärme - bergvärmepump - luft-/vattenvärmepump <i>OBS angiven COP används i IDA ICE för samtliga värmesystem. Erhållen energianvändning från simuleringar med</i>	

	<i>värmepump justeras i efterhand med respektive värmepumps SPF. Se kapitel 4.2.3.</i>	
Kylsystem	Endast fiktivt kylsystem. Placeras i lägenhetszonerna för att undvika övertemperatur sommartid. Representerar vädring.	

Ventilationssystem		
<i>I fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump</i>		
FTX	Uppvärmda utrymmen > 10 °C (A_{temp}) Roterande värmeväxlare	$\eta = 80\%$
	Hänsyn tas till nedsmutsning av filtret genom en höjning av SFP-talet med 10% (byggföretagets erfarenhetsvärde). $SFP_{totalt} = 1,8 \cdot 1,10 = 1,98$	SFP tilluft = 0,99 SFP frånluft = 0,99
	Lägsta tillåtna tilluftstemperatur: 19,5 °C Temperaturökning över tilluftsfläkt: 0,5 °C Lägsta temperatur på avluften: -15 °C	
F-system	Endast i Miljörum I princip självdragssystem Ingen uppvärmning på tilluft och ingen värmeåtervinning	SFP tilluft = 0 SFP frånluft = 0,8
<i>I fallet med Frånluftsvärmepump och fjärrvärme</i>		
F-system	Uppvärmda utrymmen > 10 °C (A_{temp}) Ingen uppvärmning på tilluft och ingen värmeåtervinning	SFP tilluft = 0 SFP frånluft = 0,99
F-system	Icke uppvärmt utrymme < 10 °C I princip självdragssystem Ingen uppvärmning på tilluft och ingen värmeåtervinning	SFP tilluft = 0 SFP frånluft = 0,8

Luftflöden		
<i>Beräknade med hjälp av typflöden för olika utrymmen enligt Enberg (2015) i kombination med byggföretagets erfarenhet av energiberäkningar.</i>		
Lägenhet 1 rok	Uppvärt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	27 l/s

Lägenhet 2 rok	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	27 l/s
Lägenhet 3 rok	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	27 l/s
Lägenhet 4 rok	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	37 l/s
Trapphus	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	10 l/s
Tvättstuga	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	60 l/s
Förråd	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	0,35 l/s,m ²
Teknikrum	Uppvärmrt utrymme FTX-system i fallen med fjärrvärme, bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump F-system i fallet med frånluftsvärmepump och fjärrvärme	0,35 l/s,m ²
Schakt vid trapphus	Icke uppvärmt utrymme Ingen ventilation i verkligheten. Modelleras i IDA ICE med FTX-system respektive F-system med lågt luftflöde	0,0005 l/s
Miljörum	Icke uppvärmt utrymme F-system	1 l/s

--	--	--

Internlaster		
Personer	Endast i lägenhetsutrymmen	1 rok 1,42 personer 2 rok 1,63 personer 3 rok 2,18 personer 4 rok 2,79 personer
	Metabolism 0,8 ger avgiven effekt 80 W (enligt byggföretagets rutiner för energiberäkningar)	0,8 MET
	Närvaro 14 h/dygn (BFS, 2017 (b))	14 h/dygn (kl. 18 – 8)
Utrustning	Endast i lägenhetsutrymmen Maximalt tillgodoräknande av spillvärme: $30 \cdot 0,7 = 21 \text{ kWh/m}^2(A_{\text{temp}})$	4 W/m ² ger totalt 21 kWh/m ² (A _{temp})
Belysning	<u>Endast i övriga utrymmen:</u>	
	Trapphus	5 W/m ² 1300 h/år
	Tvättstuga	12 W/m ² 500 h/år
	Förråd Teknikrum Miljörum	5 W/m ² 300 h/år

Övrigt		
Infiltration	Fast infiltration	0,02 l/s,m ² (utv. yta)
Rumshöjd		2,6 m
Innetemperatur (börvärden)	<u>Uppvärmade utrymmen:</u>	
	Lägenheter	min 22 °C max 25 °C
	Tvättstuga, förråd, teknikrum, trapphus	min 18 °C max 25 °C
	<u>Icke uppvärmda utrymmen:</u>	
	Miljörum, Schakt vid trapphus	min 10 °C max 25 °C

Bilaga 7 Optimering för fallet Malmö med uppvärmningssystem fjärrvärme

Pris:

$$Pris = \frac{\text{pris solceller} + \text{pris lagringsbatterier}}{\text{tillgodoräknad energi från solceller med lagringsbatteri}} \left[\frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right]$$

Markerat i tabellen nedan är de kombinationer av solceller och batteri som ger en PET minskning om 16 kWh/m² för att uppnå kravet 75 % av BBR 2021. Samma kan göras för övriga krav.

PET [kWh/m ²]	
Utan åtgärd (avrundat)	84
BBR 2021	Krav [kWh/m ²]
90 % av BBR 2021	90
85 % av BBR 2021	81
75 % av BBR 2021	77
65 % av BBR 2021	59

	Krav [kWh/m ²]	Minskning [kWh/m ²]
BBR 2021	90	Uppfyllt
90 % av BBR 2021	81	Uppfyllt
85 % av BBR 2021	77	7
75 % av BBR 2021	68	16
65 % av BBR 2021	59	25

Storlek [m ²]	Antal batterier [st]	Pris [kr/kWh]	PET [kWh/m ²]
50	1	27,1	5
50	2	35,5	5
50	3	44,1	5
50	4	52,7	5
100	1	30,1	7
100	2	31,5	8
100	3	33,8	9
100	4	37,6	9
150	1	36,8	8
150	2	35,1	10
150	3	35,3	11
150	4	37,5	11
200	1	44,5	9
200	2	40,3	11
200	3	38,7	12
200	4	40,2	13
250	1	52,3	9
250	2	46,2	11
250	3	43,0	13
250	4	43,8	14
300	1	60,1	9
300	2	52,2	12
300	3	47,9	13
300	4	48,1	14
300	5	49,8	15

Solceller med tillhörande lagringsbatteri i flerbostadshus

350	1	67,8	10
350	2	58,2	12
350	3	53,0	14
350	4	52,8	15
350	5	54,3	15
400	1	75,5	10
400	2	64,3	12
400	3	58,1	14
400	4	57,4	15
400	5	58,8	15
400	6	60,5	16
450	1	83,2	10
450	2	70,3	12
450	3	63,1	14
450	4	62,0	15
450	5	63,2	16
450	6	64,9	16

Bilaga 8 Beräkningsexempel LCC

Beräkningsexemplet gäller för åtgärden solceller och lagringsbatteri i beräkningsfallet med uppvärmningssystem frånluftsvärmepump och fjärrvärme i Malmö. Beräkningarna gäller för kravnivå på energiprestanda enligt BBR för år 2021.

Indata

Energi från solceller tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	15741
Energi lagrad i batteri och tillgodoräknad i byggnaden [kWh]	4658
Energiöverskott [kWh]	9687
Energipris Sälja [kr/kWh]	0,8
Energipris Köpa [kr/kWh]	1,1
Toppeffekt solcellsanläggning [kWp]	31,8
Investeringskostnad solcellsanläggning [kr/kWp]	17000
Investeringskostnad batteri [kr/st]	70000
Antal batteri [st]	2
Årlig drift & underhållskostnad [% av investeringskostnaden]	1
Investeringsbidrag [%]	30
Kalkylränta [%]	4
Livslängd solceller [år]	30
Livslängd batteri [år]	15
Elcertifikat [kr/MWh]	140

Beräkning

Annuitetsfaktor:

$$\frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}}$$

Annuitet:

$$A = (-\sum G + B) \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} + \sum a$$

Omräkning till nuvärde (diskontering):

$$K = \frac{c}{(1+i)^r}$$

Omräkningsfaktor:

$$(1+i)^r$$

Besparing från solet

Energi från solceller [kWh]	15741
Energipris Köpa [kr/kWh]	1,1
Besparing per år (a ₁)	17315

Besparing med batteri

Energi lagrad i batteri [kWh]	4658
Energipris Köpa [kr/kWh]	1,1
Besparing per år (a ₂)	5124

Intäkt från överproduktion

Energiöverskott [kWh]	9687
Energipris Sälja [kr/kWh]	0,8
Intäkt per år (a ₃)	7750

Intäkt från elcertifikat

Elcertifikat [kr/MWh]	140
Energiöverskott [MWh]	9,687
Intäkt per år (a ₄)	1356

Nyinvestering batteri efter 15 år

Inköpspris 2st batteri [kr]	140000
Omräkningsfaktor	1,80
Investeringskostnader (G ₁)	77778

Investeringskostnad

Pris per installerad toppeffekt [kr/kWp]	17000
Toppeffekt solcellsanläggning	31,8
Investeringskostnad solcellsanläggning	540600
Pris per installerat batteri	70000
Antal batteri	2
Investeringskostnad batteri	140000
Kostnad för leverans, installation och driftsättning	0
Investeringskostnad (G ₂)	680600

Investeringsbidrag	
Investeringskostnad [kr]	680600
Investeringsbidrag procent	0,30
Investeringsbidrag (B)	204180

Underhållskostnader	
Investeringskostnad [kr]	680600
Procent av investeringskostnad	0,01
Kostnader för service och underhåll per år (a_5)	6806

Beräkning av annuitet

Alternativ 1	Inkluderar alla poster
Alternativ 2	Utan vare sig investeringsbidrag eller intäkter från överproduktion

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} = \frac{1}{\frac{(1-(1+i)^{-n})}{i}} = \frac{1}{\frac{(1-(1+0,04)^{-30})}{0,04}} = 0,057$$

Alternativ 1:

$$\begin{aligned} A_{Alt 1} &= (-\sum G + B) \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} + \sum a \\ &= -(G_1 + G_2) + B) \frac{1}{\sum_{k=1}^{30} \frac{1}{(1+0,04)^k}} + (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) \\ A_{Alt 1} &= -(77778 + 680600) + 204180) \cdot 0,057 \\ &\quad + (17315 + 5124 + 7750 + 1356 - 6806) = -7\,308 \text{ kr/år} \end{aligned}$$

Alternativ 2:

$$\begin{aligned} A_{Alt 2} &= (-\sum G) \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k}} + \sum a \\ &= -(G_1 + G_2) \frac{1}{\sum_{k=1}^{30} \frac{1}{(1+0,04)^k}} + (a_1 + a_2 + a_4 + a_5) \\ A_{Alt 2} &= -(77778 + 680600) \cdot 0,057 + (17315 + 5124 + 1356 - 6806) \\ &= -26\,865 \text{ kr/år} \end{aligned}$$

	Alternativ 1	Alternativ 2
Total Annuitet	-7 308 kr/år	-26 865 kr/år

Negativt värde = Ej lönsam

Positivt värde = Lönsam

Bilaga 9 Resultat energiprestanda

Energiprestanda kravnivåer år 2017

Solceller	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	Luft- /vattenvärmepump SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 75 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 81 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 39 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 44 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
Stockholm				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 78 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 87→84 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller	PET: 40 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 46 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd

Solceller med lagringsbatterier	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	Luft-/vattenvärmepump SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 75 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 81 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 39 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 44 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
Stockholm				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 78 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 87→84 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 40 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 46 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd

Förbättrat klimatskal	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	Luft-/vattenvärmepump SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 75 kWh/m ² Uppfylls utan Åtgärd	PET: 81 kWh/m ² Uppfylls utan Åtgärd	PET: 39 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 44 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
Stockholm				
BBR-krav PET 85 kWh/m ²	PET: 78 kWh/m ² Uppfylls utan Åtgärd	PET: 87→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ^{1,2,3}	PET: 40 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 46 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd

¹ U-värde hela fönster från 0,9 till 0,6.

² Ytterväggar isoleras från U-värde 0,15 till 0,11.

³ Grundplatta isoleras från U-värde 0,19 till 0,09.

Energiprestanda kravnivåer år 2021

Solceller	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	Luft- /vattenvärmepump SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 104→91 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
90 % av BBR-kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 84→79 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller	PET: 104→91 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
85 % av BBR-kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 31,8 kWp solceller	PET: 104→91 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR-kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 84→76 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 104→91 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69→64 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kWp solceller
65 % av BBR-kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 84→76 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 104→91 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61→56 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kWp solceller	PET: 69→58 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 23,9 kWp solceller
Stockholm				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 111→97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
90 % av BBR-kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 87→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller	PET: 111→97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd

85 % av BBR-kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR-kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72→67 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kW _p solceller
65 % av BBR-kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63→58 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kW _p solceller	PET: 72→59 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 31,8 kW _p solceller

Solceller med lagringsbatterier	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	Luft-/vattenvärmepump SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 104→90 kWh/m ² Uppfylls med åtgärd 31,8 kWp solceller 2 st 13,5 kWh batteri	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
90 % av BBR- kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 84→79 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8,0 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 104→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 63,7 kWp solceller 7 st 13,5 kWh batteri	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
85 % av BBR- kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 104→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR- kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 84→68 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 63,7 kWp solceller 6 st 13,5 kWh batteri	PET: 106→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69→60 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller 1st 13,5 kWh batteri
65 % av BBR- kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 84→68 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 106→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61→56 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kWp solceller 1st 13,5 kWh batteri	PET: 69→57 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 23,9 kWp solceller 1st 13,5 kWh batteri
Stockholm				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 111→90 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 47,8 kWp solceller 6 st 13,5 kWh batteri	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd

90 % av BBR-kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 87→80 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 111→85 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET:72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
85 % av BBR-kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 87→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 23,9 kWp solceller 2 st 13,5 kWh batteri	PET: 111→85 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET:72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR-kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 87→71 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→85 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72→63 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 15,9 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri
65 % av BBR-kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 87→71 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→85 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63→58 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 8 kWp solceller 1 st 13,5 kWh batteri	PET: 72→59 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: 23,9 kWp solceller 2 st 13,5 kWh batteri

Förbättrat klimatskal	Fjärrvärme	Frånluftsvärmepump och fjärrvärme 65 % energitäckning med VP SPF: 4,1 FTX: Nej	Bergvärmepump	Luft-/vattenvärmepump
	FTX: Ja, 80 %		SPF: 4,0 FTX: Ja, 80 %	SPF: 3,3 FTX: Ja, 80 %
Malmö				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 84 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 104 →97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
90 % av BBR-kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ^{2,3}	PET: 104 →97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
85 % av BBR-kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 84→77 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ¹	PET: 104 →97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR-kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 84→74 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 104 →97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 69→64 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ¹
65 % av BBR-kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 84→74 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 104 →97 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 61→57 kWh/m ² Uppfylls med åtgärd ¹	PET: 69→62 kWh/m ² Ej möjligt
Stockholm				
BBR-krav PET 90 kWh/m ²	PET: 87 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 111→103 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
90 % av BBR-kravet PET 81 kWh/m ²	PET: 87→81 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ^{1,2}	PET: 111→103 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
85 % av BBR-kravet PET 77 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→103 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd
75 % av BBR-kravet PET 68 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→103 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63 kWh/m ² Uppfylls utan åtgärd	PET: 72→67 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ¹

65 % av BBR-kravet PET 59 kWh/m ²	PET: 87→79 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 111→103 kWh/m ² Ej möjligt	PET: 63→58 kWh/m ² Uppfylls med följande åtgärd: ¹	PET: 72→64 kWh/m ² Ej möjligt
--	---	---	---	---

¹ U-värde hela fönster från 0,9 till 0,6.

² Ytterväggar isoleras från U-värde 0,15 till 0,11.

³ Grundplatta isoleras från U-värde 0,19 till 0,09.

Bilaga 10 Resultat lönsamhetsbedömning**BBR krav**

Malmö Solceller	Annuitetsberäknat [kr/år]	
	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	-7 308	-26 865
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Klimatskal		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	

Stockholm		
Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm		
Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	-27 358	-60 617
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm		
Klimatskal		
Fjärrvärme	Uppfylls utan åtgärd	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	

90 % av BBR 2021

Annuitetsberäknat [kr/år]		
Malmö Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	1 230	-2 020
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	-4 404	-8 131
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	-33 034	-80 764
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Klimatskal		
Fjärrvärme	-40 250	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	

		Annuitetsberäknat [kr/år]	
Stockholm Solceller		Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme		2 187	-7 885
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme		Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm Solceller med lagringsbatteri			
Fjärrvärme		-3 182	-12 411
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme		Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm Klimatskal			
Fjärrvärme		-47 660	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme		Krav uppnås ej	
Bergvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	
Luft- /vattenvärmepump		Uppfylls utan åtgärd	

85 % av BBR 2021

Annuitetsberäknat [kr/år]		
Malmö Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	2 590	-22 865
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	-3 512	-12 583
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Malmö Klimatskal		
Fjärrvärme	-28 249	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft- /vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	

Stockholm		
Solceller	Annuitetsberäknat [kr/år]	
	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm		
Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	-7 964	-23 713
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Stockholm		
Klimatskal		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft-/vattenvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	

75 % av BBR 2021

Annuitetsberäknat [kr/år]		
Malmö Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	1 408	-951
Malmö Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	-28 932	-83 842
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	-2 991	-9 455
Malmö Klimatskal		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	
Luft- /vattenvärmepump	-20 869	

Stockholm

Solceller

Annuitetsberäknat [kr/år]

Alternativ 1

Alternativ 2

Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	1 589	-770

Stockholm

Solceller med lagringsbatteri

Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	-2 644	-9 179

Stockholm

Klimatskal

Fjärrvärme	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	Uppfylls utan åtgärd
Luft- /vattenvärmepump	-15 589

65 % av BBR 2021

Annuitetsberäknat [kr/år]		
Malmö Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	1 408 kr	-951 kr
Luft- /vattenvärmepump	3 372 kr	-8 371 kr
Malmö Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	-4 373 kr	-7 947 kr
Luft- /vattenvärmepump	-2 126 kr	-13 663 kr
Malmö Klimatskal		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	-23 069 kr	
Luft- /vattenvärmepump	Krav uppnås ej	

Annuitetsberäknat [kr/år]		
Stockholm Solceller	Alternativ 1	Alternativ 2
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	1 589 kr	-770 kr
Luft- /vattenvärmepump	4 742 kr	-13 568 kr
Stockholm Solceller med lagringsbatteri		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	Krav uppnås ej
Bergvärmepump	-4 192 kr	-7 766 kr
Luft- /vattenvärmepump	-7 165 kr	-18 919 kr
Stockholm Klimatskal		
Fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Frånluftsvärmepump och fjärrvärme	Krav uppnås ej	
Bergvärmepump	-23 069 kr	
Luft- /vattenvärmepump	Krav uppnås ej	