



# Energieffektiva byggnader- teknikval och drift

Rapport och Kunskapspaket framtaget inom  
forskningsprojektet S2C på uppdrag av Energikontor  
Väst och Lokalförvaltningen Göteborgs Stad

Författad av: David Nordin, Joachim Wallenstein, Julia  
Otterberg, Rasmus Cagner, Simon Roos och Ulf Aronsson

2022-04-25

## Innehåll

Inledning .....	4
Energiområdets spelregler .....	5
1 Definitioner och begrepp .....	5
1.1 Byggnadens energianvändning.....	5
1.2 Effektivare energianvändning.....	7
1.3 Klimatskal .....	8
1.4 Tekniska system .....	9
1.5 Byggnadsautomation .....	13
1.6 Lokala energikällor .....	14
1.7 Lokala energilager.....	16
1.8 Styrning och prognostisering .....	18
2 Kravställningar.....	21
2.1 Nationella krav.....	21
2.2 Krav kopplade till Miljöcertifieringssystem .....	24
Att uppföra energieffektiva byggnader .....	27
3 Vad utmärker en energieffektiv byggnad?.....	27
3.1 Byggnadsutformning.....	28
3.2 Val av energieffektiva tekniska försörjningssystem .....	31
3.3 Lokala energikällor .....	32
3.4 Styrning.....	33
3.5 Driftoptimering och inneklimatuppföljning .....	33
3.6 Drift och förvaltning.....	33
3.7 Grundläggande principer och synsätt .....	35
3.8 Beställarens roll och organisation .....	38
3.9 Projektets skeden - Projektering .....	40
3.10 Projektets skeden - Produktion .....	43
3.11 Projektets skeden - driftsättning och ibruktagande.....	45
3.12 Förvaltningsskedet .....	46
Exempel från verkligheten .....	47
4 Goda exempel.....	47
4.1 Sverige - Lövängens förskola .....	47
4.2 Sverige - Flerbostadshus – fyra lägenheter i två plan.....	48
4.3 Sverige - Självförsörjande villa på energi från solen – Att gå off-grid i stadsmiljö.....	48
4.4 Tallbohov Electric village .....	49
4.5 Sverige – Förskolan Hoppet.....	50

4.6	Danmark - Stigsborg Börne og Ungeunivers .....	51
4.7	Norge - Yrkesskola och tandläkarklinik i Grimstad – Agder fylkeskommune .....	52
	Framtidsspaningar .....	54
5	Trender och framtida utmaningar .....	54
5.1	Balans mellan energieffektivitet och klimatpåverkan .....	54
5.2	Dimensionering för ett förändrat klimat.....	56
5.3	Ökat tillvaratagande av spillvärme.....	56
5.4	Elmarknadens utveckling – trender och framtidsspaningar.....	57
5.5	Effektbudget.....	58
5.6	Utveckling inom byggnadsautomation .....	59
5.7	Framtida regleringar för luftkvalitet .....	60
6	Kommentarer och slutord .....	62
7	Referenslista .....	63

## Om publikationen

Denna rapport har författats på uppdrag av Energikontor Väst och Lokalförvaltningen Göteborg med finansiering från Interreg och Västra Götalandsregionen. Den är en del av projektet Scandinavian Sustainable Circular Construction (S2C). Författarna kommer från AFRY och har mångårig erfarenhet inom de olika områdena för rapporten.

Rapporten är skriven av David Nordin, Joachim Wallenstein, Julia Otterberg, Rasmus Cagner, Simon Roos och Ulf Aronsson på Afry under hösten 2021 och våren 2022.



**VÄSTRA  
GÖTALANDSREGIONEN**

## Inledning

*Kunskapspaket: "Energieffektiva byggnader, teknikval och drift"*

I samhället, både nationellt och globalt, ställs allt högre krav på att byggnader ska vara energieffektiva och ha låg klimatpåverkan. Fokus ökar också på begreppen hållbarhet, klimatneutralitet, cirkulära flöden och giftfria miljöer. Detta tar sig uttryck på många sätt. Ur ett marknadsperspektiv ökar attraktivitet för lokaler med hållbarhetsprofil och fördelaktiga förutsättningar för upplåning kan erhållas för hållbara investeringar. Politiskt skärps lagkraven och priset på utsläppsrätter stiger.

Hur energieffektiv och miljövänlig en byggnad i slutändan är behöver analyseras utifrån hela dess livscykel, vilket tydliggörs av den stora påverkan som själva byggfasen utgör. När energieffektiviteten under drift ökar utgör uppförande och avveckling av en fastighet en större bit av kakan.

I den första delen av denna rapport förklaras grundläggande begrepp kring byggnaders energisystem och påverkansfaktorer; såsom klimatskal, tekniska system, lokala energikällor och lagring samt smart styrning. Vidare beskrivs nationella kravställningar och regelverk, samt kravställningar kopplade till olika certifieringssystem gällande energiförbrukning.

Med detta som grund går rapporten in på hur dessa faktorer inverkar i vad som kännetecknas som en energieffektiv byggnad. Den andra delen av rapporten beskriver också arbetsflöden och strategier för att säkerställa att mål och kravställningar för en byggnad följs upp hela vägen från tidigt skede till driftsättning. Här beskrivs hur olika strategier inom planering, kommunikation och samordning i tidiga skeden speglas i slutresultatet.

I den tredje delen presenteras några intressanta exempel från verkligheten, där olika energieffektiva lösningar implementerats i byggnader och gett goda resultat.

I den avslutande delen riktas fokus mot framtiden och hur kommande trender och utmaningar, lagändringar och klimatförändringar kan komma att påverka byggbranschens utveckling.

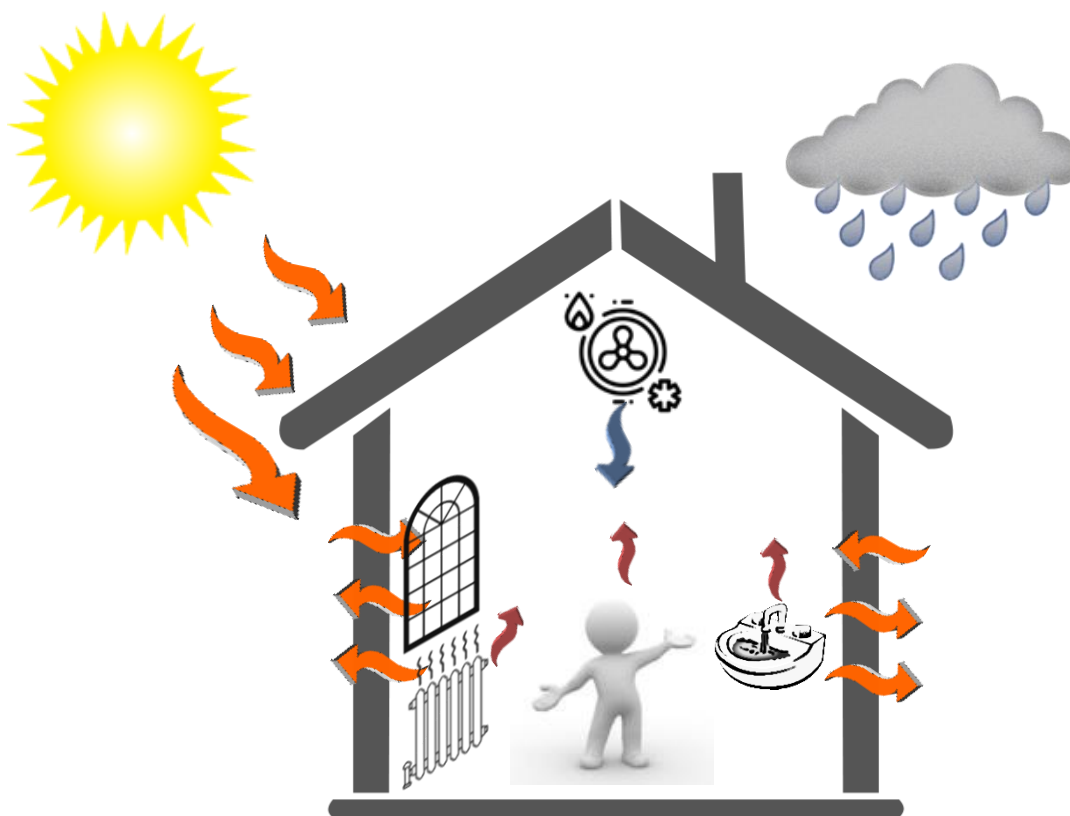
# Energiområdets spelregler

## 1 Definitioner och begrepp

### 1.1 Byggnadens energianvändning

Energianvändning för en byggnad kan beräknas och kravställas på olika sätt. Enligt byggreglerna i Sverige är det endast fastighetens energianvändning i kWh som kravställs, inte verksamhetens. Huvudfokus för den här rapporten är således fastighetsenergi.

Byggnadens energianvändning innefattar energi för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi (allmän belysning, fläktar, pumpar m.m.). För att göra olika byggnader jämförbara med varandra kravställs energianvändning fördelat på  $A_{temp}$  (Area som värms till mer än 10°C) alltså kWh/m<sup>2</sup>  $A_{temp}$  och år.



Figur 1 - energiflöden i en byggnad

Byggnadens *energibehov* avser det faktiska behovet av uppvärmning, kyla, värme till tappvarmvatten och el till fastighetsenergi. Detta skiljer sig från byggnadens *specifika energianvändning*, även kallat *köpt energi*, där hänsyn tas till energiförsörjningen. För att exemplifiera; en byggnad i Göteborg som försörjs med fjärrvärme, har en kylmaskin för komfortkyla och el till fastighetsenergi. I detta fall medför kylmaskinens verkningsgrad att köpt el till kylmaskinen är mindre än kylbehovet i byggnaden, mängden köpt energi blir alltså lägre än energibehovet (se figur 2).

Boverkets byggregler (BBR29) ställer krav avseende byggnadens *Primärenergital*. Primärenergitalet utgörs av byggnadens specifika energianvändning, där energi till uppvärmning har korrigerats med en *geografisk justeringsfaktor* ( $F_{geo}$ ) och respektive energibärare har multiplicerats med en *viktningfaktor*.

Den geografiska justeringsfaktorn syftar till att göra byggnader i olika delar av Sverige jämförbara med varandra. Exempelvis har Haparanda  $F_{geo}=1,5$  och Ystad har  $F_{geo}=0,9$ . Detta medför att samma krav på primärenergital kan användas för hela Sverige.

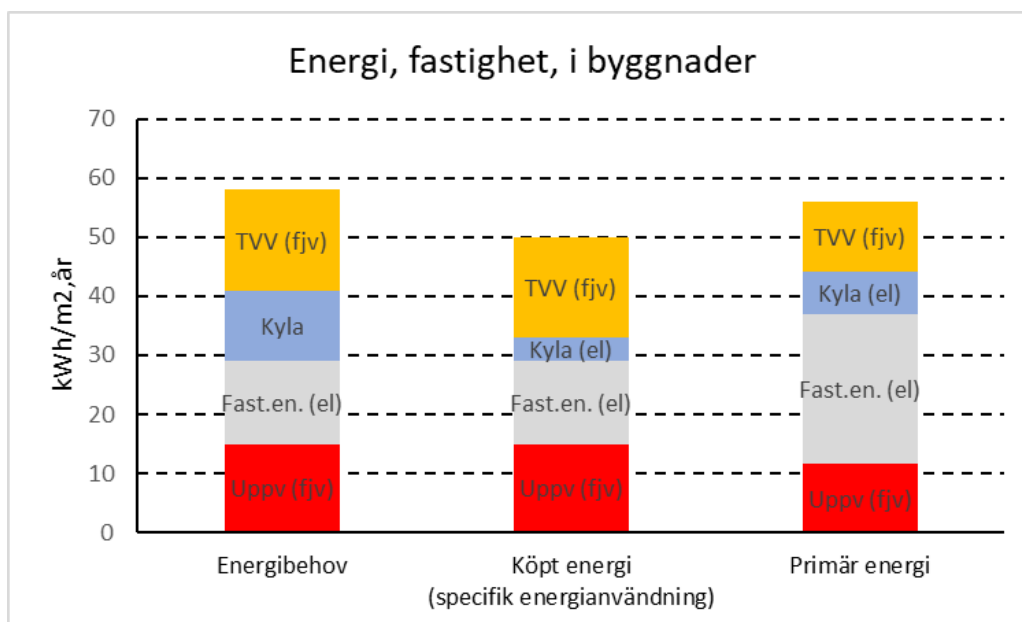
Tabell 1. Viktningsfaktorer enligt BBR 29.

Viktningfaktorn syftar till att bidra till teknikneutralitet mellan hållbara energibärare. För el innebär det bla att styra mot att el nyttjas effektivt för drift av värmepumpar och inte för uppvärmning via direktverkande el radiatorer och elpannor. El som energibärare har en central roll i samhällets energiomställning och efterfrågan förutses öka kraftigt till följd av elektrifiering av till exempel

Energibärare	Viktningfaktor ( $VF_i$ )
El ( $VF_{el}$ )	1,8
Fjärrvärme ( $VF_{fjv}$ )	0,7
Fjärrkyla ( $VF_{fjk}$ )	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen ( $VF_{bio}$ )	0,6
Fossil olja ( $VF_{olja}$ )	1,8
Fossil gas ( $VF_{gas}$ )	1,8

transportsektorn och ett effektivt nyttjande är därför en förutsättning för att klara omställningen. Samtidigt har fossil olja och fossil gas fått höga viktningfaktorer för att styra mot minimerad användning. Se viktningfaktorer för olika energibärare enligt BBR 29 i tabellen till höger.

Vi studerar exemplet från ovan igen, med en byggnad i Göteborg som försörjs med fjärrvärme för uppvärmning och tappvarmvatten, har en kylmaskin för komfortkyla och el till fastighetsenergi. Energi för värme kommer minska med en faktor 0,7, detta divideras med  $F_{geo}$  och eftersom  $F_{geo}$  för Göteborg är 0,9 medför det en ökning. Energi för kyla och fastighetsenergi, som har energibäraren el ökas med en faktor 1,8.



Figur 2, skillnader mellan energibehov, köpt energi (specifikt energibehov) och primärenergi enl. BBR 29 för en byggnad med fjärrvärme och en kylmaskin med EER 3.

### 1.1.1 Energi och effekt

Två viktiga begrepp att skilja på när det gäller energianvändning är effekt (Watt) och energi (Wattimmar). Effekt avser den momentana energianvändningen och energi avser mängden använd energi. Ett klassiskt exempel är att en spisplatta med ett effektbehov på 1000 W (1 kW) som går under en timme använder en kilowattimme (1 kWh) el.

Skillnaden mellan energi och effekt är en viktig fråga eftersom tillgången på energimängd ofta är mindre kritisk än tillgången till effekt. Detta gäller framförallt för energi från el. I branscher som rör elnät är det mycket diskussion kring effekter och att det är effektbrist som råder på många platser snarare än energibrist. Från elnätsleverantören erhålls ett effektabonnemang och detta är alltså en faktor som kommer vara allt mer kostnadsdrivande då effektbrist blir mer kritiskt.

Effektbrist kan ha sin orsak både i distributionsproblem, flaskhalsar och i begränsningar på elproduktionssidan. Andelen producerad av förnyelsebara energikällor ökar, men fortfarande behövs även fossila bränslen. När effektuttaget är stort i systemet räcker inte de förnyelsebara kraftslagen till och el producerad med fossila bränslen kommer behöva nyttjas för att täcka marginalen. Detta inträffar typiskt kalla och vindstilla dygn. Ett sätt att minska beroendet av fossila källor för elenergiproduktion är att arbeta med olika strategier för att minska byggnaders eleffektuttag, exempelvis genom smart styrning av dess installationer.

Värmeeffektbehov vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) avgör hur värmesystem dimensioneras. Vid ett högt värmeeffektbehov krävs större och dyrare installationer för att tillgodose behovet. Följaktligen blir även energianvändningen högre.

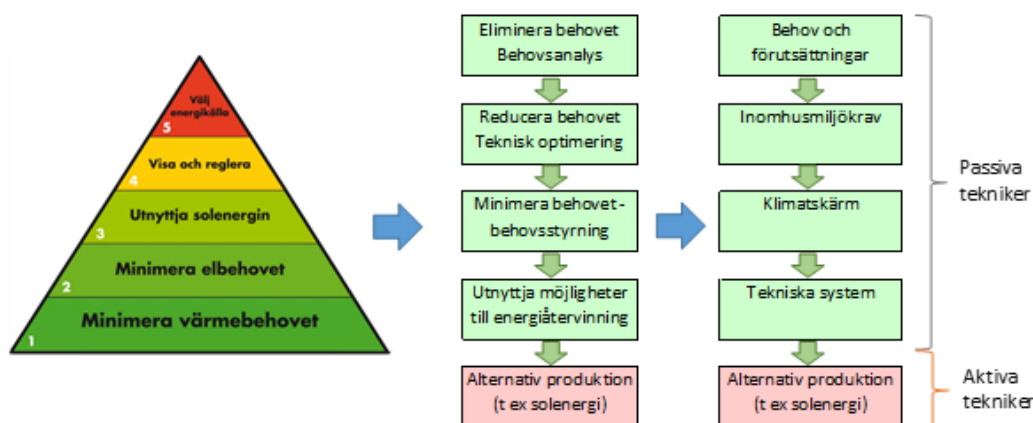
## 1.2 Effektivare energianvändning

För att påverka byggnadens energianvändning och förbättra energiprestandan krävs ett arbete som genomsyrar hela byggprocessen. Energiarbete baseras på principer



enligt "Kyoto-pyramiden". I Figur 3 nedan illustreras anpassning av Kyotopyramiden till den "top-down modell" som visas i mitten av figuren nedan och som bör tillämpas vid projektering av byggnader.

I första hand skall en energieffektiv byggnad uppnås genom att tillämpa passiv teknik, det vill säga metoder för att minimera energianvändningen. Först när alla möjligheter att nyttja passiv teknik är uttömda bör aktiv teknik (förnybar energiproduktion) såsom solceller, solpaneler etc. tillämpas.



Figur 3 - Schematisk bild av Kyoto-pyramiden och top-down-modellen

I första hand skall behov minimeras genom följande:

1. Eliminera energibehovet (behovsanalys).
2. Minimera energibehovet genom att angripa källan (isolering, punktventilation etc.).
3. Minimera energibehovet genom behovsstyrning.
4. Utnyttja möjligheter till återvinning.
5. Implementera solceller eller annan teknik för energiproduktion och/eller lagring.

## 1.3 Klimatskal

Uppvärmningsbehovet i en byggnad beror på klimatskalets utformning och prestanda, infiltration (luftläckage genom klimatskalet), ventilationsflödet och internt genererad värme, där klimatskalets utformning och prestanda oftast är det som har mest betydelse.

### 1.3.1 Klimatskalets utformning

Klimatskalet innefattar alla ytterväggar, fönster, tak, grund och eventuella källarväggar, dörrar och entrépartier. En mycket väsentlig faktor är hur stort klimatskalet är i förhållande till byggnadens nyttiga bruksarea. Exempelvis kommer en enplansbyggnad med litet byggnadsdjup ha tydligt sämre förutsättningar att uppnå låg värmeenergianvändning än en byggnad i flera plan och med större byggnadsdjup.

Ett begrepp som kan nyttjas för att bedöma och jämföra olika layoutförslag är termen *Byggnadseffektivitet* (mer om detta i kapitel 3 och 0).

### 1.3.2 Klimatskalets prestanda

Klimatskalets prestanda avser hur klimatskalet är konstruerat vilket påverkar värmeförluster genom:

1. Värmetransport genom själva materialen (U-värdet)
2. Värmetransport mellan byggdelar i klimatskalet (köldbryggor)
3. Luftläckage genom otätheter i klimatskalet (infiltration).

Värmetransport enligt pkt 1 och 2 åtgärdas genom bättre isolering och rätt utformning av konstruktionsdetaljer för att minimera köldbryggor. Idag finns teknik för att lyckas med låga förluster för flertalet infästningar och andra konstruktionsdetaljer och de totala transmissionsförlusterna kan därmed minska. Vidare är klimatskalets täthet mot luftläckage betydelsefullt.

Luftläckage enligt pkt 3 har mycket stor betydelse. Under de senaste ca 10 åren har emellertid teknik för att "bygga tätt" utvecklats dramatiskt och även kompetens och metoder för att täthetsprova byggnader.

I kapitel 3 och 4 behandlas detta ytterligare.

## 1.4 Tekniska system

De tekniska systemen i en byggnad omfattar bland annat uppvärmning, kyla, ventilation, tappvarm- och kallvatten, elsystem, samt styrning och reglering av dessa, se avsnitt 1.5.

### 1.4.1 Ventilation

Ventilation behövs i någon form i alla byggnader. En bra ventilationslösning ger frisk luft som brukarna mår bra av att vistas i.

Många befintliga byggnader har bristfälligt utformade ventilationslösningar med för stora luftflöden, avsaknad av behovsstyrning, dåliga verkningsgrader etc. Detta har mycket stor negativ inverkan på byggnadens energianvändning. Vid sidan av klimatskalet bedöms ventilationssystemets utformning vara den viktigaste parametern.

Det finns flera typer av ventilationslösningar; självdrag, frånluftssystem (F), Från- och tilluftssystem (FT) och Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX). Vilket system som lämpar sig bäst beror på byggnaden och hur den brukas. Det vanligaste idag vid nyproduktion är FTX-system.

FT- och FTX-system kompletteras oftast med luftvärmare och luftkylare för att tillgodose att önskad tilluftstemperatur och ett gott inneklimat kan uppnås oavsett årstid.

Tilluftstemperaturen är viktig för hur brukarna upplever rummet. För hög tilluftstemperatur ger upplevd kvalmig inneluft och minskar uppblandningen av luften i rummet. Vid kallare tilluftstemperatur kan ett lägre flöde tillföras och luften upplevs som friskare. Tilluftstemperaturen bör variera över året och med rätt val av tilluftstemperatur kan luftflödesbehovet minska och den upplevda innemiljön förbättras.

En annan viktig komfortaspekt rörande inneklimatet är drag. Drag har negativ inverkan på det upplevda inneklimatet och kan uppkomma både via för höga inblåsningshastigheter och vid felaktigt val av tilluftsdon som inte kan hantera låga

inblåsningstemperaturer. För stora luftflöden (överventilering) innebär att tilluftstemperaturen måste hålla högre temperatur för att just undvika drag vilket både leder till sämre inneklimat och ökad energianvändning. Enligt ovan är det viktigt att tilluftstemperaturen kan hållas tillräckligt låg vilket ger förutsättningar att hålla nere luftflödet och inte överventilera.

Brukarnas användning av byggnaden varierar ofta, personalrum står tomma när arbete pågår, klassrum står tomma när barnen är på rast och ibland är personantalet halverat på grund av sjukdom. Erfarenhet och undersökning av skolor och kontor visar att det nödvändiga luftflödet som behövs oftast är ungefär 50-60 % av det dimensionerade luftflödet. Därav följer att behovsanpassning och styrning av luftflöden har mycket stor påverkan på en byggnads energianvändning.

De vanligaste principerna för styrning är konstant flöde (CAV), variabelt flöde (VAV) och behovsstyrt flöde (DCV).

- CAV är den enklaste typen av styrning och fungerar som en av/på-knapp som kan regleras med tidsstyrning eller med en forceringsknapp. Detta är lämpligt om det finns ett jämnt behov och låg variation i belastning, t.ex. i korridorer, förråd och toaletter.
- VAV styr flödet i två steg i varje zon. Frånvaro- och ett närvaroflöde styrs med en enkel behovsstyrning baserad på exempelvis temperatur eller luftkvalitet. Det ger möjlighet att styra ventilationen baserat på när lokalerna används, men inte på hur mycket de belastas.
- DCV är en steglös styrning av flödet beroende på belastningen i rummet baserat på närvaro, temperatur, luftkvalitet etc. Den här lösningen är fördelaktig om det är stor variation i belastning av rummet.

Givare för luftkvalitet kan vara antingen CO<sub>2</sub>-givare eller VOC-givare. CO<sub>2</sub>-nivån varierar med hur många människor som vistas i lokalen då människors utandningsluft innehåller CO<sub>2</sub>. VOC-givare fångar upp ämnen såsom aceton och metan som avges från människor vid utandning. Dessa halter stämmer väl överens med CO<sub>2</sub>-halt. För ventilationsbehov kopplat till personlast är givartyperna därmed likvärdiga. Däremot registrerar VOC-givare även emissioner från föremål och byggnadsmaterial, t.ex. från färg, lim, och lösningsmedel eller från kopiatorer och datorer.

Ofta används CO<sub>2</sub>-givare i kombination med temperaturgivare då det erfarenhetsmässigt visat sig att det i de flesta fall är temperaturen som blir styrande, det vill säga att övertemperaturer uppnås innan gränsvärden för CO<sub>2</sub> inträffar. Mot bakgrund av kopplingen mellan upplevelsen av inneklimatet och innetemperaturen är det förståeligt att en kombination av styrning på CO<sub>2</sub> och temperatur är vanligt förekommande.

Ytterligare en parameter som har direkt inverkan på elenergibehovet är dimensionering av ventilationsaggregaten. Korrekt dimensionerade aggregat med låga lufthastigheter och tryckfall ger goda SFP-tal. SFP (Specific Fan Power) anger till- och frånluftsfläktarnas summerade eleffekt dividerat med totalt transporterat luftflöde.

Vidare är givetvis principen för värmeåtervinning mellan till- och frånluft av mycket stor betydelse för energianvändningen. Prestanda för värmeåtervinning bedöms enligt termen *Temperaturverkningsgrad* och moderna ventilationsaggregat har ofta en värmeåtervinningsgrad på ca 85 %, vilket väsentligt minskar energibehovet.

### 1.4.2 Värme och kyla

I takt med att byggnader har fått en alltmer isolerad klimatskärm har behovet av värmeenergi för rumsuppvärmning kunnat minska. Utöver rumsuppvärmning används värmeenergi i byggnader till värmning av ventilationsluft och till tappvarmvatten.

För att minska behovet av köpt energi för värme och kyla i en byggnad kan möjlighet till värmeåtervinning inom byggnaden ses över. Det kan t.ex. vara överskottsvärme från en process som kan användas för rumsvärme i en annan del av byggnaden, alternativt i en annan byggnad. FTX-aggregaten är även ett tydligt exempel på värmeåtervinning inom byggnaden. Ytterligare minskning av uppvärmning av tilluft kan uppnås genom förvärmning av luft via t.ex. kulvertventilation, där luften leds genom en kulvert och där värms, men även kyls på sommaren.

Ett annat sätt att minska behovet av köpt energi för värme och kyla är att lagra energin från överskott tills när behovet uppstår, så kallade termiska lager. Några exempel på termiska lager är:

- Ackumulatortank där temperaturen i tanken varierar där temperaturvariationen motsvarar "laddningen"
- Värmepump i kombination med borrhål för geotermisk lagring av värme, värmepumpen används för att lagra in värme/ta ut kyla på sommaren och sedan vända processen på vintern.

Byggelement kan även bidra genom sin termiska tröghet och motverka svängningar i inomhustemperaturen. Se vidare under avsnitt om lokala energilager.

### 1.4.3 Tappvarmvatten

Tappvarmvattnets andel av det totala värmebehovet har ökat i takt med att bland annat byggnadernas uppvärmningsbehov minskat. Givet den här utvecklingen är det av intresse att utnyttja alla möjligheter att minska energibehovet för tappvarmvatten.

Möjligheterna att påverka tappvarmvattenanvändningen är begränsade, och detta beror på brukarbeteende. Däremot kan förlusterna i försörjningssystemet påverkas.

Ett välutformat större system har oftast en VVC (varmvattencirkulation)-förlust som normalt uppgår till ca 4-6 kWh/m<sup>2</sup>, år. Vid dålig utformning, kan VVC-förlusterna bli betydligt högre och i extremfall utgöra den enskilt största energiposten för byggnaden.

VVC-förluster bidrar teoretiskt något till byggnadens uppvärmning under uppvärmningssäsong. I praktiken är dock nyttan av detta tveksam och dessutom bidrar förlusterna sommartid till ökat kylbehov. Därför bör VVC-förlusterna betraktas som just förluster och inget annat.

Värt att tänka på är att om varaktigheten över året studeras för värmeförlusterna från en VVC-slinga jämfört med från rör i värmekretsen kommer förlusterna från VVC-slingan finnas året om medan förlusterna från värmerören är begränsade till uppvärmningssäsongen. Vidare är temperaturen i varmvatten- och VVC-systemen konstant över året medan värmesystemen har en temperatur som är beroende av utomhustemperaturen vilket ger mycket låg årsmedeltemperatur. Uppskattningsvis är årsenergiförlusterna per meter rör vid samma rördimension och isoleringstjocklek 4-5 gånger större för varmvatten respektive VVC än för ett normalt radiatorsystem. Av detta följer att isolering av varmvatten- och VVC-ledningar är av yttersta vikt.

För att uppnå en energieffektiv anläggning för tappvarmvatten bör följande beaktas:

- Rätt dimensionerad och tillräckligt effektiv isolering.
- Samisolera VVC och varmvatten där så är lämpligt.
- I projekteringen och designfasen bör möjligheten att gruppera våtutrymmen och tappställen så att rörlängderna blir så korta som möjligt alltid vägas in.
- Varmvattenberedning med el kan i vissa fall vara ett bra alternativ, huvudsakligen i objekt där VVC-förlusterna skulle bli oproportionerligt stora relativt den reella varmvattenförbrukningen och där stora rörlängder skulle kunna elimineras. Används elberedare bör möjligheten att styra den smart vägas in.

#### 1.4.4 Avloppsåtervinning

Tillämpningen av avloppsvärmeväxlare är en sällan använd teknik. Det är främst i bostäder som det finns möjlighet att påvisa lönsamhet. Kontorsbyggnader bedöms inte vara aktuella för den här typen lösning för värmeåtervinning då tappvarmvattenbehovet i kontor är lågt.

Grundprincipen är att via en värmeväxlare förvärma inkommande kallvattnet med värmen från det utgående avloppsvattnet till varmvattenberedning för att på så vis minska behovet av tillförd energi för att uppnå rätt tappvarmvattentemperatur. En ytterligare tillämpning för avloppsvärmeväxlare är att kombinera den med en värmepump för ytterligare produktion av tappvarmvatten.

Det finns ett flertal tekniker för avloppsvärmeväxling tillgängliga på marknaden idag. Några av dessa är:

- Duschvärmeväxlare som placeras under duschkabinen
- Värmeväxlare i golvbrunn
- Stående rörvärmeväxlare
- Liggande rörvärmeväxlare

Det finns även olika principer för avskiljning av gråvatten, en lösning som förutsätter dubbla avloppsstammar och där enbart flödet från tvättställ och dusch/bad leds via värmeväxlaren, det kalla spillvattnet från WC leds i en separat stam. De olika tekniska lösningarna har olika för- respektive nackdelar. Separata stammar för gråvatten innebär en extra investeringskostnad och ett minskat flöde, samtidigt som underhållsproblem med igensättning i värmeväxlare bedöms minska. En viktig aspekt är utrymmesbehovet där stående rörvärmeväxlare kräver utrymme och tillräcklig höjd, något som får ske på bekostnad av annan yta i exempelvis ett källarplan.

Det finns alltid en risk för igensättning av avloppsvärmeväxlarna, sett över dess hela livslängd. Enligt en studie där fem liggande avloppsvärmeväxlare ingick fick tre igensättningsproblem under det år då studien [1] genomfördes[1][1] eftersom användningen av spillvattenåtervinningssystem är begränsat finns också ett begränsat underlag gällande vilken återvinningsgrad som kan anses vara rimlig att räkna med. Studien visar att de 5 liggande värmeväxlarna hade en kapacitet att höja inkommande vattentemperatur med som mest 5°C, men genomsnittlig temperaturhöjning över året var betydligt lägre.

#### 1.4.5 Elsystem

Elanvändningen i en byggnad varierar liksom ventilationsbehovet. När ljusen tänds, kaffekokaren och datorerna startas på kontoret ökar effektuttaget och därmed elanvändningen i byggnaden

Som tidigare nämnts pågår det mycket diskussion kring effekter och att det är mer kritiskt med effektbrister än energibrister i dagsläget. I arbetet för att avvärja effektbrister ser många elnätsägare över möjligheten att kunna implementera ett system baserat på direkt kommunikation mot kunder där aktuell effektstatus kan ges, så kallat demand response. Kunden har då möjligheten att justera upp eller ned sin förbrukning mot en kompensation, beroende på vad elnätsägaren ser för momentana behov.

I fastigheter med batterier och solceller kommer en stor del av energin transporteras i likströmsnät. En allt större andel apparater drivs också av likström, exempelvis fläktar, motorer, i princip all typ av elektronik och all utrustning som har batterier. Det kan således vara attraktivt ur ett energieffektiviseringsperspektiv att bygga likströmsnät i fastigheten då det medför att mängden förluster kan minskas i omvandlingen mellan lik- och växelström. Förlusterna ligger ofta på runt 2-4 % för effektiva omvandlare, vilket förloras i form av värme, värme som ofta också ofta behöver kylas bort eller orsakar ett ökat ventilationsbehov i byggnaden.

## 1.5 Byggnadsautomation

Idag förses de flesta större fastigheter med datoriserade styr- och övervakningssystem med avancerade styrfunktioner för styrning av ventilation, varmvatten, värme, kyla, inneklimat, belysning m.m.

I förekommande fall inkluderas givetvis även olika system för energiåtervinning. Hur styrsystemen fysiskt och logiskt är uppbyggda varierar stort, i en del fall är i stort sett alla funktioner och funktionsblock integrerade i ett system och i andra fall är vissa delsystem separerade. Exempelvis är det inte ovanligt att system för belysningsstyrning utgörs av eget system. Hur systemen byggs upp i olika fastigheter beror av en mängd olika orsaker och faktorer såsom verksamhetens art, beställarens ambitioner och underhållsorganisation, investeringskostnad, driftsäkerhetsfrågor, upphandlingsformer med mera.

Som regel är dock följande funktioner typiska för styrsystem i energieffektiva byggnader:

- Varvtalsreglering av pumpar och fläktar.
- Tidsstyrningar av exempelvis ventilationssystem anpassade efter verksamhetstider.
- Behovsstyrning av flöde och tryck i ventilationsaggregat.
- Säsongsstyrningar baserade på årstid och/eller utomhustemp för drift av t.ex. värme och kylsystem.
- Anpassning av framledningstemperaturer i värme och kylsystem baserat på utomhustemp och ibland även belastning.
- Rumsvis reglering av ventilation, värme och kyla baserat på aktuella behov (temperatur, CO<sub>2</sub>).
- Funktioner för nattkylning via uteluft.
- Belysningsstyrning via närvaro och även dagsljuskompensering eller konstantljusreglering.
- I vissa fall väderprognosstyrning av värme och kyla.
- Optimeringsfunktioner för värme och kyla baserade på den faktiska byggnadens termiska tröghet och sammanlagrade behov.

## 1.6 Lokala energikällor

Ett kraftfullt verktyg för att uppnå en energieffektiv byggnad är att nyttja källor för förnyelsebar energi. Att nyttja Solen för att via paneler producera el är ett flexibelt alternativ som är tillämpligt och lämpligt i många fall.

Solenergi kan tas till vara på två huvudsakliga sätt:

- Solfångare: Fångar in ljus och värmestrålning och levererar värme.
- Solceller: Används för att omvandla ljus till elektricitet.

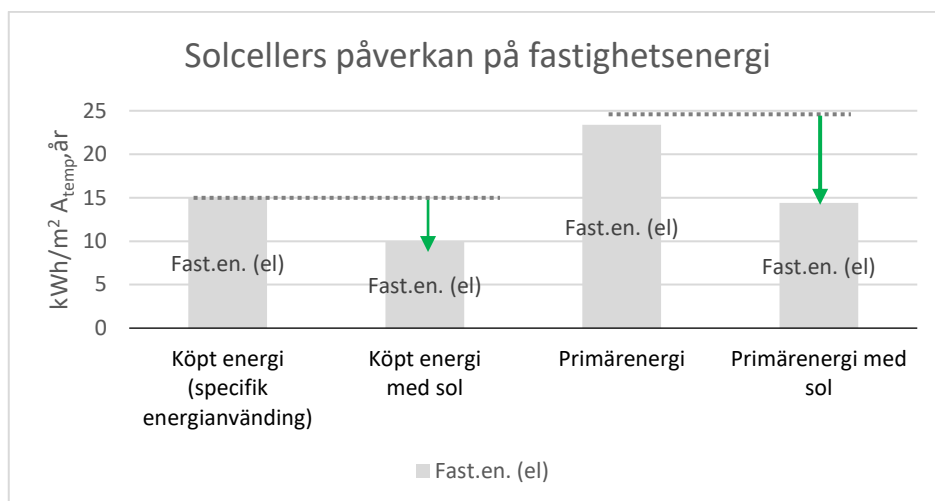
Vilket tekniskt system som är bäst lämpat beror på många faktorer. Generellt är solfångare mer effektiva men med lägre energivärde då värmen inte kan användas lika fritt som elen. Dessutom kräver de olika systemen väldigt olika tekniska installationer, underhåll, och till och med olika taksäkerhetslösningar.

Hybridpaneler som är både solceller och solfångare i en och samma panel finns också. Då elektrisk energiomvandling påverkas av solcellsmodulens temperatur, där en temperaturökning ger upphov till produktionsminskning kan cirkulerande vatten eller annan vätska för kylning nyttjas. Genom att kyla solcellerna kommer ett hybridsystem generera extra elektrisk kraft och samtidigt bidra med värmeenergi för tappvattnet. Så ur ett energieffektivitetsperspektiv är hybridsystem mycket attraktiva. Hybridsystemet består då av både solceller och en värmeslinga med värmeväxlare, pumpar m.m. Nackdelen med dessa typer av system är att inte bara elproduktionen, utan även komplexiteten, kapitalkostnaden och behovet av underhåll också ökar, vilket gör systemen mindre attraktiva ur drift- och underhållsperspektiv. Livslängden på systemet förväntas också sjunka jämfört med rena solcellsanläggningar. Systemen är godkända men vissa är tveksamma till lämpligheten av att blanda vattensystem med 1000-1500 V likspänning samt eventuell frysrisk.

### 1.6.1 Lokala energikällor – påverkan på byggnadens energiprestanda

El som produceras lokalt, till exempel från solceller, kan räknas bort från energianvändningen i den utsträckningen elproduktionen matchar konsumtionen. Däremot får överskottsenergi som skickas ut på elnätet inte tillgodoräknas byggnadens energiprestanda. Med energilagring, exempelvis batterier, får även den el som lagrats räknas av från energianvändningen.

Direkt eller lagrad solexel som ersätter fastighetsenergi har signifikant påverkan på primärenergitalet. Vid ett behov om 15 kWh/m<sup>2</sup>, år köpt el för fastighetsenergi kan primärenergien minskas med 9 kWh/m<sup>2</sup>, år med en solexproduktion som motsvarar 5 kWh/m<sup>2</sup>, år (se Figur 4).

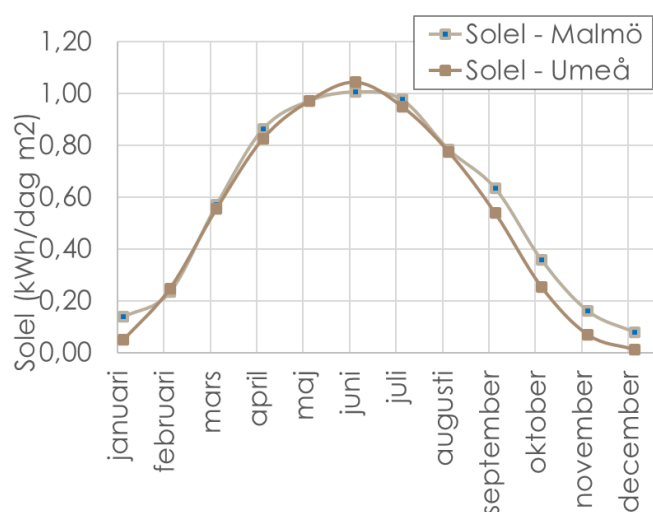


Figur 4 - solcellers påverkan på fastighetsenergi

### 1.6.2 El från solceller

Solceller kan ofta placeras så att de levererar över 1000 kWh per installerad kW märkeffekt ( $kW_p$ ) om de riktas mot söder och 1 kW solceller motsvarar ca 5 m<sup>2</sup> solcellsmoduler. Med ett stort tak mot söder kan levererad solel uppgå till ca 180 kWh/m<sup>2</sup>, år för ett 1-våningshus, 90 kWh/m<sup>2</sup>, år för 2 våningshus, 60 kWh/m<sup>2</sup>, år för 3-våningshus etc. Fasader i lämpliga sollägen kan ofta ge över 100 kWh/m<sup>2</sup>, år vilket för ett högre hus kan kompensera en relativt sett mindre takarea.

Solinstrålningen är som bekant inte jämt utspridd över året och dygnet, ej heller över landet. Figur 5 nedan visar typisk elproduktion för två likvärdiga, oskuggade, solcellsanläggningar i norra respektive södra Sverige. Mängden el mätt i kWh/dag, m<sup>2</sup><sub>solcellsarea</sub> är relativt likt mellan de två, men skillnaden är procentuellt störst på vintern. Variationer mellan månaderna beror också på det lokala klimatet, vilket inte ger en "mjuk" kurva för alla orter.



Figur 5 Solel generering per yta - jämförelse mellan Malmö och Umeå

För energigenererande enheter såsom solceller används ofta termen Energy Return on Energy Invested (ERoEI) eller energiåterbäringsfaktor. ERoEI anger hur mycket användbar energi som genereras under produktens livslängd som faktor av hur mycket energi som går åt i produktion. Ett värde på 1 innebär alltså att solcellerna genererar



lika mycket energi som åtgick för produktionen av dem. Hur mycket energi som genereras under livslängden beror på många faktorer; orientering, skuggning, produktionssätt, livslängd m.m. Detta medför att vem som räknar har stor påverkan på resultatet. I Sverige kan solceller ha EROEI omkring 10-15 [2]. Ska energin som behövs för att producera solcellerna då också räknas med i energibudgeten, dvs energiåtgång för hela livslängden för fastigheten, inkl. byggandet och driften, skulle nettoproduktionen under livslängden sjunka med ca 10 % i detta fall .

## 1.7 Lokala energilager

Överskott av lokalproducerad el som skickas ut på elnätet får ej tillgodoräknas till byggnadens energipresentanda enligt Boverkets definition. Vid användning av energilager får dock även den lagrade elen räknas bort från energianvändningen och bidrar därmed till en förbättring av byggnadens energiprestanda vilket innebär en skillnad från det fall där energilager inte finns. Nedan beskrivs fyra olika typer av energilager.

### 1.7.1 Batterier

För lagring av elektrisk energi är det framför allt batterier som är en mogen teknologi. De vanligaste är litium-jon-batterier (ofta förkortat som LIB). Katoden består av olika metallblandningar eller metalloxyder, exempelvis litium järnfosfat (LFP), litium nickel-mangan-kobolt oxid (NMC), litium mangan oxid (LMO), litium nickel kobolt aluminium oxid (NCA), eller litium kobolt oxid (LCO).

Alla katodmaterial har olika för- och nackdelar, och det som används mest för fastighetsbatterier är i dagsläget LFP. Det är säkert, har lång livslängd och är relativt billigt. Vissa litium-jon batterier innehåller istället en mix av nickel-mangan-kobolt (NMC). De är mer kompakta men utgör en betydligt större oro, både i termer av brandrisk och social hållbarhet; då kobolt till stor del utvinns i Kongo under direkt livsfarliga förhållanden, inte sällan i konfliktregioner, och av barn [3]. Fördelen med NMC jämte LFP är att de är lättare och mer ekonomiskt lönsamma att återvinna.

För brandsäkerheten i relation till batterier är det klokt att tidigt planera för en egen brandcell kring dessa. Riktlinjer och regelverk är inte fullt utvecklade för detta relativt nya användningsområde av tekniken, men räddningstjänsten ser även gärna att rummet har egen rökgasventilering och står avskilt, gärna i markplan. Batterierna innehåller normalt florerade litiumsalter och lösningsmedel som bildar synnerligen giftiga gaser vid brand eller i kontakt med vatten. Det är därför klokt att både skydda omgivande del av fastigheten mot brand i batterilager och batterilagret från brand i den övriga fastigheten. Räddningstjänsten ska alltid informeras om att det finns ett batterilager i byggnaden.

För fastighetsägaren är det bra att tänka på att batterier är modullära, vilket innebär att de kan byggas ut och till på ett relativt enkelt sätt eftersom större batterilager är uppbyggda av många små. Det medför också att de inte drabbas så hårt av hur stort systemet är, effektiviteten är ungefär densamma oavsett storlek.

En teknik för att erhålla ytterligare flexibilitet är så kallad vehicle to grid (V2G-teknik). Tekniken utvecklas i snabb takt och innebär att elbilar nyttjas som energilager genom att ge energi tillbaka till elnätet.

Bilbatterier kommer sannolikt också att spela en viktig roll som fasta installationer då de inte längre anses hålla nog mycket energi för bilens framdrift. Normalt bedöms batteriet "vara slut" ur ett elbilsperspektiv vid 80 % initial kapacitet, men att återvinna

batteriet är en betydligt mer kostsam och resursslösande åtgärd än att återbruka det i form av stationärt energilager. Genom att ges en ny funktion som fastighetsbatteri minskar elbilsbatteriets klimatpåverkan kraftigt. Många aktörer är i dagsläget på gång med att ta sig in på andrahandsmarknaden för större bilbatterier.

### 1.7.2 Termiska lager

Termiska lager kan skapas genom temperaturlagring i byggnadsstommen, som gör att temperatursvängningarna minskar. En annan form av termiskt lager är traditionell ackumulering av tappvarmvatten, som nyttjas för att utjämna effektoppar vid värmning av tappvarmvatten när tappning förekommer.

Att lagra värme i borrhålslager under mark är exempel på en mer avancerad form av termisk lagring. Intresset för tekniken har ökat alltmer under de senaste åren. Borrhålslager utnyttjar berggrundens termiska massa för att lagra värme och/eller kyla. För byggnader som både har ett kyl- och värmebehov kan det vara intressant att utnyttja säsongslagring i borrhål. På sommaren laddas borrhålslagret med värme och kyla hämtas. Vintertid hämtas istället värme från lagret samtidigt som berggrunden kyls. Förutom möjligheten att hämta kyla från borrhålen är en positiv effekt att värmefaktorn ökar i förhållande till rena bergvärmesystem.

Ytterligare tillämpningar där borrhålslager kan vara en bra lösning är exempelvis:

- Lagring av industriell spillvärme
- Förvärmning/-kylning av ventilationsluft
- Frikyla
- Markvärme

Köld/värmebäraren cirkuleras genom borrhålen och hämtar värme eller kyla. Energin kan sedan utnyttjas med eller utan hjälp från en värmepump eller kylmaskin. Borrhålslager betecknas som passiva då ingen spetsenergi tillförs.

### 1.7.3 Vätgas

Andra energilager har börjat göra entré på marknaden, men då i mindre omfattning och till höga priser. Ett exempel är energilager i form av vätgas. Ett vätgassystem kan kort sammanfattas som:

1. Elektrisk energi driver en elektrolysör som omvandlar vatten ( $H_2O$ ) till vätgas ( $H_2$ ) och syrgas ( $O_2$ ). Upp till ca 80% effektivitet, med förluster i form av värmeavgivning.
2. Kompression av vätgas till ett högre tryck, ofta 300-700 bar, för platseffektiv lagring i vätgastuber. Förluster varierar, men kan vara betydande, upp till ca 10% av energiinnehållet i vätgasen.
3. Vätgasen från vätgastuberna stryps ned till ett önskat tryck, där den matas in i en bränslecell som omvandlar vätgasen och syrgas från luften till vatten, el och värme. Hälften av energin kan fås ut som el, och den andra halvan fås ut som kylvatten vid ca 65°C.

### 1.7.4 Fasomvandlingsmaterial

En typ av termiskt långtidslager är inom material som kan fasomvandlas som följd av uppvärmning/nedkylning. De kallas ofta för phase change materials (PCM), och kan vara t.ex. salter, metaller eller organiska material. Att gå mellan två olika faser, t.ex. att smälta is eller förångna vatten, kräver stora mängder energi, mycket mer än att förändra temperaturen. Genom att lagra värme i form av fasomvandlingar (eller fast-

fas-omvandlingar mellan två kristallstrukturer) kan lagring av större mängder energi möjliggöras vid lägre temperaturer och över längre tid, då förlusterna minskar eftersom vid lägre temperaturer kommer temperaturdifferensen mellan energilagret och omgivningen att vara lägre för samma mängd energi

## 1.8 Styrning och prognostisering

I de framtida styrsystemen finns nya möjligheter att styra, reglera och övervaka. Sensortekniken kommer att se annorlunda ut och integrationen med byggnadens system är mer djupgående.

Alla byggnader bör ha styrning för effekttreglering, för att begränsa det totala effektuttaget av värme och el och balansera systemets behov i perioder av avvikande höglast. Att hålla nere effekter kan medföra att dimensionering av installationer kan minskas, exempelvis kablage, huvudsåkringar, värmeväxlare, pumpar m.m.. Utöver att detta medför lägre investerings- och underhållskostnader samt lägre klimatavtryck, så lämnar det också mer utrymme för andra att ansluta sina laster till energinäten. Anledningarna till att ha effekttreglering utgörs därmed av fördelar både internt i den enskilda byggnaden och i det externa elnätet.

### 1.8.1 Styrning i kombination med lokal elproduktion och energilagring

För att lyckas hålla exempelvis effektbudget eller energimål är det viktigt att kunna prognostisera både användning och generering av energi. Denna prognostisering kan sedan integreras i styrsystemet.

Styrsystemet bedömer och justerar då såld el enligt momentana och kommande elpriser. Exempel på justeringar kan vara:

- Reglera laddning av elbilar. T.ex. Ladda när fastigheten förbrukar lite effekt och när elpriset är lågt.
- Prioritera såld el vid högt elpris
- Prioritera laddning av eventuellt batterilagring vid lågt elpris och låga effektuttag

Styrsystemet styr och begränsar/stänger förbrukare dynamiskt, både i grupper och individuellt.

Stationära batterilagring med smart styrning öppnar många möjligheter för fastighetsägare att minska sina utgifter och faktiskt även generera intäkter. Batterier är snabba och flexibla enheter som kan användas på många olika sätt. I kommande avsnitt presenteras ett antal exempel på funktioner och dess påverkan på ekonomin, energianvändningen och effektuttaget i en fastighet.

### 1.8.2 Spotpris- och elnätsarbitrage

Med ett spotpris på el som varierar kraftigt över dygnet kan batteriet laddas under lågpristimmar till ett förmånligt pris för att sedan användas i fastigheten för att undvika att köpa el under högkostnadstimmar. Detsamma gäller för de mindre varierande överföringskostnaderna. Det går förstås också att sälja under högkostnadstimmar för att generera en intäkt. I de fall där också elnätskostnaderna är tidsupplösta, exv. ökade överföringsavgifter under höglasttimmar jämfört med låglasttimmar, kan man också tala om elnätsarbitrage. Utöver den ekonomiska förtjänsten bidrar detta även till att öka andelen förnybar energi i energisystemet.

### 1.8.3 Effekttoppssänkning

I många fall är effekttopparna i elanvändningen både kortvariga och betydligt högre än medellasten. Ett batteri kan programmeras för att "lägga ett lock" på den uttagna effekten från nätet och själv försörja fastigheten med resterande effektbehov. Genom att ta ut en lägre effekt från nätet fås lägre kostnader av effekt-tariffer, och potentiellt också mindre huvudsäkringar. Mindre huvudsäkringar i nybyggen kan dessutom innebära en möjlighet att välja klenare kablage.

### 1.8.4 Batterilager och nytta för elnätet

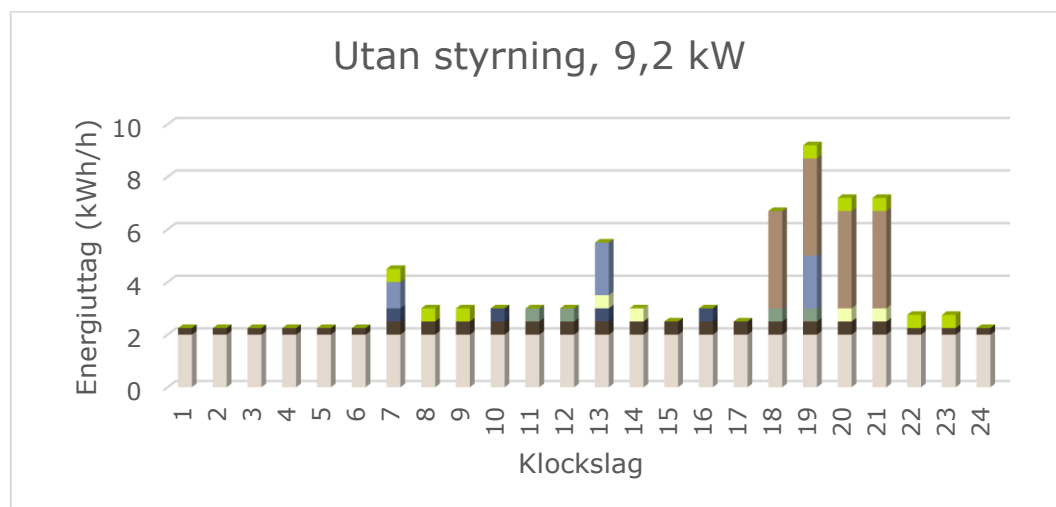
Elnät har svårt att hantera stora mängder väderberoende kraft, såsom sol- och vindkraft. Eftersom den väderberoende kraften inte är planerbar såsom exempelvis vattenkraft kan det uppstå obalans mellan elproduktion och -konsumtion, vilket får frekvensen på elnätet att driva ifrån målvärdet 50,0 Hz.

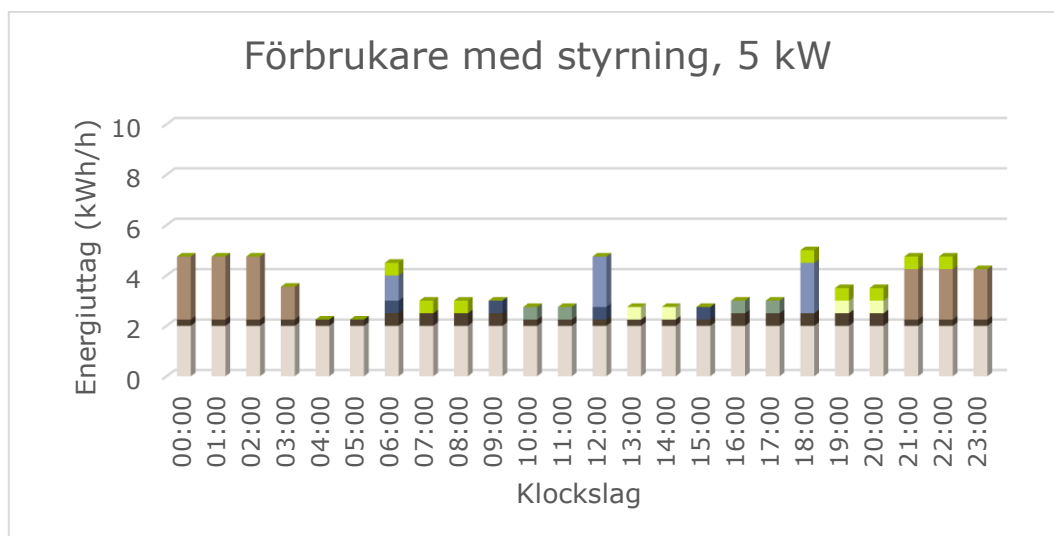
Svenska Kraftnät har ansvar för att nätet fungerar som det ska och köper in reservkraft när obalans råder för att justera effekten på nätet till 50,0 Hz. Med ett batterilager om minst 100 kW kan även fastighetsägare agera frekvensreserv åt Svenska Kraftnät. Flera mindre batterier från skilda fastigheter kan aggregeras för att komma upp i minimieffekten. Den ekonomiska vinningen bestäms av hur snabb responstid energilagret har, och batterier kan vara väldigt snabba. Beroende på den lokala/regionala elnäts-situationen kan frekvensreglering ge betydande inkomster.

### 1.8.5 Att styra, generera eller lagra energi?

Effekttoppar är inte bara ett problem för elsystemet och huvudsäkringar, de kostar pengar också. För att jämna ut effekter under dagen är styrning steg 1 och energilager bör komma i andra hand. Att installera energilager utan att också se över möjligheten för smart styrning är inte ett bra utnyttjande av resurser, varken ekonomiskt eller miljömässigt.

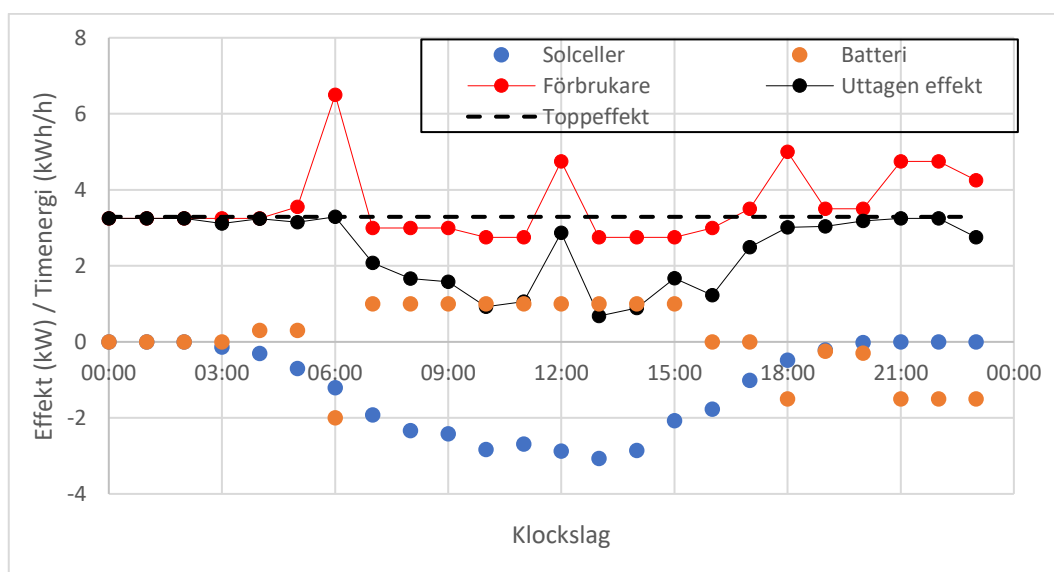
Nedan ges ett exempel på hur effekttoppar och energilagring faller ut i en villa i tre fall: Utan styrning, med styrning i form av lastförskjutning och dimmer av belysning (mindre påverkan), och med solceller och batterier. Principen är densamma för alla typer av verksamheter men vilka laster som kan förskjutas varierar från fall till fall.





Figur 6 - Uttagen effekt för en exempelfastighet utan (övre) och med (undre) laststyrning. Förskjutning av större laster (elbilsladdning, torktumlare och liknande) samt nedjustering av exempelvis belysning (orange) med ljusinsläpp. Toppeffekten sjunker med flyttbara laster från 9,2 till 5 kW (kWh/h).

En normalstor villa med årsförbrukning på ca 26 MWh, 5 kWp solceller och ett fastighetsbatteri med 8 kWh kapacitet och 2 kW effekt. En stor del av förskjutningen av lasten (d.v.s. ren laststyrning) är en elbil vars laddning förskjuts jämte andra laster. Andra förbrukare såsom tvätt- och diskmaskin tillåts också förskjutas. Med bara styrningen kan toppeffekten alltså sänkas från ca 9,2 kW ner till 5 kW. Solceller kan minska effekttoppar som uppstår under tiden solcellsanläggningen genererar el, men kräver generell styrning för att få ett genomslag. Batteriet används både för att öka egenanvändningsgraden av solelen och för att sänka effekttoppar, och kan resultera i en sänkning till 3,3 kW topp-effekt. Batteriet laddas när solen lyser, eller när effektuttaget är lägre än 3,3 kW och batteriet inte är fullt. När förbrukarna överskrider 3,3 kW laddas batteriet ut för att begränsa mängden köpt effekt till 3,3 kW. I Figur 7 ses hur de olika komponenterna av elsystemet körs.



Figur 7 - Driftexempel för fastighet med smart styrning av förbrukare, solceller och batterier.

## 2 Kravställningar

I det här kapitlet redogörs för kravställningar avseende energianvändning både på nationell nivå och kopplat till olika miljöcertifieringssystem.

### 2.1 Nationella krav

Nedan beskrivs nationella krav gällande energianvändning.

#### 2.1.1 Kravställningar Energianvändning

Kravställning enligt Boverkets byggregler har sedan 2015 successivt anpassats för att nybyggnation ska uppfylla nära-nollenergi och därmed harmoniera med EU:s direktiv. I BBR 29 krävs energiprestanda uttryckt som primärenergital ( $EP_{pet}$ ), installerad eleffekt för uppvärmning och genomsnittlig värmegenomgångskoefficient. Krav framgår i BBR avsnitt 9:2 och i figuren nedan.

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

	Energi- prestanda uttryckt som primärenergital ( $EP_{pet}$ ) [kWh/m <sup>2</sup> $A_{temp}$ och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenom- gångskoeffi- cient ( $U_m$ ) [W/m <sup>2</sup> K]	Klimatskärmen s genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad (l/s m <sup>2</sup> )
<b>Bostäder</b>				
Småhus >130 m <sup>2</sup> $A_{temp}$	90	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} - 1$ ) <sup>1)</sup>	0,30	Enligt avsnitt 9:26
Småhus >90–130 m <sup>2</sup> $A_{temp}$	95			
Småhus >50–90 m <sup>2</sup> $A_{temp}$	100			
Småhus ≤50 m <sup>2</sup> $A_{temp}$	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	75 <sup>4)</sup>	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} - 1$ ) <sup>1) 5)</sup>	0,40	Enligt avsnitt 9:26
<b>Lokaler</b>				
Lokaler	70 <sup>2)</sup>	4,5 + 1,7 x ( $F_{geo} - 1$ ) <sup>1), 3)</sup>	0,50	Enligt avsnitt 9:26
Lokal ≤50 m <sup>2</sup> $A_{temp}$	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

<sup>1)</sup> Tillägg får göras med  $(0,025 + 0,02 \times (F_{geo} - 1)) \times (A_{temp} - 130)$  då  $A_{temp}$  är större än 130 m<sup>2</sup>. Om den geografiska justeringsfaktorn  $F_{geo}$  är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

<sup>2)</sup> Tillägg får göras med  $40 \times (q_{medel} - 0,35)$  då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m<sup>2</sup>, där  $q_{medel}$  är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till 1,00 l/s per m<sup>2</sup>.

<sup>3)</sup> Tillägg får göras med  $(0,022 + 0,02 \times (F_{geo} - 1)) \times (q - 0,35) A_{temp}$  då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än 0,35 l/s per m<sup>2</sup> 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.

<sup>4)</sup> Tillägg får göras med  $40 \times (q_{medel} - 0,35)$  i flerbostadshus där  $A_{temp}$  är 50 m<sup>2</sup> eller större och som till övervägande delen (>50 %  $A_{temp}$ ) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m<sup>2</sup> vardera och  $q_{medel}$  är uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen överstiger 0,35 l/s per m<sup>2</sup>. Tillägget kan enbart användas på grund av krav på ventilation i särskilda utrymmen som badrum, toalett och kök och får högst tillgodoräknas upp till 0,6 l/s per m<sup>2</sup>.

<sup>5)</sup> Tillägg får göras med  $(0,022 + 0,02 \times (F_{geo} - 1)) \times (q - 0,35) A_{temp}$  i flerbostadshus där  $A_{temp}$  är 50 m<sup>2</sup> eller större och som till övervägande delen (>50 %  $A_{temp}$ ) innehåller lägenheter med en boarea om högst 35 m<sup>2</sup> vardera. Tillägget kan enbart användas då det maximala uteluftsflödet vid DVUT i temperaturreglerade utrymmen  $q$  överstiger 0,35 l/s per m<sup>2</sup> 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.

Figur 8 Energikrav enligt BBR 29, Avsnitt 9:2

### 2.1.2 Mätning och uppföljning

Vidare krävställer BBR att byggnadens energianvändning ska kunna följas upp kontinuerligt genom ett mätsystem. Mätsystemet ska kunna avläsas så att byggnadens energianvändning för önskad tidsperiod kan fastställas. Enligt det allmänna rådet bör energianvändningen för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi kunna mätas separat.

### 2.1.3 Termiskt klimat

Kravställningen i BBR lyder "Byggnader ska utformas så att tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas". Under allmänt råd förtydligas att kravställningen innefattar både termisk komfort i vistelsezonen och klimat i övriga utrymmen. Termisk komfort avser hur rummet upplevs och beror av operativ temperatur, golvtemperatur, lufthastighet (t.ex. till följd av drag) och luftfuktighet. Temperaturens jämnhet påverkar också den termiska komforten, dvs hur mycket temperaturen skiljer sig i olika delar/höjder av rummet. PPD (Predicted percentage dissatisfied) är ett mått som används för bedömning av termisk komfort. Den operativa temperaturen påverkas även av strålningsutbyte med omgivande ytor. Om temperaturdifferensen är för stor mellan exempelvis en väggys temperatur och en person placerad nära väggen kommer det att påverka den upplevda komforten negativt.

Arbetsmiljöverket ställer krav på "lämpligt termiskt klimat":

*"Vintertid bör lufttemperaturen, vid lätt och stillasittande arbete, normalt ligga inom området 20-24 °C. Sommartid bör den ligga inom 20-26 °C. Om lufttemperaturen under längre tid ligger utanför dessa områden bör det termiska klimatet undersökas närmare.<sup>1</sup>"*

I Miljöbalken framgår följande krav:

*"Verksamhetsutövaren ska enligt 26 kap. 19 § miljöbalken fortlöpande planera och kontrollera verksamheten för att motverka eller förebygga att olägenhet för människors hälsa uppstår. Egenkontrollen bör bland annat inkludera*

- funktionskontroll av värmesystemet,*
- kontrollmätning av inomhustemperaturen,*
- nyttjanderättshavarens upplevelse av inomhusklimatet, och*
- rutiner för hantering av klagomål.<sup>11</sup>"*

Tabell 2 visar värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus, FoHMFS 2014:17.

<sup>1</sup> <https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/fordjupning-om-temperatur-och-klimat/>

<sup>11</sup> <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/da13aa23b84446d3913c4ec32a6a276d/fohmfs-2014-17.pdf>

Tabell 2. Värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa FoHMFS 2014:17.

	Riktvärden	Riktvärden
1. Operativ temperatur	Under 18 °C <sup>III</sup>	20-23 °C <sup>IV</sup>
2. Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C <sup>V</sup>	
3. Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C <sup>VI</sup>	
4. Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3 °C
5. Strålningstemperaturskillnad Fönster – motsatt vägg Tak – golv		Ej över 10 °C Ej över 5 °C
6. Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s <sup>VII</sup>
7. Yttemperatur, golv	Under 16 °C <sup>VIII</sup>	20-26 °C

#### 2.1.4 Kommande ändringar i BBR

Förväntade förändringar av BBR-kraven innefattar kompletterande krav avseende inneklimat och tillgång till dagsljus i byggnader. Boverket driver utvecklingen av kravställningarna inom ramen för det de kallar "Framtidens byggregler".

Vid årsskiftet 2021/2022 införs krav på klimatdeklarationer vid nybyggnation. Inledningsvis kommer det inte finnas någon kravnivå, utan endast krav på att en klimatdeklaration ska utföras. Efter hand kommer kravnivå infasas och sänkas.

<sup>III</sup> För känsliga grupper, 20 °C.

<sup>IV</sup> För känsliga grupper, 22-24 °C.

<sup>V</sup> Under sommaren, högst 26 °C.

<sup>VI</sup> Under sommaren, högst 28 °C.

<sup>VII</sup> Vid inomhustemperatur över 24 °C kan högre lufthastigheter accepteras.

<sup>VIII</sup> För känsliga grupper, 18 °C.



## 2.2 Krav kopplade till Miljöcertifieringssystem

I avsnitten nedan beskrivs krav avseende energianvändning kopplat till miljöcertifieringssystemen FEBY18, Miljöbyggnad, Svanen, BREEAM och LEED. Vidare summeras kortfattat skillnaden mellan de olika certifieringssystemen.

### 2.2.1 FEBY18

Forum för Energieffektivt Byggnad (FEBY) äger det nationella klassningssystemet FEBY18, som medger möjlighet att certifiera enligt 3 nivåer. Fokus är minimerad värmeförlust från byggnaden uttryckt som  $W/m^2, A_{temp}$ . Systemet ställer inga krav på byggnadens primärenergital utöver BBR, däremot finns det kravställning kopplad till elvärmda byggnader.

För elvärmad byggnad ska levererad el till byggnaden för uppvärmning, varmvatten och fastighetsenergi uppfylla nedanstående krav för FEBY 18:

Brons	Silver	Guld
• < 38 kWh/m <sup>2</sup>	• < 32 kWh/m <sup>2</sup>	• < 26 kWh/m <sup>2</sup>

Om värmeförsörjning sker med värmepump och elenergi för värme överstiger 3 kWh/m<sup>2</sup> ska årsvärmefaktor (SCOP) överstiga 2,5.

Vidare kravställer FEBY18 byggnadens värmeförlusttal, vilket motsvarar byggnadens värmeeffektbehov.

För byggnader med  $A_{temp} > 600 \text{ m}^2$  ska värmeförlusttal vid DVUT uppfylla:

Brons	Silver	Guld
• < 22 W/m <sup>2</sup> , $A_{temp}$	• < 19 W/m <sup>2</sup> , $A_{temp}$	• < 14 W/m <sup>2</sup> , $A_{temp}$

### 2.2.2 Miljöbyggnad

Sweden Green Building Council (SGBC) administrerar bland annat miljöcertifieringssystemet Miljöbyggnad. Miljöbyggnad har kravställningar som berör både energi, inneklimat och materialval. De som är mest relevanta i sammanhanget är markerade i figuren till höger. Kravställning för respektive indikator redovisas i Figur 9.

Miljöbyggnad 3.1 kravställer att energianvändningen ska kunna verifieras med uppmätta värden fördelat på rumsuppvärmning, värmning av ventilationsluft, komfortkyla, tappvarmvatten, fastighetsel och verksamhetsel.

Miljöbyggnads indikatorer och områden

Energi	Inomhusmiljö	Material
1		
2		
3		
4		
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	

	<b>BRONS</b>	<b>SILVER</b>	<b>GULD</b>
<b>1. Värmeeffektbehov</b> ( $W/m^2, A_{om}$ vid DVUT)	$\leq 30 * F_{geo}$	$\leq 24 * F_{geo}$	$\leq 18 * F_{geo}$
<b>2. Solvärmelast</b> ( $W/m^2$ golvarea under sommarhalvåret)	$\leq 40$	$\leq 32$	$\leq 22$
<b>3. Energianvändning</b> ( $kWh/m^2 A_{temp}$ , år)	$\leq$ BBR:s energikrav verifierad med uppmätt energi-användning.  Mätplan Förvaltningsrutin	Brons + $\leq 70$ % BBR:s energikrav verifierad med uppmätt energi-användning.	Brons + $\leq 60$ % BBR:s energikrav verifierad med uppmätt energi-användning.
<b>4. Andel förnybar energi</b>	$> 50$ % av använd energi är förnybar. Ursprungsgaranterad el och allokerad fjärrvärme accepteras.	Alternativ 1: $>75$ % av använd energi är förnybar varav $>10$ % är förnybar flödande.  Alternativ 2: $>80$ % av använd energi är förnybar.  Oavsett alternativ: Ursprungsgaranterad el och tredjepartsgranskad allokerad fjärrvärme accepteras.	$> 80$ % av använd energi är förnybar, varav $>5$ % är ny förnybar flödande lokalt genererad och används i byggnad.  Ursprungsgaranterad el och tredjepartsgranskad allokerad fjärrvärme accepteras.
<b>9 Termiskt klimat vinter</b>	PPD $\leq 15$ % vid DVUT  Förvaltningsrutin för kontroll av termiskt klimat vinter.	Brons +  PPD $\leq 10$ % vid DVUT.	Silver +  Godkänd enkät eller mätning.
<b>10 Termiskt klimat sommar (utan komfortkyla)</b>	Alternativ 1: Brons på indikator 2, och vädrings-möjlighet.  Alternativ 2: PPD $\leq 20$ % vid mest kritiska förutsättningar.  Förvaltningsrutin för kontroll av termiskt klimat sommar.	Brons +  Alternativ 1: Silver på indikator 2 och öppningsbara fönster eller fönsterdörrar.  Alternativ 2: PPD $\leq 15$ % vid mest kritiska förutsättningar.	Brons +  Alternativ 1: Guld på indikator 2 och öppningsbara fönster eller fönsterdörrar.  Alternativ 2: PPD $\leq 10$ % vid mest kritiska förutsättningar.  Enkät eller mätning.
<b>10 Termiskt klimat sommar (med komfortkyla)</b>	PPD $\leq 15$ % vid mest kritiska förutsättningar.  Förvaltningsrutiner för kontroll av termiskt klimat sommar.	Brons +  PPD $\leq 10$ % vid mest kritiska förutsättningar.	Silver +  Enkät eller mätning.

Figur 9 - kravställning för relevanta indikatorer i Miljöbyggnad 3.1

### 2.2.3 Svanen



Svanen är Nordens officiella miljömärke som är utvecklat och verkar på uppdrag av regeringen, utan bransch- och vinstintresse. Svanenmärkningen och dess logotype är ett väl etablerat varumärke på den svenska marknaden även för gemene man utanför bygg- och fastighetssektorn. För att uppnå en Svan behöver obligatoriska och valbara poäng uppnås, däribland kravställning på energi (För flerbostadshus och byggnader för förskola och skola gäller 85 % av BBR 24 eller 90 % av BBR 25/BBR 26/BBR 29. För småhus gäller 80 % av BBR 24 eller 85 % BBR 25/BBR26/BBR 29 [4]).

### 2.2.4 BREEAM och LEED

BREEAM och LEED är internationella certifieringssystem. BREEAM är utvecklat av BRE i Storbritannien och LEED är utvecklat av USGBC i USA. Båda är omfattande miljöcertifieringssystem och har stort fokus på låg energianvändning. I LEED utgörs 33 av de totalt 110 poäng som systemet av poäng relaterade till energi.

### 2.2.5 Jämförelse mellan systemen

Figuren nedan visar en översiktlig jämförelse mellan vanligt förekommande miljöcertifieringssystem i Sverige idag.

	 Green-Building	 FEBY18	 Svanen	 Miljöbyggnad	 BREEAM	 LEED	 WELL	 NoI CO <sub>2</sub>
Energi	X	X	X	X	X	X		X
Inomhusmiljö (hälsa och välmående)		X	X	X	X	X	X	
Material		X	X	X	X	X		X
Vatten					X	X	X	X
Ekologi					X	X		
Transporter					X	X		X
Föroreningar					X	X		X
Avfall			X		X	X		X
Miljöledning och styrning i projekt			X		X	X		
Innovation			X		X	X	X	

Figur 10 - Översiktlig jämförelse mellan olika byggnadscertifieringssystem och vad de innefattar.

# Att uppföra energieffektiva byggnader

## 3 Vad utmärker en energieffektiv byggnad?

Det första steget för att skapa en energieffektiv och robust byggnad är att erhålla en god byggnadseffektivitet, det vill säga ett gynnsamt förhållande mellan fasadarea och nyttig bruksarea. Nästa steg är en god klimatskalseffektivitet, som uppnås genom att välja en konstruktion med lågt  $U_{medel}$ , se vidare under 3.1. Det innebär ett klimatskal med mycket hög prestanda avseende isolering, köldbryggor och täthet. Byggnaden behöver även ha en förhållandevis låg fönsterandel, där fönsterplacering är optimerad ur dagsljusperspektiv och där fönstren har goda egenskaper avseende isolering och genomsläpplighet av solvärme.

De tekniska försörjningssystemen i denna typ av byggnad ska vara mycket energieffektiva och kännetecknas av en hög grad av värmeåtervinning. Styrningen av de tekniska försörjningssystemen måste vara välanpassad till byggnadens behov och verksamhetens kravställningar. Energiförsörjningen till byggnaden väljs med hänsyn till byggnadens förutsättningar, vilka behov som ska tillgodoses samt de rådande förutsättningarna avseende omgivning.

En energieffektiv byggnad bör till viss del vara självförsörjande. Typ av lokalt genererad energi bör väljas baserat på vilket energibehov som föreligger i byggnaden.

En hög kravställning innebär inte per automatik att byggnaden blir energieffektiv, om förståelsen för kravställningarna inte finns bland intressenterna. En god förutsättning för att nå en energieffektiv byggnad är därför att den är projekterad i samverkan mellan alla intressenter; beställare, projektör, entreprenör och brukare.

Vidare utmärks en energieffektiv byggnad av att installationssystemen är intrimmade och driftoptimerade baserat på den faktiska verksamheten (efter ibruktagande).

För att byggnaden ska vara energieffektiv under hela sin livslängd krävs ett uppföljningssystem som möjliggör att energianvändningen går att mäta och följa upp. Försämringar i energiprestanda kan på så vis upptäckas och åtgärdas i tid. Ett kontinuerligt energioptimeringsarbete under hela förvaltningsskedet är en förutsättning för en energieffektiv byggnad över tid. En energieffektiv byggnad är även beroende av att brukarna agerar medvetet i byggnaden och att verksamhetens utrustning är energieffektiv.

En energieffektiv byggnad kännetecknas av:



### 3.1 Byggnadsutformning

En energieffektiv byggnads utformning och layout är optimal ur ett energiperspektiv. Två begrepp som är centrala vid denna optimering är *Byggnadseffektivitet* och *Klimatskalseffektivitet*. Dessa begrepp härrör från Västra Götalandsregionens energistrategiarbete och är idag etablerade begrepp vid nybyggnation i regionens regi.

I samband med att Västfastigheter startade upp strategiarbetet för att uppfylla Västra Götalandsregionens halveringsmål avseende energianvändning [5] insågs att en av de viktigaste framgångsfaktorerna var att säkerställa att all nybyggnation resulterade i så energieffektiva byggnader som var praktiskt möjligt.

En av utmaningarna var då att styra upp det tidigaste skiss- och layoutarbetet för att få så optimal byggnadsutformning och -geometri som möjligt och som en lösning på detta infördes begreppen *Byggnadseffektivitet* och *Klimatskalseffektivitet*.

Dessa begrepp har då använts som:

- Mål och styrmedel i det tidigaste programskedet
- Styrmedel och utvärderingsparameter vid arkitektävlingar och parallella uppdrag
- Jämförelsetal för att kunna "benchmarka" olika pågående nybyggnadsprojekt

Efter att ha implementerat dessa begrepp i drygt 10 år syns en tydlig positiv påverkanseffekt och en tydlig korrelation mellan bra värden på dessa parametrar och låg värmeenergianvändning kan konstateras.

#### 3.1.1 Byggnadseffektivitet

Byggnadseffektivitet kan också benämnas formfaktor och är ett mått på hur stor bruksarea byggnaden har i förhållande till klimatskalets area ovan mark, kort sagt hur mycket klimatskal som behövs för att täcka in den nyttiga verksamhetsytan.

Klimatskal ovan mark innefattar fasad ovan mark (inklusive fönster) och tak. Målet är att det ska vara så lite klimatskal i förhållande till invändig yta som möjligt, byggnadseffektiviteten ska alltså vara så hög som möjligt.

$$\text{Byggnadseffektivitet} = \frac{\text{Total bruksarea (BRA)}}{\text{Total omslutningsarea ovan mark}}$$

Det går inte att sätta ett generellt krav på byggnadseffektivitet då en byggnadsutformning beror av en mängd faktorer såsom typ av verksamhet, tillåten byggnadshöjd etc. Däremot kan byggnadseffektiviteten användas för att värdera skissförslag och alternativa utföranden. Västra Götalandsregionens riktlinjer avseende nyproduktion har ett riktvärde (ej krav) på 120 %.

### 3.1.2 Klimatskalseffektivitet

Genom att sätta byggnadseffektiviteten i relation till klimatskalets medel u-värde erhålles klimatskalseffektiviteten vilket i princip blir ett mått på den tänkta byggnadens termiska energipotential.

I praktiken blir klimatskalseffektiviteten ett mått på hur många kvadratmeter bruksarea som kan värmas en grad per tillförd watt. Värmeeffektbehovet ska vara så lågt som möjligt, alltså ska så många kvadratmeter som möjligt kunna värmas per tillförd watt. Därmed eftersträvas en hög klimatskalseffektivitet.

$$\text{Klimatskalseffektivitet} = \frac{\text{Byggnadseffektivitet}}{U_m\text{-värde ovan mark}} \quad (m^2, K / W)$$

Vid beräkning av klimatskalseffektivitet används U-medelvärde ( $U_m$ ) ovan mark inklusive fönster och köldbryggor.

Exempelvis kommer en byggnadseffektivitet på 120 % kräva ett  $U_m$ -värde inklusive köldbryggor och fönster på högst 0,3 W/m<sup>2</sup>,K för att uppfylla en klimatskalseffektivitet på 4,0.

Är byggnadseffektiviteten låg krävs bättre prestanda avseende U-värde och köldbryggor på klimatskalet för att uppnå en given klimatskalseffektivitet och därmed hålla värmeeffekt- och energibehovet lågt i byggnaden.

Klimatskalseffektivitet lämpar sig väl att kravställa då den blir ett direkt mått på byggnadens termiska prestanda. Västra Götalandsregionens riktlinjer avseende nyproduktion har ett krav på  $\geq 4,0 (m^2, K / W)$ . Initialt sattes kravet till 3,0 men med ett par års erfarenhet konstaterades att kravet borde skärpas.

### 3.1.3 Övriga samband och konsekvenser

Värt att nämna är att det finns en tydlig korrelation mellan byggnadseffektivitet, klimatskalseffektivitet och investeringskostnad respektive miljöpåverkan. Ju lägre byggnadseffektivitet en byggnad har desto större blir klimatskalet (större yta) för en given bruksarea. Då klimatskal är relativt investeringstungt tenderar en låg byggnadseffektivitet att öka investeringskostnaden. Då ett större klimatskal innebär mer materielförbrukning innebär det också en större miljöpåverkan [6].

Vidare innebär en lägre byggnadseffektivitet att klimatskalet måste ha bättre prestanda (U-värde) för att uppnå ett givet energi- eller effektmål, jämfört med en byggnad med högre byggnadseffektivitet. Detta innebär i första hand mer isolering vilket i sin tur ökar investeringskostnad och miljöpåverkan ytterligare. Alternativt kan detta innebära begränsningar i fönsterandel.

### 3.1.4 Placering och orientering

För att ge en byggnad så goda förutsättningar som möjligt måste hänsyn tas till tomtens geografiska förutsättningar och förhållanden vid anläggandet. Placering på tomten görs bland annat med hänsyn till närliggande, skuggande objekt och för att ge goda förutsättningar för att kunna nyttja lokalt genererad energi. Orienteringen av byggnaden bör anpassas med avseende på väderstreck utifrån solbelastning. En byggnad med låg energianvändning är placerad och orienterad så att möjlighet till solesproduktion maximeras och solvärmeinstrålning i rum optimeras.

Även byggnadens omgivning påverkar energieffektiviteten hos byggnaden och bör beaktas. Det gäller till exempel hur ljus faller, vindlast och fukt. Dock begränsas möjligheterna att nyttja tomten fritt i många fall av t.ex. tomtens storlek och detaljplaner.

### 3.1.5 Glas i byggnaden

Fönster- och glasytor skall i första hand tillgodose en god inomhusmiljö genom utblick och dagsljusinsläpp i utrymmen där människor regelmässigt vistas och även i vissa fall befrämja orienterbarhet. Kort sagt skall fönster och glasytor i första hand vara ett medel att skapa en god inomhusmiljö, inte för att skapa exteriör gestaltning.

Glas har generellt ett högt U-värde i förhållande till övriga byggnadsdelar och är därmed en byggnadsdel som har stor inverkan på klimatskalsprestandan. Både under den kalla och den varma delen av året medför fönster en utmaning i klimatskalet. Vid höga utomhustemperaturer släpper glas in värme i vistelsezonen, både genom transmission och genom solinstrålning. Detta medför ett ökat kylbehov och ett försämrat termiskt klimat. Vid låga utomhustemperaturer släpper glaset istället ut värme genom transmission, vilket leder till ett ökat värmebehov. Därför bör en energieffektiv byggnad ha den fönsteryta (och placering) som krävs för att skapa en god inomhusmiljö men inte mer.

Som exempel kan nämnas att det i Västra Götalandsregionens riktlinjer för nybyggnation anges en max fönsterandel på 30%. (fönsterandel anger här andel glasyta i förhållande till totala fasadytan)

Utöver en optimal fönsterandel och -placering är givetvis fönstrens egenskaper vad avser isolerförmåga, dagsljustransmittans och solvärme av yttersta vikt. Fönster i en energieffektiv byggnad har låga U-värden och g-värden, samt solskydd anpassat efter solinstrålningen. Dynamiska solskydd möjliggör tillvaratagande av solvärme då ett värmeeffektbehov föreligger.

I det fall att en byggnad skall följa Miljöbyggnad bör planering och optimering av fönsterytor göras redan i ett mycket tidigt skede för att säkerställa uppfyllnad av kriterier i framförallt indikatorerna *Värmeeffektbehov*, *Solvärmelast* och *Dagsljus*. Dessa kan till stor del motverka varandra och åtgärder i senare skede kan bli mycket kostnadsdrivande.

För stora variationer i glasandel med stora lokala fönsterkoncentrationer bör i största mån undvikas, då fönsterkoncentrationer har en tendens att medföra stor påverkan på det termiska klimatet och byggnadens energibehov. Stora lokala fönsterkoncentrationer kan även medföra att både värmesäsongen och kylsäsongen förlängs.

### 3.1.6 Täthet och infiltration

Byggnadens täthet har naturligtvis stor påverkan på energibehovet då läckor direkt släpper in ouppvärmad luft alternativt släpper ut uppvärmd luft. En energieffektiv byggnad har ett lågt läckflöde. En god lufttäthet är dessutom en direkt kvalitetsstämpel på utförandet av täthetsarbetet under produktion.

Ett riktvärde för läckflöde vid ett differenstryck på 50 Pa är  $<0,3 \text{ l}/(\text{s}, \text{m}^2)$ . De energieffektiva byggnader som uppförs idag har ofta en lufttäthet mellan 0,1 och 0,2  $\text{l}/\text{s}, \text{m}^2$ .

## 3.2 Val av energieffektiva tekniska försörjningssystem

För att erhålla en energieffektiv byggnad är det också viktigt att välja effektiva tekniska försörjningssystem. Målet är att erhålla önskvärd funktion (exempelvis en given ljusstyrka, en viss temperatur i en tank, ett visst luftflöde i en kanal etc.) till lägsta möjliga energibehov. Som alltid kommer även andra parametrar att påverka val av tekniska försörjningssystem, såsom kostnad, livslängd, miljö-/klimatpåverkan för produktionen och serviceintervall.

Energieffektiva tekniska försörjningssystem kännetecknas av mycket energieffektiva installationssystem, ett intelligent styrsystem, reglering av värme och kyla, samt belysningsstyrning.

Mycket energieffektiva installationssystem

- Låga tryckfall
- Låga SFP-tal
- Höga verkningsgrader på t.ex. motorer, pumpar, växlare m.m.
- Låga förlusttal
- Mycket hög grad av värme- och kylåtervinning i klimatsystem.
- Låga förluster från tappvarmvatten- och VVC-system.

Ett intelligent styrsystem

- Optimal utformning och styrning av ventilation med behovsstyrda luftflöden.
- Optimal utformning och styrning av belysningsinstallation.
- Optimering av verksamhetsenergi genom olika former av styrning (efter behov, tid etc.)
- Ett mätsystem som stödjer god uppföljning och ger möjlighet till optimering
- Varvtalsreglering
- Tidsstyrningar

Reglering ventilation, värme och kyla

- Rumsvis reglering av ventilation, värme och kyla
- Behovsstyrning
- Säsongsstyrningar
- I vissa fall väderprognosstyrning av värme och kyla
- Anpassning av framledningstemperaturer
- Funktioner för nattkylning via uteluft
- Optimeringsfunktioner för värme och kyla baserade på den faktiska byggnadens termiska tröghet och sammanlagrade behov

Belysning

- Konstantljusreglering
- Dagsljusstyrning



### 3.3 Lokala energikällor

Egen produktion av elenergi kan kraftigt påverka energibalansen för en byggnad. På årsbasis kan byggnader göras självförsörjande på el genom solceller, särskilt om byggnaden har låg byggnadshöjd och stora takytor per bruttoarea. Att täcka behovet av fastighetsel i en energieffektiv byggnad är ofta enkelt. Det är till och med ofta möjligt för en välplanerad byggnad att till stor del även täcka verksamhetselen med egengenererad solenergi.

Enligt BBR får el genererad från solceller bara räknas bort för den delen som används direkt för fastighetselen, d.v.s. i den utsträckningen som produktionen matchar konsumtionen. Överskjutande el som används av verksamheten eller säljs får inte tillgodoräknas.

Solcellsanläggningens storlek har historiskt ofta anpassats för att ge hög ekonomisk avkastning, vilken beror på balansen mellan investeringskostnad, mängd egenanvänd el och priset för inköpt el, samt mängden såld el och ersättning för denna. Med sjunkande investeringskostnader och ökande elpriser går fler åt att bygga större solcellsanläggningar, då lönsamheten för solcellsinvesteringar stadigt ökat med tiden.

Uppenbara begränsningar för solcellsanläggningens storlek kan vara till exempel tillgängliga lämpliga ytor; säkringsstorleken på abonnemanget; årsförbrukning av elenergi (för att undvika att bli elproducent); 500 kW-regeln (större anläggningar får betala full energiskatt på egenproducerad el).

För att erhålla goda förutsättningar avseende lokal solelsproduktion behöver utformning av ytor och skuggande objekt beaktas i tidigt skede. Hur tak och hus orienteras i förhållande till väderstrecken påverkar möjlig solelsproduktion, och bestämmer vilken års- och dygnsprofil på solel-genereringen som erhålls. Montage mot öst ger mer produktion på förmiddag, söder mitt på dagen och väst mer på kvällen, medan fasader/kraftigt lutande tak ger mer när solen står lågt, som på vintern. Val av väderstreck kan med fördel tas i beaktande i samband med analys av verksamhetens förväntade energibehov.

Vilken typ av elförbrukning som förväntas över dagen med den planlagda verksamheten kan på så vis påverka vilken orientering huskroppar får (i den mån det är praktiskt möjligt), i samverkan med andra discipliner. Några exempel på montagesätt och dess produktion:

- Syd: Mest energi (~1000 kWh/kW<sub>p</sub>, år). Högst topp mitt på dagen
- Öst: Mindre energi (~800 kWh/kW<sub>p</sub>, år). Produktionen förskjuten mot förmiddagen
- Väst: Mindre energi (~850 kWh/kW<sub>p</sub>, år). Produktion förskjuten mot eftermiddagen
- Norr: Minst energi (~650 kWh/kW<sub>p</sub>, år). Förhöjd produktion när solen står som lägst

För ett mindre hushåll med låg närvarograd under dagtid kan med fördel ett sadeltak med riktning mot öst och väst väljas för att maximera användbar energi per takyta. För en förskoleverksamhet med uteslutande verksamhet dagtid kan ett obrutet tak, eller asymmetriskt sadeltak, med större delen av taket mot söder ge bättre förutsättningar. För låglutande tak (<8°) rekommenderas montagesystemet att luta upp solcellsmodulerna för att minimera nedsmutsning/öka självrengöringen.

Hur exempelvis hissar, teknikrum, ventilationshuvar, avluftningsrör, takfönster, med mera placeras påverkar också storleken på solcellsanläggningen. Den generella rekommendationen är därför att förlägga uppstickande takobjekt så långt norrut som det går, vilket medför minsta skuggning. Hur huset planläggs på tomten kan också påverka vilken skuggning som kommer från omgivande träd, höjder och andra byggnader. Samordning med landskapsarkitekt är också av vikt så att grönytor och framförallt trädplantering kan planeras för att undvika onödig skuggning av anläggningen om 5-15 år.

### 3.4 Styrning

Ur ett historiskt perspektiv är en byggnad uppdelad per disciplin och "styrning" som begrepp är generellt riktad till VVS-tekniska system som kopplas mot ett överordnat styrsystem. Därtill kan det finnas flera fristående system för exempelvis el, elkraft (ex. solceller), belysning, solavskärmning och elbilsaddning.

Värme, kyla, ventilation och el ska så långt som möjligt behövsstyras, detta innebär att dessa system optimeras utifrån rådande belastning. Verksamhetslokaler ska normalt ej ventileras utanför verksamhetstid så länge något behov inte föreligger.

Ur ett modernare synsätt behöver styrning av byggnader och anläggningar vara mer integrerade. IT, mjukvara och styrsystem vävs ihop till system som implementeras i verksamhetssystemen, underhållssystemen och kopplas mot AI-lösningar. Tekniska system ska kunna styras efter prognos och empiriskt genom inlärning inom hela fastighetsbeståndet.

### 3.5 Driftoptimering och inneklimatuppföljning

Nyuppförda energieffektiva byggnader med välisolerade och täta klimatskal kännetecknas av en komplex, dynamisk inbördes påverkan mellan byggnaden, dess installationssystem och den aktuella verksamheten med människor och utrustning, samt årstidsväxlingar. Detta gör att byggnaderna blir känsliga även för små variationer i belastning. Detta gäller i synnerhet byggnader med intensiv och dynamisk verksamhet, t.ex. byggnader för vård och konor med hög och varierande persontäthet.

Antagna förutsättningar i tidiga skeden avseende verksamheten med dess personbelastningar och utnyttjandetider för utrustning ligger till grund för dimensionering, simulering och bestämning av tekniska prestanda och driftstrategier mm för de tekniska systemen. Dessa antagna förutsättningar stämmer sällan helt med den verklighet som råder när byggnaden sedan tas i bruk.

Konsekvensen är att byggnaden efter inflyttning och ibruktagande måste justeras och anpassas till den faktiskt rådande verksamheten, i synnerhet vad avser inneklimat. I praktiken innebär detta att för att fullt ut tillvarata en energieffektiv byggnads verkliga potential måste den färdiga byggnaden med dess tekniska system justeras och optimeras med verksamheten på plats. Detta bör också göras under varierande årstidsförhållanden.

Sammanfattningsvis bör drift- och energioptimeringsarbete efter ibruktagande planeras in redan initialt vid uppförande av en energieffektiv byggnad.

### 3.6 Drift och förvaltning

En energieffektiv byggnad kräver ett kontinuerligt arbete under drift och förvaltning för att hålla en hög energiprestanda. Klimat och komfort i byggnad behöver kontinuerligt

följas upp och utvärderas. Drift- och styrparametrar behöver anpassas efter säsong, verksamhetsförändringar och eventuella förändrade förutsättningar gällande inneklimat. De tekniska systemen ska naturligtvis servas, underhållas och justeras erforderligt.

### 3.6.1 Mätning och uppföljning

I drifttagen byggnad ska det vara möjligt att följa upp energianvändningen. Enligt allmänt råd i BBR 29 är energianvändningen för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi kunna mätas separat. Beroende på byggnadens komplexitet kan det dock finnas behov av ytterligare energimätning för att följa upp användningen. *Sveby mätanvisningar* kan ge vägledning gällande omfattning och utförande av mätsystem.

Att tänka på vid energimätning:

- Gör en mätplan i tidigt skede och se till att mätvärden representerar den avsedda byggnadens energiprestanda så att t.ex. angränsande byggnader inte ingår.
- Tillse att byggnadens fastighetsenergi är skild från verksamhets- och hushållsenergi, dvs planera mätningen så att tillåtna avdrag till energiprestandan (t.ex. motorvärmare, gemensamhetstvättstuga) och nödvändiga tillägg (t.ex. elgolvvärme i badrum) kan bestämmas.
- Mätningar som underlättar normalisering av energiprestanda kan vara lönsamt, t.ex. innetemperatur och hushållsel/verksamhetsel inom byggnaden.
- Dokumentera i mätplan vilka mätare som ingår, deras egenskaper, beteckningar, placering och betjäningsområden.
- Var noga med att kontrollera mätarens funktion vid idrifttagningen.
- Utför prestandatest på utrustning så tidigt som möjligt.

Med ett aktivt kontinuerligt arbete med uppföljning och analys av mätdata kan brister identifieras och åtgärdas tidigt. Data kan även användas för att identifiera vilka energieffektiviseringsåtgärder som gör störst nytta.

### 3.6.2 Brukarnas energianvändning

Verksamheten i en byggnad förbrukar en avsevärd del av den totala energin. För att nå en energieffektiv byggnad krävs därför även att verksamhetsenergin optimeras.

En optimering av verksamhetsenergi ska inte äventyra verksamheten. Det handlar om att optimera drifttider efter verksamheten, reducera standby-effekter och att använda energieffektiv utrustning. Det sistnämnda kan exempelvis kravställas i samband med upphandling.

Mycket energi kan också sparas genom att öka brukarnas medvetenhet. Exempelvis kan energianvändningen i förhållande till referens (exempelvis samma månad under föregående år) visualiseras vid entrén. Arbetsflöde vid uppförande av en energieffektiv byggnad

Detta kapitel behandlar energiarbetet vid uppförandet av en ny byggnad, vilka faktorer som är viktiga i olika projektskeden från planeringsskede tills byggnaden tagits i bruk, vilka organisatoriska faktorer som är viktiga med mera.

### 3.7 Grundläggande principer och synsätt

En av de viktigaste faktorerna för att skapa en maximalt energieffektiv byggnad med rimlig investeringskostnad och begränsad miljöpåverkan är att fokusera på rätt sak i rätt tid och i rätt ordning, exempelvis genom att tillämpa "Kyoto-pyramiden" och den Top-downmodell som tidigare beskrivits i avsnitt 1.2.

Denna modell baseras i sin tur på nedanstående grundläggande synsätt och logiska struktur, och är basen för allt energiarbete vid nyproduktion. En byggnad skapas för att inrymma en viss process.

Denna process (verksamhet) kan vara boende, kontor, vård etc.

1. Energi tillförs till den process (verksamhet) som skall inrymmas i den tänkta byggnaden. För exempelvis kontor är det i huvudsak elenergi till belysning, datorer, skrivare etc.
2. Processen har ett energiutbyte med inomhusmiljön. För exemplet kontor är det huvudsakligen fråga om värme från datorer, människor etc.
3. Runt processen skapas ett klimatskal som i sin tur har ett energiutbyte med utomhusmiljön.
4. Olika inomhusmiljökrav för temperatur, belysning, luftväxling etc. för verksamhetsytan definieras.

*När processen är definierad, inomhusmiljökraven fastställda och klimatskalets utformning och prestanda är bestämda är också i stort sett byggnadens kommande energibehov redan avgjort.*

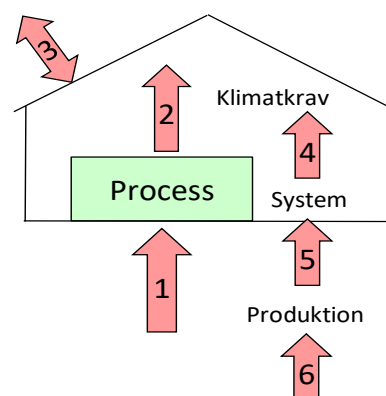
*Pkt 5 och 6 nedan blir mer en fråga om verkningsgrader, förluster och miljöpåverkan - att tillföra byggnaden den energi som erfordras enligt punkt 1-4 på bästa sätt.*

5. För att upprätthålla inneklimate och inomhusmiljö utformas ett antal tekniska system. Oavsett hur energieffektiva dessa är kan de inte kompensera brister i steg 1-4.
6. Till installationssystemen tillförs köpt eller lokalt genererad energi. Egengenererad energi t.ex. solenergi får aldrig nyttjas som argument för att kompensera brister i ovanstående steg.

Av ovanstående synsätt följer att det tidiga projektskedet är det allra viktigaste. När verksamheten definieras, behov och krav formuleras och byggnadens grundläggande utformning och geometri bestäms, avgörs också förutsättningarna för byggnadens framtida energianvändning.

Om väl avvägda inomhusmiljökrav lyckas fastställas och en optimal byggnadsutformning med god byggnadseffektivitet (formfaktor) skapas är förutsättningarna för en bra energiprestanda goda. Omvänt gäller att ett sämre resultat i den tidiga fasen ofrånkomligen leder till högre kostnader och miljöpåverkan i ett senare skede för att "rädda" byggnadens energiprestanda.

Då olika verksamheter och därav följande inneklimatekrav är väsensskilda och det dessutom ofta finns en begränsad möjlighet att påverka dessa fokuserar denna rapport på de delar som enkelt kan rådas över; klimatskal, tekniska system och tillförd energi.



### 3.7.1 Mål och kontinuitet

En mycket viktig och grundläggande del i energiarbetet är givetvis att formulera projektmål, i det här fallet energimål. Viktigt att klara ut är exempelvis:

- Skall explicita energimål fastställas utöver vad som följer av eventuell miljöcertifiering?
- Skall energimål omfatta total energi eller enbart fastighetsenergi?
- Hur skall målet kommuniceras och implementeras i projektorganisationen?
- Hur skall målet följas upp under projekttiden (prognoser)?
- Hur skall målet följas upp och verifieras efter ibruktagande (mätning)?
- Vem leder arbetet för att uppnå målet?

Eventuella målkonflikter bör tidigt identifieras, exempelvis nyttig area i förhållande till teknikutrymmen, fönsterutformning med hänsyn till dagsljus kontra energi etc. I tidiga skeden kan sådana målkonflikter enklare lösas för att båda målen ska nås, medan det i sena skeden ofta blir en kompromiss där det ena området blir onödigt lidande p.g.a. brist på ett tidigt helhetsgrepp.

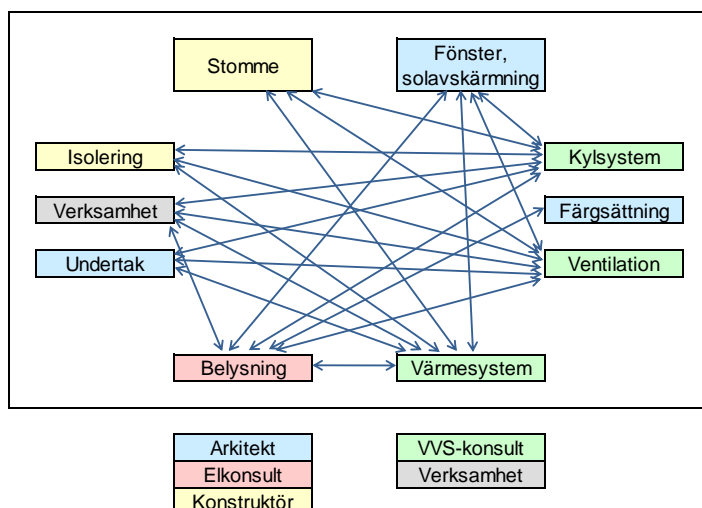
Under hela projektet måste också avstämningar ske mot energimålet, lämpligtvis genom löpande analyser och redovisning av prognoser över hur den beräknade framtida energianvändningen ser ut baserat på de beslut och lösningar som successivt fastställs under projekttiden.

För att ett projekt skall lyckas uppfylla målen krävs också att såväl drivkraft och engagemang som faktiska krav bibehålls och säkerställs genom projektets alla skeden. Tyvärr är det inte helt ovanligt att engagemanget svalnar ju längre tid som löper i ett projekt eller att vissa tidigt fastställda prestandatal missas i samband med skedesväxlingar, t.ex. när entreprenörer skall köpa in materiel och produkter.

Beroende på i vilken entreprenadform projektet upphandlas finns olika risker och förutsättningar att kravställningar från den tidiga projekteringen får genomslag eller inte genom hela byggprocessen, eller tappas bort på vägen.

### 3.7.2 Samverkan

En byggnad präglas av en komplex och dynamisk samverkan mellan olika energipåverkande faktorer. I illustrationen nedan visas förenklat några av faktorerna



Figur 11 - Samverkan mellan olika faktorer vid upprättande av ny byggnad

och den mest uppenbara samverkan mellan dessa. Exempelvis påverkar färgsättning (reflektionstal) både behovet av belysning och av fönsteryta för att uppnå ett visst mått av dagsljus, vilket i sin tur påverkar behovet av värme och kyla.

Då alla dessa faktorer hanteras av olika yrkeskategorier (kompetenser) är behovet av samverkan mellan dessa uppenbart.

För att uppnå ett lyckat projektresultat och optimala helhetslösningar är ett kreativt, positivt och aktivt samspel inom hela projektorganisationen av yttersta vikt. Även samspelet med aktörer utanför den egentliga projektorganisationen, såsom verksamhet och beställarens driftorganisation, är betydelsefullt. En förutsättning för detta är att det finns en gemensam samverkansstyrd beslutsprocess.

För att belysa vikten av samverkan presenteras ett exempel från verkligheten. I ett nybyggnadsprojekt (vårdbyggnad) med tydligt formulerade energimål och en väl fungerande samverkan valdes i ett mycket sent projektskede att byta den tänkta golvmattan i patientrum. Detta beslut fattades av inredningsarkitekt och beställare utan att involvera övriga. Det som missades var att mattan var mörkare än den ursprungligen planerade och hade sämre reflektionstal. Detta medförde sämre dagsljusutbyte och sämre belysningsstyrka. I sin tur ledde detta till att extra belysningsarmatur i efterhand behövde installeras i varje vådrum och energianvändningen ökade som konsekvens.

### 3.7.3 Medvetna val

Att göra medvetna val handlar om att studera för- och nackdelar med olika lösningar och att analysera konsekvenser och följd effekter för övriga fackområden och kompetensområden vid ändringar, som i diskussionen ovan. Det är oftast här som problem och oförutsedda avvikelser uppstår.

Medvetna val handlar om att väga in samtliga parametrar och kriterier som kan påverka ett val av olika lösningar, system eller produkter t.ex. isolering, pumpar, material m.m. och utifrån inhämtad information ta aktiva beslut.

Vid denna typ av medvetna val värderas bl.a. följande:

- Kostnad för inköp och underhåll
- Funktion
- Prestanda
- Drift och underhåll
- Livslängd
- Produktion
- Miljö, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

### 3.7.4 Simuleringsmodeller och LCC-analyser

Genom alla skeden ingår som en naturlig del att utvärdera alternativa lösningar och tekniska system samt att löpande redovisa energiprognoser. Det bästa sättet att utföra detta är i en dynamisk simuleringsmodell, t.ex. IDA ICE.

Om kompletta simuleringsmodeller för byggnad och installationssystem upprättas redan i tidigt skede kan en bild av hur byggnadens stomme och klimatskärm samverkar med både internlast och tänkta tekniska system erhållas. Simuleringsmodellen kan då nyttjas för att utvärdera byggnadsutformning och klimatskal.

Modellen kan vidare användas för att utföra alternativstudier där effekter av olika tekniska lösningar och produkter värderas med avseende på byggnadens energianvändning.

Ett annat, eller kompletterande, sätt att utvärdera olika alternativ är att göra en livscykelkostnadsanalys (life-cycle cost, LCC). LCC är en ekonomisk analysmodell där totala kostnader och intäkter för ett system eller en produkt sammanställs över hela dess livslängd. Framtida underhållskostnader, energikostnad och övriga driftkostnader vägs alltså in i kalkylen.

Eftersom LCC är just en ekonomisk analysmodell är det inte i första hand ett medel för att uppnå energieffektivitet. Det kan dock vara ett bra verktyg för att värdera alternativa lösningar och produkter som uppfyller mål och ställda prestandakrav.

Inledningsvis utförs analyser för att i grova drag ringa in övergripande tekniska data, lösningar och system. Därefter kan system- och produktutformning successivt utvärderas fram till inköp och montage. De kan även användas för att värdera kravnivåer t.ex. vad blir den ekonomiska konsekvensen av att förbättra/försämra ett U-värde.

Omfattningen av LCC-analyser kan anpassas, beroende på dess syfte och projektets förutsättningar. I många fall kan tidigare utredningar, analyser och erfarenheter från andra projekt utgöra en tillräcklig vägledning för beslut.

Ska LCC-analyser användas som en drivkraft mot energieffektiva byggnader bör energipriser, framtida prisökningar och övriga kalkylförutsättningar värderas noga. I en del fall kan LCC-analyser rent av motverka strävan mot energieffektiva byggnader på grund av för låga energipriser. För att undvika detta kan en känslighetsanalys utföras med olika priser, prisutveckling och kalkylränta.

### 3.8 Beställarens roll och organisation

Hur beställarens projektorganisation bör se ut beror givetvis på både projektets storlek och komplexitet och på upphandlings- och entreprenadform. Dessutom beror den av hur beställarens egen grundorganisation ser ut och vilka kompetenser som finns tillgängliga.

Det är beställarens projektorganisation som kan fastställa mål, löpande ta beslut och inte minst viktigt: skapa ett kontinuerligt engagemang och drivkraft för måluppfyllnad, i det här fallet energimålet. Beställarens organisation bör därför ha egen eller inhyrd kompetens att oavsett entreprenadform kunna ta väl grundade beslut, förstå konsekvenser av olika mål och krav, samt kunna utvärdera följderna av olika lösningar.

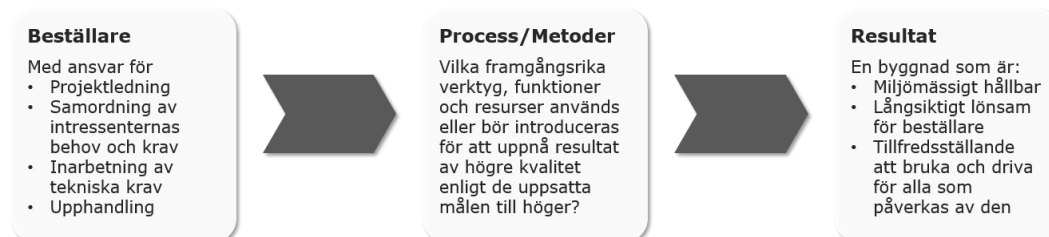
Vidare är det viktigt att beställarorganisationen aktivt medverkar och är delaktig under hela projektets löptid. Till viss del kan denna medverkan hanteras av inhyrd personal med en aktiv medverkan.

Engagemang och drivkraft kan skapas på olika sätt, med bonus eller med vite men ofta räcker ett personligt och tydligt engagemang och en kontinuerlig uppmuntran från beställare mycket långt.

För en effektiv projekteringsfas behöver också beställarens målsättning och prioriteringar konkretiseras. Detta görs genom att övergripande mål bryts ner i

specifika projekt mål avseende till exempel energi- eller systemprestanda. Detta underlättar för projektörer att ta initiativ och agera proaktivt genom att föreslå mer kreativa lösningar som ligger i linje med avvägningen mellan exempelvis lönsamhet, energieffektivitet, långsiktighet, hållbarhet, miljö- och klimatpåverkan.

Utöver engagemang behöver beställaren ha ett implementerat arbetssätt och tillgång till verktyg för att underlätta integrering av tekniska och miljömässiga krav med verksamhetens behov. Till exempel rutin för uppföljning av mål, tekniska riktlinjer för projektörer etc.



Figur 12 – Översikt beställarperspektivets viktiga frågor för att uppnå en hållbar och energieffektiv byggnad

### 3.8.1 Energisamordnarens roll

För att lyckas med att projektera och bygga en energieffektiv byggnad krävs att det finns en person som har ett övergripande ansvar för energifrågan, en Energisamordnare. Energisamordnaren leder samordning med projektaktörer i samråd med beställaren för att säkerställa att beställarens energikrav uppfylls och god innemiljö erhålls. Energisamordnaren ska säkerställa att alla energirelaterade frågor lyfts, erforderliga beräkningar genomförs samt att ansvara för kvalitetssäkring av byggnadens energiprestanda.

Denna roll bör utses mycket tidigt i projektet, redan innan en byggnads layout och utformning är fastställd och bör bemannas av en person med både tillräcklig kompetens och egen drivkraft.

I vissa beställarorganisationer har energisamordnaren en mer reaktiv, bevakande roll som beräknar och granskar medan i andra organisationer är mer aktiv och fungerar mer som en biträdande projektledare som proaktivt driver energirelaterade frågor, initierar erforderliga möten och efter eget "huvud" engagerar sig i olika beslutsprocesser. För att fullt ut uppnå optimala resultat är en roll av det senare slaget ett bättre val.

Exempel på arbetsuppgifter:

- I samråd med projektledare fastställa projektspecifika mål i samband med projektuppgiftstart.
- Koordinera, leda och samordna energiarbetet i projektgruppen från programskede till förvaltningsskede samt utarbeta och skapa de rutiner, strategier och strukturer inom projektet som erfordras för ett fullgott resultat.
- Tillse att arbete inom projektet bedrivs i enlighet med beställarens energistrategi.
- Tillse att energiprognoser upprättas med så god noggrannhet och trovärdighet som möjligt och att de löpande uppdateras genom alla projektets faser samt löpande avrapporteras.
- Tillse att erforderliga energi-, effekt- och inomhusklimatberäkningar och analyser utförs och att dessa utförs i en dynamisk simuleringsmodell.
- Tillse att en mätstrategi utarbetas i tillräckligt tidigt skede.



- Aktivt engagera sig i de enskilda projektörernas lösningar och frågeställningar och bistå med konstruktiva idéer och förslag.
- Arbeta aktivt med projektgruppen för att skapa förståelse för hur fack- och teknikområden påverkar varandra och hur de kan bidra till måluppfyllnaden.
- Initiera de särskilda utredningar, konsekvensanalyser och alternativstudier som kan erfordras för beslut i projektgruppen.
- Initiera erforderliga kontakter och stimulera samverkan med verksamhetens olika funktioner såsom verksamhetschefer, projektledare, medicinsk teknik, upphandlande enheter etc. för att säkerställa att energiarbetet i projektet i så hög grad som möjligt även omfattar verksamhetens energianvändning.
- Säkerställa att erforderliga LCC-kalkyler genomförs i projektet.
- Upprätta erforderliga planer för verifiering av energimål efter ibrukttagande.
- Medverka i arbetet med driftoptimering efter ibrukttagande.
- Upprätta erforderliga slutrapporter efter driftoptimering och verifiering.

### 3.8.2 Projekteringsunderlag

För byggherrar med större fastighetsbestånd är det en bra grund att ha genomarbetade och kontinuerligt reviderade byggherrekrav. Detta möjliggör god projektering och underlättar för att säkerställa kvalitet och önskvärd leverans. En bra modell är att skapa tekniska riktlinjer som ingår i alla projekt och tar upp de grundkrav som finns. Detta ska dock inte vara begränsande för ett objektsspecifikt förhållningssätt, där bättre lösningar kan åstadkommas.

För att underlätta uppföljning är det även bra att ha ett standardiserat sätt att redovisa kravuppfyllnad och eventuella avsteg från dessa.

## 3.9 Projektets skeden - Projektering

### 3.9.1 Tidiga skeden – Planerings- och idéstadiet

Det är oftast i det här skedet som en byggnads grundläggande utformning fastställs och i inledningen till detta kapitel betonas hur stor vikt detta har för den framtida energianvändningen. I detta skede bör faktorer som *Byggnadseffektivitet* och fönsterandel analyseras noggrant. Dessutom bör vilka  $U_m$ -värden som krävs för att uppnå en viss klimatskalseffektivitet studeras, alternativt vilken klimatskalseffektivitet som erhålls med förutsatta  $U$ -värden och fönsterandelar. Även faktorer som solvärmelast och dagsljus bör studeras i detta skede för att undvika onödiga större "omtag" i senare skede.

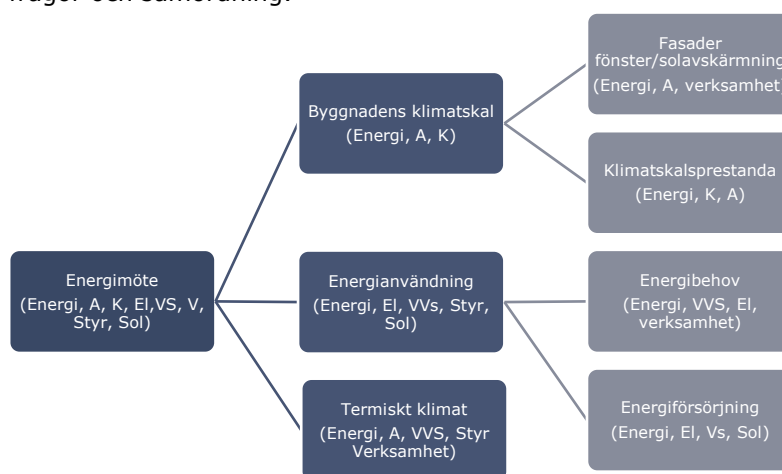
En ogenomtänkt utformning kommer att innebära extraordinära åtgärder i senare skede för att uppfylla kravställningar avseende energi och inneklimat. Därför är viktigt att tydliga ramar för byggnadsutformningen finns så att valt arkitektförslag medger goda förutsättningar för en energieffektiv byggnad med gott inneklimat. Redan här kan en enklare dynamisk simuleringsmodell upprättas som hjälpmedel för att kontrollera förutsättningarna för mål- och kravuppfyllnad.

Vidare är det i det här skedet som grundläggande och projektspecifika mål bör fastslås avseende t.ex. energi och inneklimat. Dessa mål ska vara tydligt definierade och möjliga att följa upp och verifiera.

### 3.9.2 Projektering

Varje nytt skede av projekteringen bör inledas med en energigenomgång för projekteringsgruppen där energisamordnaren presenterar mål och kravställningar, samt informerar om hur respektive projektör berörs av dessa och hur uppföljning ska ske. Vikten av ett kreativt, positivt och öppet samspel mellan projektörer kan knappast överdrivas. Det är genom ett sådant samspel som väl fungerande, resurseffektiva och energioptimala helhetslösningar kan skapas som ger väl fungerande lokaler och verksamhetsstödande miljöer.

Vid sidan av ordinarie projekteringsmöten bör projektörsgruppen ha särmöten, där beställaren kan medverka men där projektörer får möjlighet att svara för styrning och dagordning. Dessa möten ger möjlighet att "ta ut svängarna" lite mer när det gäller tekniska frågor och samordning.



Figur 13 - Exempel på särmöten som ökar samspelet mellan discipliner

I projekteringen sätts även förutsättningarna för uppföljning av byggnadens energimål och -krav. Det är viktigt att ha en tydlig mätstrategi. Frågor att beakta vid framtagande av mätstrategi är:

-vilka energimängder ska mätas och i vilka system, exempelvis om det krävs individuell mätning av tappvarmvatten (IMD), eller om det finns krav på mätning av en värmepumps COP, i det senare fallet kan krävas både mätning av el för kraftmatning samt värmemängdsmätare för producerad värme, antalet mätare beror av i vilken utsträckning värmepumpens interna styr har mätare som går att läsa signal från.

-var behöver mätare placeras för att ge erforderliga data. Detta ska sedan inarbetas i respektive projektörs handling.

### 3.9.3 Programhandlingsskede

Under programhandlingsskedet är det viktigt att huvuddisciplinerna (A, K, VVS och El), samt Energi och Miljö är involverade. Medvetenhet i projekteringsgruppen kring hur kravställningarna avseende energi påverkar den egna disciplinens bidrag är väsentligt för att uppnå målen.

Nu bör ramarna för tekniska system sättas upp med LCC-orienterad arbetsmetodik ur ett tvärfackligt perspektiv. Detta görs med fördel i samråd med teknisk förvaltning, då det är de som ska drifva och underhålla systemen. I detta skede tillkommer

kravställningar på ventilationssystem, värmeförsörjning, lokala energikällor och -lagring.

I detta skede ska en dynamisk simuleringsmodell och en första energiprognos upprättas. Dessa ska sedan uppdateras i varje nytt skede allteftersom projekteringsgraden ökar.

Genom att i tidiga skeden arbeta med kompletta simuleringsmodeller för byggnad och installationssystem erhålls en ganska tydlig bild av hur system och produkter bör vara uppbyggda och fungera för att få ett teoretiskt optimalt resultat. Denna bild används sedan för att se hur nära den teoretiskt optimala lösningen byggnaden kan komma.

### 3.9.4 Systemhandlingsskede

I detta skede ingår som en naturlig del att väga alternativa lösningar och tekniska system mot varandra. Bästa sättet att studera effekter av olika lösningar är att utföra alternativstudier i energimodellen i kombination med kostnadsanalyser (LCC).

VVS-systemens egenskaper, prestanda och funktion är kritiska faktorer för att uppnå låg energianvändning och uppfylla mål och krav. Särskilt viktigt att beakta för dessa system är bland annat:

- Betjäningsområden och drifttider
- Luftflöden och tilluftstemperaturer
- SFP-värden och temperaturverkningsgrader i luftbehandlingssystem
- Behovsanalys och -anpassning
- Behovsanpassad styrning av luftflöden, och värme- respektive kyltillskott
- Låga distributionsförluster
- Höga motorverkningsgrader

Dessutom är det viktigt att energisamordnaren så långt som möjligt engagerar sig i och påverkar inom andra fackområden t.ex.:

- Fasad- och takutformning, inklusive eventuella solceller eller solfångare
- U-värden och täthet
- Fönsterytor och dess prestanda
- Verksamhetens utrustning

Den upprättade energimodellen används med fördel för att dimensionera radiatoreffekter och luftflöden, kontrollera solvärmelast och dagsljus, samt för att utföra konsekvensanalyser av systemval, klimatskalsprestanda och fasadutformning. I modellen kan även effektbehov i byggnaden simuleras i kombination med eventuell lokal värme- eller kylproduktion.

En hög involveringsgrad från energisamordnaren kan med andra ord underlätta arbetet för andra discipliner. I övrigt arbetar energisamordnaren under detta skede med att bevaka att uppsatta mål och krav efterlevs.

För att arbeta på ett strukturerat sätt med de uppställda kraven bör ett verifieringsprogram tas fram som under projektets samtliga skeden ska följas upp och signeras av respektive projektör/entreprenör. Verifieringsprogrammet innehåller de uppställda kraven och målen, samt aktiviteter som berör dessa, t.ex. kontroll av fönsterprestanda, beräkning av klimatskalsprestanda, avstämning av produkt- och materialinköp, termografering etc. Det är viktigt att vara öppen för att ambitioner kan tillkomma eller förändras senare i processen.

### 3.9.5 Bygghandlingsskede

Likt tidigare skeden ska projekteringsgruppen informeras om energimål och kravställningar. Under detta skede handlar energisamordnarens arbete om att fånga upp ändringar sedan Systemhandlingsskedet med utgång från verifieringsprogram.

Energi- och inneklimatberäkningar uppdateras i takt med projektets ökade detaljeringsgrad och en ny energiprognos tas fram. Förfinade beräkningar av t.ex. köldbryggor och termiskt klimat kan utföras då klimatskalsprestanda, radiator effekter och ventilationsflöden fastställts.

Kravställningarna ska inarbetas i respektive handling, exempelvis:

Arkitekt:	Fönsterprestanda, kulörbeskrivning
Konstruktör:	U-värden och köldbryggor redovisade i <i>klimatskals sammanställning</i>
VVS:	Termisk isolering, SPF, värmeåtervinning, medelluftflöden och mätarplacering
El:	Pumpeffekter, belysningseffekter, elmätare och dess försörjningsområde

Ett sätt att kravställa låg energianvändning mot entreprenör kan vara att teckna ett så kallat energiavtal. *Energiavtal 21* är ett juridiskt bindande dokument som har tagits fram av Byggandets Kontraktskommitté (BKK) i samarbete med Sveby [7]. Energiavtal 21 är avsett att användas i totalentreprenader där parterna avtalat om att tillämpa ABT 06 samt Svebys standard för överenskommelse om energianvändning. Alla former av vite kan dock ha en negativ inverkan på projektkulturen. I många fall kan en bonus eller annat positivt incitament vara att föredra.

I detta skede ska även förvaltningsrutiner och en utbildningsplan för driftpersonal upprättas. Förvaltningsrutinerna kan exempelvis inkludera rutiner gällande tätning kring nya håltagningar i väggar, byte av klimatskalsdelar, ventilationssystem, uppvärmningssystem och fortlöpande främjande av energieffektiv belysning. En mätaruppställning ska redovisas för VS och El där fastighetsenergi kan delas upp för separat mätning. Namngivning av mätare och uppkoppling av dessa för uppföljning definieras.

## 3.10 Projektets skeden - Produktion

Som i tidigare skeden är det viktigt att Energisamordningen börjar om på nytt i varje skede och informerar gruppen om energimål- och krav. Under detta skede är det viktigt att bevaka inköpsprocessen och Energisamordnaren stöttar projektledningen genom analys av hur avvikande produkter påverkar energikrav/mål.

Energisamordnaren ska också bevaka utförandet genom platsbesök och energironder, där kritiska punkter som fönsterdrevning och täthetsprovning kontrolleras. Ändringar mot bygghandling ska utvärderas genom konsekvensanalys i dynamisk beräkningsmodell. Alla ändringar ska godkännas av energisamordnare och beställare.

Oförutsedda åtgärder/lösningar som påverkar energi/inneklimat (detaljer eller frågeställningar som inte kommit upp tidigare) ska hanteras på samma sätt som ändringar (se ovan). Entreprenören ska lyfta lösningar med energisamordnaren innan de tillämpas.

Vid överlämning ska entreprenörer signera det framtagna verifieringsprogrammet och redovisa uppfyllnad, t.ex. genom att uppvisa protokoll från täthetsprovning. En

genomgång ska göras av besiktningsprotokoll för att verifiera att byggnaden är helt färdig, dvs samordnad funktionskontroll klar, egenkontroller klara, anmärkningar klara/fel avhjälpna, mätare är rätt placerade och uppkopplade. Om ej klart, backa i processen och utvärdera enligt ovan.

Eventuella ändringar ska arbetas in i de förvaltningsrutiner och DU-instruktioner (Drift och Underhållsinstruktioner) som levereras.

### 3.10.1 Upphandling, utvärdering och inköp

Ett viktigt verktyg för att hålla visionen för projektet vid liv är hur utvärderingskriterier vid upphandling av system, material och produkter utformas. Särskilt viktigt blir detta i offentlig upphandling, där flexibiliteten i utvärderingen inte är densamma som för en privat aktör. Viktiga frågor att ställa sig kring hur kraven hanteras i förfrågan kan vara:

- Finns tydligt samspel mellan utvärderingskriterier och beställarens syfte/vision
- Hur ser kravställningen ut vid inköp?
- Hur mycket av kravmassan ska inarbetas in i AF-del (Administrativa Föreskrifter)?
- Speglar kraven dagens tekniska utveckling, exempelvis leverantörens garantiåtagande?

Det är även viktigt att ha en tydlig rutin för hur eventuella avvikelser från kravställning hanteras vid upphandling. Upphandlas en produkt med andra egenskaper än vad som föreskrivits ska en tvärfacklig konsekvensanalys göras och energimodellen ska uppdateras för att analysera effekter av ändringen och säkerställa att energiprestanda bibehålls.

Om olika produkter i samma kategori uppfyller kravställningen bör en jämförande LCC-analys utföras för att hitta det bästa alternativet.

### 3.10.2 Förutse och underlätta för underhåll redan i projekteringen

Att byggnader och tekniska installationer behöver underhåll är naturligt. Det är därför också viktigt att tillse att underhåll av utrustning underlättas. Men att kunna komma åt exempelvis tekniska installationer är bara steg ett. Nästa steg är att aktivt välja material och utrustning som går att reparera istället för att bytas ut. Ur miljö- och klimatperspektiv utgör nyinstallation och transporter av teknisk utrustning över stora avstånd en stor del av miljöpåverkan.

Därför kan det vara aktuellt att styra inköpen mot leverantörer med gediget reservdelssortiment eller standardiserade delar. Här kommer också garantier och producentföretags livslängd in i ekvationen. Det är inte lätt att sja om ifall dagens företag kommer att finnas kvar på marknaden om 10, 20 eller 30 år. Kommer det finnas reservdelar då? Och om solcellsmodulerna, som har just 25-30 års effektgaranti, börjar tappa prestanda efter 20 år, finns det då något företag kvar att rikta krav emot? Syftet med att ställa krav på långa garantitider i t.ex. en upphandling är därför inte alltid självklart.

För att underlätta ändring vid senare tillfälle kan det ofta vara en god idé att beakta framtida förändringar redan vid projekteringen. På så vis kan kostnaderna vid framtida ändring begränsas. Det är idag exempelvis vanligt att förbereda för framtida elbilsaddning och/eller solceller. För större lokaler kan det också vara viktigt att beakta framtida förändringar av planlösningen, vilket ofta påverkar flera discipliner.

### 3.11 Projektets skeden – driftsättning och ibruktagande

Energisamordnaren bör inledningsvis ha ett möte med entreprenören för att gå igenom och säkerställa att alla mätare finns och är rätt placerade, givare fungerar osv. Redan vid driftsättning ska en kontroll göras av om det finns loggningar och analysera trendkurvor. Stora avvikelser från förväntade värden kan då ofta snabbt åtgärdas.

Vid driftsättning är energisamordnarens kontakt med driftpersonal väsentlig. Driftpersonalen ska få en genomgång av förvaltningsrutiner, mätstruktur och DU-instruktioner, samt en utbildning i hur byggnaden driftas för att optimera energianvändningen och hur uppföljning sker.

Efter att byggnaden har driftsatts kommer ett nytt moment som innebär att byggnaden skall driftoptimeras. Syftet med driftoptimering är att säkerställa att en byggnad efter uppförande så långt som möjligt uppfyller ställda krav och mål utifrån verkliga förhållanden och till lägsta energianvändning.

Driftoptimeringen genomförs under en 12-månadersperiod, för att täcka in säsongsvariationer och skall genomföras efter slutbesiktning, ibruktagande och felavhjälpan.

Arbetet bedrivs i följande steg och skeden: Dessa skeden kan till viss del överlappa varandra tidsmässigt



#### 3.11.1 Avstämning funktioner

I ett första skede kontrolleras att byggnadens tekniska system är fullt ut driftsatta, med rätt förutsättningar och driftvärden, samt att system för övervakning och mätning är driftsatta med erforderliga funktioner för historik och loggning. Särskilt viktigt är att säkerställa att system för energimätning och -uppföljning är i funktion med korrekta mätvärden.

Detta innebär att bekräfta att egenprovningar, samordnad provning och besiktning har genomförts på ett fullgott sätt och att inga kvarvarande fel och brister föreligger.

En fullgod systemfunktion är en nödvändig förutsättning för det fortsatta arbetet.

#### 3.11.2 Uppföljning av inneklimat

När verksamheten är inflyttad och i drift verifieras att inneklimatet uppfyller kravställning. För att åstadkomma detta kan vissa justeringar behöva göras såsom reglerparametrar för rumstemperaturreglering, justering av tilluftstemperaturer och framledningstemperaturer i värme- och kylsystem etc.

Energisamordnaren bör ha en genomgång med personal/verksamhet om energi- och inneklimatmål/krav. Detta för att ge dem en bättre förståelse för byggnaden, dess funktioner och förväntat inneklimat, samt deras påverkan på den.

För att fullt ut säkra ett bra inneklimat och en god funktion måste detta arbete följas upp både under vinter- och sommarförhållanden.

### 3.11.3 Driftoptimering

Syftet med arbetet är att säkerställa att inneklimat enligt ovan samt övriga funktioner upprätthålls till lägsta energianvändning. Detta innebär justering och anpassning av drifttider, styrfunktioner, börvärden samt finjustering av systemtemperaturer.

Underlag för arbetet med driftoptimering utgörs bland annat av löpande avläsning av historik, trender och energi- och effektvärden.

Efter genomförd driftoptimering skall byggnaden och dess system vara anpassade efter verksamhetens och byggnadens verkliga förhållanden och samverka så effektivt som möjligt. Detta innebär bland annat att tillförsel av värme, kyla och el är behovsanpassat och energianvändning för drift är optimerad.

Under arbetets gång kan det uppstå behov av avhjälpande entreprenadarbeten i de fall eventuella brister uppdagas. Även förbättrande entreprenadarbeten kan komma i fråga i de fall avvikelser som ej är att betrakta som fel identifieras under driftoptimeringsarbetet. Detta kan till exempel vara att åtgärda övertemperatur i ett rum där rumsanvändningen har förändrats från projektering.

Vidare kan behovet av särskilda provningar såsom termografering, SFP-mätning etc. uppstå under processens gång till exempel om prestandabristar misstänks.

### 3.11.4 Verifiering av energiprestanda

Avslutningsvis skall byggnadens energianvändning följas upp under minst ett år, gärna månadsvis. Denna uppföljning skall efter normalisering stämmas av mot både fastställt energimål och mot senaste prognos. Avvikelser mot mål och prognos skall analyseras och avhjälpande åtgärder identifieras. Det kan vara mätare som behöver kalibreras, behov av ytterligare injustering eller behov av avhjälpande entreprenadarbeten, likt vid driftoptimeringen ovan.

## 3.12 Förvaltningskedet

Byggnadens energiprestanda bör fortsätta följas upp minst årsvis, gärna månadsvis under hela livstiden. På så vis kan uppkomna brister snabbt identifieras och avhjälpas. I övrigt förvaltas byggnaden enligt upprättade förvaltning- och drifrutiner.

Driftoptimering av smarta system, såsom energi-/batterilager och effektstyrning eller styrning mot timvärdeskostnader och väderprognoser, behöver ske löpande, med fördel genom adaptiv självjustering som följs upp fortlöpande.

# Exempel från verkligheten

## 4 Goda exempel

### 4.1 Sverige - Lövängens förskola

En kommunal beställare i Västsverige, Ale Kommun, har vid uppförandet av flera nya förskolor haft en kravnivå motsvarande Miljöbyggnad Silver och FEBY 18 Guld Passivhus. En av förskolorna har 10 avdelningar och ett storkök. Eftersom byggnaden har relativt stor omslutningsarea i förhållande till verksamhetsyta var byggnadseffektiviteten låg, motsvarande 88 %. För att uppfylla de tuffa kraven på värmeförlusttal enligt FEBY 18 krävdes därför extraordinära åtgärder för att förbättra klimatskalsprestandan. Väggarna krävställdes med ett U-värde på 0,09 W/m<sup>2</sup>, och taket 0,08 W/m<sup>2</sup>. Projektering av detaljer blir extra viktigt då köldbryggornas procentuella påverkan ökar när klimatskärmens U-värde är lågt. En framgångsfaktor var tät dialog med konstruktören vid utförandet av köldbryggeberäkningar. Detta resulterade i ett U<sub>m</sub>-värde ovan mark på 0,25 W/m<sup>2</sup>,K inklusive köldbryggor och därmed en klimatskalseffektivitet på 3,5.

Förskolan är försedd med solpaneler motsvarande 172 m<sup>2</sup>, med kW<sub>P</sub> på 35 kW och en beräknad årlig produktion på 28 000 kWh.

Sommarlovet medför ofta att det är svårt att få riktigt hög egenanvändningsgrad av solexel på skolor - den procentuella andel solexel som används direkt i fastigheten under året och alltså inte skickas ut på elnätet. Med det sagt är det en stor andel av solexelen som fås under andra delar av året också, och de högsta effekterna från en solcellsanläggning noteras ofta på våren, vilket är en effekt av att solceller genererar högre effekter när de kyls ned. Klart och kallt vårväder ger alltså ofta högre momentan effekt än högsommarsolen. Graden av egenanvändning är också kraftigt beroende på vilken typ av verksamhet som kan samföräggas. Ett tydligt exempel på hög egenanvändning av solexel, även under sommarlovet, är skolor som exempelvis deltar i Gothia cup, eller har annan verksamhet under sommaren.

Särskilt lämpligt med elförsörjning från solen blir det i samband med kylbehov om AC-anläggningar används, vilket också är i större behov under sommaren, särskilt på förskolor eller andra anläggningar med särskilt känsliga personer.

Det beräknade primärenergitalet för förskolan är 31 kWh/m<sup>2</sup>, år. (ÅF Infrastructure AB, Buildings west).

<b>Tabell 3: Nyckeltal kommunal förskola i Västsverige</b>		
<b>A<sub>temp</sub></b>	2054	m <sup>2</sup>
<b>A<sub>om ovan mark</sub></b>	2311	m <sup>2</sup>
<b>U<sub>m ovan mark</sub></b>	0,25	W/m <sup>2</sup> ,K
<b>Byggnadseffektivitet</b>	88	%
<b>Klimatskalseffektivitet</b>	3,5	
<b>Primärenergital</b>	31	kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år
<b>Effekt solcellsanläggning</b>	35	kW
<b>Produktion solcellsanläggning</b>	28 000	kWh



## 4.2 Sverige - Flerbostadshus – fyra lägenheter i två plan

Byggtreprenören Projektlaget i Lidköping har för en privat fastighetsägare uppfört ett mindre flerbostadshus. Målsättningen i projektet var att uppfylla kravställning för investeringsstödet för energieffektiva lägenheter. Detta innebär en energiprestanda motsvarande 56% av BBR 26 dvs 48 kWh/m<sup>2</sup>, år. Byggnaden består av 3 våningar och har en Atemp på 695 m<sup>2</sup>.



Figur 14, Flerbostadshus med energiprestanda motsvarande 48 kWh/m<sup>2</sup>, år

För att uppfylla kravställningen har byggnaden ett välisolerat klimatskal med ett U<sub>m</sub>- värde på 0,33 W/m<sup>2</sup>,K. Byggnaden försörjs med en bergvärmepump och solcellsanläggning med kW<sub>p</sub> på 9 kW och en beräknad årlig produktion på 7 000 kWh.

Det beräknade primärenergitalet för byggnaden är 43 kWh/m<sup>2</sup>, år vilket motsvarar 51% av BBR 26. (ÅF Infrastructure AB, Buildings west).

En framgångsfaktor i projektet har varit ett nära samarbete mellan entreprenören och energisamordnaren där den dynamiska energimodellen har utnyttjats för att utreda olika alternativ och så på sätt uppnå bästa möjliga energiprestanda.

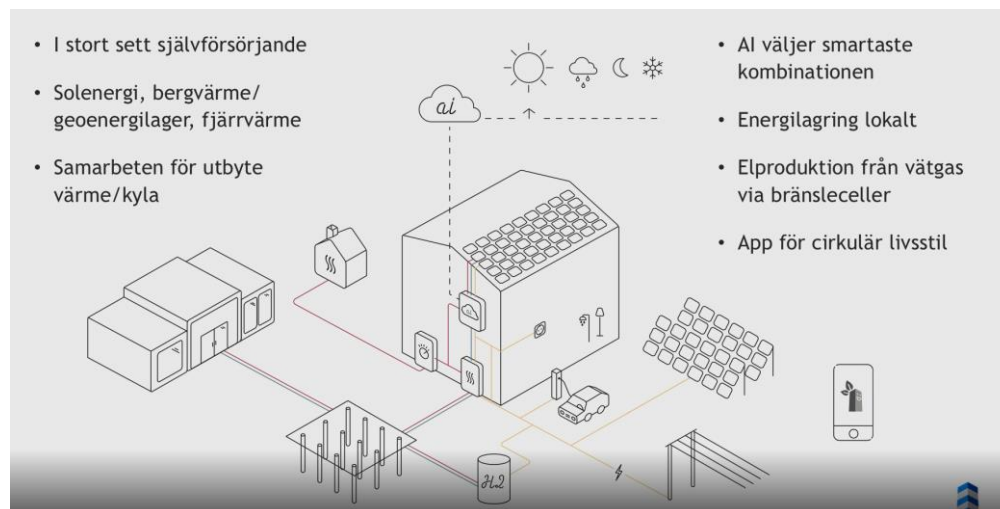
## 4.3 Sverige - Självförsörjande villa på energi från solen – Att gå off-grid i stadsmiljö

En lågbyggd enplans fastighet med välplanerade ytor har ofta goda möjligheter att bli netto-producent på elkraft på årsbasis. Dock medför det oftast att stora mängder el säljs på sommaren och att el fortfarande behöver köpas på vintern. För att avhjälpa tids-skillnaden i när el behövs och när den produceras kan energilager göra stor skillnad. Batterier är väl lämpade för korttidslagring men mindre lämpliga för säsongslagring.

För att bli helt självförsörjande på energi med solceller är lösningar likt den Hans-Olof Nilsson, grundare av Nilsson Energy, byggt på sin villa i Angered. Där har han installerat solceller på större delen av taket och även en del på fasad. Elen korttidslagras i batterier och långtidslagras i ett vätgassystem. Trots att vätgassystemet i sig har stora förluster p.g.a. låg verkningsgrad, är byggnaden helt självförsörjande på energi bara från solen, året runt. Utöver att elen både används till att ladda elbilarna, används också överskottsvärme från vätgasen vintertid för att smälta snö från uppfarten.

Att ett småhus i stadsmiljö kan gå off-grid med relativt stort energiöverskott vittnar om möjligheterna i lokala energikällor och energilagring, även på begränsade ytor.

## 4.4 Tallbohov Electric village



Figur 15, Energisystem Tallbohov. Bild: Bengt Dahlgren AB

Tornet bygger just nu Tallbohov Electric Village i Järfälla. Det är ett innovationsprojekt som involverar solceller, hybridsolceller, batterilager, geotermiska energilager och vätgaslager. Allt detta regleras och styrs genom artificiell intelligens (AI). AI:n väljer vilken energi som ska nyttjas till vad; vätgasproduktion, elbilsaddning eller el till fastigheten.

På taket installeras hybridsolceller, dessa producerar både el och värme från solenergi. Då produktionen ofta är som högst när effektuttaget är som lägst lagras värme från sommaren i geoenergilager och el först och främst i batterier. När batterierna är fulla produceras vätgas istället och lagras. Vätgasen omvandlas till el igen via en bränslecell, även värme bildas. Batterierna kan användas för ett dygn eller för att kapa effekttoppar, medan vätgasen kan lagras längre.

Ett geoenergilager har skapats med hjälp av borrhål, där överskottsvärme lagras. Värme till byggnaderna hämtas via en bergvärmepump från geoenergilagret, alternativt från solfångarna på taket. Området är även uppkopplat mot fjärrvärmenätet som kan täcka effekttopparna.

Projektet har även i ett samarbete med ett närliggande köpcentrum med högt kylbehov (värmeöverskott) ett centralt energisystem där värmeöverskottet kan nyttjas i bostäderna. Vid lågt värmebehov lagras värmeenergin i borrhålen.

För att styra dessa energiströmmar och se till att rätt energi används till rätt sak finns en AI-agent. AFRY har utvecklat denna AI-agent i syfte att sänka bostadshusens klimatavtryck genom att aktivt uppskatta och minska koldioxidutsläppen via kontroll av uppvärmning, vattenanvändning och produktion av el i energisystemet samt genom att vägleda hyresgästerna till en mer hållbar livsstil med hjälp av applikationen Torna.

AI-agenten tar in mängder av data rörande utetemperatur, temperatur i lägenheter, framledningstemperatur för uppvärmning och mängd framlett varmvatten. Utifrån detta lär sig agenten hur byggnaden reagerar på utomhusklimat och vilket värmebehov som finns till följd av detta. Nu kan SMHI:s prognos matas in och AI-agenten kan då se in i framtiden och göra val om t.ex. när lagrad energi bäst ska användas.

För projektet har även en app utvecklats som ska hjälpa boende att minska klimatpåverkan. Appen har en chattbot som "nudgar" de boende att ta smarta beslut.

#### 4.5 Sverige – Förskolan Hoppet

Backa Kyrkogatan 11 är en förskola i två plan, med åtta avdelningar, för ca 200 barn. Förutom avdelningarna finns det gemensamma aktivitetsytor, kontor och storkök. Byggnadens energisystem är dimensionerat för att uppfylla Lokalförvaltningens tekniska krav och anvisningar [1][8][8], med ett övergripande energikrav på max 45 kWh/m<sup>2</sup>, år.



Figur 16, Förskolan Backa kyrkogata 11 (Hoppet – fossilfri förskola). Foto: Elsa Fahlén

Byggnaden är ansluten till fjärrvärme. Uppvärmningssystemet i byggnaden är radiatorer. I kontors-och köksdelen av huset produceras tappvarmvatten med fjärrvärme. Här finns varmvattencirkulation (VVC-ledning) på ca 40 m. I förskoleavdelningarna bereds tappvarmvattnet lokalt med elberedare.

Ventilationen sker med två FTX aggregat, ett för kök och kontor samt ett för förskoleavdelningarna. Styrningen av ventilationen i kontor- och köksdelen sker med VAV-styrning, men i resten av byggnaden är det CAV-styrning.

Tabell 4: Parametrar som påverkar energiprestandan, för Backa kyrkogata 11.

Uppvärmd yta, $A_{temp}$	1690 m <sup>2</sup>
Andel fönsteryta (fönsteryta/ $A_{temp}$ )	12 %
Formfaktor (omslutningsarea/ $A_{temp}$ )	1,6
Yteffektivitet (formfaktor multiplicerad med $U_m$ )	0,3
Luftläckage (täthetskrav)	0,2 l/s, m <sup>2</sup>

## 4.6 Danmark - Stigsborg Børne og Ungeunivers



Figur 17, Stigsborg Børne og Ungeunivers

A.Enggaard A/S har vunnit upphandlingen på BUU och har startat upp med projekteringsarbetet. Projektet förväntas vara färdigtställt 2024. BUU skall uppfylla krav enligt den danska energinormen Br18.

### Tabell 5: Nyckeltal Stigsborg Børne och Ungeunivers

Byggnaden ska uppfylla krav enligt normkrav energiramme, BR18 §260

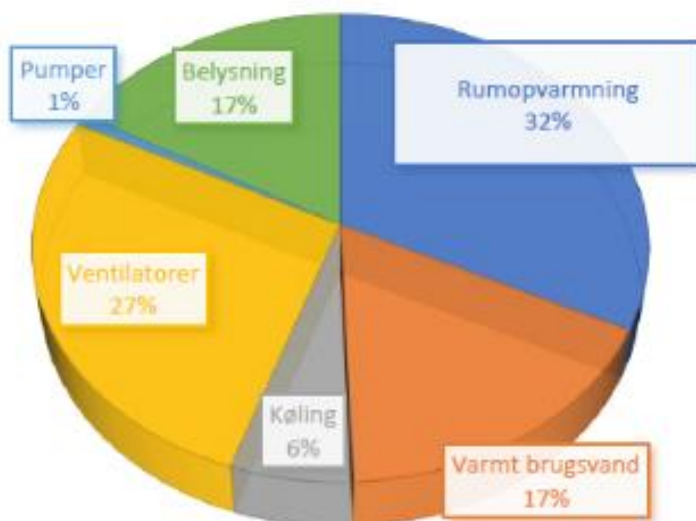
Børne- og Ungeuniverset Stigsborg projektspecifika BR18-krav

Energiramme, normkrav, enligt BR18 inkl. tillägg, energi	52,6	kWh/m <sup>2</sup> , år
Bygningens energiförbruk	49,8	kWh/m <sup>2</sup> , år
Krav Transmissionsförluster	13,9	W/m <sup>2</sup> ,K
Transmissionsförluster aktuell byggnad	8,2	W/m <sup>2</sup> ,K

Byggnaden är ansluten till fjärrkyla. Ventilationsaggregaten är försedda med kylbatterier, så att ett behagligt inomhusklimat alltid upprätthålls. Beräkningar av förväntad minskad kyleffekt för byggnaden ligger på 527 kW.

Solceller är installerade för att tillmötesgå kraven på energiklass enligt BR18. 460 m<sup>2</sup> solceller har installerats och förväntas producera motsvarande 73 000 kWh/år, detta motsvarar 12,5 % av den totala årliga elenergianvändningen.

## FORDELING AF FORBRUG



Figur 18, Fordeling af energianvändningen i Stigsborg Börne og Ungeunivers

Alla armaturer har LED-ljuskällor med ett färgåtergivningsvärde på minst 90 och med en färgtemperatur på 4000 ° Kelvin, där Tunable White inte används. Styrning av belysningsystemet sker med KNX / DALI-teknik, och belysningsarmaturer levereras med dimbara DALI-spolar. Alla DALI armaturer kan åsidosättas av CTS-systemet.

### 4.7 Norge - Yrkesskola och tandläkarklinik i Grimstad – Agder fylkeskommune



Figur 19, Fordeling av energianvändningen i Stigsborg Börne og Ungeunivers

BRG Entreprenør As är i färd med att färdigställa byggandet av en ny yrkesskola och tandläkarklinik i Grimstad (april 2022). Bygget ska uppnå passivhuskraven i NS 3701.

Beräkning av netto energiförbrukningen i drift med lokala klimadata för Kristiansand visar på ett specifikt energibehov på 52,1 kWh/m<sup>2</sup>, år (Simien vers. 6.014 i enligt NS 3031). Det är installerat en solcellsanläggning på 206 kWp med en kalkylerad energiproduktion motsvarande 190 000 kWh årligen. Med detta ska byggnaden uppnå byggherrens krav på att producera 2 kwh/m<sup>2</sup>, år mer elektrisk energi byggnaden förbrukar.

För att öka andelen egenproducerad solenergi, och inte behöva köpa el på nätet vid de tider på dygnet då priserna är extra höga och för att kapa effekttopper som utlöser höga priser installerades det ett 138 kW koboltfritt litium-jon batteri. Värmesystemet bygger på lågtemperatursystem. Byggnaden värms upp med fjärrvärme för rumsuppvärmningen, värme för ventilationen och tappvarmvatten. Spetslast med elpanna. Byggnaden har anläggning med sorptiv kyla, något som inte är vanligt i Norge.

För att reducera energibehovet för tekniska installationer i byggnaden har bland annat ventilationsaggregaten högeffektiv värmeåtervinning (90 %), energieffektiva fläktar och behovsstyrning av luftmängder. Vidare används energieffektiv teknisk utrustning och LED belysning (3,0 W/M2) med goda reglermöjligheter. För att reducera kylhuvudet finns det utvändigt solavskärmning på solutsatta fasader och solskyddsglas mot sydväst.

# Framtidsspaningar

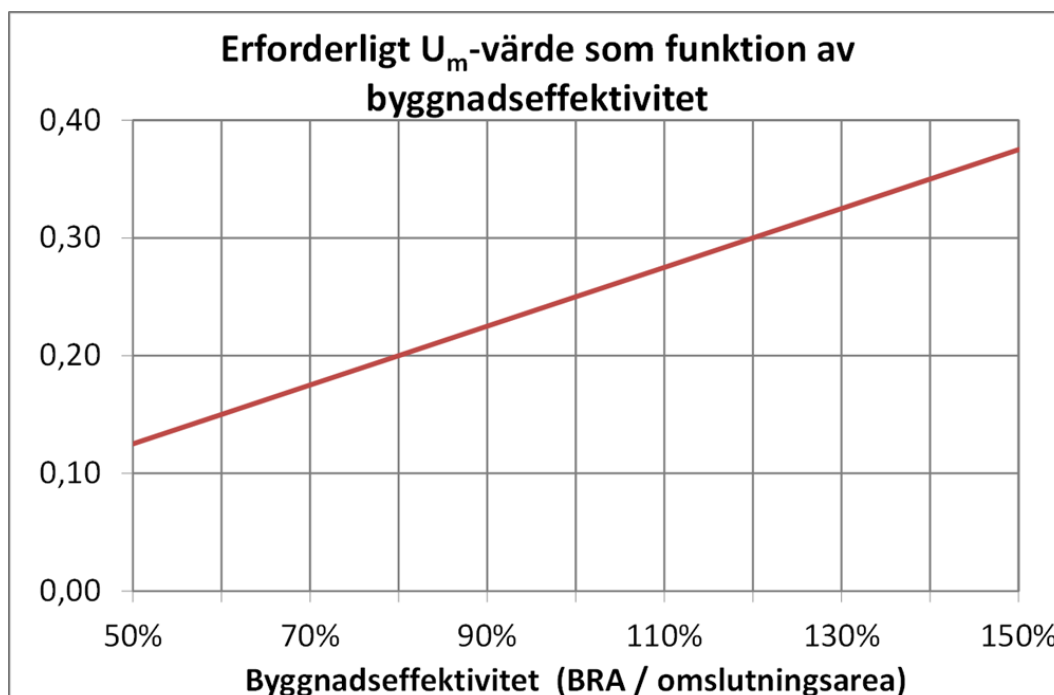
## 5 Trender och framtida utmaningar

Byggbranschen och energimarknaden är i ständig förändring. Hållbarhet har fått ett allt större fokus, både genom efterfrågan från marknaden och genom lagstiftning. Dessutom kommer nya utmaningar i form av bland annat klimatförändringar och effektbrister.

### 5.1 Balans mellan energieffektivitet och klimatpåverkan

Under de senaste åren har byggnaders klimatpåverkan fått allt större uppmärksamhet. Klimatdeklarationer för byggnader är numer ett lagkrav enligt BBR och livscykelanalys är en indikator i flera certifieringssystem. Framöver kommer även kravnivåer för byggnaders klimatavtryck införas [9]. När klimatpåverkan från material vägs in i beslutsfattande blir det inte lika självklart att isolera mer eller att ha tyngre och trögare konstruktioner för att uppnå energieffektivitet. Så kan en byggnad vara både klimateffektiv och energieffektiv?

Byggnadseffektivitet kommer bli allt viktigare för att hitta balans mellan klimatpåverkan och energieffektivitet. En bättre formfaktor medför, som tidigare nämnts (se avsnitt 3.1.1), mindre klimatskalyta per bruksarea. Dessutom medger det högre U-värden i klimatskalet, vilket innebär minskat behov av isolering, vilket ger minskad klimatpåverkan. Det innebär alltså minskad materialåtgång, både på grund av minskad fasadyta som ger minskat material behov för fasadkomponenter och av minskad mängd isolering, och därmed minskad klimatpåverkan. Därtill är det positivt för projektets ekonomi. God kunskap om betydelsen av en optimerad utformning av byggnaden i kombination med nyttjande av LCA som ett verktyg för att värdera alternativ ur byggnadens hela livscykel är en förutsättning vid design av en hållbar byggnad. Analys av byggnadens utformning, uttryckt i nyckeltalen byggnadseffektivitet och klimatskalseffektivitet bör ske parallellt med att påverkan av exempelvis olika utsläppstal för energibärarna analyseras i en LCA-kalkyl, dessa analyser bör utgöra underlag för beslut om exempelvis vilket U-värde som byggnadens väggar ska ha.



Figur 20 – Samband mellan  $U_m$  (U-medelvärde) och Byggnadseffektivitet, desto bättre byggnadseffektivitet, desto lägre prestanda på U-värde kan accepteras vilket innebär att en hög byggnadseffektivitet medger möjlighet till minskat behov av isolering som bidrar till minskad klimatpåverkan till följd av minskad materialåtgång.

Störst klimatpåverkan i byggnader har betong och stål, då dessa medför stora utsläpp vid framställning. Betongindustrin driver flera projekt och har introducerat en del produkter på marknaden med minskad klimatpåverkan och stålindustrin jobbar för att förverkliga fossilfritt stål.

Stommen och grunden är ofta de delar som har störst klimatpåverkan, då dessa står för en stor del av den totala vikten och ofta består av just betong och stål. Med lättare konstruktioner, alternativt trästomme kan klimatpåverkan minskas. Detta medför dock att byggnadens termiska tröghet minskas och dess förmåga att lagra energi i konstruktionen minskar. Därmed kan byggnaden bli mer känslig för temperaturvariationer i omgivningen och få ett ökat energibehov för uppvärmning. Hög prestanda på klimatskalet kan till viss del motverka det ökade värmebehovet. Det blir då en avvägning mellan ökad mängd isolering och ökat energibehov för uppvärmning.

För att fatta välgrundade beslut är det viktigt att göra en livscykelanalys som täcker in hela byggnadens livscykel, från produktion till drift och underhåll. Utifrån analysen kan en lösning som medför minsta möjliga klimatavtryck väljas. En osäkerhet i en sådan kalkyl är hur klimatpåverkan från driftens energianvändning ska beräknas. Kommer framtida utsläpp vara mindre, och i vilken omfattning jämfört med dagens? Detta gäller inte bara elmixen, utan även fjärrvärme, där i dagsläget (2019, genomsnitt Sverige) 22% av energin kommer från förbränning av fossila ämnen, mestadels i form av olika plaster.



## 5.2 Dimensionering för ett förändrat klimat

Klimatförändringar gör att en succesiv förändring av väderförhållanden upplevs redan idag [10]. Några av de trender som syns är listade nedan, med exempel för Stockholm under senaste 30 åren inom parentes [11]:

- Högre temperaturer
  - o Årsmedeltemperatur ökar ( $\sim 1,2^{\circ}\text{C}$ )
  - o Vintertemperaturen ökar ännu mer ( $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ )
  - o Varmaste uppmätta temperaturen ökar ( $\sim 0,8^{\circ}\text{C}$ )
  - o Antalet dagar med höga temperaturer ökar kraftigt (24 st. +45 %)
- Värmeböljornas längd ökar
- Dagar med snötäcke minskar kraftigt
- Antalet skyfall ( $> 50$  mm regn/h) ökar
- Ytvattentemperaturen ökar och istäcken minskar (2019-2020 var första gången Mälaren var isfri)

Effekterna av den globala uppvärmningen kommer ge lokala variationer, men generellt ökar temperaturen snabbare för områden som ligger längre norrut jämfört med globala medelvärden. För framtida byggnader i Norden kommer sannolikt uppvärmningsbehovet att minska och behovet av kyla öka. Detta kommer påverka energianvändningen, årsfördelningen av energiuttaget och lämpliga val av dimensionerande utomhustemperaturer. Det kommer även medföra att fler byggnader än tidigare kommer att behöva kylas i framtiden. Somrar med extrema övertemperaturer gör att kyla redan nu behöver installeras på t.ex. särskilda boenden, där det tidigare normalt inte har krävts.

Hur den globala temperaturförändringen kommer se ut är ovisst, men den bedöms stanna runt  $+3^{\circ}\text{C}$  vid sekelskiftet [12]. Detta kan medföra att årsmedeltemperaturen ökar med så mycket som  $5-7^{\circ}\text{C}$  i Sverige, med risk för ännu större variationer lokalt. Historiskt har vintertemperaturen ökat mer än sommartemperaturen, vilket också väcker frågan om vilka dimensionerande utetemperaturer som bör användas.

Ytterligare effekter av klimatförändringarna är att vindhastigheter ökar och snömängder minskar, vilket kan påverka dimensionering av bärande konstruktioner. Även effektiv vattenavrinning och höjd över havet eller lokala vattendrag bör redan idag beaktas vid planläggning.

## 5.3 Ökat tillvaratagande av spillvärme

Flera större fastighetsägare har nått den gräns då traditionella energiåtgärder, såsom att isolera mer eller minska elenergibehovet för fläktar, blir verkningslöst och kan vara svårt att försvara ekonomiskt. Det krävs nya och mer kraftfulla åtgärder för att ytterligare minska energianvändningen. Ett sätt att gå "ett steg längre" är att bygga system där spillvärme i högre utsträckning kan nyttjas.

Ett exempel är att koppla samman en ishall, där det finns ett värmeöverskott med en simhall, som har ett konstant värmebehov. Genom ett lokalt nät kan värmen flyttas mellan byggnaderna och energianvändningen minska. Liknande lösningar kan också användas inom en byggnad för att flytta värmen dit den behövs, när den behövs. Det kan då exempelvis handla om spillvärme från en process eller från kylmaskiner.

Värmen kan användas genom direktväxling eller lagras över tid och nyttjas då behov föreligger. Borrhållager är idag en väletablerad lagringsteknik och används i allt

större utsträckning. Andra typer av lösningar, som fasomvandlingsmaterial (kap 1.7.4), är ännu i forskningsstadiet, men visar stor potential.

Möjligheterna att flytta värme är ofta många och energibesparingspotentialen kan vara stor. I takt med stigande energipriser och ökat energifokus kommer fler kreativa lösningar att växa fram.

## 5.4 Elmarknadens utveckling – trender och framtidsspaningar

EU har som uttalat mål att ha en gemensam elmarknad. Svenska kraftnät samordnar sina processer mot en gemensam marknadsstandard, vilket bland annat innebär att en ny avräkningsperiod på 15 minuter kommer införas 2023 [13], [14]. Detta kan påverka både debiteringsintervall för större kunder eller kunder med nuvarande timdebitering och andra processer, liksom hur Svenska kraftnät handlar upp effektreserver. Tanken är att harmonisera och utvidga möjligheten att handla med elenergi inom Europa, även på frekvensregleringsmarkanden. Ett utökat transmissionsnät med ökad överföringskapacitet till kontinenten resulterar sannolikt i att prisbildningen över Europa jämnas ut. Detta bör leda till högre elpriser i Sverige som har relativt låga priser idag.

Samtidigt som marknaden utvidgas bedöms en stor andel intermittent (tidsvarierande) kraftslag, såsom vind- och solkraft, av hållbarhetsskäl vara nödvändigt i en framtida elmix. Detta har lett till kraftiga variationer i elpriser, vilket skiftar fokus från energi till effekt. Därför är det viktigt att göra en effektbudget för att framtidssäkra verksamheten.

För att stabilisera nätet förväntas mer "demand-response"-funktioner komma, där en nätägare kan be elkonsumenter att minska (eller öka) användningen för att öka elkvaliteten på nätet. För detta finns incitament såsom ekonomisk ersättning, eller ekonomiska avgifter i exempelvis effekttariffer och timdebitering av höga spotpriser.

En tänkbar utveckling är att möjligheten att teckna fastprisavtal för el kommer minska, åtminstone till de priser som är möjliga idag. Med stora variationer i spotpriset tar elhandelsbolaget en stor risk vid tecknande av fastprisavtal, vilket rimligtvis kommer att synas på fakturan.

Den allt större andelen väderberoende kraft i elnätet bedöms öka behovet för energilager. Även elektrifieringen av samhällssektorn kommer att bidra till behovet av energilager. År 2045 bedöms mängden genererad el behöva fördubblas, samtidigt som "reserver" från kontinenten ska fasa ut fossila bränslen. Det är därför troligt att elpriser och effekttariffer kan öka kraftigt.

För aktörer med energilager, stora förbrukare (enskilda eller aggregerade över många fastighetsbeteckningar) finns också möjligheten att agera direkt mot Svenska kraftnät, vilket historiskt ersatts med relativt stora belopp. Detta har lett till att fler och fler aktörer sökt sig in på frekvensregleringsmarknaden, en marknad som ännu inte är mättad, och som förväntas öka med framtidens energimix. Frekvensregleringsmarknaden är dock under kraftig förändring och nya regelverk för balansansvar är under revision från både nationell och EU-nivå.

Från 1 januari 2022 inträder också ändringar i Ellagen som medger större möjligheter att koppla ihop produktionsanläggningar för att dela förnybar el mellan byggnader. Detta öppnar upp för mer energisamverkan mellan olika hus på en fastighet, eller energigemenskaper mellan grannar. Detta kan positivt påverka egenanvändningen av

solel, vilket i sin tur kan minska primärenergitalen och ge ännu högre ekonomisk lönsamhet för solcellsanläggningar.

## 5.5 Effektbudget

Med minskade tidsintervall för mätning och debitering kommer också uppmätta effekttopparna öka i storlek då de medelvärderas över kortare tid. Detta, tillsammans med ökade tariffer för effekttuttag och mer varierande spotpriser, ökar kraftigt incitamenten för enskilda aktörer att ta fram en effektbudget. En effektbudget är till för att begränsa onödigt uttag av toppeffekt. Detta kan göras antingen genom styrning av förbrukning, t.ex. förskjuta laster, eller genom att lagra/ladda ur energilagring såsom batterier. Termiska lager kan också användas för att minska lasterna momentant, exempelvis genom att låta mängden eller temperaturen variera i en ackumulatortank, inneluft, byggelement, mark eller liknande naturliga termiska massor.

Genom att öka förbrukningen när elpriset är lågt, eller när effekttuttaget i fastigheten i övrigt är lågt, kan energi lagras i form av värme eller elektrokemiskt (batterier) för senare användning, vilket ger mer utrymme i effektbudgeten senare. Om istället elpriset eller effekttuttaget är högt kan energilagren laddas ur för att ge mer utrymme i effektbudgeten.

Effektbudget kan också vara relevant för andra energiformer; gas, fjärrvärme, fjärrkyla etc. men det beror på hur det specifika systemet ser ut.

Den ökande andelen elbilar i Sverige ökar behovet av en effektbudget, men kan även hjälpa till att hålla budgeten. Elbilsladdning drar generellt mycket elenergi, men effektbehovet beror på laddhastigheten. Samtidigt kan elbilar utgöra ett energilager, där bil-till-nät (vehicle to grid, V2G) eller bil-till-hus (vehicle to building, V2B) tekniker kan användas. Vid nyinstallation av laddstolpar bör därför alternativ som är kompatibla med tekniken väljas.

### 5.5.1 Prioriterade laster – effektbudget och support mot elnätet

I både en effektbudget och för att kunna svara på effektbrist i elnätet är det relevant att göra en prioriteringsordning för vilka laster som kan tillåtas slås av eller tillfälligt begränsas, och vilka som inte kan göra det. Förslagsvis läggs riktvärden in för parametrar som är acceptabla; exempelvis

- Hur låg/hög temperaturen i en ackumulatortank får vara,
- Belysning reduceras i effekt, t.ex. går ner på halv-fart (varannan lampa tänd),
- Elbilsladdning stängs av till en viss procentsats,
- Ventilation minskas tillfälligt,
- Värmeeffekt begränsas.

Efter att parametrar lagts in med acceptabla nivåer, samt hur ofta/länge lasten kan tillåtas variera, kan styrsystemet göra prioriteringar i realtid för att minimera belastningen fastigheten utgör på nätet. Alternativt maximera nyttan genom att exempelvis ladda ur batterier mot nätet.

Det är Svenska Kraftnät (SvK) ansvarar för att elnätet ska ha effekt nog och de ansvarar för att handla upp erforderlig effektreserv för att garantera nätets stabilitet. Detta görs i ett par olika typer av reservtyper: snabba och små eller större men långsammare effektreserver.

För den snabba responstiden (<1 s) är batterier väl lämpade. Ersättningen för att agera stöd är oftast högre än att använda batterier för exempelvis köp och sälj när elpriset varierar. Det går också att göra båda under olika delar på dygnet, eller använda en viss andel av effekten för det ena eller andra.

För de snabba typerna av stöttning behövs minst 100 kW effekt för att kunna delta, antingen som en anläggning, eller aggregerat mellan olika anläggningar. Batterier är också det som förmodligen är lättast att aggregera i detta avseende, där en fastighetsägare som äger flera olika anläggningar inom ett geografiskt område kan poola ihop dessa till "en" aggregerad enhet.

## 5.6 Utveckling inom byggnadsautomation

Styrningen av byggnadens tekniska system är avgörande för energiprestandan.

Det sker ett skifte från de idag vanliga leverantörsspecifika systemen som har dominerat marknaden. Framtida styrsystem kommer behöva vara baserade på öppna protokoll och egenägda data. I dagsläget är det vanligt att låsa upp sig i en stängd PLC-miljö och ett stängt överordnat styrsystem med leverantörsägda data.

Idag är byggnadsautomation en disciplin som brukar omfatta styrning av inomhusklimat sett till värme, kyla, ventilation, varmvatten, avlopp, brandfunktioner m.m. Framtidens byggnadsautomation behöver vara ett mer komplext nav som hanterar byggnadens helhet inklusive energistyrning (el), belysning, närvarointelligens, prognoser och planering av service.

Ett framtida styrsystem utför analyser, arbetar proaktivt istället för reaktivt och har både data och sensoriska system för att kunna styra och reglera fastighetens teknik efter exempelvis kommande elpriser, förväntad personlast, förväntat evenemang, tid på dygnet, besöks- och beteendemönster eller unika scenarier.

### 5.6.1 Internet of Things

Med intåget av Internet of Things (IoT) har helt nya möjligheter uppenbarat sig för automationstekniken. Helt nya familjer av sensorer och uppkopplingsmöjligheter utmanar det konventionella med att skapa mervärdesfunktioner för fastighetsägare.

Detta underlättar för att expandera sin installation och placera ut givare på komplicerade platser utan kablage för att kunna mäta effekt eller påverkan. Fler och fler produkter kan styras direkt och därmed driftplaneras för att optimera exempelvis elanvändning.

I ett överordnat system kan även verksamhetens förbrukare inkorporeras, antingen för styrning av dessa eller för prognostisering av effektbehov för att undvika effekttoppar till följd av kombinationen med fastighetsdriften.

IoT kan vara del av maskiner och komponenter eller fristående. Exempelvis kan en tvättmaskin vara en aktiv komponent som kan berätta om när och hur maskinen används och ge underlag för att prognosticera underhåll eller inköp av förbrukningsmateriel.

### 5.6.2 AI och maskininlärning

Med öppna lösningar kan fastighetsägare själva förvalta över sina data och integrera dem i valfria system. Med detta står det fritt att välja att integrera valfri lösning för AI-funktioner (artificiell intelligens) eller maskininlärning.

En konkret nytta är att planlägga service och underhåll baserat på hur en fastighet eller byggnad beter sig under kända omständigheter. Systemen kan då ställa en prognos och slutsats av ett visst händelseförlopp och planera ett förebyggande servicebesök.

Ett annat konkret fall kan vara att en byggnads beteende avviker från förväntade värden och systemen kan konstatera att det är undermålig/felaktig injustering på en eller flera kretsar och utifrån detta formulerar ett servicebesök med instruktioner på åtgärder.

## 5.7 Framtida regleringar för luftkvalitet

Vi tillbringar stor del av vår tid inomhus därför är det viktigt att alla aspekter av inomhusklimatet håller hög kvalitet, detta gäller termisk komfort såväl som att säkerställa en giftfri inomhusmiljö. En modern byggnad ventileras via ventilationssystemet och en energieffektiv drift förutsätter att ventilationssystemet är rätt balanserat och att drifttider och luftflöden är rätt injusterade så att inte överventilering sker i onödan. Ventilationens primära uppgift är att ventilera bort föroreningar från människor men även ämnen som avges från byggnadsmaterial och inredning. Att medvetet välja byggnadsmaterial med så lågt innehåll av giftiga och skadliga ämnen bidrar därmed till förutsättningarna för energieffektiv drift av byggnaden och grundar för en god inomhusmiljö. I en byggnad med byggnadsmaterial som har låg avgivning av giftiga och skadliga ämnen är det exempelvis möjligt att årstidanpassa ventilationen fullt ut för att optimera luftens tillstånd med hänsyn till brukarnas känslighet för temperatur och relativ luftfuktighet.

### 5.7.1 Luftföroreningar

Varje år dör globalt uppåt 7 miljoner människor i förtid p.g.a. luftföroreningar [15]. I Sverige, som ofta upplevs ha ren och hälsosam luft, bedöms ändå ca 5000 personer dö i förtid varje år till följd av dålig luftkvalitet. Luftföroreningar består antingen av partiklar som kan fångas rent fysiskt genom filtrering, eller kemikalier som behöver filtreras genom kemiskt aktiva filter.

Störst fokus läggs ofta på partiklar, vilka sorteras in i kategorier beroende på dess storlek; PM1 (<1 µm), PM2,5 (<2,5 µm) och PM10 (<10 µm). Partiklar kommer från många olika aktiviteter, t.ex. förbränning, byggdamm, däckrester som slits upp m.m. Partiklar orsakar många typer av hälsoproblem såsom kronisk bronkit, astma, hjärt- och kärlsjukdomar m.fl. Det är dock de minsta partiklarna som är mest hälsopåverkande då de kan tränga längst ner i lungorna och eventuellt passera in i blodomloppet. De minsta partiklarna är också svårast att filtrera och filtren orsakar större tryckfall (ger ökat energibehov för drift av fläktar), samt sätts igen lättare (ger ökat behov av underhåll). Äldre, barn och de med nedsatt hälsa är mest utsatta, med både lång- och korttidseffekter.

Kemikalier är normalt svårare att bli av med och ventileras ofta ut om möjligt. Det finns miljoner olika kemikalier, men många samlas i en kategori som kallas för flyktiga organiska ämnen (*volatile organic compounds*, VOC). Totala mängden VOC benämns TVOC. En del av kemikalierna kommer utifrån, som kolmonoxid, NO<sub>x</sub>-gaser och marknära ozon från biltrafiken, men mycket kommer också från byggmaterial. För att undvika detta kan lågemissiva material väljas, d.v.s. material som inte avger stora mängder kemikalier.

För att klassas som lågemissivt ska materialet inte släppa mer än:

- TVOC <math><0.2 \text{ mg/m}^2\text{h}</math>
- Formaldehyd <math><0.05 \text{ mg/m}^2\text{h}</math>
- Ammoniak <math><0.03 \text{ mg/m}^2\text{h}</math>
- Carcinogena ämnen <math><0.005 \text{ mg/m}^2\text{h}</math>
- Luktar ej (<math><15 \text{ \% missnöjdhet}</math>)

Ett annat ämne som bör nämnas är radon, som är en radioaktiv gas som bildas när uran sönderfaller. I Sverige är berggrunden rik på uran och tidigare, innan 70-/80-talen, användes mycket byggmaterial med höga uranhalter. Radon mäts i form av strålning, med enheten Becquerel (Bq, 1/s, sönderfall per sekund) och gränsvärdet för en acceptabel nivå är enligt Strålskyddsmyndigheten 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Folkhälsomyndigheten rekommenderar att hålla nivån av radon så låg som bara möjligt för arbetsplatser, skolor m.m. för att inte bygga på den totala dosen.

WHO kom under sommaren 2021 ut med nya riktlinjer för vad som är en acceptabel luftkvalitet för att undvika negativa hälsoeffekter. De nya riktlinjerna medför att många områden i storstadsregionerna, eller de nära tung industri, vägar, hamnar och liknande, nu har utomhusluftkvalitet som anses som direkt hälsoskadlig. Detta ger upphov till några frågor:

- Kommer det som anses som god luftkvalitet inomhus förändras?
- Kommer rekommendationerna att omsättas i regeländringar som påverkar generell eller specifik verksamhet, exempelvis förskolor eller äldreboenden?
- Kommer konkurrensfördelar uppstå för den privata aktören som agerar på problemet?
- Filtrering av luft medför merkostnad i form av filter för partiklar eller kemikalier som i sin tur till tryckfall och ökat energibehov. Hur kommer dessa lösningar att falla ut?

För att dimensionera ett energieffektivt ventilationssystem med luftrening kan olika strategier väljas.

- Filtrering av inkommande luft
- Filtrering av luft i rum
- Större luftomsättning. Särskilt effektivt om föroreningarna kommer utifrån
- Minska luftflöden genom utnyttjande av sensorer

### 5.7.2 God luftkvalitet

Det finns gott om forskningsunderlag på att god luftkvalitet bidrar till bättre hälsa för både människor och byggnader. Med rätt luftflöden och rätt kvalitet på inblåsningsluften skapas ett sundare inomhusklimat med ökad komfort. För att uppnå god luftkvalitet krävs ofta något högre luftflöden, samt högre krav på ventilations effektivitet. Med VOC-givare och rätt element kan rum styras på såväl koldioxidlast (indirekt) som andra ämnen, inklusive dofter.

God luftkvalitet bestäms också av fukthalten i luften, den påverkar både komfort och hur virus, bakterier och mögel förökar sig. Vintertid kommer den uteluft som värms och förs in i lokalerna innehålla en låg absolut fukthalt på grund av den låga dagtemperaturen utomhus vintertid. Luftens förmåga att bära fukt minskar alltså vid minskande temperatur, vilket ger en låg relativ fuktighet (RH). Låg relativ luftfuktighet kan påverka elektrostatisk laddning av dammpartiklar, vilket påverkar städbarheten.

Även slemhinnor kan påverkas negativt av låg relativ luftfuktighet, något som typiskt inträffar vintertid.

Genom att hålla nere antal luftomsättningar vintertid och samtidigt tillåta låga inblåsningstemperaturer kan alltför torr luft undvikas. Detta bidrar, utöver minskade problem med torra slemhinnor och bättre städbarhet, till mindre energianvändning för ventilationsaggregaten.

## 6 Kommentarer och slutord

Bygg- och fastighetssektorn står för ca en femtedel av Sveriges nationella utsläpp av växthusgaser och energibehovet i byggnader motsvarar ca en tredjedel av landets totala energianvändning. Med ett ökat fokus på ekologisk hållbarhet, målsättning kring klimatneutralt byggande och ett energisystem i förändring väntar en spännande tid framöver inom detta område med ökad omställningstakt.

## 7 Referenslista

- [1] Värmeåtervinningssystem för spillvatten i flerbostadshus – Slutrapport Sustainable Innovation , WSP. Energimyndigheten projekt 42471-1 [www.sust.se](http://www.sust.se)
- [2] The Energy and Environmental Performance of Ground-Mounted Photovoltaic Systems—A Timely Update  
<https://www.mdpi.com/1996-1073/9/8/622/htm>
- [3] Small-scale mining in the DRC involves people of all ages, including children, obligated to work under harsh conditions. Of the 255,000 Congolese mining for cobalt, 40,000 are children, some as young as six years. Much of the work is informal small-scale mining in which laborers earn less than \$2 per day while using their own tools, primarily their hands.  
<https://www.wilsoncenter.org/blog-post/drc-mining-industry-child-labor-and-formalization-small-scale-mining>
- [4] Svanen miljömärkning [www.svanen.se](http://www.svanen.se)
- [5] 2011 beslöt regionfullmäktige att energianvändningen i fastighetsbeståndet förvaltad av regionen skulle halveras till år 2030. Det inkluderar även den energi som köps till fastigheterna  
<https://www.vastfastigheter.se/hallbarhet/energi/>
- [6] Energieffektiva Byggnader teknikval och drift beställarkompetens, Webinarium 2022-02-10 och 2022-03-23  
<https://www.energikontorvast.se/sv/2022/03/08/ett-hallbart-byggande-innefattar-riktigt-god-energiprestanda/>
- [7] Energiavtal 21 - för överenskommelse om energiprestanda  
<https://byggforetagen.se/app/uploads/2021/04/Energiavtal-21.pdf>
- [8] Energi - Tekniska krav och anvisningar för dig som bygger lokaler åt Göteborgs Stad - Göteborgs Stad ([goteborg.se](http://goteborg.se))
- [9] Klimatdeklaration – En handbok från Boverket  
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/>
- [10] Klimatet förändras – Naturvårdsverket  
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatfakta/klimatet-forandras/>
- [11] Stockholms Stad Miljöbarometern  
<https://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/medeltemperatur/>



- [12] Climate Action Tracker <https://climateactiontracker.org/>
- [13] Yttrande över affärsverket Svenska kraftnäts promemoria Förslag till ändring i förordning (1999:716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el. ”Förslagsställaren framhåller dock att införandet av krav på 15-minuters mätning är nödvändighet för att Sverige ska kunna följa de bindande europeiska kraven på 15-minuters balansräkning och handel som redan finns på plats, varför förslagsställaren anger nollalternativet inte är aktuellt.”  
<https://www.regeringen.se/4ac3c9/contentassets/34b00c7d7b934574957d66983140df0d/regelradet.pdf>
- [14] Förslag Svenska Kraftnät: ” Svenska kraftnäts förslag innebär att: Inmatningspunkt (produktion) ska mätas med 15 minuters upplösning. ...Uttagspunkt (förbrukning) som ingår i en förbrukningsprofil omfattas inte av förslaget. ... De föreslagna ändringarna i mätningförordningen föreslås träda i kraft den 1 april 2023.”  
<https://www.energiforetagen.se/medlemsnyheter/2021/juni/forslag-att-infora-15-minuters-avrakning-avseende-el/>
- [15] Varje år dör 7 miljoner människor av luftföroreningar  
<https://unric.org/sv/varje-ar-dor-7-miljoner-av-luftfororeningar/>