

# Energibesparande spetsteknik för energieffektiva och klimatsmarta stadsdelar samt lagring av överskottsel från solen

December 2021



**Uppdrag:** Energibesparande spetstekniker för energieffektiva och klimatsmarta stadsdelar samt lagring av överskottsel

**Uppdragsnummer:** 30028252

**Kund:** Stockholms kommun

**Datum:** 2021-12-21

**Upprättad av:** Sweco (Anders Schweitz, Elin Lindblad, David Cameron, Fredrik Karlsson, Sirak Mogues, Johanna Söderquist, Joakim Hjulström)

# Innehållsförteckning

1.	Förkortningar och begreppsbeskrivningar .....	4
2.	Sammanfattning .....	6
3.	Introduktion .....	8
3.1	Bakgrund .....	8
3.2	Syfte .....	9
3.3	Avgränsningar .....	9
3.4	Metod .....	9
4.	Beskrivning av olika spetstekniker och energilösningar som används inom Stockholms stad .....	11
4.1	Klimatskal .....	11
4.2	Styrsystem och mätning .....	16
4.3	Värme och varmvatten samt kylning .....	21
4.4	El .....	28
4.5	Samverkan – gemensamma lösningar mellan byggnader eller mellan byggnad och energileverantör .....	29
4.6	Beteendepåverkan/nudging .....	32
5.	Lagring av överskottsel från solel .....	33
5.1	Energilager .....	33
5.2	Erfarenheter från genomförda projekt .....	34
5.3	Förekommande typer av batterier och styrsystem .....	35
5.4	Styrstrategier och verkningsgradsförluster .....	38
5.5	Principer för dimensionering .....	39
5.6	Återanvändning av begagnade batterier .....	41
5.7	Nyckeltal för kostnader samt medel att söka .....	42
5.8	Aktuell lagstiftning samt förslag om förändringar att överföra el mellan byggnader .....	43
5.9	Exempel på användning vintertid för att undvika effektoppar .....	46
5.10	Vehicle to grid .....	48
5.11	Sammanfattning och råd till Stockholms stad avseende batterilagring .....	49
6.	Diskussion och förslag till fortsatt arbete .....	51
7.	Bilaga – Tekniska aspekter av batterisystem .....	52
7.1	Batteriers livslängd och kapacitetsförsämring .....	52

# 1. Förkortningar och begreppsbeskrivningar

<b>AI</b>	Artificiell Intelligens.
<b>API</b>	Ett gränssnitt som gör att olika program kan kommunicera med varandra
<b>BBR</b>	Boverkets byggregler.
<b>BeBo</b>	Beställargrupp Bostäder. Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus.
<b>C-rate</b>	Den kontinuerliga ström som det fulladdade batteriet kan leverera under en viss period.
<b>DoD</b>	Depth of Discharge. DoD beskriver hur djupt ett batteri i regel laddas ur.
<b>E2B2</b>	E2B2 är Energimyndighetens program. E2B2 stödjer forsknings- och utvecklingsprojekt som arbetar för en resurs- och energieffektiv byggd miljö.
<b>Egenanvänd el</b>	Egenanvänd el är den el som produceras i en solcellsanläggning och som används av anläggningens ägare, bakom elnätsbolagets debiteringsmätare, och inte levereras ut på koncessionspliktigt nät. <sup>1</sup>
<b>ESS</b>	Energy Stationary Storage. Energilagring avsett för elnätsändamål.
<b>FTX</b>	Ventilationssystem. Mekanisk från- och tilluft med värmeåtervinning.
<b>FX</b>	Ventilationssystem. Mekanisk frånluft med värmeåtervinning via värmepump.
<b>Geo-FTX</b>	Ventilation där passiv förvärmning av uteluften sker med hjälp av borrhålsvatten (geoenergi).

<sup>1</sup> Energimyndigheten, *Egenanvänd el*. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/egenanvand-el/>. 2021-10-08

<b>IKN</b>	Icke Koncessionspliktiga Nät. Nät som inte behöver en nätkoncession för att få användas.
<b>IMD</b>	Individuell mätning och debitering
<b>Last-balansering</b>	Fördelning av kapacitet mellan ett antal olika enheter, med syfte att inte överbelasta totalsystemet och minimera/reducera effektoppar.
<b>Mikronät</b>	Delning av energi mellan byggnader, med tydlig gräns mot det "yttre" elnätet. Ofta elanvändare, elproducenter och energilagring.
<b>NDS</b>	Norra Djurgårdsstaden
<b>PIR-isolering</b>	Polyisocyanurat-isolering, fast polyuretanskum.
<b>Proprietär lösning</b>	Proprietär programvara har restriktioner gällande användning, modifiering eller kopiering. Den saknar de friheter som finns hos fri programvara; exempelvis får man sällan tillgång till källkoden, man får inte ändra i programmet, och man får inte ge bort kopior.
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller. Ett programmerbart styrsystem som har i syfte att styra maskiner eller funktioner av olika typer. Används vanligtvis inom industriell automation.
<b>SLB</b>	Second-life batterier. Återanvändning av batterier, i detta fall återanvändning av fordonsbatterier i stationära lagringsapplikationer.
<b>SoC</b>	State of Charge. SoC beskriver hur stor andel av batteriets kapacitet som kvarstår.
<b>Systemtjänst</b>	Samlingsnamn på funktioner för att upprätthålla ett stabilt kraftsystem. Exempel på system-tjänster är frekvensreglering och spännings-reglering. <sup>2</sup>
<b>VVC</b>	Varmvattencirkulation
<b>ÖBO</b>	ÖrebroBostäder
<b>U-värde</b>	Ett mått på värmeförluster, lågt U-värde innebär låga värmeförluster.
<b>Vehicle-To-Building</b>	System där batterierna i elbilar vid parkering, kan leverera el till byggnader vid behov.

<sup>2</sup> Svenska Kraftnät

## 2. Sammanfattning

Rapportens första del, **Energibesparande spetsteknik**, visar på erfarenheter och initiativ som finns inom Stockholms bostadsbolag gällande energibesparande spetstekniker, kompletterat med omvärldsbevakning och intervjuer utanför staden. De tekniker som presenterats i samtal med representanter för bolagen är en blandning av etablerade tekniker som har möjlighet att få större spridning eller användas på nya sätt, med mer nyutvecklade tekniker.

Gällande **klimatekonomi** diskuteras PIR-isolering, fönster med låga U-värden, täthet, trästommar, tunga stommar, och energieffektiva murade ytterväggar.

**Styrssystem och mätning** är ett tydligt fokusområde bland många av bolagen, och även i omvärldsbevakningen som genomförts. Kapitlet diskuterar den bästa placeringen av givare för adekvat styrning, AI och smart styrning, styrstrategins roll, effektstyrning av fjärrvärme, ventilationsstyrning utifrån behov, talande användargränssnitt istället för skärmar, och separat mätning av energikrävande applikationer.

**Värme och varmvatten** står ofta för en stor del av energianvändningen i nyproduktion, men bolagen ser även ett ökande behov av **kylning**. Kapitlet diskuterar geo-FTX, avloppsvärmeväxlare, tappvarmvattenlösningar, VVC-förluster och hur viktigt det är att dessa hanteras innan en byggnad är färdigställd, värmelagring under byggnad och värmelagring via saltlösningar.

Kapitlet om **el** är relativt begränsat då få av bolagen lyft el-initiativ, kanske för att området identifierats som mindre centralt för den totala energibesparingen i nyproduktion, men även då många spetstekniker som har bäring på el återfinns under andra kapitel, såsom Styrssystem och mätning eller Samverkan. Kapitlet diskuterar belysning och energieffektiva lösningar i tvättstugor.

**Samverkan** får en allt större roll, drivet av både teknikutveckling och insikter hos bolagen. Kapitlet diskuterar principer för fastighetsautomation baserad på industristandard, delningsekonomi för energi, Stockholm Flex och byggnader som flexibla effektresurser där byggnaden tillsammans med lagring och produktion ses som en helhet. Kapitlet avslutas med en diskussion kring behovet av bolagsöverskridande mål och styrning.

Flera av bolagen satsar på energibesparing genom **beteendepåverkan/nudging**, där man hjälper de boende genom information eller system som leder till att individen tar bättre beslut utifrån ett energianvändningsperspektiv. I kapitlet diskuteras informationsblad, energiagenter och att gå från gemensam betalning av tvättstuge-el till individuell.

Rapportens andra del, **Lagring av överskottsel från solet**, hanterar olika aspekter på möjligheten att tillvarata den el som produceras från solceller när produktionen är större än behovet. Det bedöms bli vanligare att fastigheter har egna batterier samt att energi kan tänkas lagras i form av vätgas som har genererats av överskott från solceller. Störst fokus i denna del ligger på batterilagring i och med att staden har studerat potentialen för system med vätgaslagring i en tidigare studie.

**Gällande olika typer av batterier så kommer Li-ion batterier att utgöra majoriteten av större batterilager för elnätsapplikationer eller inom fastigheter framgent.** Vid en eventuell upphandling av batterier bör Stockholms stad lägga extra tyngd på parametrar så som brandrisk och livstidskostnad, där de två mest lämpliga kemierna inom Li-ion-familjen, NMC (Nickel Manganese Cobalt) och LFP (Lithium Iron Phosphate), båda utgör goda alternativ. Utsläppen som framförallt tillverkningen, och i en mindre mån användningen, av batterier ger upphov till är ett debatterat ämne och det är svårt att sätta en specifik siffra på hur stora utsläpp som varje in-och urladdning av ett batterisystem ger upphov till i dagsläget.

**Batterilager i fastigheter kan ha en rad olika tillämpningsområden där dimensioneringen kan variera beroende på användningsområdet.** Berörda bolag och förvaltningar rekommenderas att undersöka samtliga tre områden nedan.

1. Tillgodose överskott från egenproducerad solet
2. Sänka effektoppar
3. Delta i systemtjänstmarknader

Att sänka effektoppar eller att delta i systemtjänstmarknader kräver i regel mer expertis och styrning av batteriet, och involverar för den sistnämnda kategorin (systemtjänster) ofta en tredjepart så som en aggregator. En aggregator sett ur ett elmarknadsperspektiv är en aktör som aggregerar exempelvis enskilda hushålls/fastigheters värmepumpar eller energilager till en flexibilitetsportfölj vars tjänster sedan säljs till marknaden. Ersättningen på systemtjänstmarknader är för tillfället hög och detta skulle, i alla fall på kort – och medellång sikt kunna utgöra en betydande inkomst för de aktörer som väljer att sälja efterfrågefleksibilitet till marknaden. Ett exempel på en systemtjänst är Fast Frequency Reserve (FFR) där olika aktörer kan bidra med effekt för att stabilisera elnätet om frekvensen i systemet sjunker under de rekommenderade värdena.

Dimensioneringen av batterilager sker i regel utifrån fallspecifika parametrar. Ett nyckeltal som används vid dimensionering av ett batterisystem tillsammans med solceller, alltså fall (1) i punktlistan ovan, är kvoten mellan batteriets kapacitet (kWh) och solcellernas installerade effekt [kWp]. En ratio av 1:1, alltså 1 kWh batteri per kW solceller, uppges vara ett bra riktmärke. Vid dimensionering utifrån någon av de två andra ovannämnda tillämpningsområdena finns dessvärre inga generella riktlinjer utan detta görs utifrån de förutsättningar som respektive byggnad har.

## 3. Introduktion

### 3.1 Bakgrund

Rapportens första del, **Energibesparande spetsteknik**, finns angiven i stadens budget för 2021; att *"tillsammans med stadsdelsnämnderna utreda spetsteknik för energieffektiva och klimatsmarta stadsdelar"*. Detta har efter avstämning mellan Miljöförvaltningen, miljöroteln och stadsledningskontoret förtydligats till att gälla berörda nämnder och bolag, inte stadsdelsförvaltningar.

En omfattande teknikutveckling ses inom de flesta områden som berör effektiv energianvändning. En mängd olika effektiva produkter och system testas. I större projekt som exempelvis Norra Djurgårdsstaden, som av staden är utpekad som en arena för ny teknik, studeras även nya lösningar som är gemensamma för byggherrarna i en eller flera av de kommande etapperna.

Rapportens andra del, **Lagring av överskottsel från solel**, finns också angiven i budgeten: *"Miljöförvaltningen ska tillsammans med berörda nämnder och bolagsstyrelser utreda möjligheten till energilagring för överskottsel från stadens egen elproduktion"*.

Solelproduktion hos stadens bolag och förvaltningar är ett prioriterat område med egen indikator i miljöprogrammet. Målet under innevarande miljöprogramsperiod är en ökning av solenergiproduktionen med närmare 100 procent från basårets 3 070 MWh (varav 650 MWh är solvärme) till 6 050 MWh. Solvärmeproduktionen förväntas inte öka nämnvärt och de tillkommande anläggningarna kommer i huvudsak att utgöras av solceller för elproduktion. Staden har drygt 100 egna anläggningar och nästan alla ingår i solkartan (<https://solkartan.miljo.stockholm.se/stockholms-solkarta/>). Solelproduktionen uppgick 2020 till 3 211 MWh. Av detta var 689 MWh (21 procent) överskott som levererades ut till nätet.

Den ekonomiska ersättningen för att leverera överskottsel till nätet täcker inte produktionskostnaden varför lokal energilagring av el inom byggnaden ska studeras i detta projekt. Ersättningsnivån utgör en begränsning och får till följd att takets hela tillgängliga area inte utnyttjas. Den dominerande tekniken är batterier för dygnslagring vilket även kan användas vintertid för laddning via nätet under låglasttid och urladdning sker under höglasttid för att undvika effektoppar. Vehicle to grid samt användning av begagnade fordonsbatterier är tekniker som diskuteras men är sparsamt tillämpade. Möjlighet till säsongslagring med ett bränslecells-baserat energisystem med vätgaslager beskrivs även kortfattat.



## 3.2 Syfte

Rapportens första del syftar till att ge en kunskapsöversikt om energibesparande spetsteknik för nyproducerade byggnader, och byggnadsbestånd. Översikten, baserad på erfarenheter från stadens egen organisation men även från extern omvärldsanalys, ska även vara en källa till inspiration för stadens bolag och förvaltningar om olika spetstekniker för kommande investeringar. Rapportens andra del syftar till att ge en kunskapsöversikt om teknik för lagring av överskottsel.

Målgruppen för projektets resultat är bolag och förvaltningar inom Stockholms stads organisation som bygger och förvaltar byggnader.

## 3.3 Avgränsningar

Rapportens första del ger en sammanställning av spetsteknik som kan rekommenderas vid nyproduktion och i förekommande fall i befintlig bebyggelse. Norra Djurgårdsstaden i egenskap av testbädd för innovativt byggande är ett exempel på tillämpning samt även hos stadens byggande och förvaltande bolag.

- Utredningen avgränsas till nyproduktion
- Utredningen avgränsas till tekniska energibesparande lösningar. Byggmetoder etc. ingår inte i uppdraget.
- Kostnader redovisas endast i det fall där beräkningar finns tillgängliga.

Rapportens andra del avgränsas till lagring av el från solcellsproduktion.

- Utredningen avgränsas till nyproduktion och befintlig bebyggelse.
- Utredningen avgränsas till lagring av el.
- Kostnader redovisas endast i det fall där beräkningar finns tillgängliga.

## 3.4 Metod

I rapportens första del görs en sammanställning från genomförda och planerade innovativa projekt i bland annat Norra Djurgårdstaden. Sammanställningen kompletteras med energibesparande spetstekniker som testats av bostadsbolagen och SISAB samt en omvärldsbevakning. Sammanställningen utgår ifrån de tekniker, tankar och erfarenheter som respondenterna gett uttryck för relaterat till spetsteknik inom följande områden:

- Klimatskal
- Styrsystem och mätning
- Värme, varmvatten och kylning
- El
- Samverkan (gemensamma lösningar mellan byggnader och mellan byggnader och energileverantörer)
- Beteende/nudging

I rapportens andra del görs en sammanställning av erfarenheter från genomförda projekt inom stadens verksamheter kompletterat med en teknisk omvärldsanalys.

Tabell 1 visar organisationer och ansvariga som har intervjuats.

Tabell 1. Personer som har intervjuats i studien.

<b>Person</b>	<b>Organisation</b>
Christina Salmhofer	Exploateringskontoret
Erica Eriksson, Mikael Norberg	SISAB
Gunnar Wiberg	Stockholmshem
Helena Durgé, Lisa Engqvist	Familjebostäder
Jasenska Hot	WSP, NDS
Jonas Tannerstad	ÖrebroBostäder (ÖBO)
Kenneth Alström	Falun (Kopparstaden)
Mattias Westerlund	SVOA
Pia Hedenskog	Svenska Bostäder
William Olofsson	Micasa
Jörgen Wallin	KTH

## 4. Beskrivning av olika spetstekniker och energilösningar som används inom Stockholms stad

I detta kapitel beskrivs olika energibesparande tekniker med mer eller mindre hög innovationsgrad, som används eller planeras att testas inom Stockholm stads bolag. Bolagens insikter och erfarenheter har kompletterats med en omvärldsbevakning med fokus på svenska bolag och svensk forskning. Flera av teknikerna har funnits ett antal år, medan andra är nya.

### 4.1 Klimatskal

#### 4.1.1 PIR-isolering

Som ett alternativ till konventionell isolering i väggar har PIR-isolering börjat användas. PIR (polyisocyanurat) är ett plastbaserat material med slutna celler som innehåller en gas med låg värmeledningsförmåga, vanligtvis koldioxid eller pentan. PIR-isolering har ett lambdavärde på ca 0,025 W/m,K jämfört med den traditionella isoleringens 0,035 W/m,K, vilket innebär att en tunnare vägg kan byggas med PIR-isolering och den ger samma isoleringsförmåga som en tjockare vägg med den traditionella isoleringen. Som exempel ger 100 mm PIR isolering samma isoleringsförmåga som 154 mm mineralull. Det kan vara en fördel när yttermätten för byggnaden begränsas av detaljplanen för att få en större uthyrbar area. Materialets uppbyggnad med slutna celler gör att det inte absorberar vatten och behåller därmed sin form vilket säkerställer dess isoleringsvärde på lång sikt.

I studien har det inte framkommit något om eventuella problem med fukt kopplat till PIR-isolering i jämförelse med traditionell isolering. Materialet är plastbaserat av typen *hårdplast* vilket innebär att materialet är brännbart men svårantändligt, inte ger brandspridning av egen kraft samt ej droppar vid brand. Materialet har i grunden brandklass E men brandklassen kan ändras beroende på ytskiktet.

PIR isolering kommer i lätta, styva och formstabila skivor som är enkla att hantera, montera och måttanpassa. Skivorna är inte flexibla och måste därför passa perfekt i konstruktionen, det tillsammans med en risk att materialet

krymper lite kan resultera i köldbryggor enligt Skanska<sup>3</sup>. Flera leverantörer skriver dock att det går att montera materialet garanterat fritt från köldbryggor.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Familjebostäder

Svenska Bostäder

---

#### 4.1.2 Fönster med låga U-värden

Fönster är en av delarna av klimatskalet som har de största värmeförlusterna. Låga U-värden hos fönster innebär lägre värmeförluster. En sänkning av U-värden i nyproduktion innebär därmed en energibesparing. Stadens bolag har dock blandade erfarenheter av att installera fönster med de allra lägsta U-värdena.

Standard för fönsters U-värde i nyproduktion ligger runt 1,0 eller strax därunder. Fönster med U-värde ner till 0,6–0,7 finns på marknaden. För dessa kan problem med frost på ytterglas noteras vid vissa betingelser vilket staden erfart i EU-projektet GrowSmarter. Stockholmshem påpekar även att, utöver ovan nämnda frost och isningsproblem, så medför ett minskat U-värde på fönster från exempelvis 0,9 till 0,7 en försumbar påverkan på byggnadens totala energianvändning. Man förordar istället ett helhetsgrepp gällande byggnadens U-medelvärde och täthet, mer om detta nedan.

Svenska Bostäder har upplevt att fönster med U-värde på 0,8 skiljer sig från fönster med högre U-värden, med avseende på vikt och konstruktion. Upplevelsen är att det kan bli fel med mekaniken, fönstret eller dörren skiftar läge, vilket kan resultera i svårighet att öppna eller stänga. Svenska Bostäder använder därför i större utsträckning fönster med ett U-värde kring 0,9.

Ett problem som upplevs med välisolerade fasader och fönster med låga U-värden är att det är svårt att få mobiltäckning. I nuläget kompromissas det genom att ett fönster har sämre U-värde än övriga fönster, och att mobilsignaler tar sig igenom det fönstret. Svenska Bostäder menar att det finns nya fönster som både släpper igenom mobilsignaler och samtidigt har bra U-värde, där Elitfönster nämns som tillverkare.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Svenska Bostäder

---

#### 4.1.3 Täthet

Byggnadens täthet har fått ökad uppmärksamhet under senare år gällande kopplingen till energieffektivitet men även minskade fuktskador. Det finns idag inget krav på täthet i BBR, det togs bort i BBR 2006 (BBR 12), däremot blir det ofta ett indirekt krav på lufttäthet för att kunna uppfylla kravet på energianvändning. För lågenergi- och passivhus finns krav på byggnadens lufttäthet, bl.a. för att det har identifierats som en viktig pusselbit i möjligheten till energieffektiv byggnad. Det finns även en branschstandard, ByggaL där det ges rekommendationer i lufttäthetsfrågorna och för byggandet av lufttäta byggnader.

<sup>3</sup>Skanska, *Inventering och Utvärdering av Högpresterande Isolering* (2010)

<https://static1.squarespace.com/static/5628e082e4b00d6d15772ab0/t/56d81e96356fb0d6f301437b/1457004184121/Isoleringsmaterial+-+Skanska.pdf> 2021-11-30

Ett bra riktvärde enligt ByggaL för en ny bostad är 0,2–0,5 l/s, m<sup>2</sup> A<sub>oms</sub> vid en tryckskillnad på 50 Pa. Jämförelsevis är 0,3 l/s, m<sup>2</sup> FEBYs krav för passivhus.

För en nyproducerad byggnad finns inga risker gällande fuktproblem med att bygga en för tät byggnad, så länge ventilationen är rätt dimensionerad. Tvärtom blir risken för fuktskador mindre ju mer lufttät byggnaden är då mindre volym kall luft kan komma in och orsaka kondens. Däremot har det uppmärksammats i en rapport från Energimyndigheten och Boverket att täta flerbostadshus i kombination med användning av köksfläkt kan leda till sådant undertryck att ytterdörren kan vara svår att öppna, vilket kan skapa problem vid bl.a. utrymning<sup>4</sup>.

---

Bolag med erfarenhet inom området

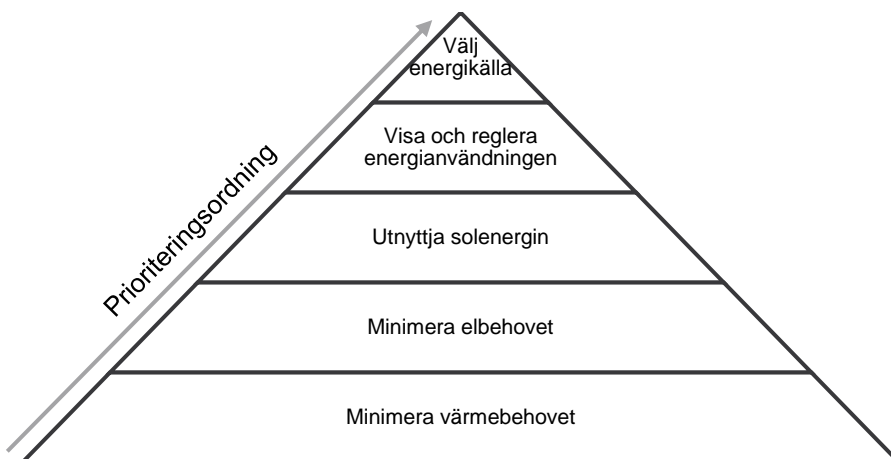
Familjebostäder

Svenska Bostäder (projekt Blå Jungfrun)

---

#### 4.1.4 Kyotopyramiden

Jasenka Hot på WSP, som varit extern granskare för energiberäkningar i NDS, poängterar att säkerställa klimatskal, isolering och täthet är de absolut viktigaste åtgärderna för energibesparing i nyproduktion, ofta viktigare än specifika spetstekniker. I projekten som Hot deltar i, i Norra Djurgårdsstaden, utgår det delvis ifrån Kyotopyramiden vid prioritering av energibesparande åtgärder i nyproduktion. I att minimera värmebehovet ingår åtgärder inom isolering, tätning, fönster och dörrar, minimera köldbryggor och att ha värmeåtervinning i ventilationssystemet. Viktigt att notera är att Kyotopyramiden inte nödvändigtvis speglar fastighetsekonomisk lönsamhet, där det exempelvis kan vara en relativt sett bättre investering att byta till en värmepump än att isolera.



Figur 1. Kyotopyramiden

#### 4.1.5 Trästommar

Trä har låg värmeledningsförmåga (lambdavärde) vilket gör att ytan på materialet blir behaglig att röra på, d.v.s. golv och väggar känns inte kalla på samma sätt. Det resulterar i en positiv effekt på den operativa

<sup>4</sup> Boverket & Energimyndigheten *Utvärdering av lågenergibygnader – en fallstudie* (2015)  
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2015/utvardering-av-lagenergibygnader-utan-bilagor.pdf>

inomhustemperaturen, samma inomhustemperatur upplevs varmare jämfört med ett ytskikt med hög värmeledningsförmåga och inomhustemperaturen kan därmed sänkas någon grad utan att komforten inomhus påverkas.

Trä har även en relativt hög värmekapacitet, ca 1 600 J/kg°C som innebär att träet kan lagra värme, vilket ger goda möjligheter till fasförskjutning och kan hjälpa till att balansera ut värmebehovet över dygnet, se vidare under avsnitt Tunga stommar nedan.

Trästommar ger framför allt mindre klimatpåverkan än andra traditionella konstruktionsmaterial. Utöver minskad klimatpåverkan finns andra incitament för att bygga hus i trä. Några exempel är kortare produktionstid, ingen uttorkningstid, minskat antal transporter på grund av materialets låga vikt och en bättre arbetsmiljö för de som bygger. Å andra sidan kan byggnader med trästomme innebära ett ganska komplicerat arbete vid projektering jämfört med betongstomme för att kunna uppfylla funktionskraven för brand-, ljud- och fuktsäkerhet.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Familjebostäder

#### 4.1.6 Tunga stommar

Tunga stommar innebär att stommen byggs av ett material med hög värmekapacitet, exv. betong och trä. En tung konstruktion kan lagra värme och därigenom jämna ut energibehovet över dygnet, vilket möjliggör laststyrning av värmebehovet. Tekniken är inte ny, men en del menar att den varit nedprioriterad på grund av låga energipriser, och att den nu får ett uppsving av klimatfokuset. Ett problem med metoden, som Stockholmshem upplevt, är svårigheten att justera styrsystemen för att undvika eftersläpning som medför höga temperaturer inomhus. Stockholmshems plusenergihus i NDS har stora mängder betong och här bör även livscykelaspekten beaktas. Plusenergihuset har en mycket god energiprestanda men motsvarande prestanda kan även uppnås med trästomme.

SBUF sammanfattar i "Teknik- och systemlösningar för lågenergihus – en översikt" fördelar med tunga stommar<sup>5</sup>, bland annat att *"ett tungt klimatskal har sannolikt en god utjämnade inverkan på inomhustemperaturen, vilket är gynnsamt för att undvika övertemperaturer. [...]"*.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Stockholmshem (projekt Backåkra 2)

#### 4.1.7 Energieffektiva murade ytterväggar

I två E2B2-projekt har en ny typ av energieffektiva murade väggar tagits fram<sup>6</sup>. Den nya typen av murad vägg innebär att man, till skillnad från traditionella murade väggar, använder ytförstärkning i form av stål, glasfiber eller kolfiber

<sup>5</sup> SBUF, *Teknik- och systemlösningar för lågenergihus – en översikt*.

<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/edc2669f-5df4-4b37-bc48-5803d2f6523f/SBUF%2012-23%20Teknik-%20och%20systeml%C3%B6sningar%20f%C3%B6r%20l%C3%A5genergihus%20-%20en%20C3%B6versikt.pdf>, 2021-10-08

<sup>6</sup> E2B2, *Demonstration av energi- och resurseffektiva murade ytterväggar*. <https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/klimatskal/demonstration-av-energi-och-resurseffektiva-murade-yttervaqgar/>, 2021-10-08

vilket möjliggör en tunnare vägg men med samma hållfasthet. På detta sätt får relativt mer isolering plats utan att den totala väggjockleken ökas jämfört med traditionellt murad yttervägg (s.k. dubbelmur eller homogen mur med tilläggsisolering). U-värdet kan sänkas med 20–25 procent. Resultaten kommer hittills från försök genomförda i labbmiljö, men tekniken kommer under 2021–2023 att testas genom demoprojekt.

## 4.2 Styrssystem och mätning

En allmän synpunkt när det gäller styrssystem är att de bör vara intuitiva för fastighetsskötaren, och inte bli för tekniska och komplexa. Ett exempel är att det kan vara komplext hur en frånluftsvärmepump och fjärrvärme ska regleras sinsemellan. Ett annat exempel kan vara hur man ska balansera spillvattenvärmeväxlare och solvärme i samma byggnad. Ett problem är att kunskapen inte alltid finns hos den entreprenör som sätter in systemet. När det gäller bostadsrättsföreningar som ska ta över byggnader är det ännu viktigare att det inte är för komplexa system, då de oftast har än mindre kunskap.

Som ett exempel planerar Svenska Bostäder ett projekt med solceller, solfångare, Geo-FTX<sup>7</sup> och avloppsvärmeväxlare. Det är enligt dem en teknisk utmaning att koppla ihop och samköra dessa system.

### 4.2.1 Styrning baserat på inomhustemperatur

Inom området styr- och reglerteknik finns en tydlig trend att övergå från styrning av framledningstemperaturen via en utomhusgivare till att styra med hjälp av en eller flera inomhusgivare för att uppnå en given inomhustemperatur. Bäst effekt får det i kombination med smart styrning, se stycke nedanför.

Flera av de intervjuade intressenterna nämner vikten av att styra på rätt parametrar, och bland annat Stockholmshem upplever att temperaturgivare ska placeras inomhus. Även Örebro Bostäder (ÖBO) satsar på att mäta (och styra) med inomhusgivare hellre än givare placerade utomhus. Liksom för övriga tekniska lösningar, poängterar bolaget vikten av att givarna går att ansluta till den gemensamma datastandarden, och att inte använda sig av leverantörens egna, proprietära lösningar.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Stockholmshem

---

### 4.2.2 Smart styrning, AI och effektbegränsning

Styrning med inomhusgivare är en viktig aspekt när Artificiell Intelligens (AI) och smart styrning börjar tillämpas. En stor mängd indata från till exempel temperaturgivare för rumsluft, koldioxidgivare, framledningstemperaturer, givare för inblåsningstemperaturer, aktuella effekter för el och värme, solinstrålning, väderprognoser m.m. samlas i en dataplattform. Med hjälp av algoritmer testas sig systemet framåt i en labbmiljö, även kallat en digital tvilling, för att få fram optimala styr signaler för de tekniska systemen och därefter går systemet in i skarpt läge och de framräknade signalerna skickas ut till det riktiga systemet. Allt för att uppnå bästa komfort till lägsta energikostnad. Med andra ord lär sig värmesystemet hur byggnaden fungerar, hur förändringar slår och kan utifrån det styra värmen på ett mer effektivt sätt samt uppnå en jämnare inomhustemperatur.

Familjebostäder har jobbat lite med AI-styrning. Enligt dem måste man handgripligen vara där och se att huset verkligen fungerar när man ska ha ett

<sup>7</sup> En variant av FTX där geoenergi används för att minimera frostbildning på värmeväxlaryrorna för att öka effektiviteten, se vidare förklaring av tekniken under avsnittet Geo-FTX.



AI-system. Att börja styra innertertemperatur kräver att huset är ordentlig injusterat.

Svenska Bostäder ska upphandla system med AI-funktioner. Systemet ska vara självlärande. Det handlar mest om att få larm vid rätt tillfälle och att det finns en automatisk funktion som styr bättre vid olika driftförhållanden. AI kan dock vara lite överflödigt för flerbostadshus, enligt Pia Hedenskog. Hon menar att det är viktigast att se till grunderna, det vill säga att det finns fungerande fjärrvärme och FTX.

SISAB har testat AI-driftsystemet SOLIDA (SISAB On-Line Intelligent Data Analysis). Systemet styr, optimerar och analyserar fastigheterna i realtid med hjälp av algoritmer. Arbetet har resulterat i goda effekter på inomhusmiljön och ekonomin. Tusentals temperaturmätare och koldioxidsensorer har kopplats till SOLIDA vilket lett till smartare kontroll av inomhusklimatet i fastigheterna. Systemet som driftsattes i januari 2020 på 75 fastigheter har cirka 20 000 sensorer i olika skolbyggnader. Medeltemperaturen har ökat en grad och felanmälningarna minskat med 23 procent, samtidigt som energiförbrukningen har minskat med cirka 5 procent på värmesidan och 15 procent på elsidan. AI-styrningen är så pass ny så justeringar måste hela tiden göras för att få den att fungera som man vill. Systemet utvecklas och blir bättre och bättre hela tiden, enligt SISAB.

Brf Kullen i Solna har testat Norrenergis tjänst "Värmesmart" som med hjälp av temperaturgivare inomhus och smart algoritm ger ett jämnare inomhusklimat och lägre värmekostnader. Systemet lär sig hur byggnaden fungerar och reagerar på förändringar i värmesystemet och styr på så sätt inomhustemperatur till önskat värde. BRf Kullen säger att tjänsten har hjälpt dem att minska värmebehovet men även att säkerställa rätt temperatur i lägenheterna och därmed minska klagomålen gällande kalla lägenheter. Därtill har föreningen sluppit ställa in värmekurvan själva i och med att allt fjärrstyrs. Norrenergi marknadsför tjänsten som att den bland annat ger ca 10 procent värmebesparing samt ett tryggare och jämnare inomhusklimat.<sup>8</sup>

---

Bolag med erfarenhet inom området

Familjebostäder

Svenska Bostäder

SISAB

---

### 4.2.3 Framtagande av styrstrategi

BeBo<sup>9</sup>-projektet "Integrerad smart styrning – Förstudie"<sup>10</sup> har identifierat en utmaning i att fastighetsägare har olika kunskapsnivå om styrsystem, vad som är en bra styrstrategi och hur man tar fram en. I ett pågående projekt försöker man svara på "hur bör en styrstrategi utformas", och man kommer att presentera en generell guide för detta. En styrstrategi är en viktig förutsättning

<sup>8</sup> Norrenergi, *Bättre inomhustemperatur till lägre kostnad* <https://www.norrenergi.se/om-oss/vara-kunder-berattar/battre-inomhustemperatur-till-lagre-kostnad/> 2021-11-29

<sup>9</sup> BeBo står för Beställargrupp Bostäder och är Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus.

<sup>10</sup> BeBo, *Integrerad smart styrning – Förstudie*. <https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/integrerad-smart-styrning-forstudie>. 2021-10-08

för en lyckad och energieffektiv styrning, och kan tolkas som en spetsprocess snarare än en spetsteknik.

#### 4.2.4 Effektstyrning av fjärrvärme

Fjärrvärmeeffekten kan reduceras genom att vid tidpunkter med högt tappvarmvattenbehov reducera framledningstemperaturen till radiatorsystemet under någon timme och då utnyttjas istället den lagrade energin i byggnaden. Dock premierar inte Stockholm Exergis taxa denna typ av styrning då effektkomponenten i taxan baseras på dygnsmedeleffekt. Stockholm Exergi vill även tillämpa en så kallad aktiv effektstyrning hos stadens bostadsbolag. Det innebär att bolagen efter signal från Stockholm Exergi ska reducera fjärrvärmeeffekten i sina undercentraler och helst vill Stockholm Exergi göra den styrningen centralt. Enligt uppgift kan det röra sig om ca 200 gånger per år. Stockholm Exergi planerar att ge 5 procent rabatt på effektpriset i ersättning till fastighetsägaren för denna möjlighet.

Ronnebyhus har goda erfarenheter från att låta energibolaget effektstyra värmen i deras fastighetsbestånd. Det började med att testa att stänga av värmesystemet under 8 timmar en kall vinternatt och märkte att inomhustemperaturen sjönk med max en grad. Därefter gjordes en pilot i ett miljonprogramsområde från 60-talet i Kallinge. Fjärrvärmeundercentralen byttes så att värmeväxling mellan fjärrvärmesystemet och byggnadens värmesystem kunde ske, vilket medför att energibolaget kan effektstyra med så kallad lastbalansering. Ronnebyhus uppger att komforten inomhus har behållits trots nedstängt värmesystem under två timmar på natten, och att förbrukningen sänktes från 40 till 20 MWh under perioden samtidigt som de boende knappt märkte temperatursänkningen på en halv till en grad. Ronnebyhus var nöjda med resultatet från piloten och har nu bytt ut ca hälften av fastighetsbeståndets fjärrvärmecentraler för att möjliggöra effektstyrning, de planerar även att fortsätta med resten av beståndet. Ronnebyhus uppger att effektstyrningen och byte av undercentraler minskat behovet av köpt värmeenergi med 25 % samtidigt som energibolaget har minskat sitt behov av att elda i sin oljebaserade spetspanna. Den ekonomiska vinsten delas lika mellan båda parter.<sup>11</sup>

#### 4.2.5 Ventilationsstyrning

Enligt Pia Hedenskog på Svenska Bostäder borde normerna ses över för garage och utrymmen där människor sällan vistas, för såväl ventilation som temperatur. I nuläget sker ganska stora ventilationsförluster i den här typen av utrymmen då de oftast är varmare än de behöver samt har en överdimensionerad ventilation. Cykelutrymmen kanske inte behöver ha mer än 10 grader som exempel. Där vore det bättre att styra ventilationen på en frånluftstemperatur. Detta är ett exempel på att man behöver gå in i alla detaljer för att en byggnad ska klara målet om energiprestanda.

Det innovatva skulle vara att man går in och forskar på hur mycket ventilation som behövs i dessa utrymmen då stora mängder värme förloras i ventilationen trots värmeåtervinning. SBUF har i projektet "Behovsstyrd ventilation och

<sup>11</sup> Sveriges Allmännyttas, *Lyckad effektstyrning i Ronnebyhus*  
<https://www.sverigesallmannnytta.se/vad-vi-qor/lyckad-effektstyrning-i-ronnebyhus/> 2021-11-30

värmeåtervinning för bostadshus<sup>12</sup> konstaterat att behovsstyrd ventilation kan minska värmebehovet i bostäder med 15–25 procent jämfört med konstanta flöden, men att det är en svårare utmaning att få till i bostadshus bl.a. i och med den varierande lasten, drifttider och aktiviteterna. I projektet påpekas att BBR begränsar möjligheten att använda metodiken fullt ut i och med kravet på minst 0,35 l/s, m<sup>2</sup> oavsett hur många personer som vistas i byggnaden. BBR medger dock att man kan sänka luftflödet till 0,10 l/s, m<sup>2</sup> då byggnaden står tom eller rummet inte används, vilket kan användas som energieffektiviseringsmöjlighet. Det lyfts även att behovsstyrda system är mer komplexa, och även dyrare både i kapitalinvestering och för drift och underhåll. Slutligen poängteras i studien att det är viktigt att ventilationen styrs utifrån samtliga parametrar koldioxid, temperatur och skillnad mellan absolut fuktinnehåll inne och ute kombinerat, inte bara en av parametrarna.

ÖBO har identifierat icke-proprietär styrning av ventilation som en möjlighet till energibesparing. Bolaget har ägnat tid och kraft åt att identifiera leverantörer som kan leverera ventilation och givare som kan kopplas upp mot ÖBO:s eget styrningssystem. ÖBO delar gärna med sig av erfarenheter kopplat till detta, exempelvis kring upphandlingsmetodik och vikten av tydliga krav.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Örebro Bostäder

#### 4.2.6 Home energy solution

Med Home energy solution-tekniken visualiseras lägenhetens förbrukning för el och värme och möjlighet till viss styrning kan finnas. Det är en liten enhet som monteras i varje lägenhet. Tekniken har testats i GrowSmarter, ett EU-projekt för smarta urbana lösningar, och tidigare hos Svenska Bostäder. Det är inget som ser ut att tillämpas i någon större omfattning framöver då nyttan inte motsvarar kostnaden.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Svenska Bostäder

#### 4.2.7 Kartläggning och uppföljning

Jasenka Hot på WSP poängterar att det är viktigt att se energibesparing som en helhetsfråga, inte bara vad vi kan stoppa in tekniskt. Att hålla energianvändning nere kräver aktivt arbete, och det krävs uppföljning. Utöver spetsteknik i form av tekniskt smarta byggnadslösningar, behövs spetsteknik för uppföljning. Idag är det många fastighetsägare som har bristande energiuppföljning, ofta till följd av dåliga, krångliga eller tidskrävande uppföljningsmöjligheter. För att möjliggöra uppföljningen behövs först och främst ordentlig mätning och undermätning men även digitaliserade mätvärden och insamling. I kvarteret Brofästet i NDS har man implementerat vad man själv uppfattar som en bra uppföljningsmetod, vilken bör gå att använda i flera byggnader i staden.

<sup>12</sup> SBUF, *Behovsstyrd ventilation och värmeåtervinning för bostadshus*.

[https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/c81a13c3-6da8-4e0b-bf46-d3982a960de4/%2019-02\\_Behovsstyrd%20ventilation%20och%20v%C3%A4rme%C3%A5tervinning%20%C3%B6r%20bostadshus.pdf](https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/c81a13c3-6da8-4e0b-bf46-d3982a960de4/%2019-02_Behovsstyrd%20ventilation%20och%20v%C3%A4rme%C3%A5tervinning%20%C3%B6r%20bostadshus.pdf)  
f. 2021-10-08

---

Bolag med erfarenhet inom området

WSP

---

#### 4.2.8 Talat gränssnitt

Skärmens roll i energibesparingar kommer att få en nedprioriterad betydelse, tror ÖBO. Med smarta styr- och mätsystem som medför att "husen vet mer om sig själva än vad vi kan komma på", kan en möjlig och rimlig utveckling bli ett talat gränssnitt, där huset analyserar själv och sedan kommunicerar analysen till teknikern. Öbo har testat det talade gränssnittet i egna ställverk, med gott resultat.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Örebro Bostäder

---

#### 4.2.9 Mätning av elvärme i hängrännor

Elvärme i hängrännor/stuprör står på ibland i onödan. Syftet med elvärmens är att undvika risk för istappar. Det bör finnas separat mätning och styrning på det.

#### 4.2.10 Mätning av U-värden

Familjebostäder har ställt upp med ett projekt där de testar en metod från Saint Gobains för att mäta U-värdet på en färdigställd byggnad. Metoden fungerar så att man värmer upp ett rum i en byggnad. Därefter stängs värmen och ventilationen av och nedkylningsförloppet följs sedan i detalj med hjälp av sensorer på ytterväggens olika byggdelar samt ytorna mot omkring liggande lägenheter och utrymmen. Mätningen skall äga rum efter solnedgång och utförs lämpligen under vinterhalvåret. Med hjälp av information från sensorerna och olika beräkningar kan sedan U-värde tas fram.

För mätningarna har Saint-Gobain utvecklat ett kompakt kit. Denna mätning tar en natt och resultatet har god överensstämmelse med mätningar som görs enligt ISO 9869-1, som dock tar många dagar att genomföra. Metoden kan bl.a. användas för att kartlägga statusen på en befintlig byggnads klimatskal och verifiera prestanda av en genomförd åtgärd.

Familjebostäders erfarenhet är att vid tester så visar mätningen ett högre U-värde än vad som var beräknat. Även Svenska Bostäder ska ha testat metoden i fastigheten Blå jungfrun under byggskedet men har inte mätt U-värden för den färdiga byggnaden.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Familjebostäder

---

## 4.3 Värme och varmvatten samt kylning

### 4.3.1 Geo-FTX

Ett sätt att minska värmeeffektbehovet är att minska behovet av avfrostning i ventilationen. När det fryser på värmeväxlarytorna kan mindre eller ingen värmeåtervinning ske, och mer spetsenergi behöver därför användas för att hålla inomhustemperaturen. Spetsenergi är oftast den energi som är både dyrast och har sämst miljö- och klimatprestanda. Genom att förvärma den inkommande ventilationsluften kan frostbildning elimineras. HSB har testat en lösning på detta som de kallar HSB FTX, där en passiv förvärmning av uteluften sker med hjälp av borrhålsvatten (geoenergi). Detta leder till en kostnads- och energieffektiv reduktion av effekttoppar samtidigt som det minskar energibehovet under de kallaste dagarna. Det understryks att förvärmningen sker med geoenergi utan värmepump, en relativt liten investering på omkring 100 kr/kvm som beräknas ha en pay-off på 10 år för ett vanligt flerbostadshus<sup>13</sup>. Lösningen är beräknad att sänka effektbehovet för fjärrvärme med 20-25 kW samt energianvändningen med 5-8 kWh/kvm,år jämfört med vanlig FTX utan förvärmning<sup>14</sup>. Jasenka Hot, som följer upp energiprestanda för projekt i NDS, understryker att hon verkligen tror på Geo-FTX, då de har sett att lösningen säkerställer att FTX fungerar korrekt även vintertid. Svenska Bostäder tittar närmare på lösningen och har idag tre anläggningar totalt och fler planeras i nyproduktion. Som bonus kan en viss kyleffekt uppnås sommartid. I de studier som BeBo har gjort har vintrarna inte varit riktigt kalla, och de påpekar att mer undersökning behövs vid lägre temperaturer (kallare än -11 °C) för att se om systemet klarar den ökade belastningen.

BeBo har en pågående förstudie, kallad "Geotermisk förvärmning - Inventering, analys av mätdata vinter och sommar samt dimensioneringsråd"<sup>15</sup> vilken bland annat syftar till att ta fram information om hur påfrysning ska undvikas genom bland annat rätt dimensionering.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Svenska Bostäder

---

### 4.3.2 Djupgeotermi

Geoenergi ett samlingsbegrepp för flera olika tekniker för att utvinna eller lagra värme och kyla i berg, jord, grundvatten och ytvatten.

Den vanligaste varianten i Sverige är bergvärmeanläggningar för uppvärmning av villor men även en stor mängd större fastigheter använder geoenergi för sitt inomhusklimat eller energiåtervinning. Gemensamt för geoenergianläggningarna är att de arbetar på ett djup om 0 till cirka 400 meters djup och att bara en mycket liten av energin som utvinns kommer från jordens

<sup>13</sup> BeBo, *Nybyggt flerbostadshus med förvärmning med borrhålsvatten - HSB-FTX geoenergi utan värmepump* (2015)

<https://www.bebostad.se/library/1835/utvaerdering-av-nybyggt-flerbostadshus-med-foervaermining-rapport.pdf>

<sup>14</sup> BeBo, *Geotermisk förvärmning av ventilation, HSB FTX – Utvärdering av drift*

<https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/geotermisk-forvarmning-av-ventilation-hsb-ftx-utvardering-av-drift> 2021-11-30

<sup>15</sup> BeBo, *Geotermisk förvärmning - Inventering, analys av mätdata vinter och sommar samt dimensioneringsråd.*

<https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/geotermisk-forvarmning-forstudie>. 2021-10-08

inre. Istället är det solenergi som lagrats i marken som används. Systemen är skalbara från små till stora fastigheter.

Djupgeotermi kallas tekniker som arbetar djupare ner under marken, man brukar tala om ett djup som överstiger cirka 500–1 000 meter. På de här djupen kommer en allt större andel av värmen i berget härstamma från jordens inre. Med ökande djup ökar också temperaturen längs en så kallad geotermisk gradient. De högsta gradienterna (45–60 °C/km) återfinns i tektoniskt aktiva områden, exempelvis Island eller Indonesien. De lägsta (15–30 °C/km) finns på de tjocka, stabila urbergssköldarna på kontinenternas inre områden. Ett sådant område är den baltiska urbergsskölden där Sverige ligger. Eftersom kostnaden för att borra ökar med ökande brunnsdjup har den geotermiska gradienten mycket stor betydelse för en anläggnings investeringskostnad. Globalt finns cirka 14 000 MW<sub>e</sub> och cirka 30 000 MW<sub>t</sub> (utan värmepumpar) installerad effekt. I Sverige finns enbart en anläggning för djupgeotermi, Gunnesboverket i Lund med en installerad effekt på 47 MW<sub>t</sub>.

Systemen är ofta storskaliga och används för produktion av elektricitet eller värme. Typiskt sett krävs temperaturer på i storleksordningen 80-250 °C för de olika typerna av djupgeotermi.

Vanligtvis borrar 1000–3000 meter djupa brunnar ner till en het akvifer, ett marklager som innehåller stora mängder utvinningsbart grundvatten. För att kunna bygga en konventionell anläggning för djupgeotermi krävs en akvifer, ett marklager som innehåller stora mängder utvinningsbart grundvatten, på tillräckligt stort djup för att rätt temperatur ska kunna erhållas. Det ställer stränga krav på de geologiska förutsättningarna. Även om djupgeotermi används med stor framgång i många länder kan man konstatera att sådana förutsättningar nästan helt saknas i Sveriges berggrund som domineras av tät, kristallint urberg. Potential kan exempelvis finnas i Skånes sedimentära berggrund eller Siljan-ringen.

Ibland används tekniker för att öka vattenmagasinets förmåga att avge vatten. Det kan exempelvis handla om hydraulisk uppspräckning eller kemisk behandling för att vidga sprickor. System som är beroende av sådana tekniker kallas EGS, Enhanced Geothermal Systems. En särskild typ av EGS-system, HDR (Hot Dry Rock) har de senaste åren fått stor uppmärksamhet i Norden, bland annat eftersom ST1 har byggt en sådan anläggning i Helsingfors. Idén med den här typen av system är att två brunnar borrar till mycket stort djup. Genom hydraulisk spräckning skapas ett system av sprickor i berget mellan brunnarna. Vatten pumpas sedan genom det varma berget från den ena brunnen till den andra och värms upp till cirka 100 °C. ST1:s anläggning planeras producera 40 MW värme till Helsingfors fjärrvärmenät och enligt deras egen uppskattning kostar djupgeotermi HDR EGS cirka 90 MSEK/MW.

Fördelen med metoden är att den gör det möjligt att använda djupgeotermi även på platser där djupa akviferer saknas, till exempel Sverige. Systemen har låga driftkostnader och mycket lång livslängd. Potentialen är stor och IEA bedömde 2011 att djupgeotermi skulle växa de kommande åren från 10 GW till 200 GW, varav cirka hälften skulle komma från EGS.

ST1:s projekt i Finland har skapat ett intresse för HDR EGS även i Sverige och förstudier pågår på flera platser i landet. I praktiken befinner sig dock tekniken fortfarande på forskningsstadiet, med bara en handfull aktiva anläggningar i världen (HDR EGS), och flera osäkerheter kvarstår fortfarande. Exempelvis är det svårt att förutse och styra uppspräckningen av berggrunden mellan

brunnarna. Flödet genom berget måste bli tillräckligt stort för att anläggningens önskade kapacitet ska kunna uppnås. Samtidigt får det inte vara så stort att vattnet når utvinningsbrunnen innan det har hunnit bli tillräckligt varmt. Spricksystemet måste omfatta en tillräckligt stor bergvolym för att önskad värmeväxlingskapacitet ska erhållas utan att berget kyls ner för mycket under systemets livslängd. Eftersom dessa parametrar är svåra att förutspå är det inte förrän båda brunnarna är borrade och uppspräckningsprocessen genomförd som systemets slutgiltiga kapacitet blir känd. Detta sistnämnda hinder medför att anläggningarna i dagsläget är mycket osäkra investeringar, då önskad kapacitet kanske inte uppnås trots nedlagt kapital.

### 4.3.3 Avloppsvärmväxlare

Avloppsvärmväxlare tar tillvara energi ur avloppsröret som går ut från en byggnad till det allmänna avloppsnätet. Temperaturen på avloppsvattnet är ca 20–25 grader och den återvunna energin nyttjas för att förvärma det inkommande kallvatten som ska värmas till tappvarmvatten. Lokalt placerade avloppsvärmväxlare i byggnader är en teknik på frammarsch men utvecklingen går relativt långsamt.

Generellt sett finns det få installationer av detta slag i Sverige men i NDS är det en förhållandevis vanlig lösning och det finns i storleksordningen cirka tio installationer hos stadens bolag. Besparingen är ca 3–5 kWh/m<sup>2</sup>. Om man även kyler utgående avloppsvatten med en värmepump, blir besparingen betydligt större. Den senare lösningen har inte testats hos stadens bostadsbolag. Allmännyttan i Växjö har vid renovering av befintligt bestånd i miljonprogramsområdet Araby installerat värmeåtervinning inklusive värmepump, där man uppmätt 94 procents återvinning av energin i spillvattnet<sup>16</sup>.

Problem med igensättning och en del oväntade underhållskostnader har noterats i vissa projekt i Stockholm. I etappen Kolkajen i NDS studeras potentialen för återvinning ut avloppsvatten på byggnadsnivå, på områdesnivå med en gemensam central samt möjligheten för återvinning till öppen fjärrvärme.

Stockholmshem har positiva erfarenheter av värmeåtervinning från spillvatten, och har sett energibesparingar på runt 4 kWh/m<sup>2</sup>. Vilken produkt som väljs är viktigt, men även att installationen genomförs helt korrekt. Att undvika stopp är avgörande för att kunna räkna hem investeringen. Jasenka Hot, som har mätt och följt upp flera projekt i NDS med avloppsvärmväxlare, menar att man sett blandade resultat, där vissa har problem med systemet och andra inte – vilket speglar ovan respondenters erfarenheter. I och med att avloppsvärmväxlare i vissa projekt inte levererat vad som utlovats kan teknikutveckling behövas, enligt Christina Salmhofer.

Jörgen Wallin, forskare inom termodynamik på KTH, menar att det gäller att veta vad man vill ha ut från anläggningen och dimensionera den utifrån det. Fram tills nu har de som satsat på avloppsvärmväxlare köpt en sådan och sedan hoppats på det bästa, enligt Wallin. Det är viktigt för driftsäkerheten att man bygger anläggningen med översvämningsskydd och även har med underhåll i sin kalkyl.

<sup>16</sup> Sveriges Allmännyttan, *Här återvinns värmen från duschvattnet – halverad energianvändning i Växjö.*  
<https://www.sverigesallmannnytta.se/har-atervinns-varmen-fran-duschvattnet-halverad-energianvandning-i-vaxjo/>.  
 2021-10-14



Det finns även duschvärmväxlare, som återvinner värmen enkom från duschvattnet. Dessa har studerats av SBUF<sup>17</sup>, med resultat att de för närvarande inte är ekonomiskt lönsamma (återbetalningstid 20 år i flerbostadshus), men att de kan ge en energibesparing på upp till 13 procent, vilket påpekas är en markant minskning.

Avloppsvärmväxling har följaktligen en påverkan på den specifika byggnadens avloppsvattentemperatur. SVOA har i ABVA<sup>18</sup> formulerat övre och undre temperaturgränser för avloppsvatten enligt paragrafer nedan:

- 11 § Vatten som levereras genom den allmänna anläggningen får utnyttjas för värmeutvinning endast om Stockholm Vatten och Avfall efter ansökan skriftligen medger detta.
- 18 § Vatten som utnyttjats för värmeutvinning får avledas till den allmänna avloppsanläggningen endast om Stockholm Vatten och Avfall efter ansökan skriftligen medger det.
- 20 § Ånga eller varmvatten med högre temperatur än 45°C får inte tillföras i förbindelsepunkten.
- 23 § Värmeuttag ur avloppsvatten får inte ske så att temperaturen i utsläppt avloppsvatten underskrider temperaturen i det av Stockholm Vatten och Avfall levererade dricksvattnet.

Skulle SVOA få in för kallt vatten till reningsverket påverkas den biologiska reningen i första hand. Reningen skulle då gå långsammare, vilket i sådana fall behöver kompenseras genom att antingen förbilda mer vatten (d.v.s. mindre andel av inkommande blir biologiskt renat) eller förlänga uppehållstiden på andra sätt genom mer recirkulations- eller returslampumpning, större andel luftad zon (mer energi till blåsmaskiner) och tillsats av extern kolkälla för att snabba på efterdenitrifikationsprocessen. SVOA poängterar även att ansvarsfrågan gällande underhåll av avloppsvärmväxlarna behöver utredas, d.v.s. om ansvaret ligger på fastighetsägaren eller SVOA.

SVOA bedömer dock att utbredningen av lokal värmväxling i fastigheter måste vara ganska omfattande innan de skulle märka något i inkommande avloppsvatten. Det finns även andra parametrar som påverkar inkommande avloppsvatten som SVOA arbetar med, t.ex. att minska andelen tillskottsvatten (som är det vatten i avloppsnätet som inte är spillvatten t.ex. nederbörd, grundvatten och läckage från vattenledningar).

---

Bolag med erfarenhet inom området

Stockholmshem

#### 4.3.4 Tappvarmvatten

Tappvarmvatten utgör ca 20-25 % av en byggnads energianvändning och ligger enligt schablon på 25 kWh/m<sup>2</sup> för flerbostadshus och 20 kWh/m<sup>2</sup> för småhus. Det verkliga användandet har visat sig variera kraftigt och till stor del vara beteenderelaterat. BeBo har ett pågående projekt i ämnet där de analyserat 29 st nyproducerade flerbostadshus med snålspolande armaturer och individuell debitering och sett att energianvändningen för tappvarmvatten varierat mellan

<sup>17</sup> SBUF, *Duschvärmväxlars återbetalningstid*. <https://www.sbuf.se/Artikel?article=43c8c870-3039-4a6a-b1c2-07e50d341e37>. 2021-10-08

<sup>18</sup> Allmänna Bestämmelser för Vatten- och Avloppsanläggningen i Stockholm och Huddinge



6–23 kWh/m<sup>2</sup>, A<sub>temp</sub><sup>19</sup>. De uteslöt felkällor som mätarfel, vakanta lägenheter och felaktiga beräkningar och kom istället fram till att variationen låg i brukarbeteendet.

En svensk standard har tagits fram för klassning av tappvarmvattenarmaturer för energianvändningen. A-klassade armaturer sparar ca 5 kWh/m<sup>2</sup> jämfört med en ”standardblandare”. Tekniken införs sakta med säkert.

Energimyndigheten skriver i ett faktablad kring effektiva armaturer att byte till dessa kan ge en besparing på ca 40 % av både energi- och vattenförbrukning, motsvarande ca 1 000 – 1 600 kWh / hushåll och år. Dessa effektiva armaturer är både snålspolande och temperaturreglerade. Det senare innebär att mittenläget på kranen har en lägre framledningstemperatur än normalt och önskas ljummet vatten måste kranen aktivt föras åt sidan. Önskas hett vatten förs kranen ännu mer åt sidan och fjädrar automatiskt tillbaka till ljummet vatten när den släpps.<sup>20</sup>

I en fastighet i Albano har Svenska Bostäder satt in sensorer i duschen, vilket innebär att personen måste hålla fram handen för att starta duschen som även stängs av automatiskt. På så sätt hoppas de minska vattenanvändningen vid dusch. Som referens finns ett likvärdigt hus bredvid som inte har dessa sensorknappar och försöket ska utvärderas under 2022.

Stockholmshem rekommenderar luftinblandning i tappvattnet vilket är en form av snålspolning, vilket man sett medfört en minskad tappvattenanvändning med 20 procent.

#### 4.3.5 VVC-förluster

VVC (varmvattencirkulation) är ett cirkulationssystem som finns i de flesta byggnader och innebär att väntetiden för att få varmt vatten i kranen blir kort samt att risken för legionella minimeras. I detta system uppstår värmeförluster, ofta på grund av långa ledningsdragningar och bristfällig isolering. Dessa förluster är ett uppmärksammat område och ofta underskattade i projekteringskedet vilket påverkar verifieringen av byggnadens energiprestanda negativt. Det är i första hand vid större renoveringar och vid nyproduktion som dessa kan reduceras genom ny teknik och bättre genomtänkt draging och isolering.

I BeBo-projektet, *VVC-lösningar – Förstudie*, utvärderas ”ej konventionella VVC-lösningar ur ett energiperspektiv för att ge fastighetsutvecklare och fastighetsägare av flerbostadshus en bättre förståelse för dessa system och dess eventuella energivinst”<sup>21</sup>. Studien har kommit fram till att förlusterna från VVC-kretsen är betydligt högre än förväntat, ca 17 kWh/kvm, år, med en reservation för att vissa förluster istället kan härröra från förluster i undercentral och värmesystem som är igång även sommartid.

I ett annat BeBo-projekt *Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter* visar resultatet att VVC-förluster variera mellan 2,3 och 28 kWh/m<sup>2</sup>A<sub>temp</sub>, år där de största förlusterna uppmättes i två

<sup>19</sup> BeBo, *Normalisering av tappvarmvattenanvändning*, (2018)(2018)

[https://www.bebostad.se/library/2825/2018\\_05-foerstudie-normalisering-av-tappvarmvattenanvaendning-ver-14-delrapport.pdf](https://www.bebostad.se/library/2825/2018_05-foerstudie-normalisering-av-tappvarmvattenanvaendning-ver-14-delrapport.pdf)

<sup>20</sup> Energimyndigheten, *Effektiva kranar sparar energi*

<file:///C:/Users/SEQNQQ/Downloads/Effektiva%20kranar%20spar%20energi%20-%20faktablad.pdf> 2021-11-30

<sup>21</sup> BeBo, *VVC-lösningar – Förstudie*. <https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/vvc-losningar-forstudie>. 2021-10-11

nybyggnationer (år 2012)<sup>22</sup>. Anledningen till detta tros vara ökad ledningslängd på VVC:n på grund av ökade krav på kort väntetid. Däremot upptäcktes alltför ofta att värmesystemet var igång även sommartid, vilket orsakade stora förluster. Studien lyfter vikten av smart ledningsdragningsplanering och samråd mellan VVS-projektör och arkitekt i tidigt skede för att minimera ledningslängd och därmed förluster. Den belyser även att de största förlusterna sker i vertikala ledningar dragna i markkulvert och att horisontella ledningar därför ska prioriteras så långt som möjligt.

#### 4.3.6 Värmelagring under byggnad

Fredrika Bremergymnasiet i Haninge har ett värmesystem som är baserat på solfångare, värmelager, FTX-ventilation och värmepumpar. Under byggnaden finns ett två meter djupt värmelager av stenmjöl. Byggnaden är på totalt 9 500 kvm och har utrustats med 1 050 kvm solfångare. Solfångarna är en del i energilagringssystemet, vilket lagrar sommarens solenergi i det 6 000 kvm stora lagret. Energilagringssystemet minskar den köpta energin och fastighetens klimatpåverkan minskar samtidigt som långsiktiga kostnader minskar. Vid Fredrika Bremergymnasiet beräknas man göra en årlig besparing på 1 080 000 kronor. Energiförbehovet har beräknats till cirka 28 kWh/kvm/år köpt el för värme, varmvatten och fastighetsel, varav 15 kWh/kvm/år är själva värmen. Lösningen har gjorts på andra ställen också.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Norconsult (projekt Fredrika Bremergymnasiet)

#### 4.3.7 Saltlösningar för energilagring

Ett energilagringssystem flyttar energiproduktionen till tidpunkter på dygnet när det är mera ekonomiskt och praktiskt fördelaktigt att producera värme, kyla och el. Dessutom blir det möjligt att slippa investeringar i fler kyl- och värmepumpar när behovet ökar.

Familjebostäder ser saltlösningar för att lagra kyla som en intressant lösning. De har dock inte testat det än.

Tekniken bakom saltlagret kallas på engelska för PCM, Phase Change Materials, och bygger på en enkel grundprincip: när materialet går från en fas till en annan – som när is smälter till vatten, eller vatten fryser till is – frigörs eller absorberas energi. En fördel med ett saltlager är också att det är tre gånger mindre än ett vattenlager. Jämfört med organiska värmelager (t.ex. paraffin), som är brandfarliga och dyrare, är oorganiska som salhydrater billigare och brandsäkra. Däremot är de mer korrosiva och man måste vara noga med de material man använder i rören där saltlösningen kan tränga in.

#### 4.3.8 Binda samman byggnader med glaskonstruktion

Att binda samman två eller fler byggnader via en glaskonstruktion kan vara energibesparande, men också en åtgärd för att möjliggöra ett behagligt "utomhus"-klimat. Den inglasade innergården är inte uppvärmd i sig. Det är vanligt att denna typ av lösning byggs vid seniorboenden. Ett av flera exempel är brf Traversen i Trollhättan, se Figur 2. Denna lösning kan tänkas skapa ett

<sup>22</sup> BeBo, Kartläggning av VVC-förluster i flerbostadshus - mätningar i 12 fastigheter (2012)  
<https://www.bebostad.se/library/1893/slutrapport-kartlaeggnig-av-vc-foerluster.pdf> 2021-11-30

mildare utomhusklimat för de byggnadskroppar som är innanför glaskonstruktionen. Detta skulle kunna resultera i ett minskat värmebehov för de lägenheterna med fasader orienterade mot den inglasade innergården.



Figur 2. Illustration över brf Traversen, Trollhättan.

#### 4.3.9 Behov av kyla

SISAB och Micasa har konstaterat att med stigande utomhustemperaturer har det uppstått ett behov av komfortkyla för deras verksamheter. Detta är i ett tidigt skede och olika tekniker studeras. På sikt kan det även uppstå behov av kyla i bostäder vilket kommer att innebära en ökning av energianvändningen. Ökningen kan bli betydande. Kylbehovet uppstår under sommartid och eventuell el som kan krävas utgör ingen belastning på elnätet då belastningen sommartid är låg. Mycket hänger på arkitektur när det gäller hantering av värme och kyla.

Tekniker som SISAB testar är centralt styrda motordrivna markiser samt nattkylning, vilket innebär att byggnaden kyls nattetid genom att ventileras med sval uteluft. SISAB har även använt fjärrkyla och borrhål för frikyla.

För Micasa är ett hinder att kunna avskärma solen innan den når byggnaden. Ibland är det svårt att sätta dit solavskärmning då stadsbyggnadskontoret ofta anser att utvändigt solavskärmning förvanskar utseendet på byggnaden. Att sätta in kyla ökar energiförbrukningen. Äldre mår inte bra av inomhustemperaturer över 26 grader.

---

Bolag med erfarenhet inom området

SISAB

## 4.4 EI

Generellt upplevs elanvändningen vara förhållandevis låg i mycket av nyproduktionen. De största användningsområdena identifierar Öbo till tvättstugan, ventilation och belysning (även yttre).

### 4.4.1 LED-belysning

LED belysning är standard i nyproduktion idag och är 80–90 procent effektivare än glödlampan. Ofta förekommer även någon form av styrning t.ex. genom närvaro. Den gamla lysrörstypen T8 ska enligt EU direktiv fasas ut med start 1 september 2023 och ersättas med effektivare lysrör vilket kommer att leda till en halvering av energibehovet.

### 4.4.2 Energieffektiva vitvaror i tvättstugor

För framför allt tvättstugor är energieffektiva vitvaror en smart åtgärd. Det finns olika exempel på energieffektiva vitvaror. Öbo har gjort en djupstudie på tvättstugor, och har som följd bland annat bytt till energieffektiva tvättmaskiner, där man konstaterar att en bättre centrifugering (en restfukthalt på 50% istället för 60%) minskar energibehovet med 20%<sup>23</sup>. Öbo har även konstaterat att elbehovet minskar genom varmvattenanslutna tvättmaskiner.

<sup>23</sup> <https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/energieffektiva-tvattstugan-underlag-for-funktionsupphandling>

## 4.5 Samverkan – gemensamma lösningar mellan byggnader eller mellan byggnad och energileverantör

### 4.5.1 Fastighetsautomation baserad på industristandard

ÖBO har under lång tid satsat på vad man kallar att industrialisera fastighetsbeståndet. I detta ingår både nyproduktion och befintligt bestånd, men principen är densamma: att säkerställa styr- och mätsystem som är skalbara, och att datainsamlingen görs till centrala, egenägda och utbytbara PLC-enheter istället för till flertalet fabrikspecifika dataundercentraler, som till och med kan skilja sig mellan hus.

Styr- och uppföljningssystemen måste säkras för en snabb teknik- och samhällsutveckling. Jonas Tannerstad på ÖBO poängterar att kravställningen gentemot leverantörer är av yttersta vikt, och säger att "fastighetsbolag tar beslut på ett sätt så att de hämmar sig själva idag. Det centrala när man installerar ny teknik är att säkerställa att den kan anpassas till teknikförändringar". Metodiken började implementeras i nyproduktion från 2004, och har därefter införts "baklänges" i befintligt bestånd. Idag finns lösningen i 80 procent av undercentralerna.

En förstudie från BeBo – "Genomgång av system för styrning och reglering av byggnaders tekniska system"<sup>24</sup> – delar ÖBO:s bild, och har formulerat följande krav som fastighetsägare bör ställa på styrsystem:

- "Hårdvaran bör vara fritt programmerbar och följa industriell standard
- Hårdvaran bör kommunicera med öppna gränssnitt
- Eventuella applikationer bör ej vara beroende av specifik leverantör/produkt
- Eventuell programvara/källkod ska överlämnas till beställaren
- Transparent och lättanvänt"

Tannerstad menar att systemet som helhet är billigare än traditionella lösningar, men att bostadsbeståndet behöver ses som en helhet, där ett separat byggprojekt kan behöva ta en del i kostnaden för att helheten ska bli bättre, billigare och medföra mer värde. Ett exempel är den AI-lösning man planerar för värme, som beräknas spara 17–20 procent av värmeanvändningen.

### 4.5.2 Delningsekonomi för energi

Fastigheters energilösningar framöver kommer kunna övergå till en kombination av att fastigheten producerar egen energi, lagrar energi och använder energi samt effekt i samverkan med energileverantör för fjärrvärme och el genom s.k. "smart" styrning.

Solvärme kan distribueras ut på lokalt nät för vidarelevereras till andra byggnader inom samma fastighet liksom mellan olika fastigheter i närområdet men än så länge är det inte möjligt med elleveranser direkt till grannen på grund av gällande regelverk.

<sup>24</sup> BeBo, *Genomgång av system för styrning och reglering av byggnaders tekniska system – Förstudie*.

<https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/genomgang-av-system-for-styrning-och-reglering-av-byggnaders-tekniska-system-forstudie>. 2021-10-08

I Tamarinden, ett av ÖBO:s pågående byggnadsprojekt, kommer de boende att kunna sälja energi till varandra inom en så kallad energigemenskap. I stadsdelen är målet att optimera energianvändningen gemensamt, och att dela energi mellan husen innan ny energi tas in utifrån.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Örebro Bostäder (projekt Tamarinden)

#### 4.5.3 Stockholm flex, eleffekthandel

En ny handelsplattform för el i regionen öppnades under hösten 2020 och det är ett samarbete mellan Ellevio, Vattenfall och Svenska Kraftnät. Plattformen bygger på att ett antal företag kan tillhandahålla eleffekt genom att exempelvis stänga av värmepumpar. Ambitionen är att uppnå en volym på ca 50 MW. Som jämförelse är Ellevios abonnemang mot Svenska Kraftnät ca 1 525 MW. SISAB, Stockholms Hamnar och Stockholm Parkering medverkar i detta samarbete.

En stor utmaning för SISAB är att styra bort effekttoppar från skolköken. SISAB har många mindre byggnader som värms med direktverkande el. Dessa ska utnyttjas i Stockholm flex, så att det bara värms när de behövs. Tidigare har de inte kunnat styra värmen i dessa byggnader på samma sätt.

---

Bolag med erfarenhet inom området

SISAB

#### 4.5.4 Byggnader som flexibla effektresurser

ÖBO försöker se byggnader, och ännu hellre hela kvarter, som "flexibla effektresurser". Med det menar man att byggnaden, tillsammans med lagring (batterier och elbilar) och produktion (solceller) ses som en helhet, där man genom att låta exempelvis el och VVS samverka säkerställer ett minimerat totalt effektuttag. Att på detta sätt säkerställa "smarta slutanvändare" ser Tannerstad som en av flera lösningar till den nationella effektproblematiken i Sverige. För att möjliggöra denna lösning krävs integrerad styrning, vilket fördjupas i denna rapport under rubriken Styrsystem och mätning. I projektet Tamarinden testas den nya tekniken, där huset ansluts både mot kvarteret och stadsdelen. Det förbereds för likströmskabel mellan byggnaderna för att möjliggöra utbyte av elenergi om framtida regelverk tillåter det.

---

Bolag med erfarenhet inom området

Örebro Bostäder

#### 4.5.5 Gemensamma mål och styrning

ÖBO rekommenderar stockholmsbolagen att säkerställa gemensamma mål och styrning, och att se byggandet ur ett systemperspektiv. I Örebro har beslut tagits att även övriga bolag inom staden ska arbeta enligt samma approach, vilket kommer att möjliggöra gemensam professionalisering, industrialisering och samverkan.

#### 4.5.6 Branschöverskridande ramverk för automationsnivåer

Under 2021–2022 pågår projektet ”Branschramverk för automatiserade byggnader och energisystem” inom BeBo<sup>25</sup>. Projektet ska leverera ett ramverk som beskriver olika automationsnivåer för byggnader, relaterat till energianvändning. Ramverket ska även definiera motsvarande nivåer för el- och fjärrvärmesystemen. Rapportförfattarna tolkar detta som att ramverket kan användas som en gemensam utgångspunkt och ramverk för branschöverskridande diskussioner i den kommande gemensamma digitaliseringen.

<sup>25</sup> BeBo, *Branschramverk för automatiserade byggnader och energisystem*.

<https://www.bebostad.se/projekt/teknikutvecklingsprojekt/branschramverk-for-automatiserade-byggnader-och-energisystem>. 2021-10-08

## 4.6 Beteendepåverkan/nudging

Familjebostäder använder hyresgästpärmen, en pärm som varje hyresgäst får där alla system i lägenheten beskrivs. Det är viktigt att informera att hyresgästerna inte ska stänga vissa tilluftsdon. De ser även på möjligheten att skjuta på tvättider för att minska effektuttaget vid vissa tidpunkter.

Svenska Bostäder skickar ut informationsblad till hyresgäster vår och höst. Det tar bland annat upp tips på hur man kan möblera, hur man gör med ventilation m.m.

Även ÖBO har satsat på nudging relaterat till energianvändning i tvättstugor, där man tagit ett helhetsgrepp och sänkt hyran samtidigt som man börjat ta betalt för tvättstuge-el. Åtgärden har direkt gett resultat i ändrade tvättbeteenden, exempelvis att boende tvättar större tvättar mer sällan.

SISAB har "energiagenter" som kommer ut och pratar med pedagoger och 5-åringar på förskola för att lära ut om hur energi kan sparas, exempelvis att inte ha ytterdörrar stående öppna. SISAB har även planer på att sätta upp energivisning i deras skolor, vad händer just nu, hur mycket energi förbrukas? Det är en utmaning i och med att man har en tröghet när det gäller mätvärdesinsamling.



## 5. Lagring av överskottsel från solet

### 5.1 Energilager

Det bedöms bli vanligare att fastigheter har egna batterier samt att energi kan tänkas lagras i form av vätgas som har genererats av överskott från solceller. Dessutom ökar stadigt andelen elbilar, vilka lagrar energi i batterier.

Batterilager för el är under utveckling och har testats inom stadens bolag. Det primära syftet är att lagra överskottsel från solceller och använda elen på natten. Batterilagret är till för dygnslagring. Ett av skälen för lagring är att ersättningen för att leverera ut överskottsel på nätet är låg. Erfarenheten är hittills att det är stora verkningsgradsförluster i batteriet och tekniken är än så länge dyr<sup>26</sup>. Detta exemplifieras i Familjebostädens projekt i Svedmyra som löpte 2018/2019, där en kort sammanfattning av projektets resultat ses nedan:

*Projektets övergripande resultat för den studerade byggnaden med aktuellt batterilager är att tekniken är omogen och behöver kvalitetssäkras för att användas i stor omfattning. Projektet och utvärderingen har haft stora störningar pga. att batterilagret inte hållit lovad kvalitet. En anledning till att lönsamhet i detta projekt inte har erhållits är att investeringskostnaden för batterilagret har varit stor i förhållande till erhållna besparingar. För att erhålla ekonomisk lönsamhet för batterilagret med redovisade driftfall behöver investeringskostnaden halveras. Effektreducering gav störst lönsamhet av de två prövade driftfallen (effektreducering och energiförflyttning)<sup>27</sup>*

Batterier kan även användas, främst under vintertid men även sommartid, för effektutjämning och laddas då under natten och laddas ut under dagtid då belastningen är som högst i elnätet. En sådan lösning är oftast betingad av att minska eleffekten under dagtid vilket innebär minskad kostnad för effekt. Sist men inte minst finns med batterilager en möjlighet att bidra i så kallade balansmarknader, där enskilda aktörer kan sälja systemtjänster till framförallt Svenska Kraftnät men även delvis till regionnätsbolag.

Vehicle-To-Building innebär kortfattat att batterierna i elbilar kan vid parkering i garage leverera el till en byggnad vid behov. Idag är det endast ett bilfabrikat som tillåter denna typ av användning av bilens elbatteri, ur ett tekniskt och garantimässigt perspektiv, och bilägaren måste garanteras en rimlig ersättning som täcker det extra slitaget av batteriet. Flera andra aktörer, däribland VW

<sup>26</sup> <https://www.bebostad.se/library/3863/rapport-batterilager-20200102.pdf>

<sup>27</sup> [Rapport - Batterilager \(bebostad.se\)](#)

planerar dock för att möjliggöra dubbelriktad laddning i sina bilmodeller framöver.<sup>28</sup>

Ett annat sätt att lagra energi är med vätgas, vilket staden har utrett tidigare.

## 5.2 Erfarenheter från genomförda projekt

### 5.2.1 Batterilagring

Inom ramen för intervjustudien tillfrågades aktörerna om deras erfarenhet av batterilagring. Överlag kan det konstateras att de intervjuade bolagen inte har arbetat med batterilager i någon större utsträckning. Nedan ses utdrag ur intervjuerna där relevanta erfarenheter delgavs:

- I kvarteren "Avin" och "Rösträknaren" har Familjebostäder testat batterilager, främst för att komma ner till kravet på 55 kWh. Men de bedömer det som tveksamt om det var ekonomiskt försvarbart.
- ÖBO ser batterier som en avgörande faktor för att kunna utnyttja hus (och kvarter) som flexibla energi- och effektresurser. Tester genomförs på liten skala, för att sedan skalas upp, och visionen är att gå från "husbatterier" till "områdesbatterier". ÖBO undersöker även elbilens roll som batterilager, och det planeras att sätta upp kluster med elbilar och solceller, som även är uppkopplade mot elnätet. Idag testas batterilösningar på det egna kontoret, där man har byggt in API:er som möjliggör uppföljning och analys.
- Interna nät som ligger i områden med skolor kräver inte nätkoncession, vilket möjliggör för SISAB samt delar av Hamnens och Idrottsförvaltningens verksamhet att dela el mellan byggnader inom ett skolområde.

### 5.2.2 Vätgaslagring

I ett projekt som Sweco har utfört på uppdrag av Miljöförvaltningen har Kvarteret Backåkra 2 i Norra Djurgårdsstaden valts som utgångspunkt för ett bränslecells-baserat energisystem med vätgaslager. Kvarteret Backåkra 2 består av två flerbostadshus med plusenergistandard, vars fasader och tak har försetts med ett stort antal solcellsmoduler. För uppvärmning av fastigheten används två bergvärmepumpar.

Energisystemet med vätgasproduktion- och lagring samt bränsleceller skulle kunna möjliggöra att en stor del av byggnadernas behov av uppvärmning och varmvatten kommer från den egenproducerade solelen. Däremot behöver en stor del av övrig el som används i fastigheten köpas in, d.v.s. el som används för ventilation, pumpar, hissar, belysning. Energisystemet, exklusive solceller, har uppskattats ge en merkostnad på ca 2 000 kr/m<sup>2</sup>.

I rapporten konstateras också att ekonomiska incitament för en sådan investering saknas i nuläget (2020), med tanke på den höga investeringskostnaden. Det finns andra fördelar i form av robusthet genom tillgången till ett eget reservkraftssystem, samt ökad kontroll av ursprunget till större andel av den använda energin.

<sup>28</sup> <https://chargedevs.com/newswire/vw-to-enable-bidirectional-charging-on-all-evs-on-its-meb-platform-starting-next-year/>

Med en ökad efterfrågan på system för vätgasproduktion och bränslecellssystem för olika applikationer inom energisektorn, industrin och transportsektorn kan sjunkande kostnader för bränslecellsbaserade energisystem förväntas. Samtidigt sker en teknisk utveckling som resulterar i mer effektiva system med ökad livslängd.

EU har beslutat att satsa 430 miljoner Euro på vätgasteknik fram till och med 2030.

## 5.3 Förekommande typer av batterier och styrsystem

Batterier är en paraplyterm för ett stort antal begrepp och termen behöver brytas ner för att få en bättre förståelse för ämnet. Batterier består av flera olika komponenter och lager och utgörs av olika kemiska kombinationer. Historiskt sett har bly - och nickelbatterier dominerat batterimarknaden men när batterier idag omnämns gällande exempelvis elektrifiering av fordonsflottan eller energilagring så är de nästan uteslutande litium-jon batterier (Li-ion) som refereras till. Inom Li-ion-familjen finns det dock ett flertal olika kemiska uppsättningar, mer om det längre ner.

De tre vanligaste beteckningarna för att särskilja i vilket stadie i värdekedjan batterierna befinner sig är:

- Battericeller
- Batterimoduler
- Batteripack

Battericeller är enskilda batterier som i regel kommer i rektangulär form, också känt prismatiska celler, eller i cylindrisk form, likt AA-batterier. När flera battericeller monteras ihop utgör battericellerna då en batterimodul. När flera batterimoduler monteras ihop, tillsammans med kraftelektronik och styrsystem utgör batterimodulerna ett batteripack. Styrsystemets funktion är att övervaka i- och urladdning av batteriet, så att det sker inom ramen av dess fysiska egenskaper på ett säkert sätt. Systemet mäter ofta ström, effekt, temperatur, batteriets laddningsnivå (också känt som State-of-Charge, detta begrepp förklaras senare i rapporten), antal cykler m.m. Det är genom kommunikation med batteriets styrsystem som ett batteri kan tillhandahålla sin funktion genom att exempelvis lagra överskott av solelproduktion. Ofta kommer styrsystemet inkluderat med batteripacket från respektive leverantör.

### 5.3.1 Batteriers kemi och egenskaper

Batterier har ett stort, och ständigt ökande, användningsområde, men om marknaden för Li-ion batterier ska hårdnas så är det största segmentet, i dagsläget men framförallt under de kommande decennierna, batterierna ämnade för fordonsindustrin och personbilar. Andra stora segment är elektriska verktyg, olika former av hemelektronik samt mindre fordon i inomhusmiljöer så som gaffeltruckar. Ett tredje segment och det som är mest relevant för denna studie är energilagring avsett för elnätsändamål, också känt som energy stationary storage (ESS). Batterier avsedda för energilagring i fastigheter är i regel avsevärt mindre än de batterier som används av energibolag eller aggregatorer, men de önskvärda egenskaperna är liknande. Batterier för elnätsändamål kan ha flera MWh i kapacitet medan motsvarande lagring i en

villa är kring 5–10 kWh. Kapaciteten för batterier tillänkta för lokaler och flerbostadshus kan vara mellan allt från 20 till 140 kWh och däröver. Prisbildn för mindre batterier (sett till antal kWh) är i regel högre än för större batterier.

Vanliga kemier inom Li-ion familjen för ESS är Nickel-Manganes-Cobalt (NMC) och Lithium iron phosphate (LFP)<sup>29</sup> där NMC i dagsläget har en större marknadsandel men där LFP förväntas bli den dominerande kemin för ESS till 2030<sup>30</sup>. Andra kemier inkluderar NCA och LCO. Utanfö Li-ion så är produkter med NiMH-batterier även relativt vanliga, exempelvis svenska Nilar.

Jämförelsen av NMC och LFP är högintressant för just ESS och solcellsbatterier. Det bör betonas att jämförelser som dessa är relativa och att avseende exempelvis brandrisk så utgör batterisystem i fastigheter en brandrisk oavsett vilken typ av batteri som används.

NMC	LFP
+ Hittills billigare	+ Lägre brandrisk
+ Högre energidensitet	+ Längre livslängd
- Kan cyklas <sup>31</sup> mindre frekvent	+ Kan cyklas mer frekvent
- Högre risk för thermal runaway <sup>32</sup>	- Hittills dyrare
- Kortare livslängd	- Lägre energidensitet
<b>Källor:</b>	33 34 35

Vid en eventuell upphandling av batterier bör Stockholms stad beakta parametrarna i tabellen ovan och lägga extra fokus på parametrarna brandrisk samt kostnad. Hittills har NMC varit dominerande för fastighetsändamål men LFP prognostiseras att ta allt större marknadsandelar under 2020-talet. Det är svårt att utesluta eller premiera enskilda leverantörer då båda teknologier är ändamålsenliga och har en bred marknadspenetrations, men om upphandlingen sker först om något år är LFP troligen det mer gynnsamma valet.

Det är typen av battericell och konfigurationen av systemet som avgör vilka egenskaper batteripacket får. De egenskaper som premieras beror på användningsområdet men generellt sett är det följande parametrar, och avvägningen mellan dem, som det laboreras med:

- Energiinnehåll

<sup>29</sup> [https://www.researchgate.net/publication/338814859\\_Lifetime\\_Expectancy\\_of\\_Li-Ion\\_Batteries\\_used\\_for\\_Residential\\_Solar\\_Storage](https://www.researchgate.net/publication/338814859_Lifetime_Expectancy_of_Li-Ion_Batteries_used_for_Residential_Solar_Storage)

<sup>30</sup> <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/metals/081720-lfp-batteries-to-dominate-stationary-storage-chemistry-by-2030-woodmac>

<sup>31</sup> Batteriets cycle life definieras som antalet gånger batteriet kan laddas upp och laddas ur under sin livstid

<sup>32</sup> Thermal runaway är en ovanlig kedjeproces där batteriet på grund av misskötsel eller bakomliggande fel blir varmare och varmare till den grad att värmeutveckling skenar och en brand i cellen eller hela batteriet till slut blir oundviklig

<sup>33</sup> <https://www.woodmac.com/press-releases/lfp-to-overtake-nmc-as-dominant-stationary-storage-chemistry-by-2030/>

<sup>34</sup> <https://soltaro.com/soltaro-batteries-news-archives/nmc-vs-lfp-advantages-disadvantages>

<sup>35</sup> <https://www.solarreviews.com/blog/solar-battery-buyers-guide>

- Effekt (utmatning och inmatning, kopplar an till C-rate<sup>36</sup>)
- Antal cykler (livslängd)

Batterier ämnade för fordonsindustrin behöver ha en relativt jämn fördelning mellan dessa parametrar, där framförallt vikten och volymen av batteripacket är en starkt begränsande faktor. Batterier ämnade för elektriska verktyg behöver kunna leverera stora effekter på en kort tid, medan energiinnehållet och tiden som effekten kan levereras över är mindre viktigt.

För ESS så spelar vikten och volymen av batteriapplikationen mindre roll då den är stationär, och de viktigaste parametrarna är i regel C-rate (hur snabbt batteriet kan laddas i och ur) samt antal cykler som batteriet kan leverera under sin livslängd. Ett nyckeltal som ofta citeras för batterier är \$/kWh men för ESS är nyckeltalet \$/cycle samt \$/kW även relevant, där den vanligaste termen för att jämföra lagringslösningar är *levelized cost of storage (LCOS)*<sup>37</sup>. Kommersiella batterisystem för elnätsapplikationer (ESS) kan i regel leverera dess märkeffekt i två till sex timmar, där fyra timmar ”4 hour battery” är vanligt förekommande. Detta innebär alltså att om batteriet är på 10 kW så kan 40 kWh lagras.

### 5.3.1.1 LCA: Batterier och CO<sub>2</sub>

De utsläpp som framförallt tillverknings, och i en mindre mån användningen, av batterier ger upphov till är ett debatterat ämne där bristande underlag och brister på gemensamma definitioner av systemgränser har gett upphov till mycket livliga diskussioner. Den mest uppmärksammade studien i Sverige är troligen IVL:s rapport från 2017<sup>38</sup> där författarna lyfter att resultatet av deras sammanställning är att de troliga utsläppen för **tillverknings** av Li-ion batterier i de fall de analyserat ligger kring 150–200 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh. En uppdaterad version av denna rapport publicerades 2019 och då med ett spann på 61–106 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh. Det måste betonas att dessa siffror ska tas som en grov uppskattning och att det faktiska klimatavtrycket av batteriproduktion kan vara inom ett helt annat spann beroende på vilken typ av batteri som produceras, var det produceras och vilka systemgränser man sätter för analysen. Historiskt sett har batterier främst producerats i Asien, och då främst i Kina, Japan eller Sydkorea, länder som har en helt annan energimix än exempelvis Sverige, och i IVL:s studie från 2017 noteras att en energimix med mellan 50–70 % fossilt har förekommit i de artiklar som analyserats. När Li-ion batterier börjar produceras i exempelvis Sverige, med Northvolt i täten, så lär klimatavtrycket per kWh minska signifikant jämfört med IVL:s tidigare studier. Stockholms stad har efterfrågat om en motsvarande siffra för kolintensitet för elproduktion<sup>39</sup> kan tas fram för batterier (gCO<sub>2</sub>-eq/kWh). Den direkta motsvarigheten för batterier skulle då vara utsläppen för en kWh som laddats in och sedan laddats ur batteriet ifråga. Underlaget för de utsläpp som uppkommer per tillverkad kWh är dock i sig svagt nog, och underlaget för kolintensitet för batterier (sett ur ett produktionsperspektiv) är än mer bristfälligt.

<sup>36</sup> C-rate är förenklat sett den kontinuerliga ström som det fulladdade batteriet kan leverera under en viss period.

<sup>37</sup> <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>

<sup>38</sup> <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473b98/1628417788414/FULLTEXT01.pdf>

<sup>39</sup> [electricityMap | Aktuellt CO<sub>2</sub>-utsläpp från elproduktion](#)

Utifrån detta bedöms att underlaget är för svagt och otydligt för att en enskild siffra, eller ens ett intervall, ska kunna presenteras inom ramen för detta projekt.

## 5.4 Styrstrategier och verkningsgradsförluster

Styrstrategin för ett batterisystem avser hur det ämnas styras i relation till sina fysiska förutsättningar, de tjänster som önskas tillhandahållas samt den fastighet/det system som batteriet etablerats inom. Som det beskrivits i kapitlet ovan så etablerar batteriets kemi och egenskaper de ramar som styrstrategin tillåter systemet att operera inom för att maximera dess livslängd och prestanda.

Batterisystemets styrstrategi kan vara anpassat för en mängd olika applikationer. Det kan exempelvis vara för att öka egenanvändningen av producerad solel, reducera effektoppar eller arbitrage-försäljning (alltså att el köps in under lågpristimmar och säljs under högpristimmar). Systemet nyttjar "tröskelvärden", vilka indikerar för batteriet om det är dags att ladda i eller ur.

Ett sådant tröskelvärde skulle exempelvis kunna vara satt för byggnadens effektbehov, där ett effektbehov över etablerat tröskelvärde indikerar för batteriet att det behöver tillföra el till byggnaden för att sänka effektbehovet mot nätet. Det kan även finnas tröskelvärden på hur mycket el som en solcellsanläggning producerar, där en hög produktion i relation till byggnadens elbehov indikerar lämplighet för att ladda batteriet. Dessa tröskelvärden bör vara dynamiska, för att på ett optimalt sätt kunna hantera variationer i solelproduktion eller effektuttag över året. Här kan maskininlärningsalgoritmer underlätta etableringen av korrekta tröskelvärden för respektive byggnad.

Historiskt har batterisystemens styrstrategier varit anpassade för att endast tillhandahålla en tjänst åt gången, alltså att exempelvis reducera effektoppar **eller** att tillämpa arbitrage-försäljning, men allt fler projekt och leverantörer satsar för att erbjuda anläggningar som automatiskt kan optimera nyttjandet efter exempelvis vilken tjänst som är lönsam för stunden. Det möjliggör förbättrad lönsamhet för etableringen av batterisystemet i sin helhet. Detta möjliggörs genom kommunikation till batteriets styrsystem, där signalerna skickas från ett övergripande styrsystem (ex. Ferroamps EnergyHub<sup>40</sup>). Det finns fler leverantörer på den svenska marknaden men Ferroamp är en av den mest framträdande aktören för energilagring för fastighetsbranschen. Olika aktörer kan tillämpa olika övergripande styrsystem. Alla batterifabrikat möjliggör inte kommunikation med alla styrsystem i dagsläget, men dessa frågor är i regel något en tredjepart så som en aggregator hanterar och inte fastighetsägaren, eller Stockholms stad i detta fall, själv.

<sup>40</sup> <https://blog.ferroamp.com/sammanfattning-energyhub-systemet>, senast besökt 2021-10-13

## 5.5 Principer för dimensionering

Batterilager i bostadshus eller andra typer av fastigheter kan installeras av en rad olika skäl och dimensioneringen bör ske därefter. Dimensioneringen sker utifrån de förutsättningar som respektive byggnad har, där förbrukningsprofilen, batteriets garantivillkor och dess rekommenderade Depth-of-Discharge (DoD) samt kostnadsstrukturen för den inköpta elen spelar en avgörande roll. Ett batterilager kan installeras för att:

### **Tillgodose överskott från egenproducerad solel**

Elproduktion från solceller sker enligt ett relativt förutsägbart mönster med tydliga intervall under dagen där produktionen är som högst. Egenanvändning av solel innebär i regel en betydligt större besparing än om elen säljs, och en hög egenanvändning internt inom byggnaden är därför eftersträvänsvärt. För att öka andelen egenanvändning kan batterier användas då matchningen mellan byggnadens förbrukningsprofil och solcellernas produktion förbättras.

### **Sänka effekttoppar**

Med nuvarande tariffer där det högsta effektuttaget, eller ett fåtal av det högst uppmätta effektuttagen, sätter den månatliga effektkostnaden så krävs det att "rätt" toppar kapas för att någon kostnadssänkning ska realiseras.

För säkringskunder finns med batterier en möjlighet att kunna sänka sin säkringsnivå vilket ger relativt stora besparingar gällande den fasta kostnaden. En nedsäkring som är avhängig på det tillkommande batteriet och dess förmåga att sänka effekttopparna kräver dock en del merarbete och kan bli problematisk om ytterligare laster adderas i byggnaden. Som ett exempel skulle en nedsäkring från 63A till 50 A enligt Ellevios tariff för säkringskunder<sup>41</sup> innebära en sänkt fast kostnad på cirka 3800 kr per år (exklusive moms).

### **Arbitrage-försäljning**

Arbitrage-försäljning innebär inköp av el för att ladda batteriet när elpriset är relativt billigt för att sedan mata in på nätet, och sälja, vid högre elpriser. Inköpet beläggs dock med moms, energiskatt och elnätskostnader medan inmatningen enbart ersätts med spotpriset samt nätnytta. Detta innebär att det måste vara betydande variationer i elpris för att denna typ av handel ska vara lönsam. Då Stockholms stad enligt beställaren av detta projekt betalar ett fast pris per kWh kompliceras detta upplägg, då man förlorar möjligheten att följa spotpriset, men om pristopparna är höga nog relativt det fasta inköpspriset så fungerar detta koncept även i detta fall.

### **Delta i systemtjänstmarknader**

Det finns ett flertal olika systemtjänster som primärt Svenska Kraftnät upphandlar, men i takt med att kapacitetsutmaningen blir allt större finns det nu bl.a. regionnätbolag som upphandlar tjänster på lokala

<sup>41</sup> [XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX \(ellevio.se\)](https://www.ellevio.se)

marknader. Svenska Kraftnät upphandlar tjänster på balansmarknaden, en marknad där aktörer kan öka eller minska sin produktion och/eller användning mot ersättning i syfte att bibehålla frekvensstabiliteten i elsystemet<sup>42</sup>. Systemtjänstmarknaden är i Sverige idag liten men har god ersättning och även om det är relativt ovanligt med investeringar i batterilager enbart för att delta i balansmarknader, framförallt för aktörer så som fastighetsägare, förväntas detta bli vanligare framöver. I dagsläget kan denna intäktsström vara komplicerad för en fastighetsägare då det kräver en hel del kompetens samt merarbete – en extern part så som en aggregator är ofta iblandad – men ersättningen för detta är i dagsläget högt satt och det kan därför vara värt att utreda det vidare.

Enligt statistik från Energimyndigheten var det genomsnittliga batteriet som installerades av privatpersoner under 2020 7,3 kWh<sup>43</sup>, vilket är en väldigt liten kapacitet i jämförelse med elbilar eller större stationära energilagrar. Motsvarande statistik för större flerbostadshus eller kommersiella lokaler saknas dessvärre då statistiken som Energimyndigheten tillhandahåller är kopplat till det så kallade batteristödet som enbart var tillgängligt för privatpersoner. Storleken av batterisystem för större fastigheter varierar från fall till fall men exempel på dimensionering för större lokaler kan vara i spannet 28–140 kWh<sup>44</sup>.

Vid dimensioneringen av batterisystemet i kombination med solexproduktion är en höjd andel egenanvändning eftersträvsvärt, men att sträva efter att uppnå 100 procent egenanvändning är i regel inte lönsamt då batteriet behöver överdimensioneras, en kapacitet som sällan används till fullo, för att uppnå detta.<sup>45</sup> En viss självurladdning sker även för alla batterisystem, något som i regel sker i en snabbare takt vid full kapacitet, vilket utgör ännu ett skäl till att inte överdimensionera batteriet. Ett nyckeltal som används vid dimensioneringen är kvoten mellan batteriets kapacitet (kWh) och solcellernas installerade effekt [kWp]. En ratio av 1:1, alltså 1 kWh batteri per kW solceller, uppges ge en god kombination av hög nyttjandegrad, ökad andel egenanvändning och prisnivå, då små batterier i regel är dyrare.<sup>46</sup> Även en ratio som understiger 1:1 kan vara attraktiv, men en tydlig mättnadseffekt ses för fall som överstiger 1:1<sup>47</sup>. Stockholms stad kan välja att upprätta batterilagrar tillsammans med tillhörande solceller, med det primära syftet att lagra överskottsel, eller att enbart upprätta batterilagrar i syfte att sälja tjänster på balansmarknaden, arbitrageförsäljning eller för att kapa effekttoppar. Dimensioneringen av ett sådant system har dessvärre inga generella riktlinjer utan batteriet storlek, och dess lönsamhet, beror på användningsområdet och byggnaden ifråga.

<sup>42</sup> <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/balansmarknaden/>

<sup>43</sup> <https://www.solcellskollen.se/blogg/med-lagre-kostnader-och-gront-avdrag-ar-det-lage-att-skaffa-batterier-till-sina-solceller>

<sup>44</sup> *Batterilagrar i kommersiella fastigheter*, Marcus Gustavsson, 2017, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1140082/FULLTEXT01.pdf>

<sup>45</sup> <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/302634/1/ExamensarbeteEdwardJanssonEENX20Elektro.pdf>  
s.22

<sup>46</sup> <https://www.solcellskollen.se/blogg/sa-valjer-du-storlek-pa-batteriet-till-din-solcellsanlaggning>

<sup>47</sup> <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/302634/1/ExamensarbeteEdwardJanssonEENX20Elektro.pdf>



## 5.6 Återanvändning av begagnade batterier

Den ökade efterfrågan av Li-ion batterier drivs primärt av transportsektorn och i takt med att fler segment, främst personbilar, elektrifieras så kommer mängden uttjänta batterier att öka exponentiellt under det kommande decenniet. Batterier ämnade för transportindustrin har i regel striktare krav och specifikationer än andra applikationer och efter att dessa batterier har nått sin livslängd så kan batterierna användas för andra syften, där ett exempel är energilagring. Ökningen förutspås vara så pass stor att volymen uttjänta batterier kan komma att överstiga efterfrågan för sådana applikationer gällande exempelvis energilagring<sup>48</sup>. Fördelen med de så kallade second-life applikationerna är dels att batterierna kan köpas in för en billigare peng än om en skraddarsydd ny batterilösning skulle upphandlas. Ett exempel på detta i Sverige är Brf Viva i Göteborg som har använt uttjänta batterier från stadens elbussar<sup>49</sup>.

En annan fördel av mer indirekt natur är att ett mer cirkulärt användande av resurser uppnås. En nackdel är att batteriet ifråga troligen inte är optimerat för det nya syftet vilket kan innebära en del handpåläggning i ombyggnation alternativt en icke-optimal drift. Även legala aspekter så som garantivillkor samt elsäkerhet behöver beaktas. Det finns en betydande brist på standardisering i batteriindustrin, med flera olika formfaktorer och dussintals olika kemier, vilket gör återanvändning av batterier väldigt komplext. Det finns dock exempel på initiativ där svenska aktörer, däribland Volvo, satsar på återbruk av batterier från fordonsindustrin för så kallade "second-life" användning<sup>50</sup>, samt initiativ gällande återvinning av batterier där Fortums satsning i Finland<sup>51</sup> och Stena Recyclings satsning i Sverige<sup>52</sup> sticker ut i närtid. Det bör dock poängteras att det ännu är tidiga dagar för dels second-life applikationer men framförallt för materialåtervinning<sup>53</sup>.

I dagsläget finns det en struktur och anläggningar för materialåtervinning av blybatterier i Sverige, men någon motsvarighet för storskalig materialåtervinning av Li-ion batterier finns ännu inte i Sverige, utan dessa batterier skickas i regel till andra länder så som Kina och Sydkorea<sup>54</sup>.

Kostnadsbilden för second-life batterier (SLBs) är inte väldokumenterad då fenomenet är så pass nytt med små volymer och en brist på standardisering, men tidigare studier har visat att kostnaden för en SLB kan vara hälften av nypriset för samma typ av applikation<sup>55</sup>.

<sup>48</sup> <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Second%20life%20EV%20batteries%20The%20newest%20value%20pool%20in%20energy%20storage/Second-life-EV-batteries-The-newest-value-pool-in-energy-storage.ashx>

<sup>49</sup> <https://www.johannebergsciencepark.com/projekt/energilager-i-brf-viva>

<sup>50</sup> <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2019/dec/vehicle-batteries-provide-new-energy-for-households.html>

<sup>51</sup> <https://www.fortum.se/media/2021/06/fortum-satsar-kvarts-miljard-pa-utokad-kapacitet-atervinning-av-elbilsbatterier>

<sup>52</sup> <https://www.stenarecycling.se/nyheter/stena-recycling-storsatsar-i-ny-anlaggning-for-batteriatervinning/>

<sup>53</sup> <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/forskningsoversikt-om-atervinning-och-aterbruk-av-litiumjonbatterier-2019.pdf>

<sup>54</sup> <https://www.ri.se/sv/berattelser/atervunna-batterier-oppar-for-industriell-tillvaxt>

<sup>55</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821001757#b0370>

## 5.7 Nyckeltal för kostnader samt medel att söka

Som tidigare nämnts är den stora drivkraften bakom den ökande efterfrågan av Li-ion batterier fordonsindustrin. Den stora efterfrågan inom fordonsindustrin, som är väldigt konkurrensutsatt, har drivit ner kostnaden för batterierna betydligt. Här är det dock viktigt att poängtera att enbart för att kostnaden för batterier **avsedda för fordonsindustrin** har minskat betyder det inte att samma absoluta minskning har skett för andra applikationer. Batterier avsedda för andra applikationer än fordonsindustrin har även de minskat betydligt procentuellt, men dessa batteriers absoluta kostnad är fortfarande betydligt högre, framförallt på grund av att volymen är relativt låg jämfört med fordonsindustrin men även på grund av att b.la säkerhetskraven kan skilja sig väsentligt beroende på vilken applikation som är tilltänkt. Kommersiella batterilager (*eng: utility-scale battery storage*) utgör för tillfället en relativt liten del av marknaden och batterilager för fastighetssektorn utgör en markant mindre del<sup>56</sup>.

Kostnadsunderlaget för batterilager i fastigheter är sparsamt men utifrån Energimyndighetens statistik gällande ansökningar för det så kallade "Batteristödet"<sup>57</sup> kan en del relevant information utläsas. Batteristödet var ämnat för privatpersoner och fasades ut efter 2020 och ersattes med det gröna rotavdraget<sup>58</sup>. För de 729 ansökningar som godkändes under 2020 så var snittkostnaden för batteriet cirka 8 500 SEK/kWh och om installationskostnader och kringutrustning inkluderades så var genomsnittskostnaden strax över 11 000 SEK/kWh. Detta att jämföra med den ofta citerade 100 \$/kWh-gränsen (cirka 870 SEK/kWh) som fordonsindustrin eftersträvat och nu närmar sig att uppnå<sup>59</sup>. Motsvarande systemkostnad för mindre batterisystem (*eng: turn-key cost*) för 2021 rapporteras dock vara avsevärt lägre än för 2020, med en kostnad mellan 6 000–8 000 SEK/kWh.<sup>60</sup> Kostnaden per cykel, alltså LCOS, har ett väldigt stort spann beroende på applikation och kemin ifråga men ansågs 2020 ligga mellan motsvarande 2–5 SEK/kWh<sup>61</sup>.

Då underlaget för batterilager för fastigheter är relativt bristfälligt och skillnaden gentemot fordonsbranschen är stor, avsett både priser och volym, så är den mest relevanta jämförelsen eller kompletteringen troligen med kommersiella batterilager. Kostnaden för dessa större batterilager har i USA minskat från 2152 \$/kWh år 2015 till 625 \$/kWh år 2018<sup>62</sup>, för att sedan, enligt preliminära siffror, minska ytterligare till 345 \$/kWh 2020<sup>63</sup>. Med dagens växelkurs motsvarar det en minskning från cirka 18 700 SEK/kWh 2015 till cirka 3 000 kr/kWh SEK 2020, en siffra som antagligen är i underkant. Kostnaden för batterilager för större fastigheter så som flerbostadshus eller lokaler i Sverige

<sup>56</sup> <https://www.statista.com/statistics/1103218/global-battery-demand-forecast/>

<sup>57</sup> [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2016899-om-bidrag-till-lagring-av\\_sfs-2016-899](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2016899-om-bidrag-till-lagring-av_sfs-2016-899)

<sup>58</sup> <https://www.skatteverket.se/privat/fastigheterochbostad/gronteknik.4.676f4884175c97df4192860.html>

<sup>59</sup> Det bör dock betonas att dessa siffror inte är helt jämförbara då det jämför ett componentinköp för industrigiganter med en färdig produkt till slutkonsument, men poängen kvarstår.

<sup>60</sup> <https://www.solcellskollen.se/blogg/med-lagre-kostnader-och-gront-avdrag-ar-det-lage-att-skaffa-batterier-till-sina-solceller>

<sup>61</sup> <https://www.lazard.com/media/451418/lazards-levelized-cost-of-storage-version-60.pdf> s.6

<sup>62</sup> <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=45596>

<sup>63</sup> <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77324.pdf>

ligger troligen i spannet mellan de siffror som nämnts ovan gällande Energimyndighetens statistik och kostnadsunderlaget från USA. Historiskt sett har batterilager för fastigheter inte varit lönsamt i Sverige p.g.a de höga inköpskostnaderna<sup>64</sup>. I takt med att priserna på batterier faller varje år så är det dock troligt att lönsamheten inom några år förbättras avsevärt.

### 5.7.1 Medel att söka: Batterier

För företag och organisationer så som Stockholms stad finns i nuläget inga statliga stöd i Sverige att söka för installation eller inköp av batterier. Mellan 2016–2021 fanns möjlighet för privatpersoner att ansöka om statligt stöd, det så kallade ”*energilagringstöd*” men detta har sedan 1: a januari ersatts med en skattereduktion för installation för grön teknik.<sup>65</sup> Inom ramen för Klimatklivet kan både privatpersoner och företag söka medel relaterat till installation av laddinfrastruktur men ej för fristående batterilager. Om Stockholms stad beslutar att driva ett innovativt forskningsprojekt, avseende tekniska eller affärsmässiga aspekter relaterade till batterilager, kan en möjlighet finnas för finansiering via Energimyndigheten om en sådan utlysning finns<sup>66</sup>. På EU-nivå så läggs numera en stor tyngd på batterier men de bidrag och finansiering som finns att söka är i stort relaterat till produktion och forskning<sup>67</sup>.

## 5.8 Aktuell lagstiftning samt förslag om förändringar att överföra el mellan byggnader

I praktiken är det komplicerat att flytta el mellan fastigheter utan att involvera en elhandlare. Detta härrör från balansansvaret utsett av Svenska Kraftnät, där det i varje gränspunkt mellan producent och förbrukare enligt lag behöver finnas en balansansvarig. Därtill innebär Nätkoncessionslagen i dagsläget att mikronät inte får anläggas för delning av energi mellan byggnader utan tillstånd, eller nätkoncession, vilket vanligtvis innehas av det lokala elnätbolaget.

Enligt nuvarande regelverk åläggs all el som flyttas över koncessionspliktigt elnät mellan en fastighetsägares olika byggnader med energiskatt. När elen matas in på elnätet går den över koncessionspliktigt nät, vilket gör att den blir skattepliktig och elen som överförs via det koncessionspliktiga nätet till en annan elanvändare uppfyller inte längre förutsättningarna för att kunna erhålla reducerad energiskatt. Detta innebär ett ekonomiskt hinder i att överföra egenproducerad el mellan byggnader via det allmänna elnätet. Energiskatten betalas där elen används, inte när den matas in på elnätet.

Huvudregeln idag är att alla starkströmsledningar behöver nätkoncession (tillstånd) för att få byggas och användas. Generellt gäller dock att ledningar som ligger ovanpå eller inom en byggnad räknas som icke koncessionspliktiga nät (IKN) och de behöver inte en nätkoncession för att få användas. Syftet med koncessionsplikten är att säkerställa att utbyggnaden av elnätet inte blir samhällsekonomiskt olönsam. Ledningar som är till för att överföra el mellan flera byggnader är således för närvarande tillståndspliktiga och det innebär att

<sup>64</sup> <https://www.bebostad.se/library/3863/rapport-batterilager-20200102.pdf>

<sup>65</sup> <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/stod-och-bidrag-pa-fornybartomrade/>

<sup>66</sup> <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/>

<sup>67</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip\\_21\\_226](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip_21_226)

det för tillfället inte är tillåtet för exempelvis en bostadsrättsförening att sätta upp ett eget nät för att dela solcellsproducerad el mellan byggnader. **Framgent så utökas dock undantagen gällande kravet på nätkoncession** då regeringen den 3:e november meddelade att ändringar i ellagen rörande detta område kommer att träda i kraft fr.o.m. den 1:a januari 2022<sup>68</sup>. Ändringen i förordningen innebär dels att vissa paragrafer i ellagen upphör att gälla, dels att vissa paragrafer får en ny utformning samt att en ny paragraf, 22 c §, införs. Den tillkommande paragrafen lyder som följer:

*Ett internt lågspänningsnät för delning av energi som inte är en luftledning får byggas och användas utan nätkoncession*

- 1. inom nätinnehavarens fastighet, och
- 2. mellan byggnader och anläggningar som var för sig även har en anslutning till en ledning eller ett ledningsnät som används med stöd av nätkoncession

Detta tillsammans med de nya skrivelserna av b.la 22 a § och 24 §<sup>69</sup> innebär att möjligheten att överföra egenproducerad solcell el mellan fastigheter inom ett specifikt område troligen kommer att förenklas framöver.

**Uppluckringar av undantagen gällande kravet på nätkoncession är alltså på gång, men redan idag så är vissa typer av ledningar och ledningsnät är undantagna från koncessionsplikten.** Dessa regleras i förordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857), den förordning som nu enligt texten på föregående sida delvis ändras fr.o.m. 1:a januari 2021<sup>70</sup>. **Styckena i rutan nedan berör hur förordningen ser ut i dagsläget och ämnar ge en bild av hur detta regelverk tillämpas i skrivande stund.**

För att undantaget ska vara tillämpligt krävs att nätet är internt vilket innebär att innehavaren av nätet endast överför el för egen räkning. Andra exempel på interna nät (IKN-nät) som enligt förordningen 2007:215 kan undantas från koncessionsplikten är statliga eller allmänna flygplatser, industrianläggningar eller byggarbetsplatser som har ett internt nät utan nätkoncession, jordbruksfastigheter, allmänna eller enskilda institutioner (exempelvis skolor och vårdinrättningar) och områden för fritidsverksamhet, såsom idrottsplatser, motorbanor, ridhus och utomhusbad. Det finns även exempel på IKN-nät som historiskt varit exempelvis militärt område eller industri men idag har mer blandad verksamhet. Bostadshus ingår dock inte i undantagen som får utfärdas och där dessa är huvudregeln att mikronät inte får anläggas för delning av solenergi mellan byggnader som fungerar som bostäder.

<sup>68</sup> [sfs2021-976.pdf \(energiforetagen.se\)](#)

<sup>69</sup> <https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2007215-om-undantag-fran-kravet-pa-sfs-2007-215>

<sup>70</sup> Infrastrukturdepartementet, 2007. Förordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857). Tillgänglig på: <https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2007215-om-undantag-fran-kravet-pa-sfs-2007-215>

Energimarknadsinspektionen genomför prövningar av olika ärenden med avseende på undantag från koncessionsplikten. Kommunala verksamheter har således möjlighet att ansöka om undantag för upprättande av ett IKN-nät, exempelvis inom 9 § och 16 § i förordningen 2007:215<sup>71</sup>, som relaterar till allmänna institutioner och fritidsanläggningar och har relativt generösa bestämmelser.

**Andra pågående utredningar som berör möjligheten för överföring av egenproducerad el är den statliga utredningen Moderna tillståndprocesser för elnät (SOU 2019:30)**<sup>72</sup> som bl.a. föreslår att ett undantag ska införas som möjliggör att förnybar elproduktion kan föras över mellan anläggningar och byggnader, inklusive flerbostadshus. Huvudsyftet med propositionen är dock att förnybar elproduktion kan anslutas snabbare till elnätet genom att miljöprövningen blir mindre omfattande<sup>73</sup> och även om mikroproduktion omfattas så ligger tyngdpunkten på mer storskaliga anläggningar. I maj 2021 föreslog Näringsutskottet att riksdagen säger ja<sup>74</sup> till regeringens förslag om förenklingar av utbyggnaden av elnät i Sverige, vilket ska göra det möjligt att dela el inom och mellan fastigheter via lågspänningsnät. Den 23:e juni 2021 sade riksdagen ja till regeringens förslag om ändringar i bland annat ellagen och lagändringarna börjar gälla fr.o.m 1:a augusti 2021, viktigt att betona är att detta ärende delvis är avslutat men att vissa delar av utredningen ännu inte har tagits ställning till.<sup>75</sup> Anledningen bakom förslaget är bl.a. att man vill möjliggöra ökad nyttjandegrad av egenproducerad el genom lokala mikronät, vilket kan bidra till ökad lönsamhet för mikroproducenter och uppmuntra fler att investera i solelproduktion. Inom utredningen lyftes ett förslag om att tillåta interna lågspänningsnät mellan byggnader inom samma fastighetsbeteckning, vilket kan komma att införas inom kort. Detta skulle således förenkla anrättandet av exempelvis energigemenskaper.

Därtill har Energimarknadsinspektionen inom regleringsbrevet för 2021 fått i uppdrag att genomföra en genomgående översyn av undantagen från kravet på nätkoncession enligt 2 kap. 1 § ellagen (1997:857) och lämna fullständiga författningsförslag för de ändringar som är motiverade och även en beskrivning av förslagets konsekvenser. Uppdraget ska redovisas till Infrastrukturdepartementet senast den 31 januari 2023.

Energimarknadsinspektionen ska enligt regleringsbrevet bland annat se till att förslagen är förenliga med Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 från den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och gemenskaper för förnybar energi.<sup>76</sup> Det bedöms som rimligt att Energimarknadsinspektionen kommer att ta avstamp i den ovan nämnda utredningen "Moderna tillståndprocesser för elnät, SOU 2019:30".

<sup>71</sup> [Ibid.](#)

<sup>72</sup> SOU 2019:30. Moderna tillståndprocesser för elnät. Tillgänglig på: [https://www.regeringen.se/4ada75/contentassets/44f30a8f474440adae314f86d4311f74/sou-2019\\_30\\_webb.pdf](https://www.regeringen.se/4ada75/contentassets/44f30a8f474440adae314f86d4311f74/sou-2019_30_webb.pdf)

<sup>73</sup> [https://www.regeringen.se/499383/contentassets/757332217d104892a121f29dd6b39917/prop\\_-202021188-moderna-tillstandsprocesser-for-elnat.pdf](https://www.regeringen.se/499383/contentassets/757332217d104892a121f29dd6b39917/prop_-202021188-moderna-tillstandsprocesser-for-elnat.pdf) s.70

<sup>74</sup> [Sveriges riksdag, 2021. Moderna tillståndprocesser för elnät. Tillgänglig på: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/arende/betankande/moderna-tillstandsprocesser-for-elnat\\_H801NU22](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/arende/betankande/moderna-tillstandsprocesser-for-elnat_H801NU22)

<sup>75</sup> IBID

<sup>76</sup> Ekonomistyrningsverket, 2021. Regleringsbrev för budgetåret 2021 avseende Energimarknadsinspektionen. Tillgänglig på: <https://www.esv.se/statsliqgaren/regleringsbrev/?rbid=21461>

## 5.9 Exempel på användning vintertid för att undvika effekttoppar

Som nämnt i kapitlet Principer för dimensionering så kan batterilager installeras i flera olika syften. Det primära syftet har enligt Stockholms stad varit för att lagra överskottsel från solceller, men staden vill även veta hur batterilager kan användas för att undvika effekttoppar. Det finns ett flertal studier som detaljerar val av batterier, de resulterande minskningarna av effekttoppar samt deras eventuella lönsamhet<sup>77,78,79</sup>. Då elnätstarifferna, för de fastigheter som har effektabonnemang där säkringen överstiger 63A, i regel är utformade så att det är den timmen, eller de timmarna, med högst förbrukning per månad som sätter kostnaden så kräver effektreducering särskild styrning om syftet med installationen ska uppnås. I en tidigare studie åt Familjebostäder konstaterade författarna att en tydlig guide med olika driftfall och styrprinciper för batterilager behöver tas fram av tillverkare och leverantörer som riktar sig mot slutanvändaren<sup>80</sup>. Studier visar att effektreducering med hjälp av batterilager kan spara betydande summor men att lönsamheten för investeringen i stort i regel fortfarande är negativ då inköpspriserna historiskt sett har varit för höga för att motivera besparingarna. Följande faktorer kan påverka lönsamheten:

- Skattereduktionen vid inmatning av egenproducerad el för mikroproducenter är ett incitament för att få fler att installera solceller i Sverige, vilket har nyttjats av många. Det kan dock delvis sägas vara ett negativt incitament för kombinationen solceller och energilager då värdet av den sålda elen kraftigt stiger för de personer som är tillgängliga för reduktionen. För mindre anläggningar och på kort sikt kan därför skattereduktion göra det mindre attraktivt att höja sin egenanvändning med hjälp av exempelvis batterilager. **Detta stöd kommer dock sannolikt att fasas ut under de kommande åren och är inte applicerbart för Stockholms stad då staden har ett stort antal fastigheter under samma organisationsnummer.**
- Batteriets storlek (kWh), märkeffekt (kW) och framförallt dess möjlighet att snabbt mata ut el (dess så kallade c-rate) avgör om och till vilken grad effekttopparna ifråga kan reduceras. Givet att batteriet kan mata ut el i fastigheten tillräckligt snabbt så ökar chanserna att batterilagret kan möta effekttoppen om dess energinivå (så kallat State of Charge, SOC) är hög. Att hålla batteriet nära dess fulla laddningsnivå kan dock dra åt motsatt önskad riktning för batteriets andra potentiella användningsområden (tillgodose överskottsel) och individuella bedömningar och driftfall behöver då definieras.
- Om batteriet enbart laddas med överskott från den egna solelproduktionen kan det i praktiken enbart sänka effekttopparna under sommarhalvåret, vilket är den period då effektuttaget i regel för många verksamheter är som lägst.
- Om batteriet laddas med överskott från den egna solelproduktionen **och** el från elnätet så kan det i praktiken sänka effekttoppar under hela året. Detta kräver dock ytterligare styrning och att elen som köps in för att användas vid ett senare tillfälle köps när elpriset är som lägst. Med

<sup>77</sup> <https://www.bebostad.se/library/3863/rapport-batterilager-20200102.pdf>

<sup>78</sup> Batterilager i kommersiella fastigheter. <http://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:1140082/FULLTEXT01.pdf>

<sup>79</sup> <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/302634/1/ExamensarbeteEdwardJanssonEENX20Elektro.pdf>

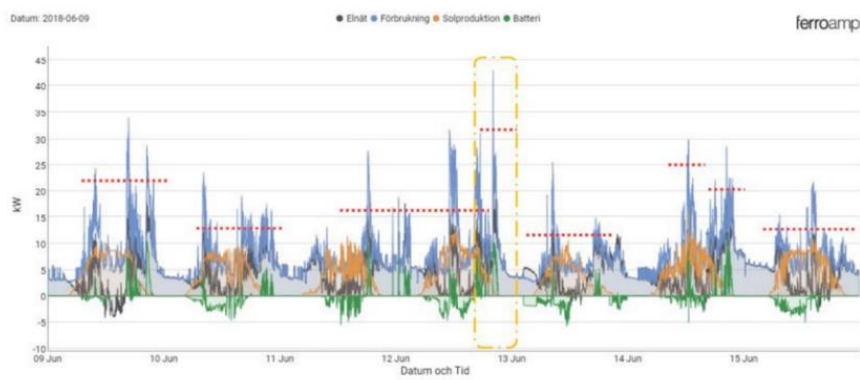
<sup>80</sup> <https://www.bebostad.se/library/3863/rapport-batterilager-20200102.pdf>



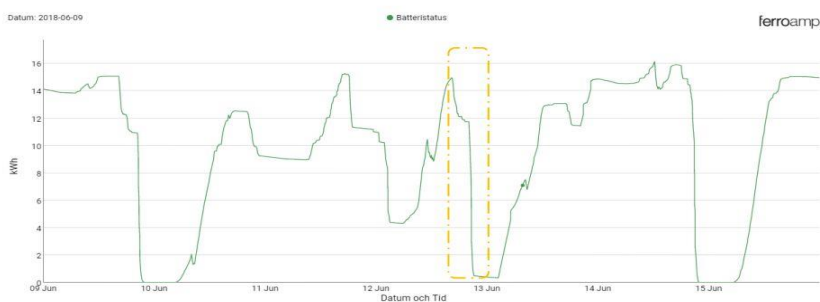
Stockholms stads nuvarande elhandelsavtal, där priset per kWh är fast, så minskar troligen lönsamheten med denna typ av metod.

Viktigt att beakta för denna typ av applikation är den så kallade c-raten, alltså förenklat sett hur snabbt batteriet kan laddas ur. Ett större batteri (sett till antalet kWh) med samma märkeffekt (kW) med en lägre eller likadan c-rate som ett mindre batteri (sett till antalet kWh) bidrar inte nödvändigtvis med ytterligare effektreducering utan det handlar då mer om hur länge batteriet kan bidra med effekten ifråga. Innan en investering i ett batterilager för effektreducerande syfte görs bör man göra en avvägning av hur stor del av effekttopparna som batteriet bör kapa och hur ofta detta bör ske i relation till batteriets dimensionering.

I de två figurerna nedan från rapporten till Familjebostäder<sup>81</sup> ses exempel på hur ett batterilager används för att sänka effekttopparna, där de röda strecken indikerar den nivå som batterilagret har reducerat effektbehovet till och den gula inramningen indikerar den högsta effekttoppen under den analyserade perioden.



Figur 3: Illustration av effektreducering m.h.a batterilager. Källa: WSP & Ferroamp



Figur 4: Illustration av batterilagrets in och urladdning. Källa: WSP & Ferroamp

<sup>81</sup> <https://www.bebostad.se/library/3863/rapport-batterilager-20200102.pdf> s.33

## 5.10 Vehicle to grid

Marknaden för Vehicle to grid (V2G) är ännu inte fullt utvecklad och affärsmodeller och systemupplägg behöver fortsatt testas och utvärderas, både vad gäller vilken typ av elnätstjänst som ska erbjudas samt hur rollfördelningen ska se ut<sup>82</sup>.

Även om V2G befinner sig i ett tidigt stadie så finns det ett stort antal pilotprojekt runt om i världen<sup>83</sup>. I Sverige har bland annat Kungsbacka kommun utfört ett projekt redan 2018<sup>84</sup>. Idag föreligger dock en del tekniska och regulatoriska hinder för en storskalig användning av smart och dubbelriktad laddning. Vanliga exempel på hinder som lyfts i litteraturen och i tidigare pilotprojekt är<sup>85</sup>:

- brist på gemensamma standarder
- tekniska begränsningar i befintliga fordonsmodeller
- brist på utrustning av V2G-kompatibel infrastruktur
- batteridegradering
- komplexitet i att utnyttja dubbelriktad laddning som en flexibilitetskälla
- brist på tillgång till data
- brist på incitament och tydliga affärsmodeller samt dubbelbeskattning.

Flera av barriärerna är under utveckling, men det råder fortfarande viss osäkerhet kring hur marknadsaktörer ska utforma och anpassa sina affärsmodeller för att skapa värde och lönsamhet i samtliga led.

För att V2G ska fungera behöver det finnas en konverterare som omvandlar likströmmen i batteriet till växelströmmen på elnätet. Denna kraftelektronik utgör en ökad kostnad och kan sitta antingen i bilen, för AC-laddning, eller i laddboxen för DC-laddning. Om konverteraren sitter i laddaren (DC) kan teoretiskt alla elbilar som tar emot likström använda sig av en sådan laddare och bidra med V2G. Enligt Power Circle är nuvarande kostnad för V2G-kompatibla laddboxar nästan dubbelt så dyra som vanliga laddboxar.<sup>86</sup> Ett flertal tillverkare har dock tagit fram laddare med stöd för V2G<sup>87</sup>.

Elfordonsägare saknar idag incitament att intressera sig för V2G då elnätsavgifter sällan speglar nyttan med lastförflyttning. I Sverige och andra nordiska länder utgör skatter och elnätskostnaden en stor del av den totala eltariffen, vilket innebär att variationer i elspotpriset inte i regel ger någon signifikant påverkan på totalpriset. Om prisläget på elmarknaden fortsatt är högt, likt hösten och inledningen av vintern 2021, kan dock detta utgöra ytterligare ett incitament för aktörer att flytta sin elförbrukning i tiden. I takt med att elnätsbolag inför så kallade effekttariffer även för privatpersoner<sup>88</sup> så

<sup>82</sup> VEHICLE-TO-GRID I NANNA PARKERINGSHUS En aktörskartläggning om förutsättningar, möjligheter och hinder, Sweco, 2021

<sup>83</sup> <https://www.evconsult.nl/wp-content/uploads/2018/10/Final-Report-UKPN001-S-01-I-V2G-global-review.pdf>

<sup>84</sup> <https://www.kungsbacka.se/Archive/Regular-News/2018/11/elbilar-ska-ge-elkraft-till-kommunens-verksamheter/>

<sup>85</sup> VEHICLE-TO-GRID I NANNA

PARKERINGSHUS En aktörskartläggning om förutsättningar, möjligheter och hinder, Sweco, 2021

<sup>86</sup> VEHICLE-TO-GRID I NANNA PARKERINGSHUS. En aktörskartläggning om förutsättningar, möjligheter och hinder, Sweco, 2021

<sup>87</sup> [v2g \(powercircle.org\)](http://v2g.powercircle.org)

<sup>88</sup> <https://www.goteborgenergi.se/privat/elnat/elnavsgift>



kommer dock effektuttaget få en allt större påverkan även för hushållskunder och lönsamheten och incitamenten för V2G skulle därmed stärkas.

## 5.11 Sammanfattning och råd till Stockholms stad avseende batterilagring

### 5.11.1 Förekommande typer av batterier samt klimatavtryck

Li-ion batterier kommer utgöra majoriteten av större batterilager för elnätsapplikationer eller inom fastigheter framgent. Vanliga kemier inom Li-ion familjen för stationära energilager (ESS) är Nickel-Manganese-Cobalt (NMC) och Lithium iron phosphate (LFP) där NMC i dagsläget har en större marknadsandel men där LFP förväntas bli den dominerande kemin för ESS till 2030. Vid en eventuell upphandling av batterier bör Stockholms stad lägga extra tyngd på parametrar så som brandrisk och livstidskostnad, där bägge dessa kemier utgör goda alternativ.

De utsläpp som framförallt tillverknigen, och i en mindre mån användningen, av batterier ger upphov till är ett debatterat ämne där bristande underlag och brister på gemensamma definitioner av systemgränser har gett upphov till mycket livliga diskussioner. Det faktiska klimatavtrycket av batteriproduktion kan variera enormt mycket beroende på vilken typ av batteri som produceras, var det produceras och vilka systemgränser man sätter för analysen. Historiskt sett har batterier främst producerats i Asien, och då främst i Kina, Japan eller Sydkorea, länder som har en helt annan energimix än exempelvis Sverige, och i IVL:s studie noteras att en energimix med mellan 50–70 % fossilt har förekommit i de artiklar som analyserats.

### 5.11.2 Principer för dimensionering och användningsområden

Batterilager i fastigheter kan ha en rad olika tillämpningsområden, däribland:

- Tillgodose överskott från egenproducerad solel
- Sänka effektoppar
- Arbitrage-försäljning
- Delta i systemtjänstmarknader

Dimensioneringen sker utifrån de förutsättningar som respektive byggnad har, där förbrukningsprofilen, batteriets garantivillkor och dess rekommenderade Depth-of-Discharge (DoD) samt kostnadsstrukturen för den inköpta elen spelar en avgörande roll. Samma batteri kan användas för en eller flera av de olika tillämpningsområdena, men beroende på vad som är huvudsyftet med batteriet bör dimensioneringen ske därefter.

Ett nyckeltal som används vid dimensionering av ett batterisystem tillsammans med solceller är kvoten mellan batteriets kapacitet (kWh) och solcellernas installerade effekt [kWp]. En ratio av 1:1, alltså 1 kWh batteri per kW solceller, uppges ge en god kombination av hög nyttjandegrad, ökad andel egenanvändning och prisnivån, då små batterier i regel är dyrare.

Vid dimensionering utifrån någon av de tre ovannämnda tillämpningsområdena finns dessvärre inga generella riktlinjer. Att sänka effektoppar eller att delta i systemtjänstmarknader kan vara lönsamt, speciellt det sistnämnda, men det kräver i regel med styrning och kompetens för att nå goda resultat. Stockholms stads primära syfte att inneha batterilager i fastigheter var enligt detta projekts

uppdagsbeskrivning att tillgodose överskott från egenproducerad solel. Detta är ett bra syfte enligt Sweco men de andra tillämpningsområdena, framförallt deltagandet i systemtjänstmarknader, kan bli mycket attraktivt framöver och bör utredas av staden tillsammans med en lämplig tredjepart.

### 5.11.3 Nyckeltal för kostnader samt medel att söka

Kommersiella batterilager (eng: utility-scale battery storage) utgör för tillfället en relativt liten del av den totala marknaden för Li-ion batterier och batterilager för fastighetssektorn utgör en markant mindre del. Kostnadsunderlaget för batterilager i fastigheter är sparsamt och övergripande sett är batterier fortfarande relativt dyra. Kostnaden per installerad kWh uppskattas befinna sig inom spannet 3000–11 000 SEK/kWh där den mest troliga kostnadsnivå troligen ligger kring 7000 SEK/kWh. Lönsamhet för batterilager i fastigheter har historiskt sett varit svårt att uppnå men i takt med att ersättningen för framförallt deltagande i balansmarknader ökar samtidigt som batterikostnaden sjunker så är det sannolikt att lönsamheten förbättras framgent.

För företag och organisationer så som Stockholms stad finns i nuläget inga statliga stöd i Sverige att söka för installation eller inköp av batterier.

### 5.11.4 Aktuell lagstiftning

Huvudregeln idag är att alla starkströmsledningar behöver nätkoncession (tillstånd) för att få byggas och användas. Syftet med koncessionsplikten är att säkerställa att utbyggnaden av elnätet inte blir samhällsekonomiskt olönsam. Ledningar som är till för att överföra el mellan flera byggnader är således tillståndspliktiga och det innebär att det inte är tillåtet för exempelvis en bostadsrättsförening att sätta upp ett eget nät för att dela solcellsproducerad el mellan byggnader. Framgent så utökas dock undantagen gällande kravet på nätkoncession då regeringen den 3:e november meddelade att ändringar i ellagen rörande detta område kommer att träda i kraft fr.o.m. den 1:a januari 2022. Ändringen i förordningen innebär dels att vissa paragrafer i ellagen upphör att gälla, dels att vissa paragrafer får en ny utformning samt att en ny paragraf, 22 c §, införs. Den tillkommande paragrafen lyder som följer:

*Ett internt lågspänningsnät för delning av energi som inte är en luftledning får byggas och användas utan nätkoncession*

*1. inom nätinnehavarens fastighet, och*

*2. mellan byggnader och anläggningar som var för sig även har en anslutning till en ledning eller ett ledningsnät som används med stöd av nätkoncession*

Detta tillsammans med de nya skrivelserna av bl.a. 22 a § och 24 § innebär att möjligheten att överföra egenproducerad solel mellan fastigheter inom ett specifikt område troligen kommer att förenklas framöver.

## 6. Diskussion och förslag till fortsatt arbete

- Vad som är en spetsteknik har låtits tolkas av bolagen själva, och det är tydligt att det finns många olika bilder och erfarenheter av vad begreppet innebär
- Många tekniska lösningar för energibesparing i byggnader finns på marknaden, och testas både inom de intervjuade bolagen och inte minst i omvärlden
- Flertalet av de tekniker som nämns har funnits under ett antal år, och kan på så sätt kanske inte ses som spetstekniker, men har av olika anledningar inte ännu fått bred användning. Mycket tyder på att tiden är mogen för flera av de nämnda teknikerna.
- Flera respondenter påpekar att för att minska energianvändning i nyproduktion är det viktigaste att säkerställa mätningstrategier och -utrustning, för att sedan mäta, följa upp och utveckla. Även i spjutspetsprojekt har det upplevts att det exempelvis glömts installera givare.
- AI-tekniken ger stora möjligheter till en än mer ändamålsenlig styrning, vilket många av bolagen tar upp som en stor potentiell utvecklingsmöjlighet, och spetsteknik.
- Det finns en möjlighet att ta fram en (Stockholms?)-gemensam strategi för uppföljning, mätning och styrning

## 7. Bilaga – Tekniska aspekter av batterisystem

För mer ingående underlag gällande vissa tekniska aspekter av batterisystem se delkapitlen nedan:

### 7.1 Batteriers livslängd och kapacitetsförsämring

Batterisystemets livslängd och dess eventuella kapacitetsförsämring är en komplex företeelse som varierar utifrån en rad olika faktorer. Batteriets livslängd påverkas av **hur** batteriet används, alltså hur ofta det cyklas (i – och urladdning)<sup>89</sup>, hur snabbt det cyklas, hur stor del av kapaciteten som används vid en urladdning samt omgivningstemperaturen. Batterigarantier från leverantörer är i regel 5–10 år men dessa garantier utgår ofta ifrån att batteriets används på ett vis som leverantören rekommenderar. Tre viktiga begrepp behöver förstås:

- Depth of discharge (DoD)
- C-rate
- State of Charge (SoC)

En term som är av stor vikt i detta sammanhang är **Depth-of-Discharge (DoD)**. En DoD på 100 procent innebär exempelvis att batteriets hela kapacitet laddas ur vid en cykel. I regel gäller att desto högre DoD ju färre antalet cykler kan batteriet leverera innan dess kapacitet har reducerats till 80 procent av den ursprungliga kapaciteten, vilket är en gräns där batterier ofta anses vara *"uttjänta"* för sitt ursprungliga syfte. En DoD på 80 procent eller över brukar refereras till som en *"deep discharge"*. Inversen till DoD är SoC som beskriver hur stor kapacitet som kvarstår i batterier jämfört med dess maximala kapacitet. En SoC på 100 procent innebär alltså att batterier är fulladdat medan motsvarande DoD skulle vara 0 procent.<sup>90</sup>

Påverkan på batteriets kapacitet och välmående beror och på hur snabbt batteriets laddas upp och ur. Här används ofta en term som benämns **C-rate**. Batteriets C-rate, som kan variera för inmatning och utmatning men där för enkelhetens skull ett värde antas i stycket nedan, anger den kontinuerliga ström som det fulladdade batteriet kan leverera under en viss period. En C-rate på 1 för ett batteri med en kapacitet på 1Ah innebär alltså att batteriet kan leverera 1

<sup>89</sup> Batteriets cycle life definieras som antalet gånger batteriet kan laddas upp och laddas ur under sin livstid

<sup>90</sup> [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)

A under en timme. En C-rate på 2 för samma batteri innebär att 0,5 A kan levereras under två timmar etc. En högre C-rate innebär i korthet alltså att en snabbare inmatning eller utmatning är möjlig. Ett exempel på C-rates för ESS är 0,5 C laddning och 6 C urladdning<sup>91</sup>.

En DoD på kring 80 procent, som ofta rekommenderas av batterileverantörer, innebär alltså att den användbara kapaciteten är 80 procent av den totala kapaciteten vilket måste beaktas vid dimensioneringen om energinnehållet är en styrande parameter. Antalet cykler, vid en given DoD, som batterileverantörer i Sverige marknadsför för fastigheter är i regel mellan 2000–3200 cykler<sup>92</sup>. Utvecklingen sker dock i en snabb takt och antalet möjliga cykler stiger därefter.

Informationen ovan styrker att kapacitetsförsämringen och livslängden av ett batteri är extremt beroende av dess förutsättningar, men om en generell indikation ska göras avseende livslängd så anges ett mindre batterisystem med tillhörande solceller ha en livslängd på mellan 8–12 år.<sup>93</sup>

Kapacitetsförsämring kan generellt sätt delas upp i två komponenter. Bägge komponenter till viss del påverkas av exempelvis omgivningstemperaturen och det är därmed svårt att i förhand ge en exakt uppskattning på hur snabbt dessa typer av degradering sker.

- *Calendar aging.* *Calendar aging* innefattar alla åldringsprocesser som leder till batteridegradering oberoende av hur batteriet cyklas<sup>94</sup>
- *Cycling aging.* *Cycling aging* innefattar batteridegradering som uppkommer i och med att batteriet används och cyklas

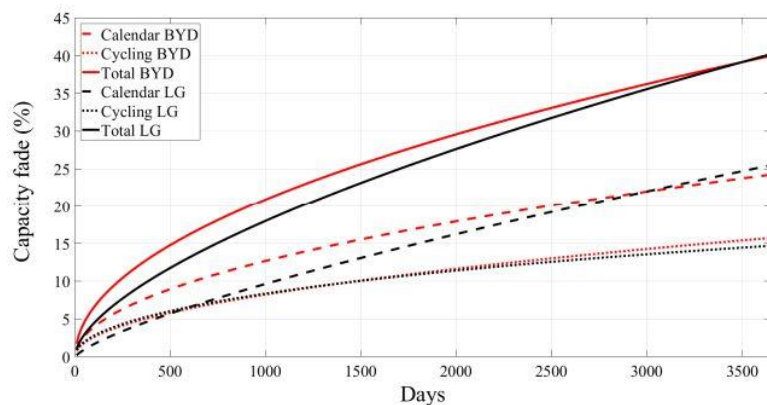
Prestandan av Li-ion batterier har ökat betydligt under det senaste decenniet. Samtidigt är underlaget gällande batteriers kapacitetsförsämring när de används i konjunktion med solceller är svagt. Vissa forskare har istället för att utgå ifrån empiriska data valt att simulera kapacitetsförsämringen. Ett exempel på detta för två av de vanligaste batterisorterna för energilagring i fastigheter, LFP (från BYD) och NMC (från LG), över sin garantitid på 10 år kan ses i Figur 1 nedan.

<sup>91</sup> [https://www.samsungsdi.com/upload/ess\\_brochure/201705SamsungSDI\\_ESS\\_EN.pdf](https://www.samsungsdi.com/upload/ess_brochure/201705SamsungSDI_ESS_EN.pdf)

<sup>92</sup> <https://hemsol.se/blogg/solcellsbatteeri/>

<sup>93</sup> [https://www.researchgate.net/publication/338814859\\_Lifetime\\_Expectancy\\_of\\_Li-Ion\\_Batteries\\_used\\_for\\_Residential\\_Solar\\_Storage](https://www.researchgate.net/publication/338814859_Lifetime_Expectancy_of_Li-Ion_Batteries_used_for_Residential_Solar_Storage)

<sup>94</sup> <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0411609jes>



Figur 5: Simulering av batteridegradering över produkternas garantitid<sup>95</sup>

Över tio år så tappar båda batterier cirka 40 procent av sin ursprungliga kapacitet där både *calendar aging* och *cycling aging* har en stor påverkan. I simuleringen har batteriet från BYD i snitt haft 1,4 fulla cykler per dag medan batteriet från LG haft i snitt 1,2 fulla cykler per dag. Detta är dock enbart ett exempel och den faktiska livslängden och kapacitetsförsämring som uppkommer över tid varierar från fall till fall.

<sup>95</sup>[https://www.researchgate.net/publication/338814859\\_Lifetime\\_Expectancy\\_of\\_Li-Ion\\_Batteries\\_used\\_for\\_Residential\\_Solar\\_Storage\\_s.7](https://www.researchgate.net/publication/338814859_Lifetime_Expectancy_of_Li-Ion_Batteries_used_for_Residential_Solar_Storage_s.7)