

SMART VILLAGE

SJÄLVFÖRSÖRJANDE ENERGISYSTEM I FRAMTIDENS KVARTER – EN FÖRSTUDIE

2019-05-22



SMART VILLAGE

Självförsörjande energisystem i framtidens kvarter – en
förstudie

KUND

Energikontor Sydost

KONSULT

WSP

WSP Sverige AB
121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10 7225000

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Anna Thore

UPPDRAGSNAMN
Smart village

UPPDRAGSNUMMER
10272497

FÖRFATTARE
Anna Thore

DATUM

ÄNDRINGSDATUM

Granskad av

Godkänd av

1 SAMMANFATTNING

Energisystemet är under förändring och småskalig, förnybar energi blir ett allt vanligare inslag. En del av lösningen för att nå målet om att Sverige ska ha 100 procent förnybar elproduktion år 2040 är att utveckla lokala förnybara energisystem, där produktion och användning samspelar optimalt utifrån lokala förutsättningar. Trots det ökade intresset för småskaliga förnybara energisystem med hög självförsörjandegrad finns fortfarande osäkerheter kring hur sådana energisystem kan utformas vid etablering av nya bostadsområden. Detta projekt syftar till att öka kunskapen om lokala energisystem i relation till andra hållbarhetsaspekter vid etablering av ett nytt område.

Projektkonceptet Smart Village har tagits fram ideellt för att bygga framtidens kvarter i en modern ekoenhet på Öland, med hög självförsörjningsgrad ur energisynpunkt. Projektet har som mål att tvista gränserna för hur ett modernt område kan utformas och ge möjligheter till en livsstil med utsläpp nära noll samtidigt som nya förutsättningar skapas för social gemenskap. I detta projekt har vi undersökt och verifierat förutsättningarna för hur ett framtida bostadsområde med nära noll i energiförbrukning framgångsrikt ska kunna realiseras och där bästa klimat- och miljönytta kan integreras i ett lokalt energisystem.

Projektet har utgått från befintlig teknik och undersökt möjliga lösningar för etablering av ett självförsörjande energisystem i Smart village, med särskilt fokus på energiteknik och digitalisering. Projektet har studerat vilka tekniska valmöjligheter som finns gällande lämpliga energikällor, digitala energitekniska lösningar samt på vilket sätt fysisk planering kan påverkas.

Resultaten bidrar med ny kunskap kring hur lokala energisystem kan utformas, utifrån såväl tekniskt, ekonomiskt, miljömässigt och socialt perspektiv. Resultaten visar att hög grad av självförsörjande kräver avancerad styrning och framförallt möjlighet att lagra stora mängder energi över året. Tekniken finns men kostnadsberäkningar i projektet visar att vätgaslager, som krävs för säsongslagring av krävda volymer, innebär stora investeringar. Däremot kan det ses att lokal produktion utan lokal energilagring ur ett ekonomiskt perspektiv är jämförbart med att köpa in energi, eller till och med billigare sett över en 20-års period.

Projektgruppen har varit branschöverskridande med deltagare från Kalmar Energi, byggföretaget I am Home, WSP och ideella Smart Village. Resultaten från studien syftar till att kunna vägleda och inspirera de som vill gå före regelverket och redan nu satsa på att bygga framtidens samhällen. Projektet skapar förutsättningar för att i nästa steg bedriva framtida banbrytande demonstrationsprojekt, där ytterligare lärdomar kan spridas. Nästa steg blir att ta projektet vidare och utifrån detta projekts resultat välja inriktning för utformning av lösningar till området Smart village.

2 SUMMARY

The energy system is developing and local energy systems are becoming more and more common. A part of reaching the goal of 100 % renewable electricity generation in Sweden in 2040 involves developing local renewable energy systems, where generation and end-use are flexible and optimized based on local preconditions.

Despite the high interest in local energy systems with high self-sufficiency, there are still uncertainties about how such energy systems can be designed when establishing new communities. This project aims to increase the knowledge about local energy systems and digital solutions in relation to sustainability aspects when developing a new community.

The Smart Village concept developed to build the block of the future in a modern eco-unit with high self-sufficiency from an energy perspective. The aim of the project is to dispute the limits of how a modern area can be designed and provide opportunities for a lifestyle close to zero while creating new conditions for social community. In this project, we have investigated and verified the conditions for the successful completion of a future residential area with zero energy consumption, and the best climate and environmental benefits can be integrated into existing energy systems.

Based on existing technology, the project has analyzed possible solutions for establishing a local energy system in Smart village, focusing on energy solutions and digitalization. The project has studied relevant energy sources and digital technology as well as possible effects on the physical planning of the community.

The results bring increased knowledge on how local energy systems can be designed, from a technical, economic, environmental and social perspective. Generally, the results show that a high level of self-sufficiency demands advanced control systems and digital solutions and large energy storage capacity. Necessary technical solutions exist today but economical estimates show that hydrogen storage, which is needed for having seasonal energy storage, is expensive. However, the results show that local energy generation without energy storage are comparable to buying energy generated elsewhere from an economic perspective, or even more cost-effective over a period of 20 year.

The project group is cross-industry in which Kalmar Energy, the construction company I am Home, WSP and Smart Village. The results of the study aim to be able to guide and inspire those who want to go before the rules and invest in building future societies. The project creates the prerequisites for conducting future groundbreaking demonstration projects where lessons can be disseminated. The next step is to further develop the solutions for Smart village, based on the results gained in this project.

INNEHÅLL

1	SAMMANFATTNING	3
2	SUMMARY	4
4	INLEDNING	7
5	BAKGRUND	7
5.1	SMART VILLAGE	7
5.1.1	Energibehov	9
6	SCENARION	10
6.1	SCENARIO 1 – SYSTEMLÖSNING	10
6.2	SCENARIO 2 – LOKAL PRODUKTION	10
6.3	SCENARIO 3 – SMART SAMVERKAN	11
6.4	SCENARIO 4 – OFF GRID READY	11
7	ENERGIFÖRSÖRJNING	12
7.1	EL	12
7.1.1	Produktion på annan plats	12
7.1.2	Produktion lokalt	14
7.1.3	Distribution	18
7.1.4	Lagring	18
7.2	VÄRME	19
7.2.1	Produktion på annan plats	19
7.2.2	Produktion lokalt	20
7.2.3	Distribution	21
7.2.4	Lagring	21
8	DIGITALISERING	22
8.1	IOT	22
8.2	KOMMUNIKATIONSTYP	23
8.3	VISUALISERING	24
8.3.1	Steg 1 i digitaliseringstrappan	24
8.3.2	Steg 2 i digitaliseringstrappan	25
8.3.3	Gränssnitt	25
8.3.4	Produktion	26
8.3.5	Laster	27
8.3.6	Styrmedel för att påverka individers beteende	27
8.3.7	Minskad energi- och effektförbrukning med nudging	28
8.3.8	Potential för energibesparing för hemmet genom visualisering	29
8.4	STYRNING	29
8.4.1	Smart styrning	29
8.4.2	Steg 3 i digitaliseringstrappan	30
8.4.3	Steg 4 i digitaliseringstrappan	31
8.4.4	Styra produktionen	31

8.4.5	Styra konsumtionen	32
8.4.6	Energibesparing i hemmet genom styrning	32
8.4.7	Smarta produkter och dess energibesparingspotential	33
8.5	DATAKÄLLOR	34
8.5.1	Internet	34
8.5.2	Lokalt	34
9	FÖRSLAG PÅ LÖSNINGAR	35
9.1	SCENARIO 1 – SYSTEMLÖSNINGEN	35
9.1.1	Teknisk lösning	36
9.2	SCENARIO 2 – LOKAL PRODUKTION	38
9.2.1	Teknisk lösning	38
9.3	SCENARIO 3 – SMART SAMVERKAN	40
9.3.1	Teknisk lösning	40
9.4	SCENARIO 4 – OFF GRID READY	43
9.4.1	Teknisk lösning	43
10	UTVÄRDERING OCH ANALYS	47
10.1	KOSTNADSUTVÄRDERING	47
10.1.1	Kostnadsredovisning energisystem	47
10.1.2	Underhållskostnad	48
10.2	HÅLLBARHETSUTVÄRDERING	51
10.3	PÅVERKAN PÅ BYGGANDET OCH FYSISK UTFORMNING AV SMART VILLAGE	53
10.4	UTVÄRDERING- TEKNISKA LIVSLÄNGDER OCH TEKNIKUTVECKLING	54
10.5	SLUTREKOMMENDATION	55
11	FÖRVERKLIGANDE	57
12	REFERENSER	58
13	BILAGA 1 – FÖRSTUDIE SOLCELLSANLÄGGNING	59
14	BILAGA 2 – UNDERLAG FÖR LCC	59

4 INLEDNING

Energisystemet är under förändring och småskalig förnybar energi blir ett allt vanligare inslag. En del av lösningen för att nå målet om att Sverige ska ha 100 procent förnybar elproduktion år 2040 är att utveckla lokala förnybara energisystem, där produktion och användning samspelar optimalt utifrån lokala förutsättningar. Ökad digitalisering och styrning är en viktig del av en sådan utveckling.

Med lokala energisystem blir det möjligt att göra avgränsade områden självförsörjande på energi. Genom att använda lösningar för att producera och på ett smart sätt ta tillvara på el och värme från förnybara energikällor lokalt, som exempelvis solceller eller småskaliga vindkraftverk, kan detta bli möjligt.

Intresset för lokala energisystem har ökat markant på senare år och det ses som en viktig del i framtidens energilandskap. De tekniska lösningarna för att göra detta möjligt finns på marknaden idag och det finns flera exempel på pågående projekt i Sverige med lokala energisystem.

5 BAKGRUND

I Kalmar län och på flera andra håll i Sverige har intresset för nya bostadsområden som är självförsörjande på energi ökat markant. Dessa områden vill ofta gå mycket längre än Boverkets byggregler och utöver lokal energiproduktion även etablera passiv/plusenergihus och delningsekonomi med gemensamma lösningar. Kunskapen om hur sådana områden planeras och utformas är dock begränsad hos projektörer, fysiska planerare, byggnadsföretag och installatörer.

En grupp av intressenter bestående av Energikontor sydost, Smart Village, I am home, Kalmar Energi och WSP har gått samman för att starta ett projekt som underlättar planeringen av stadsdelar med hög självförsörjningsgrad. Smart Village är ett nystartat koncept som har erhållit en markanvisning i Färjestaden på Öland och planerar att etablera hållbar stadsdel där inom snar framtid. Genom att ta hjälp av ovanstående konsortium har Smart Village sökt medel inom Viable Cities för att underlätta etableringen av en stadsdel med innovativt ekologiskt tänk och en hög självförsörjandegrad.

Denna rapport fungerar som en första förstudie för att undersöka möjliga lösningar för etablering av ett självförsörjande energisystem i Smart village, med särskilt fokus på energiteknik och digitalisering. Projektet undersöker vilka tekniska valmöjligheter som finns gällande lämpliga energikällor, digitala energitekniska lösningar samt på vilket sätt fysisk planering kan påverkas. Baserat på detta ger studien en rekommendation om lämpliga lösningar för Smart village med utgångspunkt i ett antal scenarion.

5.1 SMART VILLAGE

Smart village är beläget i utkanten av ett villaområde i östra delen av Algutsrum på Öland, på en yta om totalt 67 000 m². Ambitionen är att

uppföra ett antal kvarter, som i sig kan bilda ett litet eget smart village men som fortfarande är en del av helheten.

Området kommer bestå av cirka 75 fasta hushåll från 15 m² och uppåt samt flera kringbyggnader för verksamhet, odling m.m. Totalt uppskattas det vara cirka 150-200 personer boende eller verksamma i området. Utöver detta planeras även 10 mindre byggnader för tillfällig uthyrning/turism, varav ett antal helt off-grid.

Den invändiga byggnadsytan och uppvärmda lokaler, kallat A_{temp} , är ca 5300 m² varav 4000 m² för boende och 1300 m² för gemensamma lokaler och annan verksamhet. Boverkets definition av A_{temp} är följande:

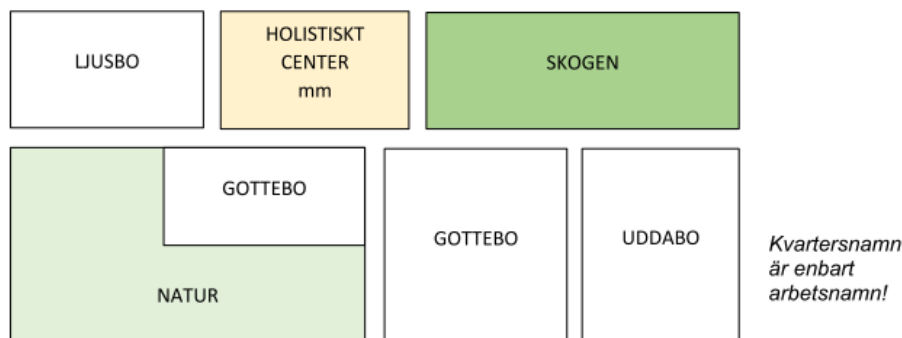
"Arean av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10°C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte."

Alla uppvärmda byggnader i Smart village kommer vara av passivhusstandard. Passivhus är en internationellt etablerad standard för energieffektiva byggnader. Konceptet är ett resultat av ett gediget internationellt utvecklingsarbete och kombinerar hög komfort, hållbar kvalitet och låg energianvändning, vilket i sin tur medför låga driftkostnader och miljöpåverkan. I den internationella standarden ska tre krav uppfyllas vid nybyggnation för att uppnå standarden *Passivhus Classic*:

- Specifikt årsvärmebehov om max 15 kWh/m², år eller maximalt värmeeffektbehov om 10 W/m².
- Luftomsättning vid provtryckning n50 om maximalt 0,6 oms/h.
- Användning av förnybar primärenergi $\leq 0,6$ kWh/m², år.

Energin som används i Smart village ska uteslutande komma från förnybara källor. Det finns möjlighet att producera energi lokalt i området. Exempelvis finns det tillgängliga ytor för solenergi på tak (5000 m²) och på mark (1000 m²), med 95 % effektutnyttjande med hänvisning till väderstreck och takvinkel. Det är inte möjligt med storskalig vindkraft på området, men mindre konstruktioner är tänkbart.

Området kommer bestå av olika kvarter med olika bebyggelse. I Figur 1 visas en översikt över området och dess olika kvarter. Kvarteren beskrivs även kort under figuren.



Figur 1 Översiktskarta över kvarteren i Smart village.

Ljusbo kommer ha små lägenheter (25-60 m²) i hus med två plan. Det kommer vara 25 hushåll á 40 m², och kvarteret har en 150 m² stor gemensamhetslokal, en liten verkstad, vinterträdgård och växthus samt förrådsbyggnader. Total bebyggd yta är 1360 m² och 884 m² av taket kan användas för solpaneler.

Gottebo kommer ha parhus i markplan, alternativt i två plan, med en boendeyta på ca 45-80 m². Totalt kommer det finnas 30-35 hushåll á 60 m² i snitt, samt diverse kringbyggnader. Total bebyggd yta blir 2480+600 m² och totalt 1612 + 390 m² på taket 500+200 m² på marken kan användas för solpaneler.

Holistiskt center är ett parkliknande område med 3-5 större byggnader för verksamhet, inte boende. Här planeras en bilpool med 5 bilar och eventuellt livsmedelsproduktion med aquaponik och vertikal odling. Bebyggd yta är 1120 m² och 728 m² av taket är tillgängligt för solpaneler.

Uddabo kommer vara ett område med hus i olika utförande med en boendeyta på totalt 10-80 m². Det kommer bestå av 25-30 hushåll á 40 m² i snitt samt ett servicehus och några kompletteringsbyggnader. Här finns möjlighet att uppföra hushåll helt off-grid. Total bebyggd yta är 2240 m² och 1456 m² av taket samt 300 m² av marken är tillgängligt för solpaneler.

Natur får inte bebyggas med byggnader eller solpaneler, men en damm för dagvatten planeras där.

Skogen kommer behållas och delvis utvecklas till en skogsträdgård. Eventuellt kan några ströbyggnader bli aktuellt samt eventuellt boenden i skogsbrynet.

5.1.1 Energibehov

Energibehovet i Smart village kommer bestå av värme till uppvärmning och tappvarmvatten samt el till hushåll och gemensamhetsanläggningar.

I området kommer det även finnas elbilar som behöver el för laddning. Det beräknas finnas 5 elbilar i en bilpool och flera elcyklar, samt 15 privatägda elbilar. Poolbilarna används cirka 500 mil/år och de privatägda cirka 1500 mil/år.

Totalt energibehov i Smart village uppskattas till följande:

- Uppvärmning (enl. passivhusstandard): 79 500 kWh/år (15 kWh/m²)
- Tappvarmvatten: 106 000 kWh/år (20 kWh/m²)
- Hushållsel m.m. (inkl. hushållsel, el till gemensamhetsanläggningar, elbilar): 190 000 kWh/år (35,8 kWh/m²), varav;
 - o Cirka 20 000 kWh/år går till gemensamhetsanläggningar
 - o Cirka 50 000 kWh/år går till laddning av elbilar (baserat på att all laddning sker i området, vilket sannolikt inte kommer vara fallet)
- Fastighetsel: uppskattat till 53 000 kWh/år (10 kWh/m²)

6 SCENARION

Denna rapport utgår från fyra olika scenarion vid beskrivning av lösningar för energisystemet i Smart village. Scenariona varierar framförallt i grad av självförsörjande. De fyra scenariona och vad de innefattar redovisas översiktligt i tabellen nedan och beskrivs mer utförligt senare i detta kapitel.

Tabell 1 Översikt scenarion.

	1. System-lösning	2. Lokal produktion	3. Smart samverkan	4. Off grid ready
Energiproduktion	Annan plats	On site	On site	On site
Energilagring	Systemtjänst	Systemtjänst	On site + Systemtjänst	On site
Energianvändning	Normal	Normal	Optimerad	Optimerad
Visualisering	Ja	Ja	Ja	Ja
Ö-drift	Nej	Nej	Nej	Ja

6.1 SCENARIO 1 – SYSTEMLÖSNING

I Scenario 1 finns ingen lokal energiproduktion i området utan all energi köps in. Energianvändningen ser ut som i en modern by med passivhusstandard. Det finns inget energilager eller laststyrning, men det är möjligt för de boende att på hushållsnivå övergripande se sin energianvändning.

6.2 SCENARIO 2 – LOKAL PRODUKTION

I det här scenariot produceras energi lokalt i Smart village. Produktionen täcker områdets energibehov på årsbasis. Överskott från elproduktion levereras ut på elnätet och området köper energi från nätet vid tidpunkter när den egna produktionen inte räcker till. Energianvändningen ser ut som i en modern by med passivhusstandard. Det finns inget energilager eller laststyrning, men lokal produktion och användning visualiseras övergripande.

6.3 SCENARIO 3 – SMART SAMVERKAN

Precis som i Scenario 2 sker energiproduktionen lokalt, men i detta scenario finns även möjlighet att lagra energi och visualisering är mer avancerad. Här inkluderas även möjligheten till smart styrning av energiflödena för att optimera produktion och användning. Kvarteret är fortfarande anslutet till elnätet men kan nu samverka med det, t.ex. genom att styra användning och produktion för att kapa effektoppar. Samverkan med systemet sker antingen genom generella prissignaler (t.ex. spotpris på el) eller genom mer specialiserade lösningar. I Scenario 3 är kvarteret självförsörjande på årsbasis för all energi och helt självförsörjande för vissa energiflöden.

6.4 SCENARIO 4 – OFF GRID READY

I det här fallet gäller samma som för scenario 3, det vill säga lokal produktion, energilagring i området och optimerad energianvändning med smart styrning. Här läggs även visualisering på kvartersnivå in, vilket möjliggör ytterligare samverkan mellan produktion och användning i området. I detta scenario är Smart village helt självförsörjande på energi utan någon som helst extern energileverans eller spänningssättning, ö-drift är alltså möjligt.

7 ENERGIFÖRSÖRJNING

För att tillgodose energibehovet i Smart village finns ett flertal olika lösningar att tillgå för produktion och lagring av el och värme. Viktigast vid val av energilösning är att utgå från energibehovet, både hur stort det är och hur användningsmönstret ser ut, samt de lokala förutsättningarna.

I detta kapitel beskrivs möjliga lösningar för produktion och lagring, både lokalt i området och på annan plats. Syftet är att ge en bakgrund till utformningen av energilösningarna för de olika scenariona, vilka presenteras i kapitel 9. Utgångspunkten för samtliga lösningar är att de är förnybara och realistiska utifrån förutsättningarna i Smart village.

7.1 EL

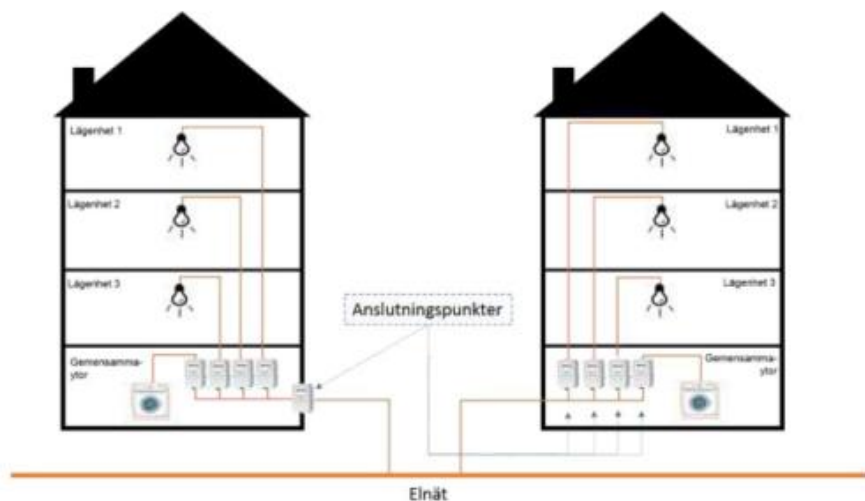
El utgör den största delen av energibehovet i Smart village. Nedan beskrivs möjliga lösningar för att tillgodose elbehovet, både genom produktion på annan plats och lokalt i området. Även lösningar för att distribuera och lagra el presenteras.

7.1.1 Produktion på annan plats

Inköp av el via elavtal

Om elbehovet ska tillgodoses utan lokal produktion är det enklaste alternativet att köpa in miljömärkt el via elavtal. Elavtal sluts med elhandelsföretag och kunder är fria att välja ett elavtal, oberoende av vem som äger elnätet på platsen. De flesta elhandelsföretag erbjuder elavtal där elen kommer från förnybara energikällor, ofta kallat miljömärkt el.

För en förening eller område med flerfamiljshus är det möjligt att ha lägenhetsabonnemang eller gemensamhetsabonnemang för el. Lägenhetsabonnemang innebär att varje hushåll har egna elavtal och föreningen har ett separat elavtal för fastighetsel med mera. Med gemensamhetsabonnemang har istället föreningen ett gemensamt abonnemang med en anslutningspunkt till elnätet och varje hushåll har en undermätare för att möjliggöra debitering av respektive hushålls elanvändning. En illustration av funktionen för gemensamhetsabonnemang respektive lägenhetsabonnemang visas i Figur 2 nedan.



Figur 2 Principiell funktion för gemensamhetsabonnemang (vänster) jämfört med enskilda anslutningar i varje lägenhet (höger), Källa: www.energiporten.se

Med gemensamhetsabonnemang kan kostnadsbesparingar göras för den fasta elnätsavgiften, som annars finns för respektive lägenhetsabonnemang. Gemensamhetsabonnemang gör det även enklare att använda egenproducerad el i större utsträckning eftersom det då är möjligt att som förening ha övergripande koll på den totala energianvändningen i fastigheten och tillåtelse att förse såväl hushåll och fastighet med egenproducerad el. (BeBo, 2018)

En nackdel med gemensamhetsabonnemang är att de boende förlorar möjligheten att välja elleverantör eller elhandelsavtal. De förlorar även rätten till skadestånd vid elavbrott och rätten att få elmätaren kontrollerad om fel misstänks. Detta kan dock avtalas om separat med elnätsföretaget av föreningen. I förhandlingssituationer bli föreningen en starkare röst mot elnätsbolaget om man har ett gemensamhetsabonnemang. (BeBo, 2018)

Vid gemensamhetsabonnemang i en förening, eller i ett helt kvarter, behöver en struktur upprättas för hur administrationen som krävs för att samla in mätdata och debitera varje användare ska gå till. Ett alternativ är att låta el ingå i som en fast parameter i hyran. Det finns företag som erbjuder sig att ordna konverteringen till gemensamhetsabonnemang och sköta mätdatahantering och fakturering. Även vissa traditionella elbolag har sådana erbjudanden. (BeBo, 2018)

Andelsägd solcellspark

Ett annat alternativ för produktion på annan plats är att bygga en solcellsanläggning som ägs av en ekonomisk förening, som i sin tur ägs av föreningens medlemmar genom andelar. En sådan lösning är särskilt lämplig om tak och mark i det egna området inte passar för solceller. (BeBo, 2018)

Modellen förutsätter samverkan med ett elhandelsbolag som köper in el från anläggningen och säljer den vidare till föreningens medlemmar. Varje medlem äger en eller flera andelar i anläggningen, vilket berättigar en viss mängd el till ett självkostnadspris. Föreningen rapporterar månadsvis till elhandelsbolaget hur mycket el medlemmarna fått för sina andelar och elhandelsbolaget säljer och fakturerar därefter kunderna för den el de

använt. Den el som varje medlem använder från den andelsägda solcellsanläggningen får de till självkostnadspris och övrig el till marknadspris. (BeBo, 2018)

En nackdel med denna lösningen är att solelen beläggs med energiskatt precis som vid vanliga elinköp. En fördel är dock att anläggningen kan byggas där förutsättningarna är optimala och ofta i större skala än en normal anläggning på ett flerbostadshus. (BeBo, 2018)

För Smart village finns goda förutsättningar för solcellsanläggningar i området. Incitamenten för att anlägga en solcellspark på annan plats är därför begränsade.

Andelsägd vindkraftspark

Precis som för solcellsanläggningar finns möjlighet att andelsäga en vindkraftsanläggning på annan plats. Att andelsäga innebär att en part, t.ex. en ekonomisk förening som Smart village, går in som investerare i ett bolag eller ekonomisk förening som skapats kring en vindkraftspark. Vanligast är att bli delägare i en färdigutvecklad park, där man genom att köpa andelar har rätt till en viss andel av den producerade elen. Normalt motsvarar en andel en beräknad produktion på 1000 kWh/år (Wizelius, 2012). En andel kostar cirka 5000-7000 SEK (Wizelius, 2012).

För varje köpt vindandel berättigas en viss mängd el per år från vindkraftsparken. Dessutom betalas självkostnadspris för den använda elen, vilket normalt är lägre än priset för el köpt på elbörsen Nord Pool. Som andelsägare i en vindkraftsanläggning i drift kan även avkastning fås på såld el. Vanligen innebär en vindkraftsanläggning en avkastning på cirka 7-12 % under drifttiden. (Svea Vind, u.d.)

En fördel med att andelsäga i en vindkraftspark, jämfört med att köpa el genom gröna elavtal, är att investeringen bidrar till utbyggnaden av vindkraft vilket ökar mängden förnybar energi i systemet. Jämfört med att etablera vindkraft lokalt i området möjliggör andelsägande etablering av större anläggningar med bättre verkningsgrad och större total elproduktion på färre antal vindkraftverk. Exempelvis genererar ett landbaserat vindkraftverk med en generator på 2 MW cirka 6 GWh/år, vilket motsvarar elförbrukningen i cirka 300 villor (cirka 20 000 kWh/år och villa) eller 1200 lägenheter (cirka 5000 kWh/år och lägenhet). (Svea Vind, u.d.)

7.1.2 Produktion lokalt

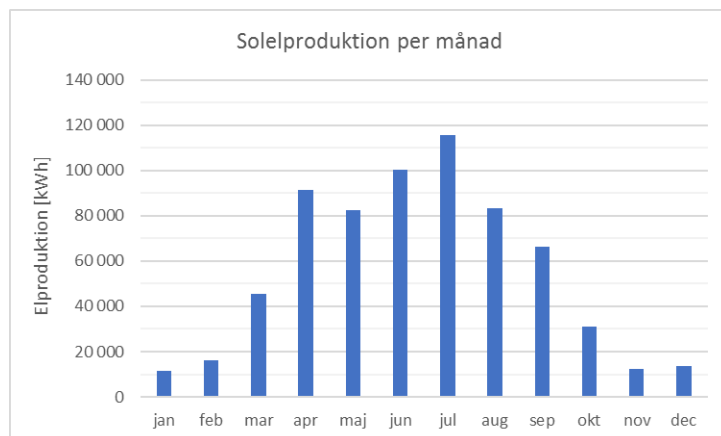
Solceller

Solceller monterade på tak eller mark är en av de vanligaste lösningarna för lokal elproduktion. Solcellsanläggningar är enkla att hantera och driva då de är i princip underhållsfria. Solceller har även ett starkt kommunikativt värde, de syns lätt och nyttan är enkel att kommunicera vilket kan bidra till områdets miljöprofil.

Elproduktionen från solceller varierar över året och dygnet, med större produktion på sommaren samt mitt på dagen och mindre produktion på vintern och kvällar/nätter. Bäst effektivitet fås om solcellerna placeras mot söder, men genom att placera anläggningar mot även öst och väst fördelas solelproduktionen mer jämnt över dagen, i och med att en anläggning mot

öst producerar mer på förmiddagen och en anläggning mot väst producerar mer på eftermiddagen.

I Smart village finns tillgängliga tak- och markytor för solceller. En separat förstudie (se Bilaga 1) har genomförts och visar goda förutsättningar för etablering av solcellsanläggningar både på tak och mark i området. Studien visar att den potentiella solelproduktionen från takytor i Smart village är totalt 669 500 kWh/år, vilket gott och väl täcker årsbehovet av el i området. Beräknad produktion per månad visas i Figur 3 nedan. Mer information om potentialen för solcellsanläggningar i Smart village redovisas i Bilaga 1.



Figur 3 Beräknad solelproduktion per månad i Smart village.

Eftersom användningen av el ofta är störst på vintern och på kvällar, när produktionen är som lägst, behövs alternativ elförsörjning vid överskott eller underskott av lokal produktion. Exempelvis kan el köpas in från elnätet vid underskott i egen produktion och säljas till elnätet vid överskott.

Det är nästan alltid mer lönsamt att använda sin egenproducerade el istället för att köpa el från elnätet, där kunden utöver elhandelspris även betalar energiskatt, elcertifikatsavgift, rörlig överföringsavgift och moms. För att maximera användning av egenproducerad el från solceller kan energilager etableras och laster styras.

I fall med överskottsproduktion av solel är det mer lönsamt att byta ut lägenhetsabonnemang mot ett gemensamt abonnemang med undermätare, vilket finns beskrivet tidigare i detta kapitel. Då kan solelen användas för att tillgodose både behovet av både hushållsel och fastighetsel, istället för att bara kunna användas till fastighetsel. Det ökar mängden egenanvänd el och minskar överskottet som matas in på det allmänna nätet.

Det behövs inga tillstånd för att sätta upp solceller på sin fastighet. Värt att tänka på vid dimensionering av anläggningen är dock att anläggningar större än 255 MW per fastighet måste betala energiskatt på den egenanvända solelen. Begreppet "anläggning" är inte definierat i lag, men i författningskommentarer är det tydligt att fiktiva uppdelningar inte är tillåtna. Avgränsningen för olika anläggningar beror på inkopplade växelriktare och inmatningspunkter, det geografiska avståndet och om det är olika ägare på samma tak. Utgångspunkten i den förstudie som gjorts för detta projekt, se Bilaga 1, är att byggnaderna inom Smart village kommer vara uppdelade i olika fastigheter och att det därmed finns möjlighet att fördela solcellsanläggningarna på olika fastigheter med olika ägare, för att undvika att det blir en eller flera enskilda anläggningar över 255 kW. Ägare till flera

anläggningar som tillsammans överstiger 255 kW betalar 0,5 öre/kWh i energiskatt på egenproducerad el.

Det finns ett flertal olika ekonomiska bidrag att söka för etablering av solceller lokalt. Privatpersoner och företag kan få investeringsstöd i form av ett bidrag om 30 % av investeringskostnaden, vilket skulle kunna sökas av Smart village. Efter installation kan även olika löpande intäkter fås för el som anläggningen producerar både genom olika stöd och genom att sälja överskottsel. Exempelvis fås en skattereduktion för överskottsel som matas in på elnätet, elcertifikat, ursprungsgarantier, ersättning för såld överskottsel (normalt för spotpriset på Nord Pool minus ett litet avdrag), ersättning för inmatning på nätet (vanligtvis några öre/kWh utmatad el som elnätsföretaget är skyldig att betala ut) samt undantag för från energiskatt (för anläggningar mindre än 255 kW). Med egenanvänd el undviks även en kostnad motsvarande priset som man annars skulle köpt el för, innehållande såväl elpris, energiskatt, elcertifikatavgift, rörlig överföringsavgift och moms. (Energimyndigheten, 2018)

Småskalig vindkraft

Småskalig vindkraft är mindre säsongsberoende än solceller. Precis som solen varierar vinden vid olika tidpunkter men det finns inte ett lika tydligt säsongsmönster som för solcellsproduktion i Sverige. Det är därför enklare att uppnå en jämnare elproduktion över året med vindkraft än med solceller, vilket minskar behovet av att säsongslagra el för att uppnå hög självförsörjandegrad.

Det finns olika typer av småskaliga vindkraftverk, varav vissa monteras på byggnader och andra monteras för sig själva. Den vanligaste typen har en rotor med en horisontell axel. Olika modeller har tekniska skillnader, exempelvis i hur de hanterar vindförhållanden och hur mycket buller de ger upphov till. För att få sätta upp ett vindkraftverk utan bygglov får det vara max 20 meter högt, ha en rotordiameter om högst tre meter och det ska rymmas liggande på längden inom den egna tomtgränsen. Denna typ av vindkraftverk kallas för miniverk. Utan bygglov får dessa inte vara monterade på en byggnad. (Nätverket för Vindbruk, 2014)

Trots att det inte behövs bygglov för miniverk krävs att de anmäls enligt 6 kap §5 i plan- och byggförordningen. Om två eller fler vindkraftverk ska stå tillsammans omfattas dock verksamheten av anmälningsplikt enligt Miljöbalken. För nästa storlek på vindkraftverk, så kallade gårdsverk med en totalhöjd på 20-50 meter, krävs bygglov enligt plan- och bygglagen. (Vindlov.se, 2017)

Hur mycket el som ett vindkraftverk kan producera är helt beroende på vindstyrkorna på platsen där det placeras. Vinden har lägre hastighet på låga höjder och kan påverkas av byggnader eller höga träd i närheten. Det är därför viktigt att göra noggranna vindutredningar på platsen för att avgöra de lokala produktionsförutsättningarna innan etablering av ett vindkraftverk. (Nätverket för Vindbruk, 2014)

Precis som för solcellsanläggningar kan överskott av el producerad från det lokala vindkraftverket matas ut på elnätet. Anslutning av ett vindkraftverk till elnätet måste godkännas av det lokala elnätsföretaget, även om anslutningen sker inom den egna byggnadens elinstallation (Nätverket för

Vindbruk, 2014). Att använda den producerade elen i största möjliga mån lokalt är dock mest kostnadseffektivt även i detta fall.

WSP har i tidigare studier utrett olika modeller av småskaliga vindkraftverk. Som utgångspunkt för denna rapport och dess underliggande beräkningar gällande småskalig vindkraft i Smart village har ett vindkraftverk från Dalifur med en märkeffekt på 11 kW undersökts. I tabellen nedan följer de tekniska specifikationerna för en sådan anläggning. Med denna anläggning skulle Smart village behöva söka bygglov.

Tabell 2 Tekniska specifikationer för InnoVentums vindkraftverk Dalifanten. Källa: InnoVentum.

Årlig elproduktion (medelvind 6 m/s)	38 000 kWh
Märkeffekt	11 kW vid 9,5 m/s
Rotordiameter	13 m
Diameter tornets bas	4,8 m
Nätanslutning	Godkänd mot nätkrav
Ljudnivå vid 6 m/s	40 dB(A) på 80 m avstånd
Tornhöjd	19,8 m



Figur 4 Bild på småskalig vindkraftsanläggning från InnoVentum med effekt på 11kW. Källa: InnoVentum.

Stirlingmotor

Det finns flera kommersiellt gångbara lösningar för lokal energiförsörjning från stirlingmotorer. Det är en smidig och effektiv lösning, med en verkningsgrad på cirka 90 % där 30 % går till el och 70 % till värme, som har låga bullernivåer. Olika energislag kan användas för att driva stirlingmotorn, men gas är ett bra alternativ ur effektivitetssynpunkt. Ett alternativ för lokal elförsörjning i Smart village skulle därför kunna vara att ha en biogasdriven stirlingmotor.

I Smart village finns en ambition om att vara självförsörjande i hög grad. Med en stirlingmotor driven av biogas kommer biogas behöva köpas in till kvarteret, området blir alltså inte självförsörjande på energi lokalt.

Energibehovet i Smart village består framförallt av el. Med en stirlingmotor genereras omkring 30 % el och 70 % värme. Denna lösning lämpar sig därför bättre vid större behov av värme än el. I Smart village är förhållande det omvända, där värmebehovet är lågt på grund av passivhusstandard men elbehovet betydligt mycket högre. Med en biogasdriven stirlingmotor i Smart village skulle därmed en stor anläggning krävas för att generera tillräckligt mycket el för att täcka elbehovet, och stora mängder värme skulle spillas till följd. Ett alternativ kan däremot vara att etablera en stirlingmotor för att tillgodose delar av elbehovet och komplettera med andra lösningar, exempelvis solceller, för att täcka upp resterade behov.

Lokal förbränningsanläggning

Att etablera ett småskaligt biobränsleeldat kraftvärmeverk är ytterligare en teknik för lokal el- och värmeproduktion. Samma problematik som för stirlingmotorn gäller dock även här, att ett kraftvärmeverk genererar för lite el i förhållande till värme sett till energibehovet i Smart village. Dessutom kräver även denna lösning inköp av bränsle från annan plats, vilket inte helt ger självförsörjande lokalt. Vid etablering av en biobränsleeldad panna för energiförsörjning av Smart village skulle även andra anläggningar för elproduktion behövas för att tillgodose elbehovet.

7.1.3 Distribution

För att underlätta hög grad av självförsörjande kan ett lokalt elnät i området, ett så kallat mikronät etableras. Det kan i praktiken betyda att det lokala systemet, sammanhållet av mikronätet, optimerar sin användning mot överliggande distributionsnät och därmed minskar belastningen på nätet, precis som distributionsnäten idag optimerar sin verksamhet mot regionnäten. Vanligtvis har mikronät växelström men även nät med likström istället för växelström har börjat byggas inom eller mellan byggnader. Flera komponenter i lokalnätet, t.ex. solceller, batterilager och hemelektronik, använder likström. Genom att koppla samman komponenterna i ett likströmsnät kan förluster från omvandling mellan lik- och växelström minskas.

7.1.4 Lagring

Lagring är en avgörande pusselbit i att vara självförsörjande på lokalt producerad el. Det finns i dagsläget framförallt två lösningar för energilagring kommersiellt tillgängliga på marknaden; batterier och vätgaslagring.

Batterier

Batterier kan användas för att lagra mindre mängder el och för hantering av kortare avbrott i elproduktion på tim- och/eller dygnsbasis. De kan etableras fastighetsnära men vid stora lagringsbehov, som för säsongslagring, krävs ofta stora anläggningar som i dagsläget är både kostsamma och skrymmande. De batterier som finns på marknaden i dag är därför mest lämpade som komplement i systemet, för snabba svängningar och korttidslagring, men inte för säsongslagring av el.

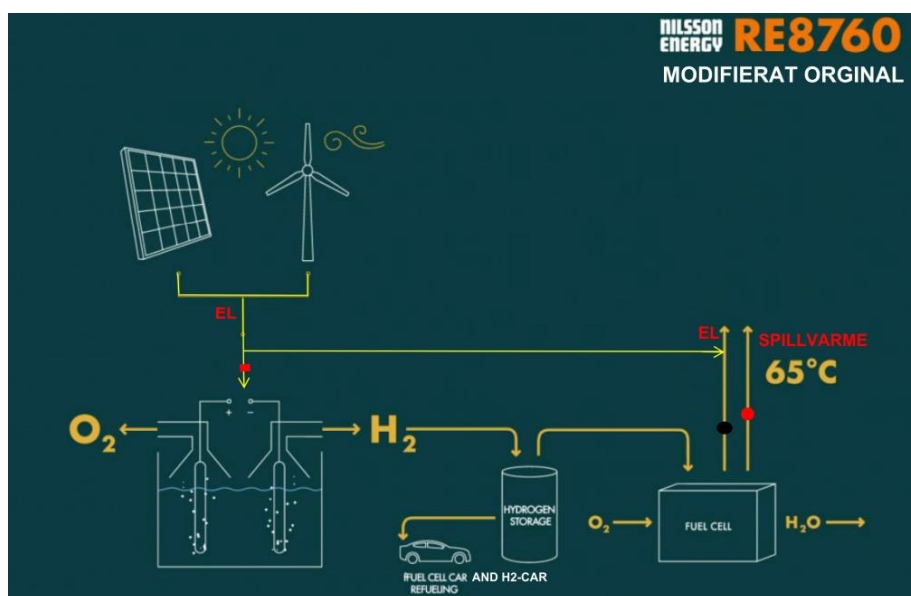
Vätgas

För säsongslagring av el är vätgaslager i kombination med bränsleceller det enda rimliga alternativet. Med en sådan lösning används lokalt producerad el för att vid överskott på el tillverka vätgas genom elektrolys. Vätgasen komprimeras sedan, normalt till cirka 200 bar vid lagring i tuber på flak. Lagringen kräver ett säkerhetsavstånd på minst 20 meter till närmaste byggnad då vätgas är explosivt. Det är möjligt att komprimera vätgasen ytterligare, till cirka 300 bar, och förvara den i större tankar med högre godstjocklek. Genom att göra det minskar lagringsytan. Exempel på en sådan lösning finns i Vårgårda där det byggs ett flerfamiljsbostadsområde med vätgaslagring med 300 bar och bränsleceller.

När ett underskott på lokalt producerad el uppstår används vätgasen i bränsleceller för att producera el, som sedan kan användas i området. Från bränslecellerna bildas spillvärme som kan tas tillvara på för att exempelvis värma byggnader i området.

Vätgaslagret används som säsongslager samt deltar tillsammans med bränsleceller i att balansera elproduktionen även under kortare cykler.

En aktör som erbjuder denna typ av lösning i Sverige är Nilsson Energy. En skiss över hur deras system är uppbyggt visas i figuren nedan.



Figur 5 Illustration av ett system med vätgaslagring. Källa: <https://nilssonenergy.com/energy-solutions/>

7.2 VÄRME

Nedan beskrivs möjliga lösningar för att tillgodose uppvärmnings- och tappvarmvattenbehovet i Smart village, både genom produktion på annan plats och lokalt i området. Även lösningar för att lagra värme presenteras.

7.2.1 Produktion på annan plats

Fjärrvärme

Fjärrvärme är den ledande uppvärmningsformen i Sverige och är ett enkelt sätt att få värme och varmvatten till en fastighet. Med fjärrvärme produceras värme centralt ett värmeverk eller kraftvärmeverk (där även el produceras) genom förbränning av bränslen. Värmen distribueras därefter i rör i marken

till en fjärrvärmecentral placerad hos kunden, där den överförs till fastighetens uppvärmnings- och varmvattensystem. På så vis kan en anläggning förse många fastigheter, vilket ger skalfördelar jämfört med att ha flera mindre anläggningar. Kunden har ett avtal med fjärrvärmeleverantören och debiteras vanligtvis för använd mängd fjärrvärme.

För att det ska vara ekonomiskt rimligt att ansluta sig till fjärrvärmenätet krävs att fjärrvärme finns framdraget i närheten av området. På Öland finns fjärrvärme enbart i Mörbylånga och Färjestaden, vilket är flera mil från Smart village i Algutsrum. Detta gör att fjärrvärme inte är ett rimligt alternativ för Smart village.

7.2.2 Produktion lokalt

Lokal förbränningsanläggning

Ett alternativ till central fjärrvärme är att etablera en mindre förbränningsanläggning, exempelvis en biobränsleeldad panna, i eller i närheten av Smart village för att förse området med värme via ett lokalt fjärrvärmenät. En sådan lösning kräver inköp av bränsle, vilket inte kan göras lokalt, samt kräver resurser för drift och underhåll av anläggningen.

Stirlingmotor

Som beskrivits under avsnittet om elproduktion kan en stirlingmotor driven av exempelvis biogas användas för både el- och värmeproduktion. Precis som för en lokal förbränningsanläggning är det dock inte möjligt att vara helt självförsörjande med lokala energikällor med en sådan lösning, då biogas eller annat bränsle behöver köpas in.

Värmepump

En annan lösning för lokal värmeförsörjning är att använda värmepumpar. Det finns en uppsjö av värmepumpar på marknaden men detta projekt har framförallt tittat på bergvärmepumpar och luftvärmepumpar.

En bergvärmepumpanläggning består av värmepump och energilagring i form av bergborrhål i vilka en slang är nersänkt. Genom borrhålens sammankopplade slangar (kollektorer) cirkulerar en vätska som för värme från borrhålen till värmepump. Temperaturen på värmen från borrhålen lyfts med hjälp av värmepump till en för värmesystemen mer användbar nivå. Det är lämpligt att återladda energilagret (borrhålen) med värme, oftast sommartid, annars måste avståndet mellan borrhålen vara betydligt större. Annars riskerar man att på lång sikt sänka årsmedeltemperaturen i energilagret vilket försämrar verkningsgraden på värmepumpen. Lokala förutsättningar, framförallt typen av berggrund, kan begränsa möjligheten till att uppföra bergvärmepumpanläggning. Det är dock mera sällan man stöter på hinder av denna art. Vid större antal borrhål, som i detta fall, görs alltid TRT (termisk responstest) med hjälp av bland annat ett provborrhål. Då framgår förutsättningarna. Utifrån preliminära uppgifter om området vid Smart village tycks berggrundsrelaterade hinder för bergvärmepumpsanläggning inte finnas.

Luftvärmepumpar är i sin tur en mer flexibel lösning som inte är beroende av lokala förutsättningar på samma sätt. De har något lägre verkningsgrad, på årsbasis, än bergvärmepumpar, men är ändå ett intressant alternativ.

Luftvärmepumpar ger upphov till visst buller vilket gör det lämpligt att placera dem i anslutning till en energicentral istället för ute i området, för att därifrån distribuera värme till hushållen.

Solfångare

Solfångare kan installeras på hustak för att utnyttja solensinstrålning och omvandla till värme för uppvärmning och varmvatten. Detta fungerar främst på sommaren då solinstrålningen är stor och är därför särskilt lämpligt som komplement till ett annat uppvärmningssystem, exempelvis en mindre panna eller en värmepump. Ett solfångarsystem består ofta av solfångaren och en ackumulatortank för att lagra värme under kortare perioder, exempelvis över dagen. Ett solfångarsystem med lagringsmöjligheter samt eventuellt en elpatron räcker för att täcka värmebehovet sommartid i ett kvarter som Smart village.

7.2.3 Distribution

Om en central lösning för att förse flera byggnader med värme etableras i ett kvarter krävs infrastruktur för att distribuera värmen. Exempelvis kan kulvertar etableras där rör för att distribuera värme och tappvarmvatten förläggs. Det finns system på marknaden för smart distribution och lagring av värme, där balanserade temperaturzoner skapas genom att distribuera värme dit den behövs eller lagra för senare användning med hjälp av högt flöde.

7.2.4 Lagring

Ackumulatortank

Ackumulatortankar kan användas för lagring av värme under kortare tidsperioder, exempelvis över ett dygn eller på timbasis. Dessa installeras vanligtvis på fastighetsnivå.

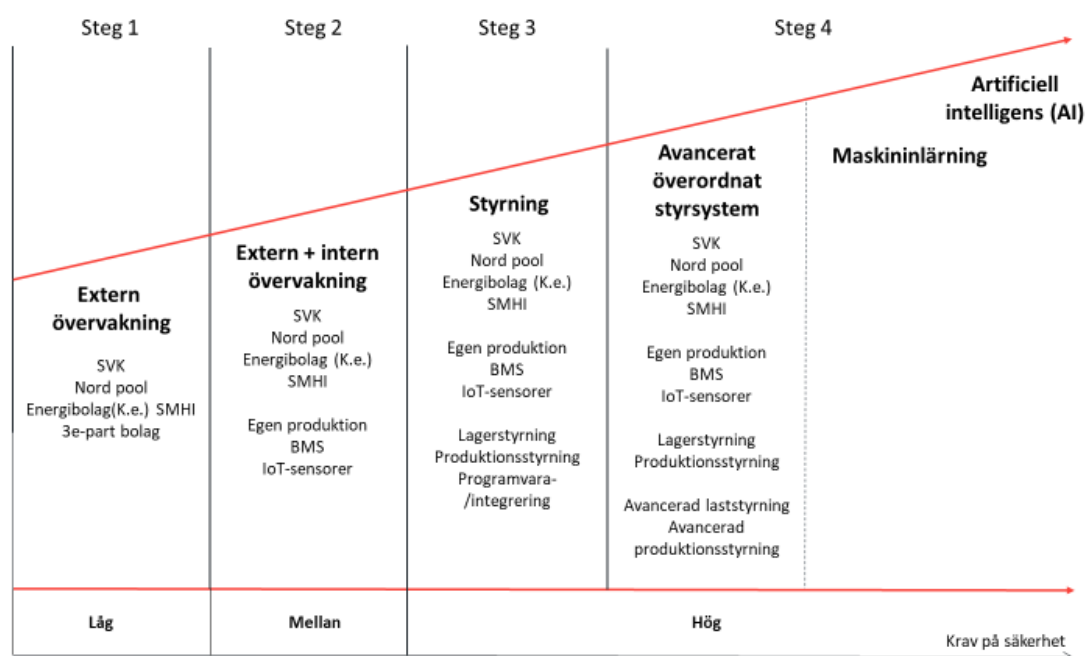
Borrhålslager

Borrhålslager kan användas för att säsongslagra termisk energi, exempelvis kan lagret laddas sommartid från solfångare för att sedan användas vintertid. Borrhålslager kan ofta med fördel även användas för att förvärma ventilationsluft vintertid.

Specifika högtemperaturborrhålslager kan användas för lagring av högre temperaturer, cirka 40 grader, för att betjäna värmepumparna för varmvattenproduktion.

8 DIGITALISERING

Digitalisering finns idag på allas läppar och har olika betydelser för olika människor. Ur ett samhällsperspektiv kan man säga att det är ett strategiskt förhållningssätt som syftar till att skapa större nytta genom förändrade arbetssätt med hjälp av digital teknik. Digitaliseringen blir därmed ett verktyg för bland annat effektivisering, förändrade verksamhetsprocesser, högre kvalitet och lönsamhet samt ökad möjlighet till interaktivitet, kommunikation och demokratisering för att skapa ett hållbart samhälle. Man brukar peka på olika hjälpmedel som artificiell intelligens, digitala tvillingar, smarta saker, virtuell verklighet etc. I Smart Village kommer digitaliseringen mest att handla om det smarta området, smarta byggnaden och det smarta hemmet där visualisering och styrning av konsumtion och produktion utifrån data från olika källor såväl interna/lokala som externa. Olika grad av digitalisering kan illustreras som en trappa, se Figur 6 nedan.



Figur 6. Trappan för digitalisering

8.1 IOT

Internet of Things (IoT) spås kunna revolutionera alla möjliga typer av tjänster, produkter och samhällsfunktioner som vi använder dagligen. Tekniken har potential att möjliggöra smartare lösningar, en effektivare styrning av resurser och kan göra livet lättare invånare och verksamheter.

IoT i Smart Village innebär att det finns sensorer som är kopplade till saker och infrastrukturer i Smart Village-området som exempelvis elnät, vatten och avlopp, värme, ventilation samt olika sensorer i hemmet. Saker eller infrastrukturerna kan övervakas och styras genom att sensorerna kopplas via trådlösa, mobila eller fasta nätverk mot någon form av digital plattform. Sensorerna genererar en mängd data om de olika sakerna eller

infrastrukturerna som används för att optimera dess funktioner genom analys och styrning.

I ett energismart hem är olika elektroniska utrustningar och värmesystem uppkopplade mot en gemensam plattform för att kunna styras och anpassas efter de boendes behov och önskemål. Ingående delar i en smart hemlösning är:

- Sensorer, för att upptäcka olika parametrar så som temperatur, ljus, rörelse m.m.
- Mätare, om man ska kunna visualisera och kontrollera olika parametrar, måste de även mätas.
- Smarta apparater, som har en integrerad intelligens som möjliggör för dem att kommunicera med det centrala systemet.
- Användargränssnitt, där användaren kan se information och styra olika enheter och funktioner. Det är användargränssnittet som kopplar samman användaren med systemlösningen, vanligtvis via en surfplatta eller en mobiltelefon.
- Mjukvaruplattform

8.2 KOMMUNIKATIONSTYP

Det finns flera olika typer av kommunikation. Beroendes på kravställning och tillämplig väljs olika protokoll mellan olika installationer. Val av hårdvara sätter också begränsningar för vilka protokoll som är möjliga att nyttja. I figuren nedan är det möjligt att identifiera vilken kommunikation som önskas.

	Mobila nät (3GPP licensierade nät)						Trådlösa nät (Olicensierade nät)				
	Befintliga Nät för Tal och Data			Befintliga och kommande Nät för IOT			Dedikerat IOT Nät		Diverse tillämpade Nät		
	2G	3G	4G	NB LTE IoT	GSM EC	5G	LoRa-WAN	Sigfox	Bluetooth	Zigbee	WiFi
Räckvidd	Lång	Lång	Lång	Lång	Lång	Lång	Lång	Lång	Kort	Kort	Medel
Hastighet och bandbredd	Låg	Medel	Hög	Låg	Låg	Låg/Hög	Låg	Låg	Medel	Låg	Hög
Fördröjning	Hög	Hög	Medel	Låg	Medel	Låg	Medel	Medel	Låg	Låg	Medel
Antal uppkopplade enheter	Medel	Medel	Medel	Hög	Medel	Hög	Medel	Medel	Låg	Låg	Låg
Energiförbrukning	Medel	Hög	Hög	Låg	Låg	Låg/Hög	Låg	Låg	Medel	Medel	Hög
Ändrustning och sensor kostnad	Medel >40sek	Hög >800sek	Hög >800sek	Låg/Medel ~ 40sek	Medel >40sek	Medel	Låg < 40sek	Låg < 40sek	Medel/Låg ~ 40sek	Medel/Låg ~ 40sek	Medel >40sek
Nät och drift kostnad	Medel	Hög	Hög	Hög	Medel	Hög	Låg	Låg	Medel	Medel	Medel
QoS	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög	Hög	Låg	Låg	Medel	Medel	Medel

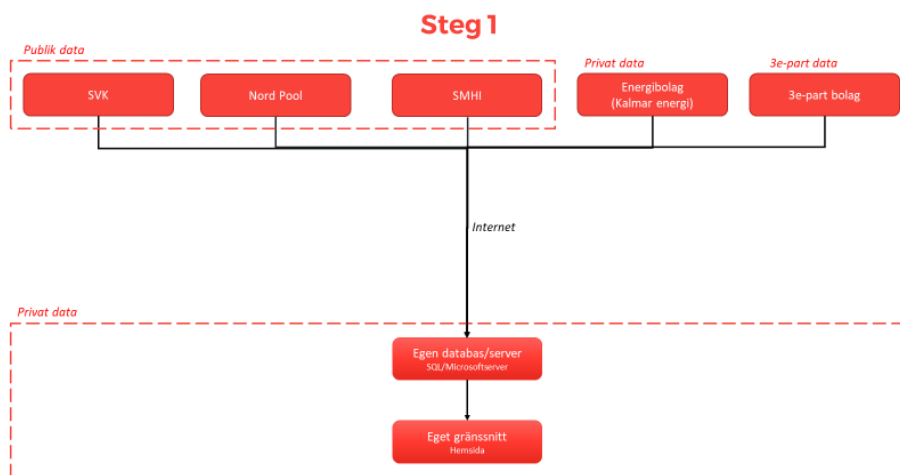
Figur 7: Sammanställning av olika kommunikationstekniker.

8.3 VISUALISERING

De första två stegen i digitaliseringstrappan handlar om att ta in information från olika källor och sedan visualisera på olika sätt.

8.3.1 Steg 1 i digitaliseringstrappan

Första steget i trappan för digitalisering, anpassat efter Smart village, kan illustreras likt figuren nedan. Data hämtas från externa aktörer och därefter visualiseras i ett eget digitalt gränssnitt. Relevanta källor för Smart village är Svenska kraftnät, Nord Pool, SMHI, valt energibolag och eventuellt en samägd solcells- eller vindkraftspark.

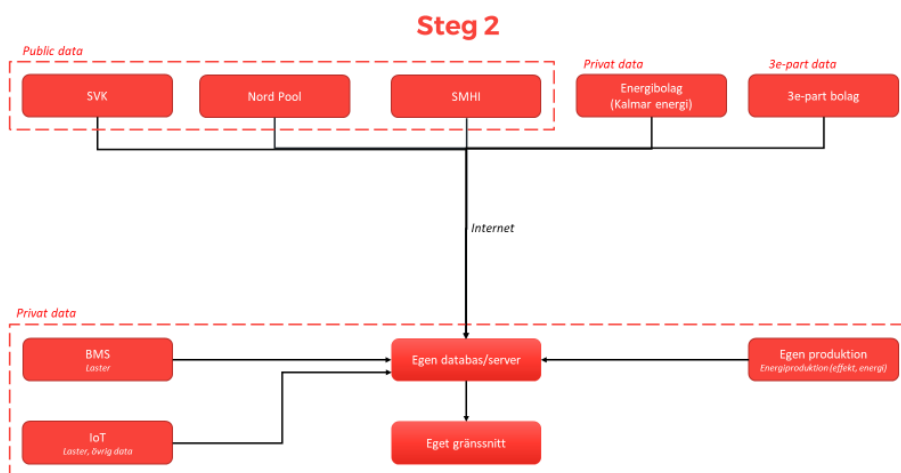


Figur 8: Schematisk illustration för första steget i trappan för digitalisering i projekt Smart village.

Från dessa hämtas information om systemets energibalans, koldioxidmix, energipris, energiförbrukning och eventuell energiproduktion. Datan samlas på en databas på server och lyfts fram i ett utvalt digitalt gränssnitt. Första steget kan vara ett alternativ om en enklare inriktning av visualisering önskas i projektet.

8.3.2 Steg 2 i digitaliseringstrappan

Andra steget utvecklar visualiseringen och utökar med fler datakällor. Utöver den information som samlas i steg ett lyfts även BMS (building management systems) in för att övervaka laster i huskropparna.



Figur 9: Schematisk illustration för andra steget i trappan för digitalisering i projekt Smart village.

För att få en helhetsbild över husen väljs att installera IoT-sensorer i husen och dessa sänder information till servern. Om egen produktion i form av solceller finns hämtas även denna information till databasen. Likt steg ett väljs ett digitalt gränssnitt efter preferens. Andra steget är ett tydligt steg mot digitalisering av fastigheterna och kräver visst fysiskt ingrepp. Detta då själva installeringen av ytterligare sensorer och en utökad digital infrastruktur krävs. Exakt vilken informationsteknik som väljs att tillämpas beror på vilka krav som ställs. Steg två är ett alternativ för att skapa en god översikt och en mer fullständig visualisering över systemet i sin helhet.

8.3.3 Gränssnitt

Vanligtvis när man diskuterar gränssnitt för smarta system menas olika digitala gränssnitt. Detta eftersom de traditionella fysiska gränssnitten inte klassas som smarta. Att manuellt avläsa en mätare där en installation är uppförd är inte längre någon metod som förespråkas. Det finns dock tillfällen och system som kräver att det ska vara nödvändigt att ett traditionellt användargränssnitt finns vid apparaten men detta behandlar inte rapporten.

Visualisering av processer och data har länge skett i så kallade SCADA-system (Supervisory Control And Data Acquisition). SCADA är ett system som visualiserar, och ibland även styr, olika processer med ett digitalt användargränssnitt vid en dator. Tidigare användes SCADA främst inom industrin men det har blivit allt vanligare inom fastighetsautomation. Fördelen med att ha ett integrerat system är att man kan utnyttja den samlade informationen från flera system för att visualisera, och ibland styra, en helhet.

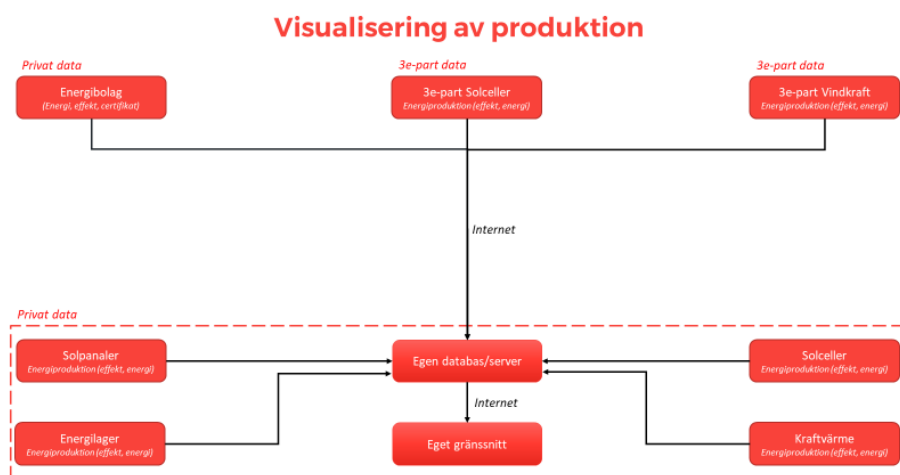
Idag nyttjas ofta hemsidor för att visualisera data från en server som finns lokalt, eller ibland tillhandahålls av en leverantör. Detta resulterar i att

energianvändarna lätt kan uppdateras via en telefon eller dator när som helst på dygnet vilket möjliggör en hög social delaktighet.

Utformningen av gränssnittet kan variera. Beroendes på kravställningen för gränssnittet finns olika alternativ. Det rekommenderas att mer avancerade projekt överväger att utveckla sitt eget för att nå fullgod funktion samt framtidssäkra systemet.

Utöver ett digitalt gränssnitt kan också en fysisk enhet upprättas för att öka delaktigheten. Ett gott exempel finns då en kommun upprättat en lampa i en rondell som lyser i olika färger efter kommunens elkonsumtion. Ett snarlikt fysiskt gränssnitt kan upprättas om intresse föreligger.

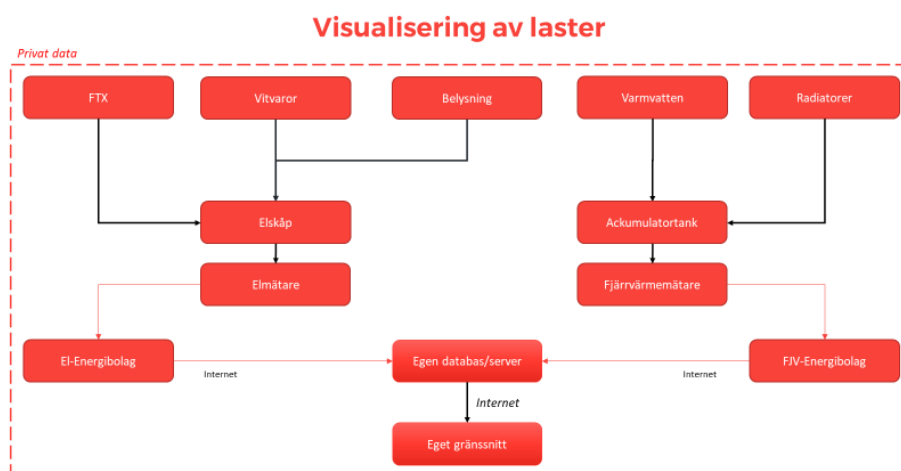
8.3.4 Produktion



Figur 10: Produktionsdata i form av effekt och energi hämtat från olika källor.

Ovan ses en schematisk uppbyggnad av informationshanteringen för energiproduktionen. Vissa data är hämtad från olika energibolag via internet medan den egna anläggningens information hämtas via egenägt kommunikationssystem. Uppsamlingen sker på en lokal server med tillhörande databas. Visualiseringen av energiproduktionen lyfts till en hemsida via internet.

8.3.5 Laster



Figur 11: Produktionsdata i form av effekt och energi hämtat från olika källor.

Energikonsumtionen hos användarna kan visualiseras på olika nivåer. Det är möjligt att undermäta varje eluttag och tappvattenkran, men om mindre avancerad visualisering önskas finns alternativ att mäta lasterna mer centralt. Exempelvis kan en undermätning för el ske i elcentralen. Exakt vilka laster som ska visualiseras är en detaljfråga som behöver avvägas mot kostnaderna för det specifika projektet. Figuren ovan illustrerar endast ett exempel.

8.3.6 Styrmedel för att påverka individers beteende

Det finns olika styrmedel för att påverka individers beteende där lagar och förordningar är den tydligaste men också har störst påverkan på individers frihet. Bidrag och skatter ger finansiella incitament för ändrat beteende. Även tillhandahållande av information och data är ett styrmedel. *Nudging* är en styrmetod som riktar in sig på att fläta samman tänkande, känsla, vilja och socialisering till skillnad från de förra som tar sikte på den rationella människan, se Tabell 3

Tabell 3 Styrmedel för att påverka beteende¹

Lagstiftning riktad mot individer	Ekonomiska åtgärder riktade mot individer			Icke reglerande och icke finansiella åtgärder riktade mot individer			
Ta bort och begränsa valmöjligheter	Guida och möjliggöra val						
	Incitament och information			Nudging			
Lagar och förordningar	Finansiella incitament	Icke-finansiella incitament	Tillhandahållande av information	Förenkling och inramning av information	Förändringar i den fysiska miljön	Förändringar i standard-alternativ	Bruk av sociala normer

Nudging

¹ Nudging – Ett verktyg för hållbara beteenden, Oksana Mont, Matthias Lehner, Eva Heiskanen

Varje dag fattar vi många olika beslut. De flesta beslut är enkla, fattas snabbt och rutinmässigt. Genom enkla åtgärder kan man hjälpa/puffa/påverka folks beteende och val så att det är lättare att göra rätt dvs. ett önskat val. En nudge förbjuder inte något alternativ eller väsentligt förändrar ekonomiska incitament. Det ska vara enkelt att göra rätt. Olika exempel² på nudge är:

- En bild av en fluga på insidan av pissoarerna gjorde att männen prickade flugan och kisset utanför minskade med 80 procent.
- Gröna fotsteg till papperskorgar minskade nedskräpningen med knappt 50 procent.
- Minskat matsvinn på hotell med 20 procent genom att minskad tallriksstorlek.
- Ändrad förinställning på ett ökade köpet av grön el från 7 till 70 procent.
- Standardläge vid pappersutskrift är dubbelsidigt.

8.3.7 Minskad energi- och effektförbrukning med nudging

Vad som är rätt kan i Smart Village vara att minska energianvändningen totalt för att minska miljöpåverkan, använda energi då den är billigast, använda energi när det är minst belastning för elnätet, använda energi när den är "egen närproducerad".

Exempel på nudgingverktyg för att påverka energianvändning i hemmen³.

1. Ändra det förinställda valet
 - Ändra standardtemperaturen i din kyl och frys för optimal mathantering.
 - Minska inomhustemperaturen 1°C och få ner energianvändningen med 5 %
 - Timer till strömuttag som automatiskt stänger av strömtillförseln under en viss tidsperiod.
2. Förenkling och visualisering av information för energikonsumtion
 - Smart el- eller vattenmätare
 - En elkabel som visar strömflödet med ljus och ger direkt feedback kring strömförbrukning
 - Informativa energiräkningar
3. Förändringar i den fysiska miljön
 - Ljuset släcks när man låser dörren
 - Larm om kylskåpsdörren hålls öppen
4. Sätt upp påminnelser i hemmet och allmänna utrymmen

² <https://modernpsykologi.se/2017/01/11/psykologi-med-knuff/>

³ <https://inudgeyou.com/sv/nudging-for-hallbar-energianvandning/>

8.3.8 Potential för energibesparing för hemmet genom visualisering

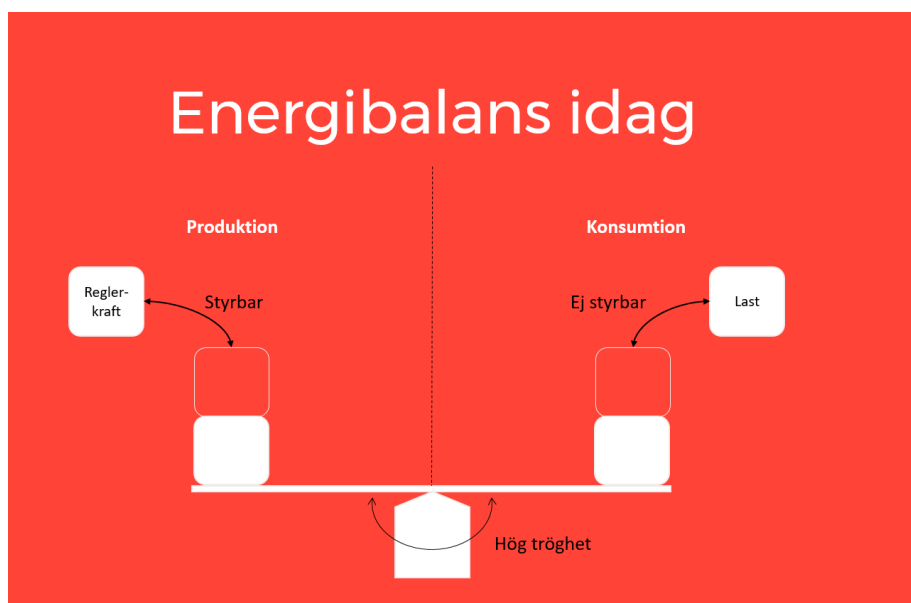
Potentialen för energibesparing genom visualisering och styrning av energianvändningen har undersökts i studier men även leverantörer inom energi och smarta tjänster har gjort uppskattningar på besparingar.

Genom enbart visualisering kan energibesparing göras med 5 - 20 %⁴. Indirekt feedback (genom el-fakturan) ger 0 - 10 procent effektivisering medan direkt feedback ger 5 - 15 procent.⁵

Genom visualisering och med relevant information om hur användaren kan minska sin energianvändning kan bidra till att öka energieffektiviseringen 10 - 20 procent.⁶

8.4 STYRNING

Idag finns balansansvaret för el hos energibolaget. De stora energisystemen är tröga, vilket är relativt enkelt att styra och reglera. Kärnkraftverk utgör energileverantörernas bas medans vattenkraften styr och reglerar produktionen efter konsumenternas varierande laster. Det enda konsumenten behöver är att teckna ett avtal med sin energileverantör och underhålla sin fastighet så de interna systemen fungerar. Enerigibolaget har skyldighet att leverera energi efter avtalad effekt och konsumenten kan alltid förvänta sig att reglerkraft hanterar konsumentens varierande laster.



Figur 12: Dagens energibalans med balans mellan styrbara och icke-styrbar produktion samt konsumtion.

8.4.1 Smart styrning

Den traditionella bilden av energibalansen försvinner i framtidens system. Basen som kärnkraft försvinner och intermittenta energikällor så som vind och solkraft tillkommer. Detta gör att det före detta tröga systemet nu blir

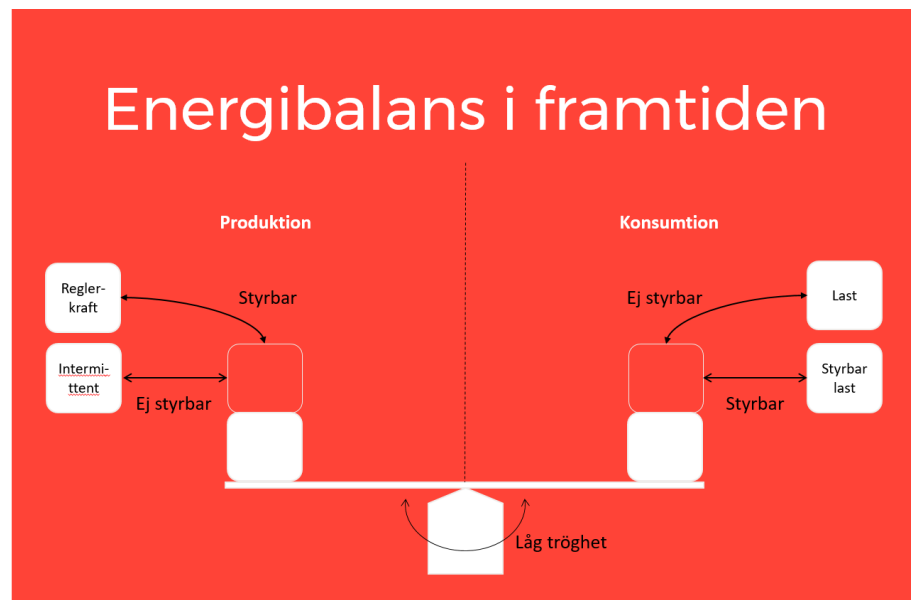
⁴ Sofia Björnehaag, *Test of a Home Energy Management System at E.ON* (2012)

⁵ Darby, Sarah, *The effectiveness of feedback on energy consumption*, Oxford University, April 2006, s. 3

⁶ Ibid, s.10

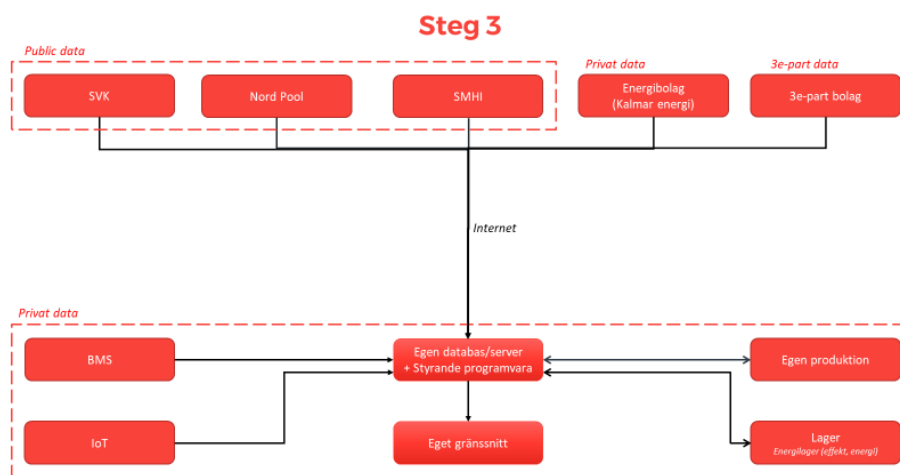
mindre stabilt och att produktionen inte längre går att styra fullt ut. Då energilager har begränsningar kommer man behöva kompensera med att styra vissa laster för att balansera ut energisystemet.

Att styra laster och koppla in energilager vid behov är en mer avancerad styrning än vad som krävs idag. Systemet kommer att behöva optimeras och energitoppar behöver hanteras med både extra energilager samt styra om laster. Detta då effekt från produktionsanläggningarna kommer att vara en bristvara och att elpriset samt koldioxidmixen ökar kraftigt. Under dessa tider ökar då incitamentet för att reducera energitopparna.



Figur 13: Framtidens energibalans med intermittent produktion och styrbara laster.

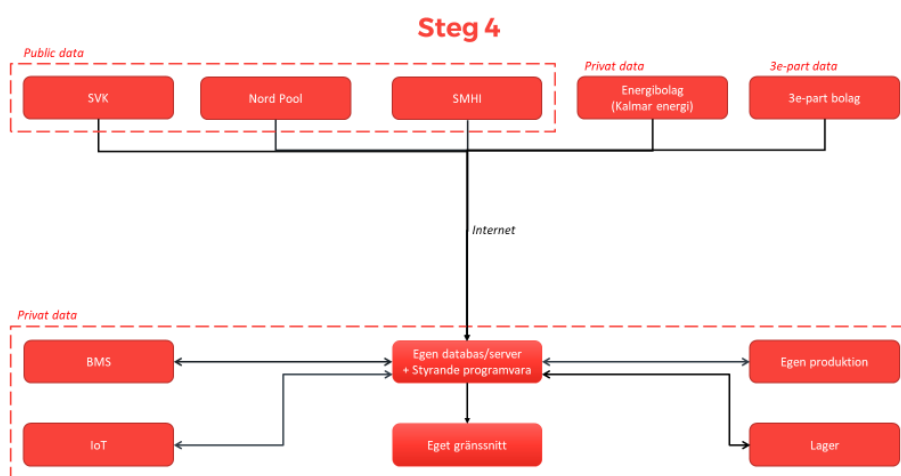
8.4.2 Steg 3 i digitaliseringstrappan



Figur 14: Schematisk illustration för tredje steget i trappan för digitalisering i projekt Smart village.

Tredje steget innehåller i princip samma datakällor som i steg två men här nyttjas informationen även för att styra och optimera systemet. Det som tillkommer är ett energilager som också kopplas upp och kommunicerar med servern. Då styrning tillkommer ändras kraven på informationsutbytet. Här behöver information inte bara hämtas från olika källor, eller delsystem, utan i vissa fall behöver kommunikationen ske i båda riktningarna. Här behöver lagret både skicka data om lagernivåer samt hämta data från egenproduktionen. För att uppnå detta krävs att andra komponenter installeras och att systemet byggs upp efter andra krav. Att notera är att steg 3 inte är på den nivå att alla komponenter kommunicerar med varandra utan att vissa delsystem fortfarande endast skickar information. Resultatet av styrningen och en visualisering av systemet återfås via ett digitalt gränssnitt från servern likt de föregående stegen.

8.4.3 Steg 4 i digitaliseringstrappan



Figur 15: Schematisk illustration för tredje steget i trappan för digitalisering i projekt Smart village.

Fjärde steget är det mest avancerade systemet. Här nyttjas alla tänkbara datakällor kombinerat med att de enheter som systemet råder över styrs för att få en optimal energibalans. Denna lösning krävs för att nå en fullständig off-grid-lösning. Här styrs inte bara produktionen utan också lasterna. Det möjliggör att lätt styrbara laster, så som tvättmaskiner, alltid kör vid önskat läge sett från energitillgången. Om energiproduktionen inte är tillräcklig börjar systemet stänga ner laster efter prioriterad ordning. Här ställs systemet inför mycket avancerade krav och komplex systemintegrering av alla delsystem.

8.4.4 Styra produktionen

Den egna produktionen kan styras och regleras om ett behov finns. Det är dock inte att föredra att reglera ner energiproduktion från intermittenta källor som solceller och vindkraftverk. Anledningen till detta är att bränslet, sol och vind, är gratis och om kraften regleras ned minskar lönsamheten. Detta medför att "styrningen" för energiproduktionen aldrig reglerar ner effekten från cellerna eller verken.

Ett energilager som producerar el är mycket viktigt att styra för att få ut en ekonomisk, praktisk och miljömässig vinst. När lasten är hög och

produktionen låg kan energilagret komplettera som reglerkraft. Genom att kapa de effekttoppar som uppstår under dagen kan energilagret bidra till minskade kostnader och undvika att icke miljövänlig energiproduktion reglerar balansen.

En viktig frågeställning när styrsystemet designas är vilken parameter som styr. Alternativen är,

1. Energikonsumtion
2. Energiproduktion
3. Obalans i effekt
4. Elpris
5. Koldioxidmix
6. (Uran)

För att kunna styra energiproduktionen krävs att steg 3 uppfylls i den digitala trappan.

8.4.5 Styra konsumtionen

Om man väljer att skapa ett system med laststyrning krävs att sista steget, steg 4, uppnås. Detta innebär att ett antal eller samtliga energilaster styrs via reglersystemet. Omfattningen av vilka laster som ska regleras i ett system behöver säkerställas efter behov. Några exempel på laster som kan styras finns under kapitel 4.3.6.

När laststyrningens omfattning ska kvantifieras måste man ta hänsyn till dess konsekvenser. Att styra alla laster full ut faller på sin orimlighet då exempelvis lasterna kyl och frys inte bör styras av praktiska skäl. Faktum är att flertalet laster som tekniskt sett är styrbara inte är det praktiskt eller socialt hållbart.

En viktig frågeställning när styrsystemet designas är vilken parameter som styr. Alternativen är,

1. Energikonsumtion
2. Energiproduktion
3. Obalans i effekt
4. Elpris
5. Koldioxidmix
6. (Uran)

8.4.6 Energibesparing i hemmet genom styrning

Styrning av energianvändningen till tidpunkter när det är låg efterfrågan kan ge positiva effekter. NIBE uppger t.ex. att deras system för styrning efter elpriset på Nord Pool Spot kan spara 5 - 10 % av hushållets elkostnader men ger ingen faktisk energiminskning.

Automatisk styrning av värme efter inne- och utetemperatur, möjlighet att styra innetemperaturen efter närvaro, lägga in scheman eller scener (där man anger vilka tider på dygnet man vill ha olika typer av inneklimat är åtgärder som kan sänka energibehovet. I en förstudie som BeSmå genomförde år 2015 presenteras resultat från tidigare provningar där potentialen för införande av en central innegivare bedöms vara 5 - 10 procent. Med flera givare bedöms en ytterligare besparing på 5 procent kunna fås. Med sänkning av temperaturen på natten och vid frånvaro kan

ytterligare 5 - 10 procent sparas, och med optimal reglering bedöms de flesta småhus kunna spara på 20 - 30 procent av uppvärmningsbehovet.⁷

Matthias Kersken och Herbert Sinnesbichler från Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) har i en studie analyserat ett värmestyrningssystem som baseras på närvaroavkänning och väderprognoser. De kom fram till att systemet kan minska värmeenergianvändningen med 14 - 26 procent i ett enskilt hushåll.⁸

8.4.7 Smarta produkter och dess energibesparingspotential

I ett hem finns olika funktioner som vid smart styrning kan i olika utsträckning spara energi. Nedanstående är en bedömning som gjordes i förstudien "Det energismarta hemmet - energistyrning och -visualisering i småhus".

Smarta produkter	Energibesparingspotential	Kommentar
Värmepumpar	 Hög	Smart styrning av värmepumpar bedöms kunna ge stora energibesparingar, genom att kunna dra ner värmen vid frånvaro. Styrning efter elpriset kan medföra ekonomiska besparingar för det enskilda hushållet och energibesparingar på systemnivå pga. minskat behov av spetskraft.
Termostater	 Hög	Genom smart reglering av rumstemperaturen och anpassning efter bl.a. närvaro kan smarta termostater medföra energibesparingar på upp till 30 % enligt flera leverantörer.
Diskmaskin	 Medel	En smart diskmaskin bedöms medföra energibesparingar genom att diskprogrammet anpassas efter smutsgraden så att diskmaskinen inte körs på högre effekt än nödvändigt. Med möjlighet att styra när maskinen körs efter elpriset skulle ytterligare besparing kunna nås på systemnivå i och med minskat behov av spetskraft.
Tvättmaskin	 Medel	En smart tvättmaskin bedöms medföra energibesparingar genom att tvättprogrammet anpassas efter smutsgraden så att tvättmaskinen inte körs på högre effekt än nödvändigt. Med möjlighet att styra när maskinen körs efter elpriset skulle ytterligare besparing kunna nås på systemnivå i och med minskat behov av spetskraft.
Gardiner/ Markiser	 Medel	Smarta gardiner kan minska solinstrålningen och oönskad uppvärmning, vilket kan medföra energibesparingar i de hem där det finns någon typ av kyla. Detta är inte en så stor energibesparingspotential idag, men kommer troligtvis vara det framöver i och med det ändrade klimatet med varmare somrar.
Spishäll	 Låg	En smart spishäll som kan anpassa kokytorna efter storleken på kokkärlen innebär att kokytan aldrig

⁷ Svein Ruud, *BeSmå - Förstudie styrning, mätning och visualisering* (2015)

⁸ Agneta Persson, Ulrika Thorén, Robin Linder, Saga Ekelin, *Home Energy Management Systems* (2016)

			behöver vara onödigt stor, vilket bedöms ge en liten energibesparing.
Spisfläkt	➡	Låg	En spisfläkt som påminner när filtret behöver rengöras kommer troligen dra mindre el. En automatiskt anpassad fläkthastighet efter mängden matos kommer sannolikt också innebära viss energibesparing.
Kylskåp	➡	Låg	Ett uppkopplat kylskåp skulle kunna innebära viss energibesparing om det varnar där dörren inte är ordentligt stängd och kan hålla lite högre temperatur i zoner för livsmedel som inte kräver lika mycket kyla.
Lampor	➡	Låg	Möjlighet att styra belysningen efter närvaro eller tid kan medföra energibesparingar tack vare att lampor inte står tända i onödan. Dock kan schemafunktionerna medföra en viss ökning av energianvändningen, då användningen av belysning för trygghet eller trivsel kan komma att öka.
Smart-plugs	➡	Låg	Möjligheten att kunna ställa in automatisk avstängning med timer kan innebära viss energibesparing, men den bedöms inte vara så stor.

8.5 DATAKÄLLOR

8.5.1 Internet

- Miljödata från (energimix) SVK
- Prisprognos från Nordpol spot
- Väderprognos från SMHI
- Energidata för respektive energimätare (energibolaget)
- Energidata för respektive installation (WiFi Internet)

8.5.2 Lokalt

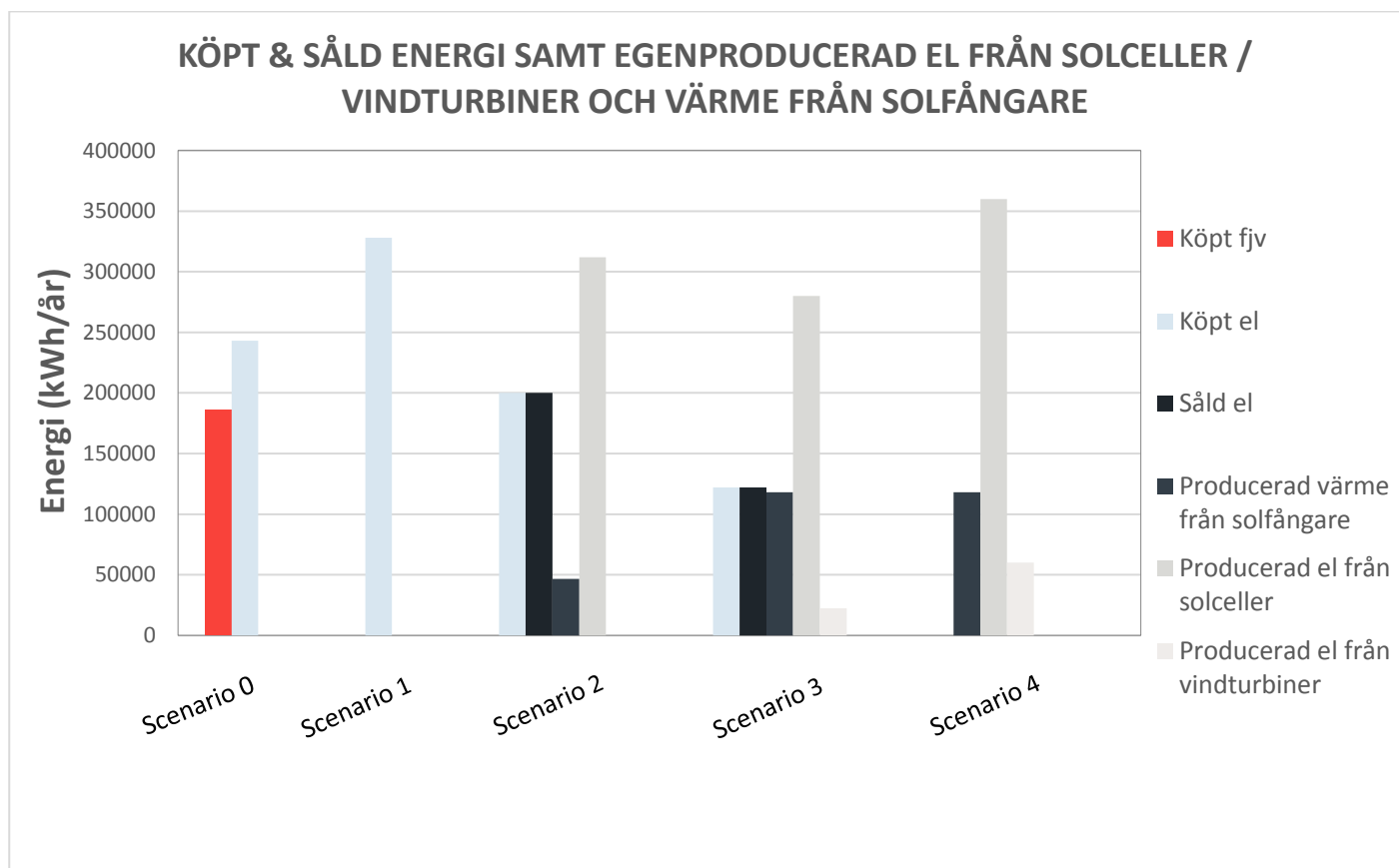
- Energidata för respektive "egen" energimätare
- Energidata för respektive installation (eget nät)
- Energidata från egna mätare

9 FÖRSLAG PÅ LÖSNINGAR

För att undersöka hur energisystemet i Smart village kan utformas har olika energilösningar utvärderats med utgångspunkt i de fyra scenarion som presenterades i Kapitel 3. Utifrån förutsättningarna i respektive scenario har olika lösningar för produktion och lagring av el och värme undersökts, med syfte att hitta en lämplig helhetslösning för kvarterets energiförsörjning. Alla lösningar som utvärderats i detta arbete är tekniskt genomförbara och innefattar beprövad teknik som finns tillgänglig på marknaden idag.

Lösningarna har tagits fram genom beräkningar av kvarterets energibehov och hur olika tekniker kan tillgodose det. Hänsyn har tagits till de lokala förutsättningarna i området, så som exempelvis tillgänglig tak- och markyta och trolig berggrund i området. De föreslagna lösningarna bör ses som ungefärliga riktningar för utveckling av en energilösning för Smart village. Inför slutligt val av lösning behöver ytterligare mer detaljerade utredningar genomföras för att fastslå exakt utformning samt uppskattade kostnader.

En summering över hur mängden köpt och såld energi samt egenproducerad el ser ut för de föreslagna lösningarna visas i figuren nedan.



Figur 16 Summering av mängden köpt och såld energi samt egenproducerad el för de lösningar som föreslås för respektive scenario. Scenario 0 och 1 är två olika versioner av Scenario 1.

9.1 SCENARIO 1 – SYSTEMLÖSNINGEN

Utgångspunkten för lösningen i Scenario 1 är att energin förses från en annan plats och att kvarteret ska vara kopplat till ett större system. I denna lösning sker därmed ingen produktion lokalt.

9.1.1 Teknisk lösning

I scenario 1 sker ingen produktion på plats i området utan all värmeenergi och elenergi levereras till Smart village utifrån och området är anslutet till överliggande system.

El

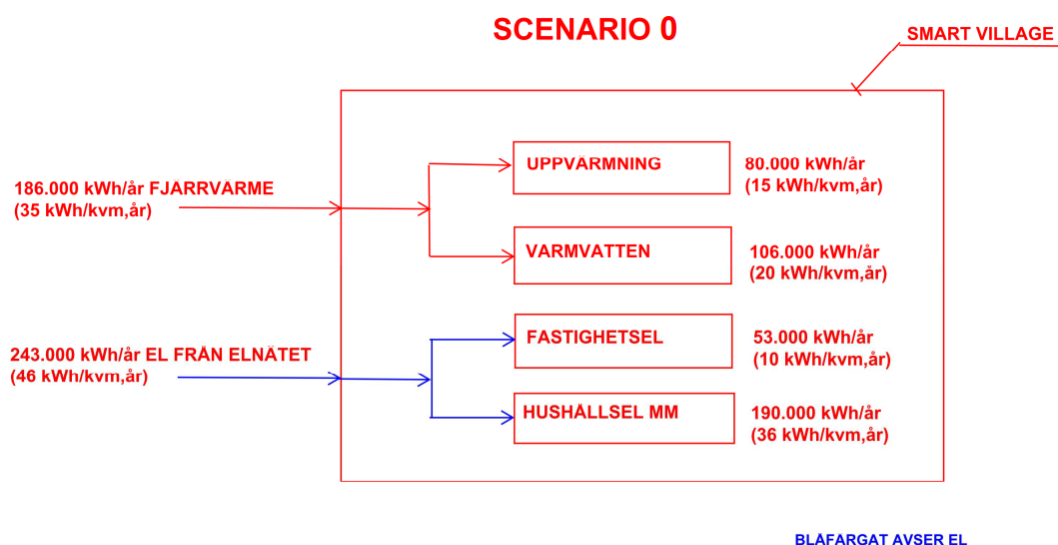
För att täcka elbehovet, för såväl hushålls- som fastighetsel, köps el in till området. Elenergin till hushållsel, fastighetsel med mera förses från elnätet genom gröna elavtal, förslagsvis med gemensamhetsavtal för respektive kvarter i området.

Värme

Värmebehovet kan förses genom att antingen köpa fjärrvärme, eller genom att köpa in el för att driva värmepumpar.

Fjärrvärme

Med fjärrvärme kommer all värmeenergi till uppvärmning samt varmvattenproduktion kommer från fjärrvärme. Om det finns ett fjärrvärmenät i närheten av ett område är detta ett bra alternativ. För Smart village finns inga möjligheter att ansluta sig till fjärrvärme och blir därför inte ett rimligt alternativ för detta kvarter. För att illustrera hur energilösningen skulle se ut om fjärrvärme funnits tillgängligt har ett blockschema tagits fram, se nedan. Vi kallar denna lösning för Scenario 0. Bilden visar energianvändning och energiförsörjning i ett sådant fall, där röda pilar visar värme och blåa pilar visar el.



Figur 17 Blockschemat Scenario 0.

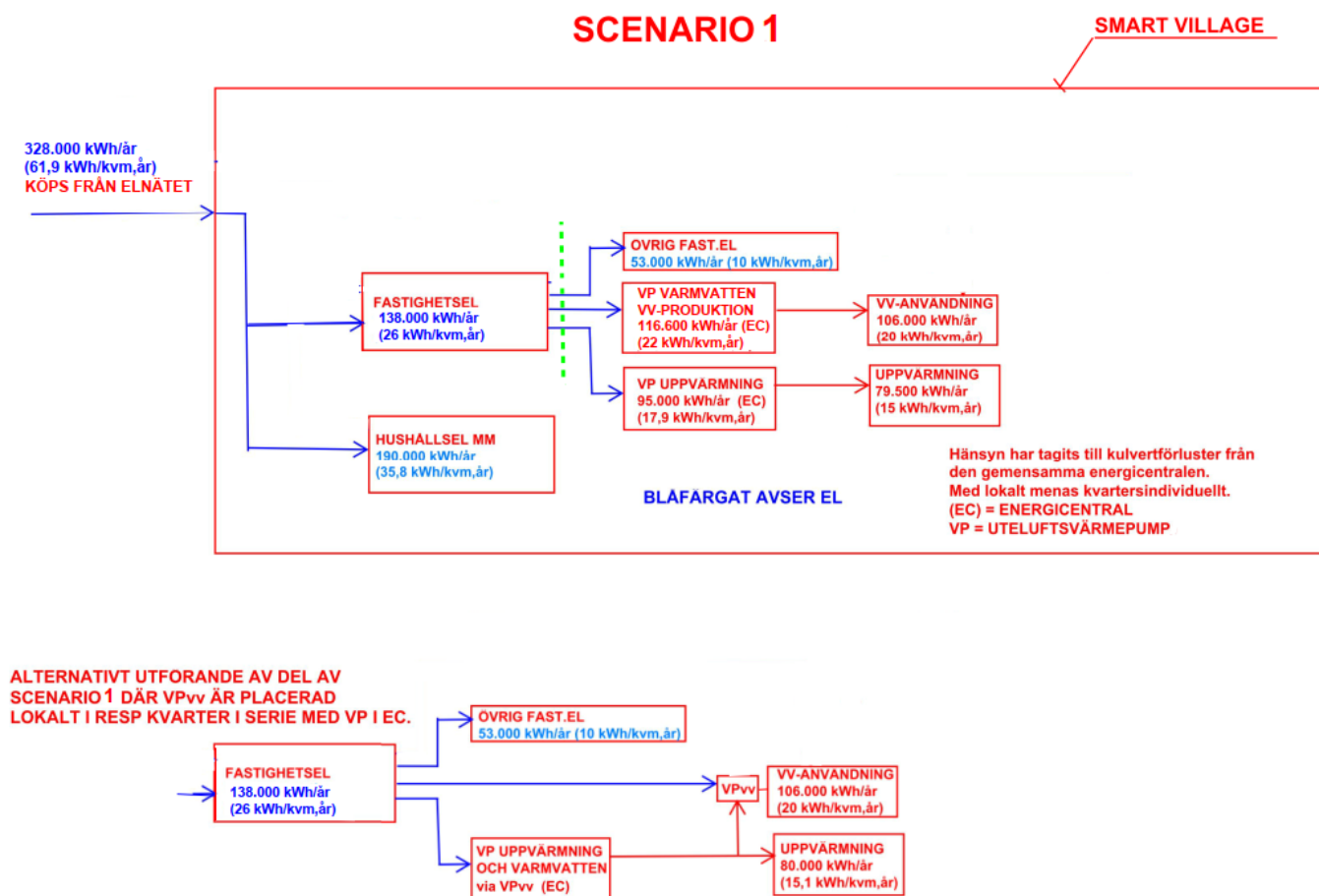
Värmepumpar

Ett andra alternativ, som föreslås i denna rapport, är att uppvärmning och tappvarmvatten tillgodoses genom att installera uteluftvärmepumpar som drivs med inköpt el. Detta är det enklaste och bästa sättet utifrån de lokala förutsättningarna för att tillgodose värmebehovet i Smart village när ingen produktion eller lagring ska ske lokalt.

Värmepumpar för både varmvatten och värme kan placeras tillsammans i en energicentral, varifrån värmen och varmvatten sedan distribueras till husen i kulvertar. Ett alternativt utförande är att värmepumparna för varmvatten placeras ut lokalt i respektive kvarter, i serie med värmepumparna i energicentralen.

Genom att placera uteluftvärmepumparna samlat, istället för lokalt ute i området, kan buller minimeras. Drift och service av värmepumparna blir också enklare i och med att allt finns samlat på ett ställe istället för ute i området. Det är dock även möjligt att ha en energicentral med värmepumpar för uppvärmning men placera värmepumpar för varmvatten lokalt i varje del av kvarteret, som sedan kopplas i serie med värmepumparna i energicentralen. En sådan lösning ger mindre kulvertförluster men kräver mer utrymme ute i kvarteret. Vilken lösning som är bäst i Smart village kräver ytterligare utredning. Båda alternativen visas i blockschemat nedan, där röda pilar visar värme och blåa pilar visar el.

Med uteluftvärmepumpar för värme- och tappvarmvattenförsörjning skulle det behöva köpas in cirka 328 000 kWh el per år, varav 190 000 kWh är till hushållsel och 138 000 kWh till fastighetsel. Av fastighetselen går cirka 85 000 kWh/år till värmepumparna och 53 000 kWh/år till övrig fastighetsel.



Figur 18 Blockschemat Scenario 1.

Visualisering

För att visualisera systemet i scenario 1 rekommenderas att nå nivå 1 eller 2 i digitaliseringstrappan, exklusive övervakning av egenproduktion eftersom

lokal produktion inte finns i detta scenario. Nivå 1 är ett initialt billigare alternativ medan nivå 2 är mer givande för användarna och ökar möjligheten för att göra långsiktiga besparande åtgärder. Miljömässigt är nivå 2 ett bättre val då installationens miljöpåverkan är relativt liten och energibesparingen större. Valet av nivå på visualisering är en frågeställning för Smart village.

Det digitala gränssnittet rekommenderas att skapas på en server och plattform som Smart village råder över och har möjlighet att korrigera med tiden.

Det är också rekommenderat att installera minst ett fysiskt gränssnitt som speglar områdets energiförbrukning.

9.2 SCENARIO 2 – LOKAL PRODUKTION

I scenario 2 är Smart village självförsörjande på all el, det vill säga både fastighetsel och hushållsel, på årsbasis. Sett över ett år betyder det att det produceras lika mycket el och värme från lokala anläggningar som det används i området. Produktionen och användningen av el kan ske vid olika tidpunkter, vilket innebär att producerad mängd el kan levereras ut på nätet vid överskott och att el kan köpas in från nätet vid underskott eftersom det inte finns något energilager i kvarteret.

9.2.1 Teknisk lösning

El

För att tillgodose behovet av el genom lokal produktion i detta scenario rekommenderas att solceller installeras på hustaken i kvarteret. Det finns goda förutsättningar för solceller på takytor såväl som markytor i Smart village och med 2400 m² solcellsyta kan årsbehovet av el tillgodoses. Dimensionering av sammanlagd solcellsyta görs så att såld el är lika med köpt el, det vill säga så att Smart village är självförsörjande på årsbasis. Mängden köpt el från, och såld el till, elnätet är lika och uppgår till 200 000 kWh/år. Övrigt elbehov tillgodoses från lokal elproduktion.

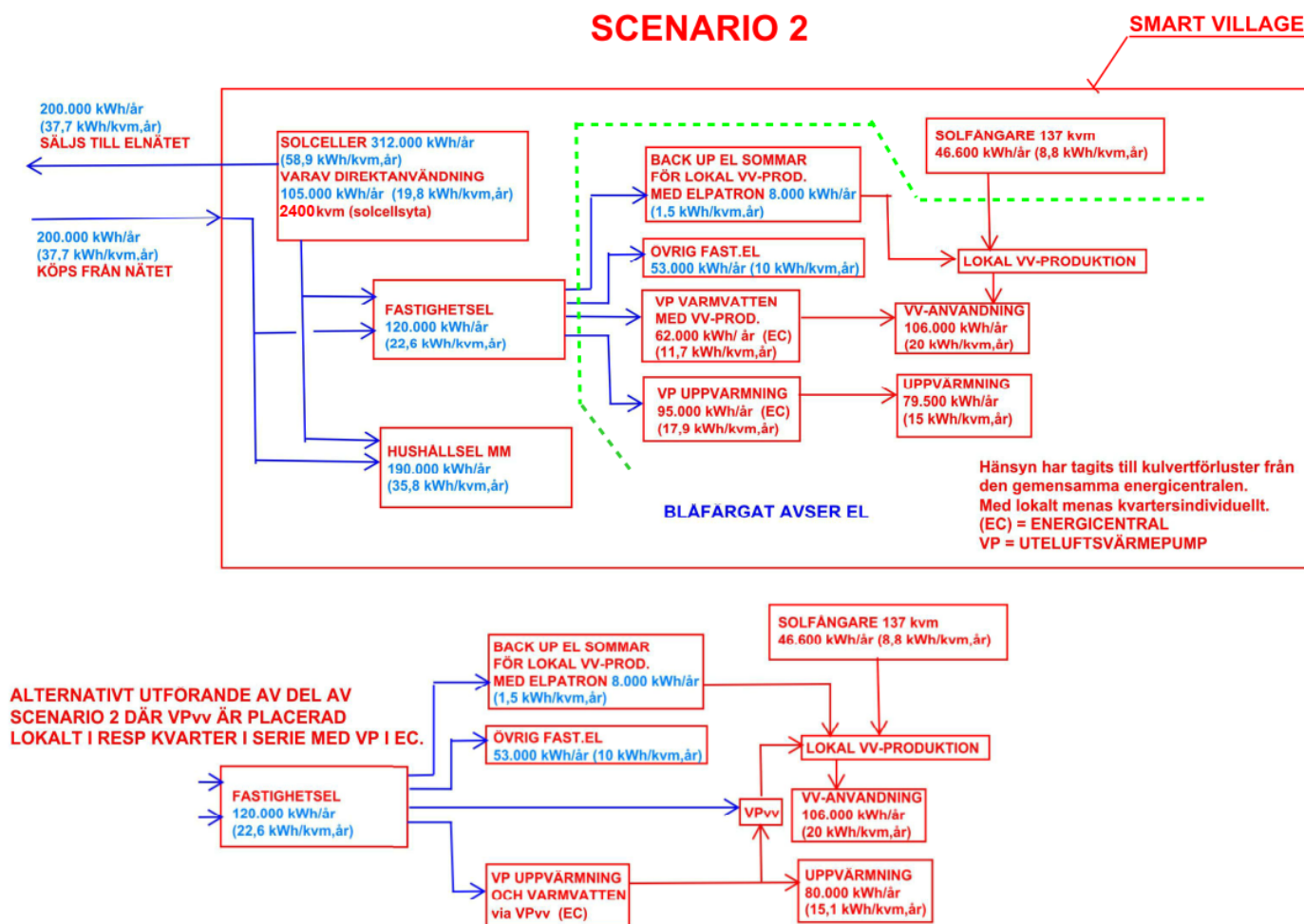
Med solceller kommer det tidvis att produceras ett överskott av el lokalt, framförallt under sommarmånaderna. Eftersom det inte finns något energilager kommer överskottet att matas in till elnätet och säljas, och när den lokala produktionen inte räcker till kan behovet tillgodoses genom att köpa el från nätet via gröna elavtal (som för Scenario 1).

Värme

Även värmeproduktionen sker inom Smart village i detta scenario. Vi föreslår etablering av en energicentral med uteluftsvärmepumpar för försörjning – via en kulvertlösning - av kvarterens värmebehov och varmvattenbehov. Solfångare installeras på hustak ute i kvarteret och kompletterar varmvattenproduktionen lokalt. Under knappt 2 månader under sommaren är kulvertssystemet med värme och varmvatten avstängt för att undvika kulvertförluster under den perioden. Under den perioden finns inget uppvärmningsbehov och solfångare installerade på taken samt elpatroner som spetsvärmekälla är tillräckligt för att tillgodose varmvattenbehovet i

kvarteret. Produktion av värme kan enkelt styras med luftvärmepumpar utifrån behovet och det finns därför ingen värmelagring i detta scenario.

Precis som för lösningen med värmepumpar i Scenario 1 kan värmepumparna för varmvatten antingen placeras i en energicentral eller lokalt i området, där de olika lösningarna har både för- och nackdelar. En skiss över energilösningen för Scenario 2 visas i blockschemat nedan, där båda lösningarna för placering av värmepumpar framgår.



Figur 19 Blockschemat Scenario 2.

Visualisering

I scenario 2 rekommenderas steg 2 i digitaliseringstrappan. I detta steg visualiseras både egenproduktionen samt hushållens förbrukning mer detaljerat. Detta utan att någon avancerad styrning behöver tillämpas och enkelriktad kommunikation är det som är kravställt.

Det digitala gränssnittet rekommenderas att skapas på en server och plattform som Smart village råder över och har möjlighet att korrigera med tiden.

Det är också rekommenderat att installera minst ett fysiskt gränssnitt som speglar områdets energiförbrukning

9.3 SCENARIO 3 – SMART SAMVERKAN

I Scenario 3 är kvarteret i högre grad självförsörjande och lösningarna kännetecknas av smart samverkan. Att vara mer självförsörjande ställer stora krav på energilagring och redundans i lokal produktion. I Smart village är den stora mängden hushållsel svårast att försörja genom lokal produktion.

Med den lösning som föreslås i scenario 3 är Smart Village *helt självförsörjande* för all energi förutom hushållsel, och självförsörjande *på årsbasis* för hushållsel. Smart village är i detta scenario anslutet till elnätet och kan köpa in hushållsel från elnätet vid underskott i egenproduktion och sälja el vid överskott. I Scenario 3 finns energilager i området för att möjliggöra användning av egenproducerad energi vid andra tidpunkter än när den produceras.

9.3.1 Teknisk lösning

El

För att tillgodose behovet av hushållsel på årsbasis från lokal produktion föreslås i detta scenario etablering av solceller på hustaken i området. Precis som i Scenario 2 säljs överskott av producerad el till elnätet och underskott köps. För att bli självförsörjande på årsbasis gällande hushållsel behöver 190 000 kWh produceras per år. Av dessa uppskattas 68 000 kWh/år kunna användas direkt vid produktion, medan 122 000 kWh/år behöver säljas respektive köpas in. Solcellsytan dimensioneras till 1452 m², vilket gör att mängden såld el är lika med mängden köpt el på årsbasis, vilket beräknats till 122 000 kWh/år.

Att vara helt självförsörjande för *övrigt elbehov*, som el till värmepumpar och övrig fastighetsel, kräver ytterligare elproduktion samt lagring. Med mycket solceller behövs ett stort säsongslager för el eftersom solcellerna främst producerar el på sommaren medan användningen är som störst på vintern. För att minska storleken på energilagret och behövd solcellsyta föreslås att solceller kompletteras med mindre vindkraftverk då vindkraften producerar el jämnare över året. Med en sådan lösning behövs 692 m² solcellsyta samt en mindre vindturbin (11 kW) med cirka 20 meter masthöjd, i kombination med energilager, för att tillgodose elbehovet i Smart village. Denna lösning benämns som Scenario 3.1 i blockschemat senare detta avsnitt och i kostnadsberäkningarna i kapitel 10. Alternativt kan en större solcellsyta installeras, istället för en vindturbin, vilket i efterföljande delar av rapporten benämns som Scenario 3.2.

I detta scenario där Smart village är självförsörjande för allt utom hushållsel behöver stora mängder el kunna lagras över längre perioder, ofta från sommaren till vintern. Då är vätgaslagring i kombination med bränsleceller mest lämpligt.

En gemensam lagerstation med vätgaslager, med en lagringsvolym om cirka 75–100 m³ (vattenvolym), samt bränsleceller tillgodoser lagringsbehovet och gör området självförsörjande på allt utom hushållsel. Olika stor lagringsvolym

krävs beroende på om vindkraft etableras eller ej, där lägre volym behövs om vindkraft etableras och större volym om det enbart är solceller.

Den el som genereras i området levereras till lagerstationen, där vätgas produceras med hjälp av elen genom elektrolys. Vätgasen komprimeras till cirka 200 bar och förvaras i tuber, med ett säkerhetsavstånd på 20 meter till byggnad. Med vätgasen kan sedan bränslecellerna producera el vid behov, som kan användas i området. Uppskattningsvis krävs fyra lastbilsflak för lagring i detta scenario, motsvarande en markyta på cirka 125 m².

Det är möjligt att komprimera vätgasen ytterligare, till cirka 300 bar och förvara den i större tankar med högre godstjocklek, genom att göra det minskar lagringsytan. Exempel på en sådan lösning finns i Vårgårda där det byggs ett flerfamiljsbostadsområde med vätgaslagring med 300 bar och bränsleceller.

Vätgaslagret används både som säsongslager samt deltar tillsammans med bränsleceller i elproduktionen även under kortare cykler. Vid vätgasproduktionen och bränslecellernas elproduktion avges spillvärme som distribueras till de olika kvarteren för uppvärmning av fastigheter och varmvattenproduktion. Som komplement till vätgaslagret behövs även ett mindre batterilager med anslutning till leveransen av el. Detta kan lagra mindre mängder el och användas för mindre balanseringar på tim/dygnsbasis samt avbrottshantering.

Det finns tillräckligt med ytor för solceller för att helt utesluta vindkraftverk i detta scenario, vilket gör installation av enbart solceller till ett fullt realistiskt alternativ. Det skulle kunna vara den mest lämpliga lösningen utifrån drift- och underhållsskäl samt krav på områdets gestaltning. Båda alternativens ekonomiska utfall måste studeras, vilket redovisas i kapitel 10, för att avgöra vad som är mest lämpligt.

Värme

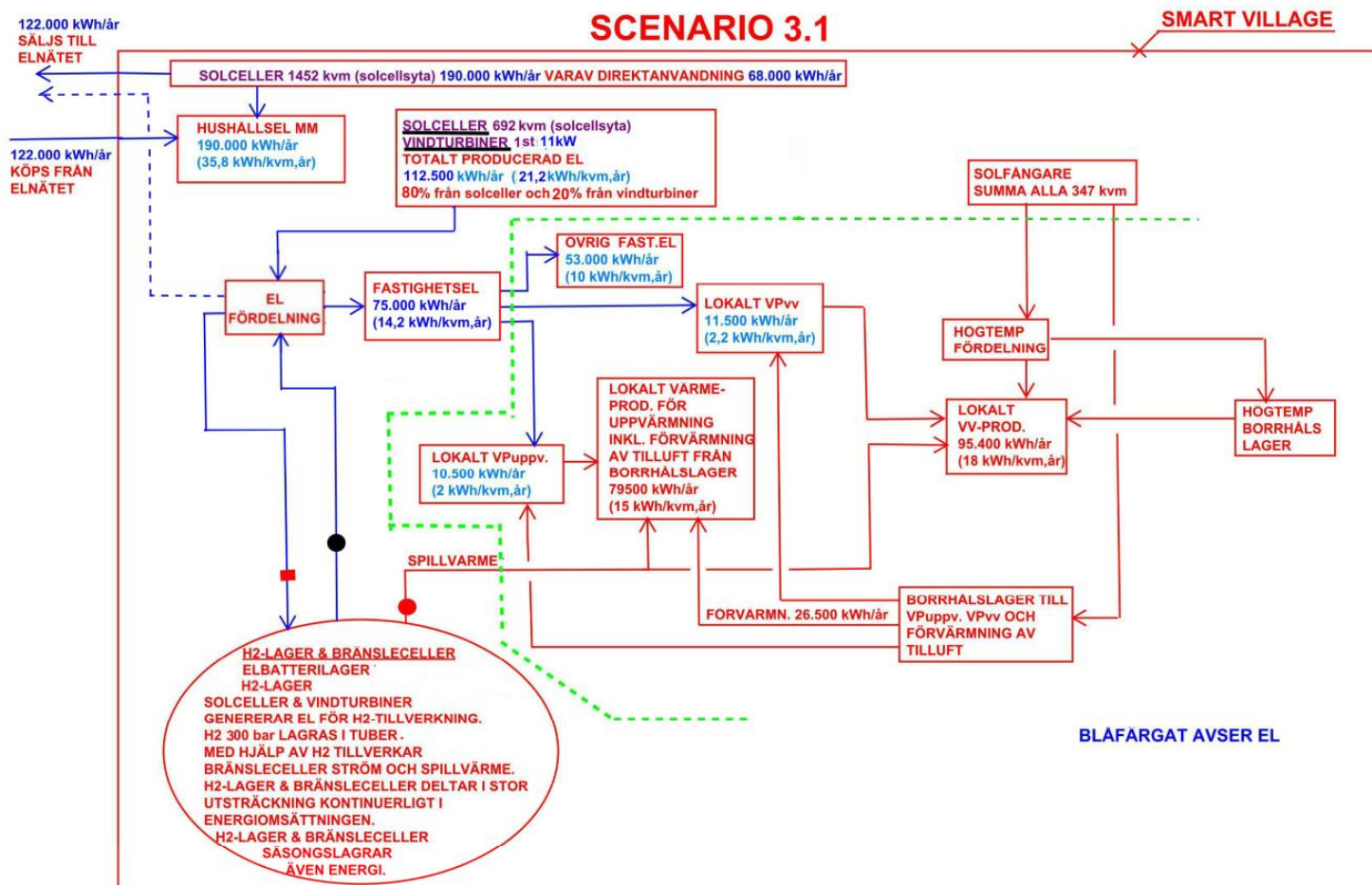
Uppvärmnings- och varmvattenbehovet tillgodoses i detta scenario av bergvärmepumpar och solfångare. Solfångare på tak ger framförallt värme till varmvattenproduktionen och upptar 347 m².

Kvartersindividuella bergvärmepumpar för uppvärmning och varmvattenproduktion (VP_{pupp} respektive VP_{vv}) installeras för att förse kvarteret med värme och varmvatten.

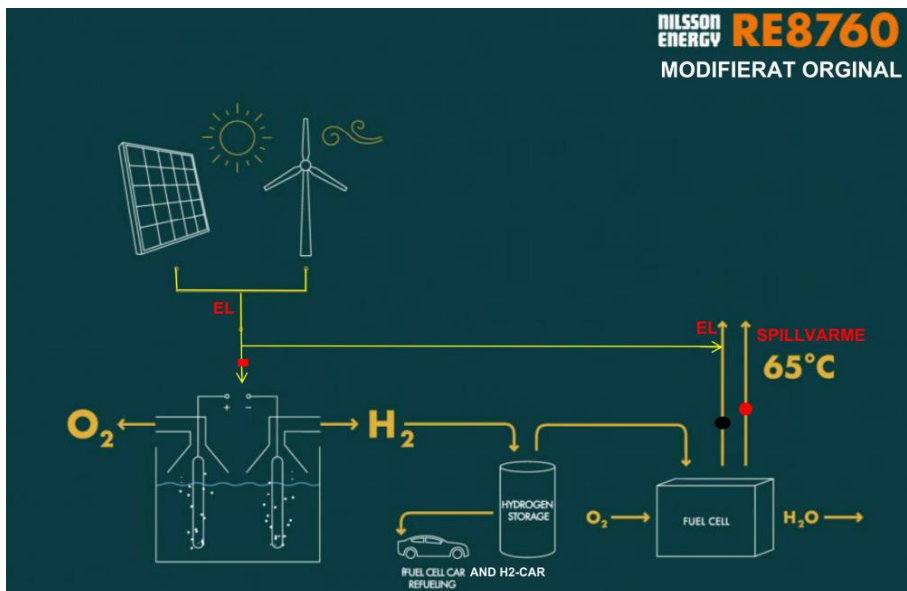
Den termiska energilagringen föreslås i detta scenario utgöras av kvartersindividuella borrhålslager som förser bergvärmepumpar för uppvärmning, bergvärmepumpar för varmvatten samt förvärmning av tilluft. Samtliga borrhålslager laddas med värme från solfångarna, framförallt sommartid, och kan sedan laddas ur under framförallt vintertid. Ett specifikt högtemperaturborrhålslager som laddas från solfångarna används dessutom specifikt för varmvattenproduktionen.

Utöver bergvärmepumpar och borrhålslager tillgodoses en del av värmebehovet, från spillvärme från produktion av el i bränslecellerna i energilagret. För att ta vara på ytterligare värme i systemet föreslås installation av duschvärmeväxlare, som återvinner en del av värmen i det använda duschvattnet vilket minskar energibehovet för uppvärmning av vatten.

En översikt över lösningarna för Scenario 3.1, det vill säga där elproduktionen kommer från både solceller och vindkraft, visas i blockschemat nedan. Under visas också en beskrivning av hur vätgaslagringen och bränslecellslösningen är uppbyggd, vilket förklarar den inringade texten i nedre vänstra hörnet i blockschemat.



Figur 20 Blockschemat Scenario 3, med vindturbin.



Figur 21 Illustration av system förr vätgaslagring.

Visualisering & styrning

Då ett energilager tillämpas i scenario 3 krävs minst en styrning. Detta finns i steg 3 och 4 i digitaliseringstrappan. Det är rekommenderat att tillämpa steg 3 då steg 4 är en relativt avancerad lösning och är kostsam.

Det digitalas gränssnittet rekommenderas att skapas på en server och plattform som Smart village råder över och har möjlighet att korrigera med tiden.

Det är också rekommenderat att installera minst ett fysiskt gränssnitt som speglar områdets energiförbrukning

9.4 SCENARIO 4 – OFF GRID READY

I scenario 4 är Smart Village helt självförsörjande med energi hela tiden, till skillnad från Scenario 3 där området är självförsörjande på allt utom hushållsel. Det innebär ingen el varken köps eller säljs, utan allt energibehov förses från lokal produktion, vilket ställer högre krav på elproduktionen och lagringsmöjligheterna.

9.4.1 Teknisk lösning

El

Förutsättningarna för Scenario 4 är i stort sett lika som i Scenario 3, med undantag att Smart village hela tiden är helt självförsörjande med energi med denna lösning.

Jämfört med Scenario krävs två huvudsakliga förändringar för att möjliggöra detta. Det ena är att vindkraftskapaciteten och solcellsytan behöver ökas för att tillgodose hela elbehovet. Med en solcellsyta på 2770 m² och tre stycken vindturbiner (11 kW styck) kan tillräckligt med el produceras för att tillgodose elbehovet på årsbasis. Anledningen till att framförallt antalet vindkraftverk ökas är att det annars krävs ett betydligt mycket större lager, då solceller

ökar behovet av säsongslager. Alternativt kan en större solcellsytta och större energilager installeras, istället för vindturbiner.

Lagringsstationen utformas på samma sätt som i Scenario 3, men lagringskapaciteten för vätgas ökas och likaså batterilagringen. Totalt är lagret för el cirka 1,7 gånger så stort som i Scenario 3. Lagringsvolymen för vätgaslager är i detta scenario cirka 130 m³ med lokal vindkraft och solceller för elproduktion, och cirka 215 m³ med enbart solceller. Lösningen med solceller och vindkraft benämns som Scenario 4.1 i efterföljande blockschema och i kostnadsberäkningarna i kapitel 10. Alternativet med enbart solceller benämns som Scenario 4.2.

Det finns tillräckligt med ytor för solceller för att helt utesluta vindkraftverk i detta scenario, vilket gör installation av enbart solceller till ett fullt realistiskt alternativ. Det skulle kunna vara den mest lämpliga lösningen utifrån drift- och underhållsskäl samt krav på områdets gestaltning. Båda alternativens ekonomiska utfall måste studeras, vilket redovisas i kapitel 10, för att avgöra vad som är mest lämpligt.

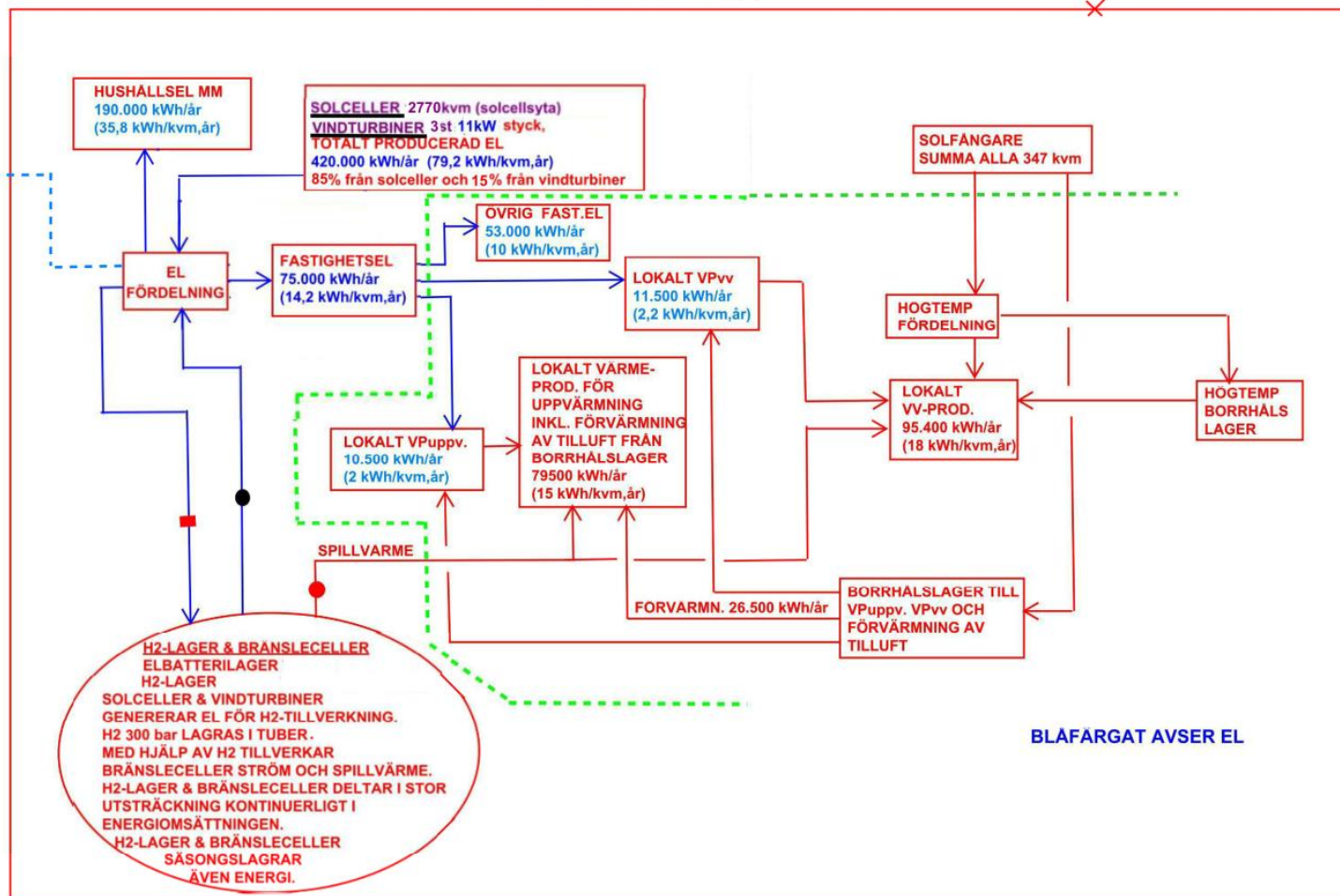
Värme

Lösningarna för uppvärmning och tappvarmvatten och termisk lagring ser ut precis som i Scenario 3, med kvartersindividuella bergvärmepumpar, solfångare och borrhålslager. Spillvärme från bränslecellerna bidrar också till uppvärmningen. För att minska energianvändning från uppvärmning av vatten för användning i duschar kan en värmeväxlare installeras som återvinner en del värmen i det använda duschvattnet.

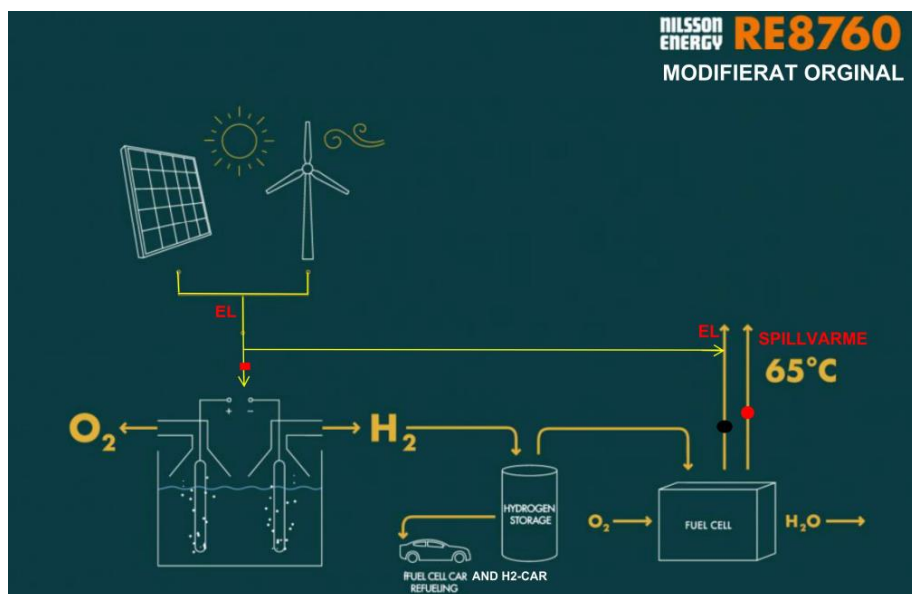
En översikt över lösningarna för Scenario 4 visas i blockschemat nedan. Precis som för Scenario 3 visas även en översikt över vätgaslagringen och bränslecellerna under. Den streckade blå pilen illustrerar möjligheten att även i detta scenario vara uppkopplad mot elnätet men enbart för att sälja eventuellt överskott av lagrad el.

SCENARIO 4.1

SMART VILLAGE



Figur 22 Blockschema för Scenario 4, med vindturbiner.



Figur 23 Illustration av system för vätegaslagring.

Visualisering & Styrning

Då systemet ska förberedas för ödrift krävs relativt avancerad styrning och övervakning. Detta ställer höga krav på installationerna och av naturliga skäl krävs att man uppnår steg 4 i digitaliseringstrappan. Med en intelligent styrning är det möjligt att styra lasterna vilket säkerställer att systemet inte överbelastas.

Det digitalas gränssnittet rekommenderas att skapas på en server och plattform som Smart village råder över och har möjlighet att korrigera med tiden.

Det är också rekommenderat att installera minst ett fysiskt gränssnitt som speglar områdets energiförbrukning

10UTVÄRDERING OCH ANALYS

10.1 KOSTNADSUTVÄRDERING

För att jämföra de tekniska lösningar som föreslagits för respektive scenario inom ramen för denna rapport har kostnadsbedömningar gjorts för respektive lösning. Scenario 0, det vill säga lösningen med fjärrvärme, har exkluderats i kostnadsberäkningarna då detta är ett orealistiskt alternativ på den aktuella platsen.

Kostnaderna har beräknats med utgångspunkt i intervjuer med aktörer som byggt liknande system tidigare, samtal med leverantörer, generella nyckeltal, prislistor för installation samt utifrån erfarenhet från tidigare arbeten och tidigare gjorda installationer. En avvägning och sammantagen bild har skapats utifrån denna input och legat till grund för kostnadsuppskattningarna. De beräknade kostnaderna ska därför ses som indikativa värden, snarare än en exakt sanning, och en mer detaljerad projektering av systemen krävs för att få en mer exakt kostnadsuppskattning.

De grundläggande antaganden som ligger till grund för beräkningarna återfinns i Bilaga 2.

10.1.1 Kostnadsredovisning energisystem

För energisystemet i scenario 3 och 4 har två alternativa lösningar diskuterats, med respektive utan vindturbin, och i detta avsnitt presenteras kostnadsberäkningar för båda dessa alternativ. En översikt över vad som inkluderats i kostnadsberäkningarna för energisystemet för respektive scenario redovisas i tabellen nedan. I kostnadsberäkningarna för energisystemet inkluderas även grundläggande styr- och reglerutrustning som krävs för att styra systemen. Däremot är system med avsikt att påverka brukarbeteende och påverka energianvändning, såsom visualiserings- eller digitaliseringslösningar, inte inkluderat i denna kalkyl. En beskrivning av de lösningar som kostnadsberäknats återfinns i Tabell 4.

Tabell 4 Beskrivning av scenarion för kostnadsberäkningar.

Scenario	Beskrivning
Scenario 1	Värmepumpar, all el köps
Scenario 2	Värmepumpar, solcellsanläggning, solfångare, självförsörjande med el på årsbasis
Scenario 3.1	Solcellsanläggning, solfångare, bergvärmepump med borrhålslager, vätgaslagring, 1 st vindturbin, självförsörjande med hushållsel på årsbasis och momentant helt självförsörjande med fastighetsel
Scenario 3.2	Lika Scenario 3.1 men utan vindturbin.
Scenario 4.1	Solcellsanläggning, solfångare, bergvärmepump med borrhålslager, vätgaslagring, 3 st vindturbiner, momentant helt självförsörjande med hushållsel och fastighetsel

Scenario 4.2	Lika Scenario 4.1 men utan vindturbiner
---------------------	---

Investeringskostnad

I Tabell 5 nedan redovisas investeringskostnaderna, exklusive moms, för respektive scenario.

Tabell 5 Investeringskostnader för respektive scenario.

Scenario	Investeringskostnad
Scenario 1	2 150 000 kr
Scenario 2	6 174 000 kr
Scenario 3.1	25 614 000 kr
Scenario 3.2	26 714 000 kr
Scenario 4.1	30 800 000 kr
Scenario 4.2	39 400 000 kr

Driftskostnad – energi

Driftskostnaden består av kostnaden för köpt el samt ersättning för såld el. Som utgångspunkt för beräkningarna har följande värden använts:

- Kostnaden för köpt el är 1,00 kr/kWh
- Ersättning för såld el är 0,45 kr/kWh

Kostnad, ersättning samt netto visas i Tabell 6.

Tabell 6 Kostnader och ersättning för köpt respektive såld el i de studerade scenarierna.

Scenario	Kostnad köpt el	Ersättning såld el	Driftskostnad energi netto
Scenario 1	328 000 kr/år	Ingen såld energi	328 000 kr/år
Scenario 2	200 000 kr/år	90 000 kr/år	110 000 kr/år
Scenario 3.1	122 000 kr/år	55 000 kr/år	67 000 kr/år
Scenario 3.2	122 000 kr/år	55 000 kr/år	67 000 kr/år
Scenario 4.1	Ingen köpt energi	Ingen såld energi	Inget värde – Off-grid
Scenario 4.2	Ingen köpt energi	Ingen såld energi	Inget värde – Off-grid

10.1.2 Underhållskostnad

För respektive scenario har årliga kostnader för underhåll av systemen beräknats, vilket redovisas i Tabell 7.

Tabell 7 Underhållskostnader för energisystemet i respektive scenario.

Scenario	Underhållskostnad
Scenario 1	15 000 kr/år
Scenario 2	22 000 kr/år

Scenario 3.1	170 000 kr/år
Scenario 3.2	150 000 kr/år
Scenario 4.1	270 000 kr/år
Scenario 4.2	230 000 kr/år

Sammanställning av kostnader

En sammanställning av investeringskostnad, driftkostnad för energi, underhållskostnad samt restvärde år 20 redovisas i Tabell 8 nedan.

Tabell 8 Sammanställning av kostnader för energisystemlösningarna i respektive scenario.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3.1	Scenario 3.2	Scenario 4.1	Scenario 4.2
Investeringskostnad	2 150 000 kr	6 174 000 kr	25 614 000 kr	26 714 000 kr	30 800 000 kr	39 400 000 kr
Driftkostnad Energi	328 000 kr/år	110 000 kr/år	67 000 kr/år	67 000 kr/år	-	-
Underhållskostnad	15 000 kr/år	22 000 k/år	170 000 kr/år	150 000 kr/år	270 000 kr/år	230 000 kr/år
Restvärde år 20		583 000 kr	4 185 000 kr	5 178 000 kr	7 554 000 kr	12 419 000 kr

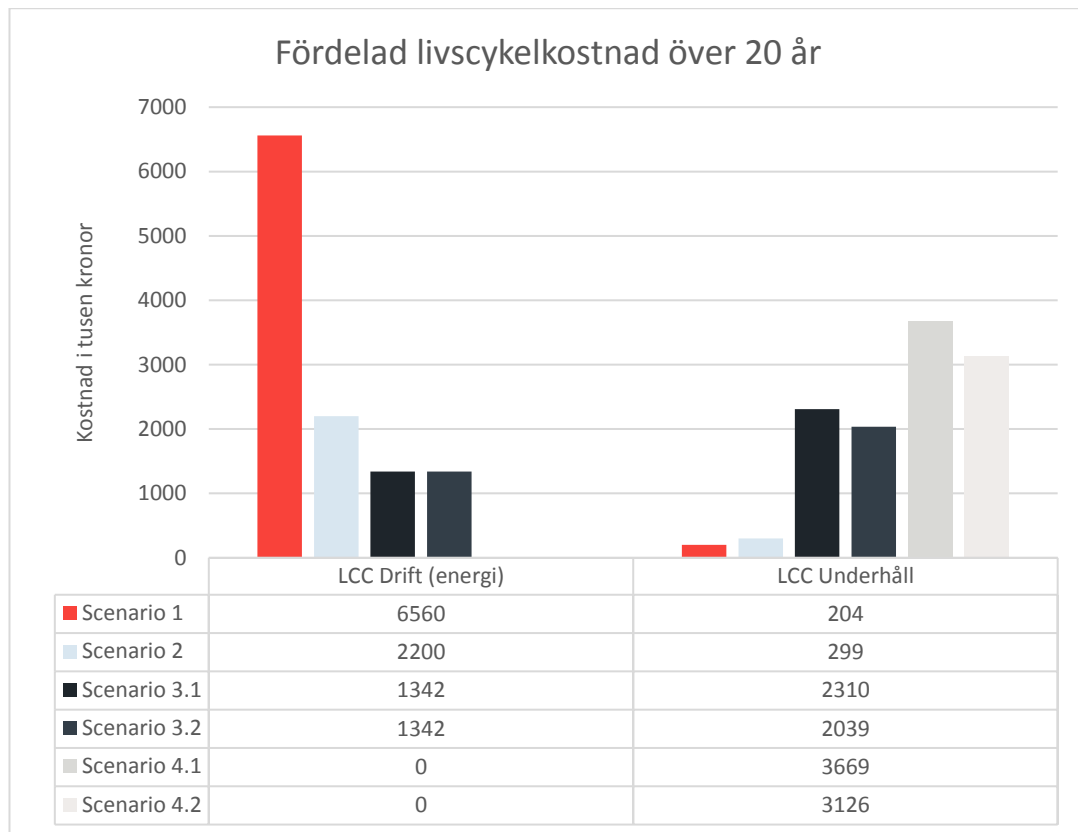
Kostnadsberäkning LCC

Jämförelse mellan alternativen sker med hjälp av livscykelkostnad, LCC. Vid LCC beräkning har följande parametrar använts.

	Värde	Enhet
Kalkylperiod	20	år
Kalkylränta	4	%
Årlig elprisökning	4	%

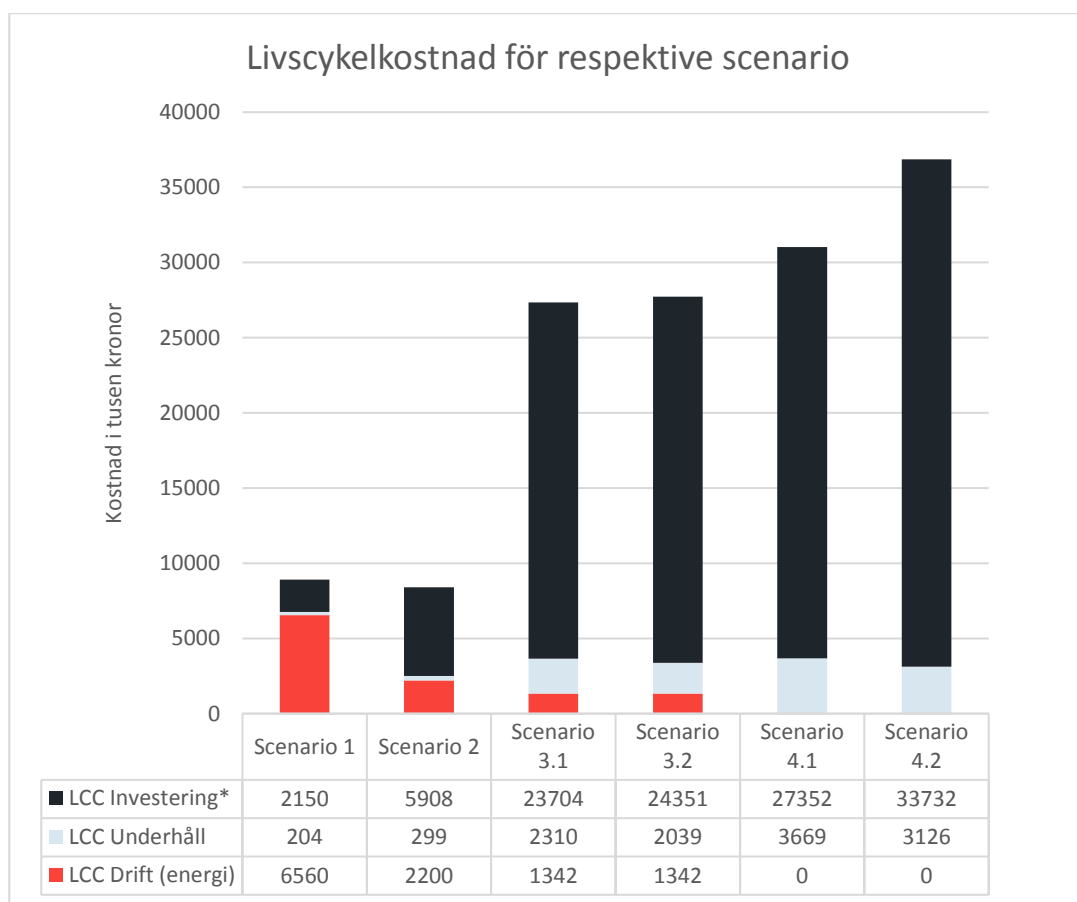
I LCC-beräkningar tas hänsyn till restvärdet av de tekniska systemen vid år 20.

I Figur 24 nedan visas livscykelkostnaderna över 20 år för underhåll samt drift (energi) för respektive scenario. Figuren visar att scenario 1 innebär överlägset högst driftkostnader för energi och låga underhållskostnader, till följd av att all energi köps in och att systemet är mindre komplexa och kräver begränsat underhåll. Livscykelkostnaden för driftkostnad energi sjunker ju mer självförsörjande systemet är och är noll i Scenario 4. Underhållskostnaderna ökar ju mer komplext systemet blir och är därmed högst i Scenario 4. Utifrån beräkningarna ses att underhållskostnaderna blir högre med vindturbiner än med enbart solceller för att producera samma mängd el lokalt.



Figur 24 Livscykelkostnad över 20 år, fördelad på driftkostnader (energi) och underhållskostnader.

Den totala livscykelkostnaden över 20 år, inklusive investeringskostnaden, visas i Figur 25. Figuren visar att investeringskostnaden, i alla scenarion utom scenario 1, utgör den största delen av livscykelkostnaden. Särskilt tydligt blir det i scenario 3 och 4, där investeringskostnaden står för cirka 90 % av den totala kostnaden.



Figur 25 Livscykelkostnad över 20 år, fördelat på LCC Investering, LCC Underhåll och LCC drift (energi). *LCC Investering tar hänsyn till restvärde vid år 20.

Den totala livscykelkostnaden för respektive scenario visas i Tabell 9 nedan.

Tabell 9 Total livscykelkostnad för respektive scenario.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3.1	Scenario 3.2	Scenario 4.1	Scenario 4.2
LCC Total	8 914 000 kr	8 407 000 kr	27 356 000 kr	27 731 000 kr	31 022 000 kr	36 858 000 kr

I förhållande till Scenario 1 (basalternativet) – sett över 20 år – är LCC för:

- Scenario 2 cirka 507 kkr billigare
- Scenario 3.1 (med vindturbin) cirka 18 442 kkr dyrare
- Scenario 3.2 (utan vindturbin) cirka 18 817 kkr dyrare
- Scenario 4.1 (med vindturbin) cirka 22 100 kkr dyrare
- Scenario 4.2 (utan vindturbin) cirka 27 944 kkr dyrare

Det som är kraftigt kostnadsdrivande för investeringens livscykelkostnad är vätagaslager, trots att den billigaste volymlagringen valts. Detta är den främsta faktorn bakom att LCC Investering för scenario 3 och 4 är väsentligt högre än i scenario 2.

10.2 HÅLLBARHETSUTVÄRDERING

Hållbarhet innefattar såväl ekonomiska, sociala och miljömässiga perspektiv. Inom respektive perspektiv kan i sin tur en uppsjö av frågeställningar innefattas. Vid utvärdering av hållbarhet för de olika scenarierna i detta projekt har en översiktlig bedömning av ekonomiska, sociala och

miljömässiga faktorer gjorts för att ge en uppfattning om hur de olika lösningarna står sig mot varandra gällande hållbarhet.

En sammanställning av bedömningen visas i Tabell 10 nedan. Scenariona har utvärderats på en femgradig skala (1-5) där 1 är sämst och 5 är bäst. Skalan illustreras med färger i enlighet med tabellen nedan.

1	
2	
3	
4	
5	

I detta projekt har ekonomisk och miljömässig hållbarhet, framförallt klimatpåverkan i förhållande till livscykelkostnad, konstaterats särskilt intressanta och avgörande vid val av lösning. Därför har även en viktning av respektive hållbarhetsperspektiv gjorts med hjälp av en faktor (1-4), där 4 är mest viktigt och 1 minst viktigt. Ekonomisk och miljömässig hållbarhet bedöms vara av vikt faktor 4, medan social hållbarhet faktor 1. Resultatet för respektive scenario har tagits fram genom att multiplicera bedömningen (1-5) med faktorn (1-4) för respektive hållbarhetsperspektiv. En summering av resultaten för de tre hållbarhetsperspektiven har sedan adderats för att erhålla en summering per scenario.

Tabell 10 Hållbarhetsbedömning.

	Faktor	1. System-lösning	2. Lokal produktion	3. Smart samverkan	4. Off grid ready
Ekonomisk hållbarhet	4	12	16	4	4
Social hållbarhet	1	2	3	4	4
Miljömässig hållbarhet	4	12	16	20	20
Summering		26	35	28	28

Den ekonomiska hållbarheten i projektet baseras på tidigare beskrivna livscykelkostnader. Scenario 3 och 4 har avsevärt högst LCC, mycket på grund av höga investeringskostnader i lokal energiproduktion och lagring. Scenario 3 och 4 bedöms ges därför värderingen 1 (röd). Scenario 2 har

lägst LCC och ges värderingen 4 (grön) medan Scenario 1 ges värdering 3 (gul).

Social hållbarhet innefattar i detta fall en sammanvägning av interna aspekter i kvarteret (som bidrag till gemensam, grad av samverkan samt grad av självförsörjande vilket minskar beroende av en extern marknad) samt externa aspekter (som exempelvis användning av konfliktmineraler). Beroende på systemgräns kan extern social hållbarhet kräva gedigna undersökningar av ingående komponenter för att dra ordentliga slutsatser, vilket inte har gjorts i detta uppdrag. Påverkan på social hållbarhet ur ett externt perspektiv har bedömts förekomma i samtliga scenarion i denna rapport och bedöms vara likvärdiga mellan scenariona. Den interna sociala hållbarheten bedöms dock vara högre med högre grad av självförsörjande.

I miljömässig hållbarhet har en utvärdering gjorts baserat på framförallt klimatpåverkan, hur mycket lösningarna bidrar till förnybar elproduktion i energisystemet, hur innovativa energilösningarna är, hur mycket energi som kan sparas. Även miljöpåverkan från material har vägts in, men där bedöms alla scenarion vara likvärdiga. Sammantaget bedöms Scenario 3 och 4 ha bäst prestanda gällande miljömässig hållbarhet (värdering 5 (mörkgrön) på grund av hög grad av självförsörjande på förnybar energi. Scenario 2 bedöms ha god prestanda men något lägre än scenario 3 och 4 (värdering 4) eftersom man i detta scenario är beroende av köpt el, vilket innebär att kvarteret vid stort behov av el behöver köpa in grön el. Vid dessa tidpunkter finns säkerligen även stort behov i övriga energisystemet, vilket kan leda till behov av tillförsel av fossil energi i energisystemet för att klara efterfrågan. Detta resonemang samt att kvarteret inte bidrar med ny förnybar energi gör att Scenario 1 värderas lägst (värdering 2) trots att man i detta scenario köper in enbart förnybar energi. Annas student kompletterar ev med info om LCA)

Faktor: ekonomisk & miljö viktigast i projektet (utifrån gruppen, koldioxid kontra krona – därför så mycket högre värdering)

Ekonomisk bygger på LCC

Social: sammanvägning mellan intern (gemenskap, samverkan osv i kvarteret, ligga i framkant, självförsörjande – inte beroende av marknad) & extern (konfliktmineraler, uppstår även när köper energi, finns även i de systemen, bedöms likvärdiga för alla scenarion – finns för och nackdelar med olika tekniska lösningar... Annas student kompletterar ev med info om LCA)

Miljö: Bidra till grön elförsörjning, tillföra energi & effekt mer värt än att köpa. Driva utveckling, ligga i framkant, innovation viktigt för gruppen – möjligt att scenario 4 är bäst och rekommenderas i mindre kvarter. Inkluderar miljöpåverkan material, men bedöms likvärdig för alla scenarion.

10.3 PÅVERKAN PÅ BYGGANDET OCH FYSISK UTFORMNING AV SMART VILLAGE

Placera hus i riktning för att solens solinstrålning skall gynnas.

Vinkel av taket.

Byggnadernas placering, samt skuggning av träd, byggnader m.m.

Små fönster på norrsidan, större fönster i söder.

Eventuella pergola m.m. i söder för att skugga fönster på somrarna m.m.

Vind fång, med tex häckar, genomblåsbara staket m.m.

Dammar, med vatten för uppsamling, översvämning tex vad händer vid 100års regn?

Genomsläppliga beläggningar så att vattnet rinner ner

Insamling av regnvatten för att använda till att spola i toaletter

Återanvändning av vatten.

(Isolering av byggnaderna)

När det gäller vätgaslagring, så behöver detta placeras ur ett säkerhetsynpunktsmässigt säkert sätt

Överskottsvärme skall användas på bästa sätt, tex i växthus m.m.

10.4 UTVÄRDERING- TEKNISKA LIVSLÄNGDER OCH TEKNIKUTVECKLING

Investering i ny teknik är idag kostsam och det kan i många fall vara svårt att påvisa en lönsamhet gentemot traditionella energilösningar. Ändå vet vi att tidiga omställningar oftast leder till långsiktiga vinster. I de presenterade scenarier förekommer olika tekniska lösningar som här kommer att beskrivas ur förväntad teknisk livslängd men också tendenserna inom teknikutvecklingen.

Värmepumpar; en beprövad teknik som utan problem har en livstid på minst 20år i en LCC. Borrhål till bergvärme 50år. Effektivitetsförbättringar är dock marginella i utvecklingen då laststyrning via byggnadsprognoser istället kommer att höja effektiviteten ytterligare, ofta i samverkan med tariffstyrning där så tillämpas.

Energilager; Marklagring av överskottsvärme är något osäkert i det aktuella området då bergarten är sprickbenägen och kan lika gärna föra bort energi som att tillföra den. Inom batterilagring förutspås en snabb utveckling där framförallt batterikapacitet och pris påverkas. Det är dock fortfarande inte lönsamt att investera i nya batterier som energilager mot elmarknaden. Däremot kan befintliga batterier i samhället som idag fyller en annan huvudsaklig funktion nyttjas för lagring. Då blir eventuell lagring gentemot elmarknaden endast en bonusintäkt. Trenden går istället mot utveckling av affärsmodeller för att sälja el från batterier eller teknikutveckling som optimerar användningen i förhållande till elsystemets behov.

Vätgaslagring; en metod som förespråkas då den kan lagra volatil energiproduktion på platsen. Detta gör att systemgränsen mellan externt elnät och ett lokalt nät enklare att upprätthålla. Här spås en betydande teknisk utveckling som kommer att sänka priser och öka driftssäkerheten. Det är dock oklart när genombrottet kommer men allt större resurser satsas på forskning och industrialisering.

Solceller; har mycket lång livslängd och bortfallet i produktion över tid beräknas inte vara mer än 20%. Tredje generationens solceller, *perovskitsolceller*, befinner sig än så länge på experimentstadiet. Den

vanligaste materialsammansättningen för dessa solceller är metylammonium, bly och jod. Fördelen är att de är enkla och billiga att tillverka och kommer inom kort att bli dominerande på marknaden med kortare återbetalningstider som följd.

Vindkraft; mindre vindkraftverk är idag svåra att få lönsamma p.g.a. investeringskostnaden. Även om tekniken och effektiviteten kan förbättras är lokalisering, tillståndprocess och skatteregler idag osäkerhetsfaktorer. Säkerhetsavstånd och bullerkrav gör att mindre verk i bebyggda områden är svåra att etablera. Trenden går mot mer andelsägande i större vindkraftverk som har högre lönsamhet.

10.5 SLUTREKOMMENDATION

Med hänsyn till projektets vilja att lika i framkant av samhällsutvecklingen och till ovanstående kommentarer och utvärderingar är scenario 3.2 det som motsvarar Smart Village intensioner. I ett genomförandeperspektiv med hänsyn till ekonomiska förutsättningar upplevs dock scenario 2 som mer genomförbart.

Slutrekommendationen för projektet Smart village är att området satsar på olika lösningar för olika delar av området. Scenario 2 rekommenderas utgöra grunden och föreslås väljas för stora delar av området. För att ligga i framkant i samhällsutvecklingen rekommenderas dock scenario 3 och/eller scenario 4 etableras i mindre delar av området, exempelvis i specifika kvarter eller fastigheter. Det bedöms av projektet ge en god avvägning mellan ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet och kan fungera som en bra testbädd för utvärdering av olika lösningar. Genom att från start ha ett helhetsperspektiv, trots etablering av olika lösningar för olika kvarter, möjliggörs vidareutveckling av lösningar och efterhand höjd självförsörjandegrad i hela området.

Utvärdering av lösningar

Sammantagen bedömning av vad som är den bästa lösningen, ett scenario eller mix av olika.

Resonemang om val samt för- och nackdelar.

Genomgående för alla scenarier är att användningen av hushållsel är den mest utmanande delen för att uppnå hög självförsörjandegrad. Genom att effektivisera hushållselen och minska användningen minskar behovet av elproduktion och lagring, vilket minskar kostnaderna. Att säsongslagra stora mängder energi med tillhörande elproduktion är kostsamt.

En variant av de beskrivna scenarierna skulle vara scenario 2 kompletterat med 4st vindturbiner (totalt 115 kW), som i scenario 4. Detta skulle reducera köpt/såld el till uppskattningsvis ca 130 000 kWh/år. Däremot ökar investeringskostnaderna i och med vindturbinerna.

Om vindturbinerna i scenario 3 och 4 ersätts av mer solceller måste ännu mer energi säsongslagras vilket medför större lagerstation – vilket innebär ökade kostnader.

- En vindturbin av den typ som visas i materialet kostar cirka 900 000 kr.
- Om man utgår från samma årsproduktion av el så är vindturbinen cirka 3 gånger dyrare än solceller.
- Energilagringsskapaciteten måste vara större för solcellsanläggningen jämfört med vindturbinanläggningen eftersom vindturbinen producerar el även vintertid.
- Det handlar om stora investeringar för den här typen av anläggningar med solceller, vindturbiner och energilager och lönsamheten kan diskuteras (lite beroende på hur man räknar). Vårgårda bostäder har bedömt att det skulle kunna bli lönsamt på sikt med solceller + energilager (vätgas + bränsleceller). Dock gäller för Vårgårda bostäder att deras hus inte är självförsörjande på hushållsel.
- Att vara helt självförsörjande med (el)energi är gynnsamt vid långt avbrott i elförsörjningen.
- Även om man är helt självförsörjande så behövs t.ex. dieseldrivet reservkraftaggregat för tillfällig elproduktion för att parera om århundradets sämsta tidsperiod inträffar vad gäller möjlig egenproduktion av el.
- Med framförhållning kan man bygga ut självförsörjningsgraden i etapper – börja t.ex. med att exkludera typ hushållsel i självförsörjningen.

11 FÖRVERKLIGANDE

Hur tar vi nästa steg.

Ny ansökan om för-projektering.

12 REFERENSER

- BeBo. (2018). *Guide - Solcelor till bostadsrättsföreningen*. Hämtat från <http://www.bebostad.se/library/2952/guide-solceller-till-bostadsraettsfoeringen.pdf>
- Energimyndigheten. (den 05 11 2018). *Löpande intäkter efter installation*. Hämtat från Solelportalen: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-stod-och-intakter-kan-jag-fa/lopande-intakter-efter-installation/>
- Nätverket för Vindbruk. (den 13 01 2014). *Småskalig vindkraft*. Hämtat från <https://www.natverketforvindbruk.se/sv/Naringsliv/Smaskalig-vindkraft/>
- Power circle. (2018). *Elnätets roll i framtidens energisystem*. Hämtat från <http://powercircle.org/wp-content/uploads/2018/01/Slutrapport-KAN2.0.pdf>
- Svea Vind. (u.d.). *Så fungerar vindkraft*. Hämtat från <http://sveavind.se/vindkraft-faq.html>
- Vindlov.se. (den 30 05 2017). *Definition av klassen*. Hämtat från Steg för steg: <http://www.vindlov.se/sv/steg-for-steg/gardsverk/definition-av-klassen/>
- Wizelius, T. (2012). *Vindkraft tillsammans - Handbok för vindkooperativ*. Hämtat från <https://www.natverketforvindbruk.se/Global/Aktiviteter/Projekt/Vindkraft%20tillsammans.pdf>

13 BILAGA 1 – FÖRSTUDIE SOLCELLSANLÄGGNING

Se separat rapport "Bilaga 1 XXX" – Anna, var finns utredningen som Jasenkas gäng gjorde i början?

14 BILAGA 2 – UNDERLAG FÖR LCC

Kalkylen summerar samtliga kostnader för energiförsörjningsanläggningen – investeringskostnader, energikostnader, drift och underhåll över livslängden.

Efter bedömning har vi satt generellt *teknisk livslängd* för installationerna till 20 år. Kalkyllängd väljs efter detta – dvs till 20 år för att underlätta.

Vid beräkning av LCC antas:

Kalkylränta	4 %
Kalkylperiod	20 år
Köp av el – dagens energipris, totalkostnad inkl. avgifter	1,00 kr/kWh
Sälj av el – dagens erhållna energipris	0,45 kr/kWh
Energiprisökning el	4 % per år

Borrhåslager, solceller, solfångare och vätgaslager har betydande restvärde efter 20 år.

VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare. wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10 7225000
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

