Rapport 2020:8

Självförsörjande bostadsområde i urban miljö

Självförsörjande bostadsområde i urban miljö –
energianalys och dimensionering

Anders Lundblad RISE

Karin Nilsson RISE

Bengt Stridh Mälardalens högskola

Pietro Campana Mälardalens högskola

Pär Löfstedt Yellon

Ulf Alexandersson Vätterhem

Energimyndigheten projektnummer: 49573-1

E2B2

Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Självförsörjande bostadsområde i urban miljö – energianalys och optimering är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av RISE Research Institutes of Sweden och har genomförts i samverkan med Bostads AB Vätterhem och Yellon AB.

Projektet har besvarat frågan om det är tekniskt och ekonomiskt realistiskt att bygga ett bostadsområde som är helt självförsörjande på el, värme, dricksvatten och avlopp. Genom simuleringar har man utvärderat och analyserat, ur både teknisk och ekonomisk synvinkel, hur en självförsörjande grupp av bostäder i ett mikronät fungerar tekniskt och ekonomiskt över en längre tid.

Stockholm, 23 december 2020

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Detta forskningsprojekt har visat att självförsörjande bostadsfastigheter kan byggas i den svenska staden Jönköping och vara lönsamma på längre sikt med antagna prisökningar på el och VA-abonnemang. Självförsörjande fastigheter förknippas ofta med isolerade platser som till exempel öar, men kan även vara intressanta i urbana lägen där det är svårt och dyrbart att leda fram el och VA. Självförsörjande fastigheter förbättrar även samhällets robusthet vid till exempel strömavbrott genom att energitillgången har säkrats lokalt.

Fastigheter som ska vara självförsörjande på el, värme och med eget vatten och avlopp förutsätter att tillräckligt mycket energi produceras under den soliga och varma delen av året, för att försörja huset med energi under vintern. Dessutom måste avloppsvatten recirkuleras så att konsumtion av vatten inte överstiger den volym som kan samlas in från regnvatten och från borrad brunn.

I detta projekt har RISE, Mälardalens högskola, Yellon och Vätterhem deltagit och tillsammans med ett tiotal komponent- och systemleverantörer undersökt ett koncept (YEAH-konceptet) där: 1) primär elenergi och värme erhålls från solceller och hybridsolceller, 2) batterilager och ett system med elektrolysör, vätgaslager och bränslecell används för lagring av elenergi, samt 3) hybridventilation, markvärmelager, ackumulatortank och värmepump tillsammans med spillvärme från elektrolysör och bränslecell används för fastighetens värme.

För detta syfte har en robust simuleringsmodell för självförsörjande fastigheter utvecklats. Den kan nyttjas av intresserade i framtida byggprojekt. Ekonomikalkylen visar att konceptet redan med dagens kostnadsläge på nyckelkomponenter är lönsamt för den som bygger för att förvalta fastigheter över tid (break-even efter 21–26 år).

Ett samarbete har genom projektet etablerats mellan ett flertal mindre system- och tekniklevarantörer (samtliga små eller medelstora företag) och det så kallade ”YEAH-teamet”. YEAH-konceptet har väckt stort nationellt och internationellt intresse med TV-inslag och artiklar publicerade i Nederländerna, Storbritannien, Belgien, Finland med flera, samt förfrågningar angående möjliga framtida YEAH-projekt i både Sverige och andra länder.

Nyckelord: Självförsörjande fastighet, batterilager, vätgaslager, recirkulerande avlopp, markvärmelager.

Summary

This research project has shown that self-sufficient residential properties can be built in the Swedish city of Jönköping and be profitable in the long term with assumed price increases for subscription of electricity, water and sewerage. Self-sufficient properties are often associated with isolated places such as islands but can also be interesting in urban locations where it is difficult and expensive to connect electricity, water and sewerage. Self-sufficient properties also improve the resilience of society in the event of, for example, power outages by securing energy supply locally.

Properties that are to be self-sufficient in electricity, heating and with their own water and sewage requires that sufficient energy is produced during the sunny and warm part of the year, to supply the house with energy during the winter. In addition, waste water must be recycled so that water consumption does not exceed the volume that can be collected from rainwater and from a drilled well.

In this project, RISE, Mälardalen University, Yellon and Vätterhem have participated and together with ten component and system suppliers to investigate a concept (the YEAH concept) where: 1) primary electrical energy and heat are obtained from solar cells and hybrid solar cells, 2) battery storage and a system with electrolyzer, hydrogen storage and fuel cell is used for the storage of electrical energy, and 3) hybrid ventilation, ground heat storage, accumulator tank and heat pump together with waste heat from electrolyzer and fuel cell are used for the property's heating.

For this purpose, a robust simulation model for self-sufficient properties has been developed. The model can be used by those interested in future building projects. The financial calculation shows that the concept already with the current cost situation on key components is profitable for those who build to manage properties over time (break-even after 21-26 years).

Through the project, a collaboration has been established between several smaller system and technology suppliers (small and medium sized entrerprise) and the so-called “YEAH team”. The YEAH concept has aroused great national and international interest with TV features and articles published in the Netherlands, Great Britain, Belgium, Finland and more, as well as inquiries regarding possible future YEAH projects in both Sweden and other countries.

Keywords: Self-sufficient property, battery- and hydrogen storage, recirculating waste water, ground heat storage.

INNEHÅLL

1 INLEDNING OCH BAKGRUND 7
1.1 INLEDNING 7
1.2 BAKGRUND 7
1.3 OMVÄRLDSEXEMPEL FÖR SJÄLVFÖRSÖRJANDE LÅGENERGIHUS OCH ENERGISYSTEM MED VÄTGASLAGER 8
1.3.1 SVERIGE OCH NORGE 8
1.3.2 INTERNATIONELLA PROJEKT OCH SATSNINGAR 8
2 GENOMFÖRANDE 9
2.1 ARBETSPAKET 9
2.2 MÖTEN 10
2.3 MEDVERKANDE PARTNERS OCH FÖRETAG 11
3 RESULTAT 13
3.1 INVENTERING AV MARKNAD FÖR DELKOMPONENTER 13
3.2 MODELLERING AV SJÄLVFÖRSÖRJANDE FLERFAMILJSHUS 14
3.2.1 METOD 14
3.2.2 RESULTAT FRÅN SIMULERINGEN 14
3.3 EKONOMISK DIFFERENSKALKYL YEAH VS STANDARD 2020 15
4 DISKUSSION 16
5 PUBLIKATIONER OCH REFERENSLISTA 17
5.1 PUBLIKATIONER 17
5.2 REFERENSER 17

1 Inledning och bakgrund

1.1 Inledning

I Sverige svarade bostäder och service 2018 för 39 procent av landets slutliga energianvändning [1]. Bostäders framtida energianvändning kommer att vara en viktig del för att kunna uppfylla Sveriges och EU:s uppsatta energi- och klimatmål.

Sverige har målet att år 2030 ha 50 procent effektivare energianvändning jämfört med 2005 och 2040 ha 100 procent förnybar elproduktion. Dessutom kräver EU:s Direktiv om byggnaders energiprestanda att alla nya byggnader ska vara nära nollenergibyggnader från och med slutet av 2020. Beroendet av elektricitet ökar i Sverige och generellt i hela världen. Elektriciteten är oftast producerad i stora anläggningar och distribueras sedan över hela landet. Detta medför en ökad lokal känslighet mot störningar, vid hög belastning eller vid strömavbrott på grund av exempelvis storm. Oberoende distribuerade energisystem med energilager, där produktionen av el kan anpassas till efterfrågan i en krissituation, är därför av intresse.

En likartad situation föreligger för dricksvatten- och avloppsystem där åldrande (korrosion och sättningar) och underdimensionering gör de gamla systemen känsliga mot yttre påverkan eller hög belastningsgrad. Det svenska dricksvattensystemet har dålig verkningsgrad på grund av läckage. Enligt statistik från branschorganisationen Svenskt Vatten är den genomsnittliga förlusten cirka 15 procent [2]. Driften av reningsverk och avloppssystem i stor skala är energikrävande. Att gräva upp och modernisera eller lägga om vatten- och avloppsnät kostar mycket, bland annat energi.

Om eltillförseln upphör att fungera i en stad slutar både dagvatten- och hushållsavloppens pumpstationer att fungera och då uppstår en samhällskritisk situation. Beaktat aspekten kring motståndskraftiga städer och uthållig infrastruktur är det högst relevant att ha med även försörjning av vatten och avlopp. Självförsörjande flerfamiljsfastigheter kan således innebära ett kostnads- och energieffektivt alternativ för att erhålla erforderlig robusthet för städer.

I detta projekt har RISE, Mälardalens högskola (MDH), Yellon och Vätterhem deltagit och tillsammans med ett tiotal komponent- och systemleverantörer (majoriteten småföretag) genomfört en förstudie för att undersöka om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt lönsamt att idag bygga en bostadsfastighet i urban miljö som inte är nätansluten och som är självförsörjande på energi, vatten och avlopp.

1.2 Bakgrund

Självförsörjande hus definieras generellt som självförsörjande på el, värme och med eget vatten och avlopp. Detta förutsätter att fastigheten själv producerar tillräckligt mycket energi i form av el och värme, under den soliga och varma delen av året, för att försörja huset med energi under vintern.

Vätgaslagring och bränsleceller har gjort framsteg under senaste decenniet och fått ökad uppmärksamhet för dess tänkbara potential i världens framtida energisystem. Förbättringar i teknik och tillverkning har gjort att kostnaderna blivit betydligt lägre. Kommersiella produkter har blivit vanligare. Ett ökat fokus på att lösa problemen med global uppvärmning pekar på att enbart produktion av mer

förnyelsebar elektricitet är otillräcklig [3]. Även frågan om hur storskalig energilagring ska lösas är väsentlig, där vätgaslagring i kombination med bränsleceller är en möjlighet.

1.3 Omvärldsexempel för självförsörjande lågenergihus och energisystem med vätgaslager

1.3.1 Sverige och Norge

I Sverige kommer allt fler initiativ gällande självförsörjande byggnader. Skellefteå Kraft har låtit bygga småhuset Zero Sun, som ska vara helt självförsörjande på energi genom användning av solceller, batterier för korttidsenergilager, elektrolys för framställning av vätgas för långtidsenergilager och som senare används i en bränslecell [4][5]. I Vårgårda görs renovering i ett miljonprogramområde där husen förväntas bli självförsörjande när det gäller fastighetsenergi [6]. Andra exempel är Nilsson Energy utanför Göteborg [7–10], som även uppfört en ”off-grid” produktionsanläggning för en vätgastankstation i Mariestad, Hus utan sladd i Wenngarn [11], ett hus utanför Örebro [12] och ett hus i norra Norge [13]. I Mariestad planeras en förskola självförsörjande på energi med solceller och vätgaslager stå klar 2021 [14]. Ett examensarbete vid Chalmers 2018 studerade ett flerbostadshus självförsörjande på energi med solceller och vätgaslager [15].

1.3.2 Internationella projekt och satsningar

2016 färdigställdes världens första flerfamiljshus självförsörjande på energi. Det är ett hus i Schweiz med nio lägenheter. I energisystemet finns solceller, batterilager, termiskt varmvattenlager, bergvärme, elektrolysör, vätgaslager och bränslecell [16]. Huset använder även fastighetsautomation för att sänka energianvändningen [17]. I Bayern, Tyskland, byggdes 2019 ett självförsörjande enfamiljspassivhus med 20 kilowatt solceller och vätgaslagring [18]. En studie av energi och design för den första självförsörjande byggnaden med solceller och vätgas i västra Schweiz gjordes av [19].

Ett hus i Devon, England, som är under byggnation 2020 påstås bli det första huset i Europa ”off-grid” baserat på solceller och vätgaslagring för lagring av energi [20][21]. Hans-Olof Nilsson hus utanför Göteborg kopplade dock bort sig från nätet 2015 och var alltså fem år före detta engelska hus [22]. I ett projekt på Orkneyöarna, Skottland, genereras el från vindkraft och tidvatten, där överskottet används för att med elektrolys tillverka vätgas. Komprimerad vätgas körs med lastbil till Kirkwall där vätgasen används i en bränslecell för att generera el [23]. I ett projekt i Uganda var planen att under 2019 färdigställa ett projekt för att försörja 3 000 lantliga hushåll med energi i världens första mikronät baserat på solceller och energilager med batterier och vätgas [24] [25]. 2018 invigdes ett energisystem med vätgaslager för en stuga i de franska Alperna i nationalparken Vanoise [26]. Toshiba har tagit fram ett självförsörjande energisystem baserat på solceller, elektrolys, vätgaslagring och bränsleceller, kallat H2One™ [27]. Genomförbarhetsstudier med design och ekonomi för ett energisystem med solceller och vätgaslager har presenterats av [30] [31] [32]. Översikter av byggnader självförsörjande på energi har gjorts av [28] och [29]. Den europeiska gröna given är en färdplan med åtgärder som ska ge energieffektivare byggnader [33]. Rapporten Hydrogen Roadmap Europe har visat att vätgas kan bli en viktig del i energisystemet där dess nyttjande i fastigheter man svara för upp till 10 procent av byggnaders energibehov i Europa 2050 [34]. Hydrogen Valley-plattformen (www.h2v.eu) är en global plattform för informationsdelning rörande vätgas [35].

2 Genomförande

Denna förstudie har utvärderat ett koncept för bostadsfastigheter som är självförsörjande på energi såväl som på vatten och avlopp.

2.1 Arbetspaket

Projektet har bestått av sex arbetspaket:

AP1: Projektledning av RISE. Ansvarar för budget, organiserar projektmöten, möten med referensgruppen och redovisningar till Energimyndigheten. Projektets representant vid E2B2:s projektmöten.

AP2: Inventering av marknad för nyckelkomponenter med avseende på pris och prestanda med syfte att sammanställa en ”state of the art” för prestanda och priser som indata för modellen av energisystemet som används i AP3 och AP4. Exempel på viktiga prestanda hos de olika komponenterna är verkningsgrad, energi- och effektanvändning, storlek, vikt och livslängd, samt en genomgång av tillförlitlighet och servicebehov hos komponenterna. Tillsammans med MDH utfördes även en sammanställning och litteraturstudie rörande byggnader som är självförsörjande på energi i kallare klimat. RISE var huvudansvarig för AP2.

AP3 och AP4: Energianalys av enskild fastighet och bostadsområde. AP3 och AP4 redovisas tillsammans eftersom fokus redan tidigt i projektet kom att ligga på ett större flerfamiljskomplex med 44 lägenheter (enfamiljs- och flerfamiljshus har även studerats i två examensarbeten [Publ. 2 och 3]). Syftet var att göra en dimensionering och optimering av energisystemet för en självförsörjande fastighet med avseende på energibehov för både byggnad och hushåll. Detta inkluderar även synergier med vatten och avloppssystemet, samt ekonomi för investering och drift. I arbetet ingick uppbyggnad av en fastighetsmodell med komponenter definierade i AP2. Arbetet innebar vidareutveckling av en modell (OptiCE) som utvecklats för tidigare projekt inom MDH. I modellen användes även indata för olika väderår för att i en känslighetsanalys utvärdera exempelvis inverkan av kalla vintrar eller år med olika solstrålning och på så sätt ”stress-testa” bostadskomplexet. Modellen har även använts för att dimensionera bostadskomplexets komponenter. MDH var huvudansvarig för AP3 och AP4.

AP5: Utvärdering och vidareutveckling av konceptet inför ett eventuellt demonstrationsprojekt. Detta AP innebar arbete med ekonomisk analys, förberedelse och planering inför ett genomförande av YEAH-konceptet. Analysen baserades på den input som erhållits från AP3 och AP4 för att styra vilka olika komponenter som ska väljas och hur man ska dimensionera dem för att få ett så energieffektivt system så möjligt. Modellsimuleringarna visade också hur väl man kommer att kunna klara självförsörjningen av vatten och avloppsrening. Med de erhållna värdena på investerings- och driftkostnader har man kunnat jämföra ekonomin för en fastighet enligt YEAH-konceptet med en fastighet byggd enligt standard 2020. Yellon och Vätterhem ansvarade för de ekonomiska beräkningarna i AP5.

AP6: Kommunikation och spridning. Kommunikationsplanen har fått revideras med anledning av rådande situation. Hemsidor hos fler av parterna sattes dock upp enligt plan. Efter en riktad kommunikationsinsats gentemot media av olika slag och genom relevanta forum i slutet av juni 2020, fick projektet mycket stor uppmärksamhet. Pressrelease i anslutning till detta gjorde flera branschtidningar uppmärksamma på konceptet (se bilaga 4, Kommunikation). I och med handläggning och beslut kring eventuella framtida byggplaner har budskapet nått politiker - en kategori som är nödvändig i förändringsarbete för ett hållbart samhälle. På förfrågan har flera föredrag om YEAH-konceptet hållits av Vätterhem och Yellon. Åhörare till föredragen har varit energirådgivare, bygglovshandläggare, fastighetsbolag och politiker.

2.2 Möten

Projektgruppen har inklusive kick-off hållit tio projektmöten. Efterhand har fler möjliga underleverantörer och företag velat delta och bjudits in till möten. Mötena har styrt och följt progressen i arbetet, men även fungerat som ett forum för rapportering av input från omvärldshändelser inom området. Kommunikation har skett mellan många projektpartners mellan möten för att dela material. Material inför möten och dokumentation av dessa; presentationer och mötesanteckningar har under projekttiden funnits tillgängligt på en gemensam Teamsyta. Vid sidan av projektmötena har ett antal tekniska möten genomförts för att reda ut specifikationer och tekniska spörsmål. Referensgruppen för projektet har inom projekttiden haft två möten.

Projektgruppen (RISE, MDH, Yellon och Vätterhem) har ansvarat för arbetspaketen, men har haft ett nära samarbete med ett antal underleverantörer av delsystemen för el- och värmeproduktion, framställning av vätgas, energilager, energiåtervinning, kyla och cirkulerande vatten. (Free Energy, Nilsson Energy, Norconsult, By Demand, Graytec, CarexofSweden). Detta så kallade ”YEAH-team” illustreras i figur 1 nedan. Representanter från nästan alla dessa företag har deltagit i de månatliga möten som hållits och deltar även i referensgruppen för projektet. Medverkan av företagen i faktainsamlandet och de offerter som erhållits från underleverantörer gör att inventeringen och dess prisuppgifter kan betraktas som trovärdiga och aktuella. Nedan listas de medverkande företagen och deras kompetenser.

Figur 1. Partners och medverkande företag i YEAH-teamet.

2.3 Medverkande partners och företag

Yellon är initiativtagare och upphovsman till YEAH-konceptet. Yellon är ett design- och arkitektkontor med fokus på att bidra till att göra världen lite bättre. I det här fallet förnybara energilösningar till fastigheter.

Vätterhem är ett kommunägt fastighetsbolag i Jönköping. Vätterhem äger ca 9000 hyresbostäder och har snart 80 års erfarenhet av fastighetsförvaltning.

RISE, enhet Energiomvandling har lett projektet. RISE har gedigen kompetens inom elektrisk energilagring i batterier och vätgasbaserade energisystem.

Mälardalens Högskola, Future Energy Center (MDH) har ansvarat för utvecklingen av simuleringsmodellen. MDH har djup akademisk kompetens inom solceller och förnybara energisystem.

Jönköping Energi är ett kommunägt energibolag och är nyligen inkluderat i YEAH-teamet. Jönköping Energi är tänkt som förvaltare av vätgas-/bränslecell-/batterilösningen.

Skanska är den byggentreprenör som Vätterhem upphandlat för förverkligandet av en YEAH-demonstrator inom Vätterhems förvaltning.

Graytec tillhandahåller lösningar för vattenrening och recirkulation av gråvatten. Detta är en väsentlig del i energiåtervinningen i YEAH-konceptet.

Energum är experter med helhetssyn på inomhusklimat och energikartläggning av fastigheter. Energum ingår i projektets referensgrupp.

Carex of Sweden är ägare av det biologiska avloppshanteringssystemet som är tänkt att användas i YEAH-konceptet.

Free Energy Innovation har i projektet jobbat med energibalansering och är leverantör av den värmepumpslösning som är tänkt i YEAH-konceptet.

Nilsson Energy har utvecklat RE8760 – lösningar för förnybar energi till fastigheter årets alla 8760 timmar. Nilsson Energy är tänkt leverantör av den vätgas-/bränslecell-/batterilösning som Jönköping Energi sedan är tänkt att förvalta.

ByDemand är VVS-konsulter med inriktning mot hållbara lösningar för inomhusklimat. ByDemand har i projektet arbetat med beräkningar av klimatskalet och hybridventilationen.

Norconsult är ägare av det svenska patentet Active Solar Energy Storage (ASES). ASES är tänkt att lagra termisk energi från sommar till vinter i marklager under fastigheten.

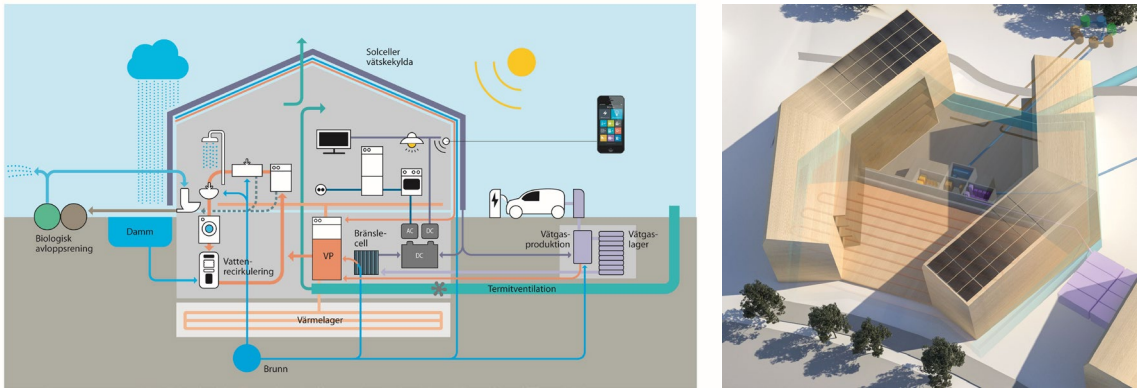
Green Led Service (GLS) är ett nyligen inkluderat företag i YEAH-teamet. GLS kompetensområde är utveckling av energieffektiva belysningsarmaturer för lågvolt likström.

YEAH-teamet kommer att ha fortsatt kontakt för att vidareutveckla konceptet och mobilisera inför en demonstrationsfas.

3 Resultat

3.1 Inventering av marknad för delkomponenter

I YEAH-konceptet ingår en mängd nyckelkomponenter som möjliggör självförsörjning gällande el, värme, vatten och avlopp. I denna rapport försöker vi sammanfatta dagens situation för teknik och kostnadsutvecklingen. Figur 2 nedan visar en principskiss och en illustration av det tänkta fastighetskomplexet. För lagring av elenergi används batterilager och ett system med elektrolysör, vätgaslager och bränslecell. Inom dessa teknikområden har förbättringar i teknik och tillverkning gjort att kostnaderna blivit betydligt lägre under senare år. Tabell 1 sammanfattar dagens situation gällande prestanda, kostnad och livslängd (se även bilaga 1).



Figur 2. Principskiss av YEAH konceptet (vänster), illustration av förprojekterad fastighet (höger).

Tabell 1. Sammanställning nyckelkomponenters prestanda, kostnad och livslängd (se även bilaga 1).

Komponent	Prestanda	Kostnad	Livslängd
Solcellsystem, PV/PVT	18-20/19-21%	10 000/21000 SEK/kWp	25 år
Tunnfilmssolceller fasad	10-18% (färgberoende)	35 000 SEK/kWp	25 år
Elektrolysör (Alkalisk)	5 kWh/Nm³	41 000 SEK/kW	25 år
Kompressor (kolvtyp, 6 kW)	35-350 bar	330 kSEK/kW	25 år
Vätgaslager/system (tryckcylindrar)	740 Wh/kg	5 000 SEK/kg	50 år
Batteri (Litium)	200 Wh/kg	6 800 SEK/kWh	15 år
Bränslecell (PEMFC)	3 kW/kg	14 000 SEK/kW	15 år
Bergvärmepump	COP 4,6 (EN 14511)	5000 SEK/kW (värme)	15 år
Ackumulatortank varmvatten	-----	32 000 SEK/m3	25 år
Markvärmelager	Ca 50 kWh/m3 (energi	1,90 SEK/kWh (värme)	50 år
Hybridventilation	-----	50 000 SEK/lgh	50 år

3.2 Modellering av självförsörjande flerfamiljshus

3.2.1 Metod

Modellering och simulering av ett flerfamiljshus självförsörjande avseende energi, vatten och avlopp har gjorts i programmet OptiCE (www.optice.net). OptiCE är en öppen källkod för simulering, optimering och design av hybridkraftsystem för både icke nätanslutna och nätanslutna applikationer. Programmet är skrivet i MATLAB® och använder genetiska algoritmer för att hitta den bästa kombinationen av energikällor, energilagringssystem och backuplösningar för att minimera livscykelkostnader och maximera försörjningsgraden för ett förnybart energisystem. Arbetet i detta projekt är en vidareutveckling från tidigare projekt inom MDH:s Future Energy Center där OptiCE-modellen har utvecklats för optimering av energisystem i bostadshus. Den nyutveckling som gjorts i detta projekt är tillämpning på ett flerfamiljshus, energisystem som är betydligt mer avancerat inklusive nya komponenter såsom hybridsolceller/solfångare (PVT), elektrolysör, vätgaslagring, bränslecell, markvärmelager och även vattenförsörjning samt hantering av avlopp.

Platsen för det simulerade flerfamiljshuset är i Jönköping. Byggnadens el-, värme- och vattenförbrukning är ett simuleringsresultat baserat på antalet lägenheter och beräknat antal boende i lägenheterna. Energikällorna är solceller på tak och fasad, som genererar el och ett PVT-system på tak som genererar både el och varmvatten i kombination med en markvärmepump. Den genererade solelen används på två sätt, laddning av ett Li-ion-batteri som används som korttidsenergilager, eller av en elektrolysör för att producera vätgas som används för långtidsenergilager i en trycksatt tank. När batteriet inte kan tillgodose byggnadens energibehov stöds det genom att mata väte till en bränslecell för att producera el, mestadels sker det vintertid då solelproduktionen är låg.

PVT-systemet och en värmepump levererar värme för rumsuppvärmning och varmvatten. PVT-systemet laddar markvärmelager under april till september, medan den från oktober till mars är ansluten till värmepumpen för att öka värmepumpens värmefaktor (COP). Värmepumpen är ansluten till ett markvärmelager som har den huvudsakliga funktionen att öka värmepumpens COP. Det har antagits att en del av värmeförlusterna i elektrolysör och bränslecell kan återvinnas.

Vattenförbrukningen säkras genom uppsamling av regnvatten och genom användning av grundvatten på platsen.

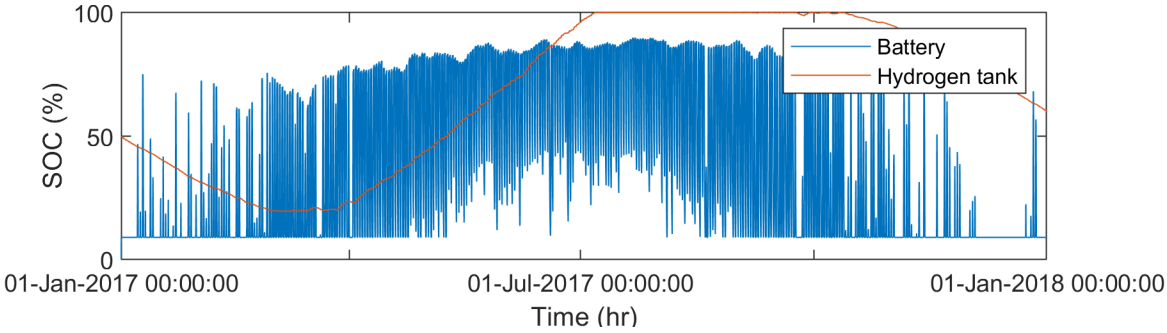
Timprofiler för ett år skapades för el- och värmeproduktion, elförbrukning, varm- och kallvattenförbrukning utöver värmeförluster och passiv uppvärmning i byggnaden, baserat på meteorologiska data för solstrålning (global och diffus), lufttemperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet, lufttryck, nederbörd, snödjup och markytans temperatur under ett typiskt meteorologiskt år. Meteorologiska data hämtades från Meteonorm (www.meteonorm.com). Övriga ingångsparametrar för modellen visas i bilaga 2.

3.2.2 Resultat från simuleringen

Den årliga elproduktionen är 247_{el} MWh från solcellssystemet, inklusive el som genereras från PVT-systemet. Den årliga värmeproduktionen är 156 MWh_{th} från PVT och 97 MWh_{th} från värmepumpen. Dessutom återvinns en del av värmeförlusterna i elektrolysören och bränslecellen. En sammanfattning av värme- och elanvändningen i den undersökta byggnaden ges i bilaga 2 (Tabell 4). Det årliga energibehovet är 232 MWh, varav 100 MWh el och 132 MWh värme.

Resultatet av simuleringen per timme av elproduktionen från solcellssystemet och total elanvändning, laddningstillstånd för batteri och fyllningsgrad av vätgastank, elöverskott och underskott för det simulerade energisystemet visas i figur 3. Fyllnadsgraden i vätgastanken är högre i slutet av året jämfört med början av året, vilket visar att energisystemet är självförsörjande under ett typiskt meteorologiskt år. Laddningstillståndet (SOC) för batteriet är oftast nära det lägsta tillåtna (10 procent) under perioderna höst, vinter och vår, vilket gör det nödvändigt att då använda bränslecellen.

Simuleringarna visar att det på årsbasis finns ett litet energiunderskott på 146 kWh och ett stort energiöverskott på 41 MWh som kan användas ytterligare för att öka systemets tillförlitlighet genom att till exempel öka kapaciteten hos batteriet eller vätgastanken.



Figur 1. Simuleringsresultat för laddningstillstånd (SOC) hos batteri och vätgastank, per timme för ett typiskt meteorologiskt år. Mer resultatdetaljer finns i bilaga 2.

3.3 Ekonomisk differenskalkyl YEAH vs Standard 2020

Detta avsnitt redovisar en ekonomisk kalkyl över 50 år som tar hänsyn till avskrivningar på merinvesteringen för YEAH, skillnader i driftkostnader, kapitalkostnad, inflation och förväntade förändringar i kostnadsläget för el och VA. Indata till kalkylen kommer från offerter och de livslängdsuppskattningar som redovisas i avsnitt 3.1 och bilaga 1. Mer detaljer för beräkningen finns i bilaga 3. Investeringsberäkningarna visar att YEAH-konceptet i dagsläget innebär merinvesteringar på ca 40 MSEK av totalt 170 MSEK för hela fastighetskomplexet. Tabell 1 visar differenskalkylen om man antar avskrivningar enligt tabell 1 i avsnitt 3.1 och två olika ekonomiska framtidsscenarier. Beräkningarna visar att YEAH-konceptet är dyrare på kort sikt men att konceptet blir mer lönsamt med tiden. Break-even uppnås efter cirka 26 år för scenario 1 och år 21 för scenario 2.

Tabell 2: Prognos ekonomisk differens YEAH vs Standard 2020.

Scenarier	Kapitalkostnad (%)	Inflation (%/år)	Kostnadsutveckling energi och VA (%/år)	Ackumulerat resultat (MSEK)		
				År 10	År 20	År 30
Scenario 1.	1,5	2	3	-4,9	-4,1	+3,5
Scenario 2.	1,75	2,5	4	-5,2	-2,3	+12

4 Diskussion och slutsatser

Detta projekt har insamlat tekniska data om prestanda, kostnad och livslängd för nyckelkomponenter till ett självförsörjande flerfamiljsfastighetskoncept. Tack vare att projektet har studerat en konkret fastighet i Jönköping har trovärdiga prisuppgifter erhållits från underleverantörer och partners i projektet. Med hjälp av en vidareutvecklad simuleringsmodell och dessa indata har projektet kunnat påvisa att energi- och VA-oberoende flerfamiljsfastigheter med 2020 komfort kan byggas i sydsvenskt klimat. Analysen har bland annat visat att om behovet av hushållsel till lägenheter hålls vid målvärdet 2 000 kWh/lägenhet klaras fastighetens energiförsörjning med marginal. Det behövs lite el till uppvärmning och det beror på att fastigheten är välisolerad och att värmebehovet tillgodoses av hybridsolceller (PVT), markvärmelagret, spillvärme från vätgastillverkning (elektrolysör) och vätgasanvändning (bränslecell). Detta leder dock till att hushållsförbrukningen får stor betydelse för totala energiförbrukningen och att låg elenergikonsumtion hos hushållen bör regleras eller premieras i fastigheter av detta slag.

Också behovet av energi till varmvattenförsörjning minskar (i jämförelse med standard 2020) tack vare husets interna vattenrecirkulation som gör att temperaturen på det vatten som ska värmas höjs från ca 10°C till 25°C. Simuleringen visar också att regnvatteninsamlingen ger mer vatten än det som behövs. Även detta beror på vattenrecirkulationen som gör att vattenkonsumtionen är lägre än i en fastighet med standard 2020.

Den modell som utvecklats har visat sig vara robust och användbar även för andra energisystemapplikationer. Simuleringsverktyget möjliggör även att studera optimering av komponenter på ett mer akademiskt vis, där man genom kombination av operationsalgoritmer och heuristiska optimeringsmodeller kan optimera systemdesignen ytterligare. Detta har inte projekttiden tillåtit denna gång. MDH avser dock att jobba vidare med modellen i kommande projekt och modellen kommer att göras tillgänglig på hemsidan för OptiCE (www.optice.net), för att nyttjas av intresserade i framtida byggprojekt.

YEAH-konceptet har väckt stort nationellt och internationellt intresse med TV-inslag och artiklar publicerade i Nederländerna, Storbritannien, Belgien, Finland med flera. Projektet har också uppmärksammats av E2B2 och vi har presenterat projektet på ett lunchwebbinarium den 5:e november 2020. Arbetet med YEAH-konceptet i detta projekt har lett till ett samarbete mellan ett flertal mindre system- och tekniklevarantörer (SMFer) i det så kallade ”YEAH-teamet”. Tack vare den uppmärksamhet som projektet fått i media har flera propåer kommit från både svenska och utländska aktörer där möjliga uppdrag erbjudits.

Projektet har visat att självförsörjande fastigheter är möjligt att bygga på dessa nordliga breddgrader och att de till och med kan vara lönsamma på längre sikt med hänsyn tagen till de ökande kostnader på el och VA abonnemang som vi förväntar oss. Självförsörjande fastigheter förknippas ofta med isolerade platser som till exempel öar, men kan även vara intressant för byggprojekt i urbana lägenutan att behöva belasta redan ansträngd el och VA-infrastruktur. Självförsörjande fastigheter förbättrar även samhällets robusthet vid till exempel strömavbrott genom att energitillgången har säkrats lokalt.

5 Publikationer och Referenslista

5.1 Publikationer

Nedanstående publikationer är omnämnda i bilaga 4. Där finns även länkar till tidskrifter och TV-inslag.

Vetenskapliga tidskrifter:

[1] Campana, P. et. al. *Modelling and optimization of photovoltaic based off-grid buildings in Scandinavia*. Manuskript som förbereds för publikation under 2021.

Examensarbeten som utfördes i anslutning till projektet (dock utan projektfinansiering):

[2] Maxamhud, M., Shanshal, A. (2020). *Self-succient off-grid energy system for a rowhouse using photovoltaic panels combined with hydrogen system*. Examensarbete Mälardalens högskola. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1452508&dswid=-5309

[3] Manjikian, S., Lundgren, P. (2020). *Flerfamiljshus självförsörjande på solenergi: En jämförelse av olika kombinationer av PVT, solceller och solfångare i ett hybridsystem*. Examensarbete Mälardalens högskola., http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1449981&dswid=-46

5.2 Referenslista

[1] Energimyndighetens ”Energiläget i siffor 2020”, som finns på denna webbsida https://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/
[2] Hemsida Svenskt Vatten https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/fakta-om-utlackage/
[3] Iain Staffell et. al. The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. Energy & Environmental Science, 2019, 12, 463. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/ee/c8ee01157e#!divAbstract
[4] Skellefteå Kraft. Zero Sun. https://www.zerosun.se/
[5] my newsdesk. Derome levererar hus till framtidsprojekt http://www.mynewsdesk.com/se/pressreleases/derome-levererar-hus-till-framtidsprojekt-2218347
[6] SVT. Här blir hyreshusen självförsörjande på el. https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vast/har-blir-hyreshusen-sjalvforsorjande-pa-el
[7] VVS Forum. Därför försenas vätgasen. https://www.vvsforum.se/nyheter/2019/april/darfor-forsenas-vatgasen/
[8] Nilsson Energy. Demo site Gothenburg. https://nilssonenergy.com/portfolio-item/demo-site/
[9] Nilsson Energy. https://nilssonenergy.com/

[10] Energivärlden. Han kopplade bort sig från nätet. https://www.energivarlden.se/artikel/han-kopplade-bort-sig-fran-natet/
[11] Hus utan sladd. http://husutansladd.se
[12] Ellevio. Niklas och Louise byggde ett självförsörjande hus. https://kundnyheter.ellevio.se/niklas-och-louise-byggde-ett-sjalvforsorjande-hus/
[13] Novae. A self-sufficient house in Norway…under a "bubble" https://novae.ca/en/2017/01/a-self-sufficient-house-in-norway-under-a-bubble/
[14] Sveriges Radio. Här ska Sveriges första självförsörjande förskola på el byggas. https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=406&artikel=7380012
[15] Chalmers Tekniska Högskola. Max Börling. Off-grid PV system with batteries and hydrogen storage Design and feasibility for a multifamily building in Sweden. https://www.eksta.se/content/files/energimiljo/2018_energistipendium/masters_thesis_max_bo__rling_final_version.pdf
[16] Hoval. The world's first energy self-sufficient multi-family house – mission possible! https://www.hoval.com/press/com-9/the-worlds-first-energy-self-sufficient-multi-family-house
[17] ABB. Första flerfamiljshuset i världen som är självförsörjande på el. https://new.abb.com/low-voltage/sv/aktuellt/forsta-flerfamiljshuset-i-varlden-som-ar-sjalvforsorjande-pa-el
[18] PV Europe. 100% energy-autonomous passive house. https://www.pveurope.eu/News/Solar-Generator/100-energy-autonomous-passive-house
[19] Philippe Couty. First solar hydrogen storage in a private building in Western Switzerland : building energy analysis and schematic design. CISBAT 2019 conference. https://www.velasolaris.com/wp-content/uploads/2019/01/2019_01_SolarHydrogenBuilding_AppNote_PhCOUTY-2.pdf
[20] Homebuilding renovating. First European Off-Grid Solar-Hydrogen Powered House Developed in Devon. https://www.homebuilding.co.uk/news/first-european-off-grid-solar-hydrogen-powered-house-developed-in-devon/
[21] Rural solutions. Progress at the Autarkic house, Europe's first off-grid solar-hydrogen powered house. https://ruralsolutions.co.uk/progress-autarkic-house/
[22] Ny Teknik. Ett år med Sveriges smartaste hem. https://www.nyteknik.se/nyheter/ett-ar-med-sveriges-smartaste-hem-6586500
[23] Orkney Surf 'n' Turf. Tide, wind, hydrogen. http://www.surfnturf.org.uk/
[24] PV Magazine. World's first, solar-hydrogen powered mini-grids in Uganda. https://www.pv-magazine.com/press-releases/worlds-first-solar-hydrogen-powered-mini-grids-in-uganda/
[25] Green Building Africa. Solar-Hydrogen Mini-grids Pioneered in Uganda. https://www.greenbuildingafrica.co.za/solar-hydrogen-mini-grids-pioneered-in-uganda/

[26] Mahytec. A new mode of energy consumption in high mountains. https://www.mahytec.com/en/a-new-mode-of-energy-consumption-in-high-mountains/

[27] Toshiba. Hydrogen-based Autonomous Energy Supply System [H2One™]. https://www.toshiba-energy.com/en/hydrogen/product/h2one.htm

[28] Yonas Ahmed Mohammed. A Review of Autonomous Buildings of the Future: Wisdom on Sustainable Design in Architecture and Engineering. https://irispublishers.com/ctcse/fulltext/a-review-of-autonomous-buildings-of-the-future-wisdom-on-sustainable-design-in-architecture-and-engineering.ID.000534.php

[29] George N. Prodromidis, Evangelos Tsiaras, Frank A. Coutelieris. Autonomous Buildings with Electricity by Renewables. International Journal on Energy Conversion. Vol 6, No 5 (2018). https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irecon&page=article&op=view&path%5B%5D=22869

[30] Paolo Giuseppe Muraa, Roberto Baccolia, Roberto Innamoratia, Stefano Mariottia. An energy autonomous house equipped with a solar PV hydrogen conversion system. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Energy Procedia 78 (2015) 1998 – 2003. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215021244

[31] Russell McKenna, Erik Merkel, Wolf Fichtner. Energy autonomy in residential buildings: a techno-economic modelbased analysis of the scale effects. Working paper series in production and energy. Karlsruhe Institute of Technology. No. 12 | February 2016. https://www.iip.kit.edu/downloads/McKennaetal_paper_full.pdf

[32] Gianluca Grazieschia, Paola Goria, Lidia Lombardib, Francesco Asdrubalia. Life cycle energy minimization of autonomous buildings. Journal of Building Engineering Volume 30, July 2020, 101229 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271021932279X

[33] Europeiska kommissionen. En europeisk grön giv. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv

[34] Fuel cells and hydrogen joint undertaking. Hydrogen roadmap Europe. A sustainable pathway for the European energy transition. 2019. https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

[35] Fuel Cells and Hydrogen Joint undertaking. Launch of the Hydrogen Valley Platform. https://www.fch.europa.eu/news/launch-hydrogen-valley-platform

En tredjedel av all energi som används i Sverige används i bebyggelsen och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i E2B2.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Läs mer på www.E2B2.se.