

# HYDROGEN GAS IN SWEDEN

Is hydrogen gas a viable energy carrier in Sweden?

**KATARINA BJÖRKMAN**

School of Business, Society and Engineering  
Course: Degree Project in Energy Engineering  
Course code: ERA403  
Credits: 30 credits  
Program: Energy Systems - Master Program in Engineering

*Supervisor:* Esin Iplik  
*Examinor:* Jan Skvaril  
*Date:* 2020-06-09  
*Email:*  
kbn15004@student.mdh.se

## ABSTRACT

Detta arbete innefattar att undersöka hur vätgas kan användas i Sverige, dels för energilagring men även som bränsle för fordon. Den ökande användningen av varierande förnyelsebara energikällor i den svenska energimixen innebär problem med stabilitet i kraftnätet, något som energilagring kan vara en lösning på. Samtidigt finns mål att fasa ut fossila energikällor, exempelvis diesel och bensen, något som transportsektorn är mycket beroende av.

Enligt intervjuerna så är ett av de stora hindren för att implementera vätgas i Sverige att det saknas standarder och regelverk. Likaså framkommer det att de intervjuobjektens projekt inom vätgas i nuläget inte är pengamässigt lönsamma. I beräkningarna framkom det att varken det nuvarande fallet eller målfallet leder till lönsamma investeringar. Den sektor som är närmast lönsamhet är transportsektorn som kräver antingen en minskning på 90 % av komponenternas kostnad eller en 10-faldig ökning av priset på fossila bränslen.

Slutsatserna dragna i denna studie är att det finns användningsområden för vätgas inom flera områden, bränsle, energilagring och inom industrin, utöver den användningen inom industrin som finns idag. För att ha en hållbar produktion av vätgas bör denna vara med elektrolys som baseras på emissionsfri elektricitet, exempelvis från solceller. De ekonomiska målen, i studien kallat target case, är inte tillräckliga utan ytterligare kostnadsminskningar kommer att behövas.

**Keywords:** Hydrogen, Sweden, Economic viability, Energy storage, Vehicle fuel

## PREFACE

I choose the topic for this thesis because of the reoccurring topic during my studies at Mälardalens högskola, namely energy storage and renewable fuel. My intention with this thesis has been to bring hydrogen into the spotlight and show how it can be used and what is necessary to make it happen.

This thesis had not been possible without the support of my family as well as the support and help from my supervisor Esin Iplik and examiner Jan Skvaril. I also want to take the opportunity to thank Anders Neander who has been helping with inspiration and discussions to keep the thesis on track

Västerås in June 2020

*Katarina Björkman*

## SUMMARY

There is a rising demand for energy and at the same time, fossil fuels need to be phased out due to global warming. This means that the energy needs to come from renewable energy resources, for instance photovoltaics. One issue with such energy sources is that they may have varying production which can induce issues with stability in the electrical grid.

This study aims to investigate hydrogen in Sweden as energy storage and vehicle fuel. Methods used are literature review, interviews and calculations.

According to the interviews are one of the main issues with implementing hydrogen the lack of standards. Today it is the local fire department who approves of hydrogen system which induces irregularities in the handling. It is also said that none of the projects in the interviews is profitable moneywise, something that also can be seen in the calculations. In order to reach break-even some serious changes with regarding costs of components or the alternative, for instance, fossil fuel and electricity. The application closest to break even is transportation which demands a 90 % decrease in component price or a 10-fold increase in fossil fuel price.

In conclusion, there are future applications for hydrogen as energy storage, vehicle fuel and in industry, apart from the current industry applications. The most sustainable way to produce hydrogen is via electrolysis with emission-free electricity. In order for hydrogen to become economically viable, the target case is not enough but even greater cost reductions are needed.



# CONTENT

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1	Background .....	1
1.2	Problem area .....	3
1.3	Aim .....	4
1.4	Research questions .....	4
1.5	Delimitation.....	5
1.6	Contribution to field .....	5
<b>2</b>	<b>METHOD .....</b>	<b>6</b>
2.1	Interview method.....	6
2.2	Calculation method.....	7
2.2.1	<i>Solar radiation .....</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>Power and heat production and storage .....</i>	<i>7</i>
2.2.3	<i>Economics.....</i>	<i>8</i>
<b>3</b>	<b>THEORETICAL FRAMEWORK .....</b>	<b>9</b>
3.1	Hydrogen production.....	9
3.1.1	<i>Hydrocarbon reforming.....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Electrolysis .....</i>	<i>11</i>
3.2	Hydrogen utilization.....	11
3.2.1	<i>Fuel cells .....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>Hydrogen internal combustion engine.....</i>	<i>13</i>
3.3	Hydrogen storage .....	14
3.3.1	<i>Compressed .....</i>	<i>15</i>
3.3.2	<i>Liquified .....</i>	<i>15</i>
3.3.3	<i>Hydrides .....</i>	<i>16</i>
3.4	Hydrogen Safety.....	16
3.5	Economy and Politics of Hydrogen.....	17
3.6	Hydrogen applications .....	17
3.6.1	<i>Energy storage and power production .....</i>	<i>17</i>

3.6.2	<i>Vehicle fuel</i> .....	18
3.6.3	<i>Other</i> .....	20
<b>4</b>	<b>CURRENT STUDY</b> .....	<b>20</b>
4.1	<b>Buildings</b> .....	<b>20</b>
4.2	<b>Agriculture</b> .....	<b>22</b>
4.3	<b>Transportation</b> .....	<b>22</b>
4.4	<b>Industry</b> .....	<b>23</b>
4.5	<b>Solar data</b> .....	<b>23</b>
4.6	<b>Calculation data</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>RESULTS</b> .....	<b>27</b>
5.1	<b>Interview</b> .....	<b>27</b>
5.1.1	<i>Development strategist</i> .....	27
5.1.2	<i>Technical director</i> .....	28
5.2	<b>Calculation</b> .....	<b>30</b>
5.2.1	<i>Buildings</i> .....	30
5.2.2	<i>Agriculture</i> .....	32
5.2.3	<i>Transportation</i> .....	34
5.2.4	<i>Industry</i> .....	35
<b>6</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>36</b>
6.1	<b>Hydrogen applications</b> .....	<b>36</b>
6.2	<b>Hydrogen production</b> .....	<b>37</b>
6.3	<b>Hydrogen as energy storage</b> .....	<b>38</b>
6.4	<b>Hydrogen as fuel</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>SUGGESTIONS FOR FURTHER WORK</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERENCES</b> .....	<b>41</b>

**APPENDIX 1: INFORMATION LETTER AND INTERVIEW QUESTIONS FOR INTERVIEW WITH DEVELOPMENT STRATEGIST**

**APPENDIX 2: INTERVIEW WITH DEVELOPMENT STRATEGIST**

**APPENDIX 3: INFORMATION LETTER AND INTERVIEW QUESTIONS FOR TECHNICAL DIRECTOR**

**APPENDIX 4: INTERVIEW WITH TECHNICAL DIRECTOR**

## LIST OF FIGURES

Figure 1 Global solar irradiance for Västerås (Sweden) (STRÅNG Data Extraction, n.d.).....	2
Figure 2 Wind speed from weather station Enköping Mo (Sweden) (Ladda Ner Meteorologiska Observationer   SMHI, n.d.) .....	2
Figure 3 Energy end-use 2015 per sector in Sweden (Energimyndigheten, 2017a) .....	3
Figure 4 Overall workflow for thesis .....	6
Figure 5 Hydrogen production pathways (Viswanathan & Aulice Scibioh, 2008) .....	10
Figure 6 Schematic over FC reaction (Gupta, 2009) .....	12
Figure 7 Scaled electricity demand for building .....	21
Figure 8 Scaled heat demand for building .....	21
Figure 9 Distribution of energy consumption in agriculture (Andersson et al., 2018) .....	22
Figure 10 Total radiation on PV .....	24
Figure 11 Operational strategy calculated building.....	24
Figure 12 Operational strategy off-grid house .....	29
Figure 13 Distribution of initial cost for the building in current case .....	31
Figure 14 Distribution of initial cost for the building in target case .....	31
Figure 15 SOC building current .....	32
Figure 16 SOC building target .....	32
Figure 17 Distribution of initial cost for agriculture in current case .....	33
Figure 18 Distribution initial cost for agriculture in target case .....	33
Figure 19 Distribution of initial cost transportation current case.....	34
Figure 20 Distribution initial cost transportation target case.....	34
Figure 21 Distribution initial cost for industry in current .....	35
Figure 22 Distribution initial cost for industry in target case .....	35

## LIST OF TABLES

Table 1 Operating conditions for different types of FC (Gupta, 2009) .....	13
Table 2 Comparison of fuel storage (Gupta, 2009) .....	14
Table 3 Li-ions battery properties (Demirocak et al., 2017).....	15
Table 4 Development targets for EV Everywhere project (Demirocak et al., 2017) .....	15
Table 5 Explosive limits (Gupta, 2009) .....	16
Table 6 Zero sun system (Nohrstedt, 2017) .....	18
Table 7 Comparison between requirements for cars and machines (Cornander et al., 2018) .....	19
Table 8 Fuel consumption in Sweden 2015 (Energimyndigheten, 2017b) .....	22
Table 9 Energy content for fuels (Energimyndigheten, 2017b) .....	23
Table 10 Comparison monocrystalline PV panels (Jämförelsesida, n.d.).....	25
Table 11 Hydrogen system data (Schoenung, 2011).....	25
Table 13 Data electrolyser system (IRENA, 2018).....	26

Table 14 System size for building .....	31
Table 15 LCOE for building .....	31
Table 16 System size agriculture .....	33
Table 17 Annual energy demand and production agriculture .....	33
Table 18 System size transportation .....	34
Table 19 system size for industry in current .....	35

## NOMENCLATURE

Symbol	Description	Unit
$\theta$	Angle of incidence	°
$I_b$	Beam radiation	W/m <sup>2</sup>
$R_b$	Beam ratio	%
$CAPEX$	Capital expense	\$
$C$	Cost	\$
$n$	Day of year	
$\delta$	Declination	°
$\eta$	efficiency	%
$E$	Energy	Wh or J
$\rho_g$	Ground reflectance	%
$\omega$	Hour angle	°
$I$	Income	\$
$r$	Interest	%
$\phi$	Latitude	°
$LCOE$	Levelized cost of energy	\$/Wh
$NPV$	Net present value	\$
$OPEX$	Operational expenses	\$/year
$P$	Power	W
$I$	Radiation	W/m <sup>2</sup>
$I_{STC}$	Radiation at standard test conditions	W/m <sup>2</sup>
$SOC$	State of charge	%
$\gamma$	Surface azimuth	°
$\beta$	Surface slope	°
$t$	Timestep	Hour or year

Symbol	Description	Unit
$I_T$	Total radiation	W/m <sup>2</sup>
$\theta_z$	Zenith angle	°

## ABBREVIATIONS

Abbreviation	Description
AFC	Alkaline fuel cell
ATR	Autothermal reforming
BEV	Battery electrical vehicle
CHP	Combined heat and power
DMFC	Direct methanol fuel cell
DOE	Department of Energy
EC	Electrolyser cell
ESS	Energy storage system
EV	Electrical vehicle
FC	Fuel cell
FCEV	Fuel cell electrical vehicle
GDP	Gross domestic product
GHG	Greenhouse gases
HICE	Hydrogen internal combustion engine
HVO	Hydrotreated vegetable oil
HYBRIT	Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology
ICE	Internal combustion engine
IRENA	The International Renewable Energy Agency
MCFC	Molten carbonate fuel cell
PAFC	Phosphoric acid fuel cell
PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell
POx	Partial oxidation
PV	Photovoltaic
RES	Renewable energy sources
SMR	Steam methane reforming
SOC	State of charge

Abbreviation	Description
SOFC	Solid oxide fuel cell
VRES	Variable renewable energy sources

## DEFINITIONS

Definition	Description
Conventional fuel	The fuels that are used today, for instance, diesel and gasoline.
Energy carrier	A mean to store and transport energy derived from primary energy.
Energy density	Amount of energy per volume unit
HVO	A form of biodiesel produced from vegetable oil or animal fat.
Machine	Fuel-powered tools such as tractors, cranes, excavators, land movers.
Specific energy	Amount of energy per mass unit

# 1 INTRODUCTION

With rising energy demand in the world and global warming, it is necessary to obtain energy from other sources than fossil fuels, but the use of renewables comes with its share of issues such as varying production. This study focuses on how hydrogen can be used as energy storage and vehicle fuel in Sweden when the share of renewables increases and fossil fuels are phased out in the energy mix.

## 1.1 Background

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) writes that both world population and energy demand is expected to increase in the future. To ensure a sustainable future, energy used cannot be derived from fossil sources, such as oil. According to Srinivasan and Stefanakos (2019) will both automotive and stationary applications need clean energy and fuel storage.

Rifkin (2002) argues for how mankind is heavily dependent on fossil fuels as an energy source. He also states that if society is not prepared for the next oil and natural gas peak there is a risk that dirtier fossil fuels will be utilized. Such fuels are for example tar sand and heavy oil and utilizing them would both be more costly and also contribute with more CO<sub>2</sub> emissions. There are several different forecasts about when the petroleum supply will end, but according to Gupta (2009), it is likely that it ends in 2050.

Global warming is a serious issue derived for over-dependence on fossil fuel according to Gupta (2009) with several dire consequences which Rifkin (2002) mentions as decreasing fauna, melting of ice, elevated sea level, more extreme weather and decreasing crops yield. In the Paris Agreement the goal is to keep global warming below 2 °C and preferably below 1.5 °C, but according to IRENA (2019), with the current emissions and trends will result in global warming of 3 °C. To avoid this a transformation of the global energy sector is needed. This transformation includes a higher share of renewable energy sources (RES), innovation and investment.

IRENA (2017a) states that two common solutions for decarbonizing the energy sector are wind and solar power, such as PV. The issue with these technologies is that their production varies over time which makes them so-called variable renewable energy sources (VRES). IRENA (2017b) describes VRES as being weather dependant with both seasonal and diurnal variations.

Figure 1 and Figure 2 show how VRES can change over time. The figures show global irradiance and wind speed for two dates: first of January and first of July 2019. Regarding global irradiance, there is a significant increase during the summer while the changes in wind speed are varying more with time than with season.



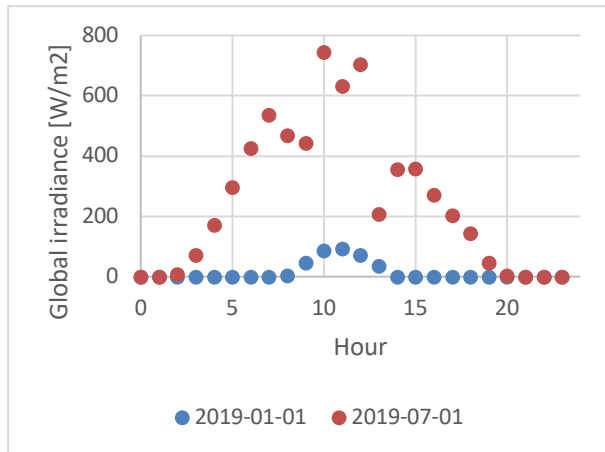


Figure 1 Global solar irradiance for Västerås (Sweden) (STRÅNG Data Extraction, n.d.)

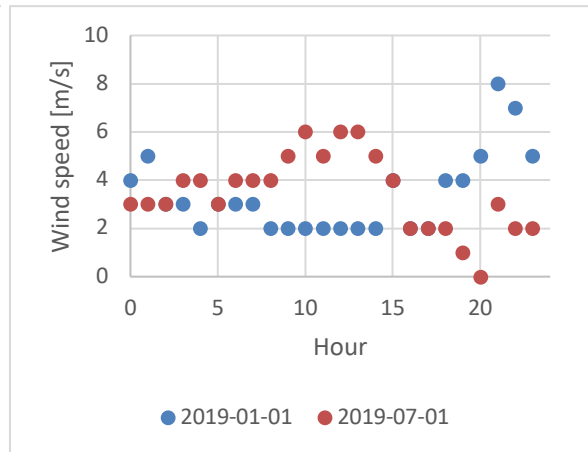


Figure 2 Wind speed from weather station Enköping Mo (Sweden) (Ladda Ner Meteorologiska Observationer | SMHI, n.d.)

Both IRENA (2017a) and IRENA (2017b) explain that to have a stable and functioning electrical grid both load and production needs to be in balance in real-time and IRENA (2017a) puts it in other words that enough electricity needs to be produced to cover both the losses in the grid and the consumers demand. Mansilla et al. (2018) write that if balance cannot be kept, the frequency will not be maintained. This can, for example, lead to blackouts, according to Sabeeh and Gan (2016). When implementing a grid with a high share of VRE following parameters need to be considered according to IRENA (2017b): firm capacity, flexibility, transmission capacity and stability. Both flexibility and stability are about handling the variability in production.

IRENA (2017b) and Jiang et al. (2018) presents that one way to handle variations in electrical production with VRES is energy storage. It is stated by IRENA (2017a) that storage will be a key part of the future development of the energy system. Further lists IRENA (2017b) that there are five main types of storage: electro-chemical, electro-mechanical, chemical, pumped hydro storage and thermal storage. The most common solution is pumped hydro storage which accounted for 96 % of the installed storage capacity during 2017. Batteries, which is an electrochemical energy storage, accounted for 1.9 % of the installed capacity during the same period, but is a technology which is rapidly increasing. Hydrogen can be used as a chemical energy storage where excess electricity is used for the production of hydrogen gas which can be utilized later.

According to Energimyndigheten (2017a), Sweden had a total supply of energy during 2015 of 525 TWh whereas the end-use was 372 TWh. The end-use was divided as presented in Figure 3 over the different sectors. Of the total supplied energy was 148 TWh from fossil sources which corresponds to approximately 28 %. In the transportation sector, the two main fuels are diesel and gasoline which stands for approximately 68 TWh of the 87 TWh. Energimyndigheten (2017b) also support this statement by saying that approximately 1/4 of the annual energy is consumed by transportation and that 2015 accounted fossil fuels for 85.1 %. Usage of fossil fuels in the transportation sector is the main cause of emissions in Scandinavia according to Cornander et al. (2018).

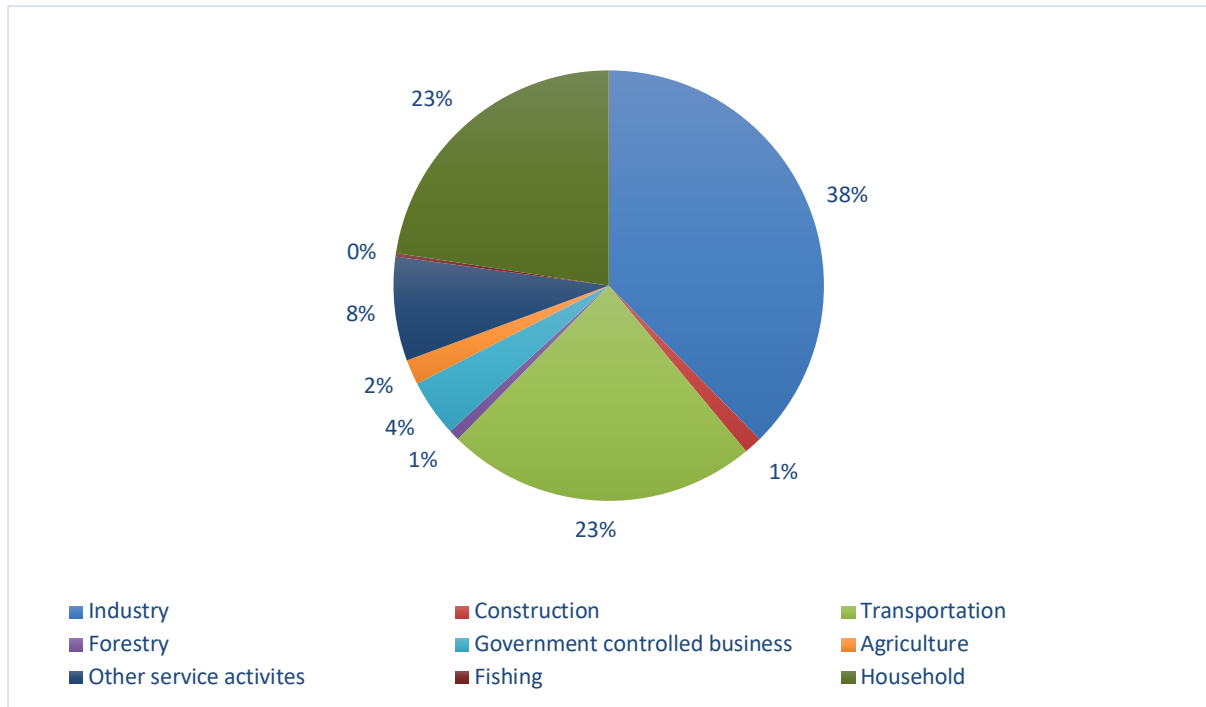


Figure 3 Energy end-use 2015 per sector in Sweden (Energimyndigheten, 2017a)

Gupta (2009) and Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) describes hydrogen as the most common element on earth and Gupta (2009) continues by describing it as the essential element in both organic matter and water. Due to hydrogen's chemically reactive nature, it is rarely found chemically free and is often found bound to either carbon or oxygen atoms. One of the issues with hydrogen is the security aspect; it has lower required ignition energy, a wider flammability range, higher flame velocity and a higher flame temperature than more ordinary fuels such as gasoline. There are problems regarding utilizing hydrogen as an energy carrier, mainly to have a cost-effective production and storage.

Mansilla et al. (2018) state that hydrogen can be used in several applications as either an energy carrier or chemical product. According to them, the annual demand is 60 million ton of hydrogen where most is used in refining and fertilizer industry. Gupta (2009) adds that as an energy carrier, hydrogen is a high-quality one and can be used with high efficiency.

Forecasts show that demand for hydrogen will increase in the future. According to Mansilla et al. (2018), it will increase to approximately 200 million ton annually by 2050. This development is linked to the pricing of fossil fuels and carbon emissions, but the driving factors will be the political will and the economic competitiveness of hydrogen.

## 1.2 Problem area

The major part of the total energy supply in Sweden is already non-fossil but there is still 28 % which is fossil-based according to Energimyndigheten (2017a). For the power production and consumption following goals have been set by the Swedish government according to the report by SWEKO (2018):

- 85 % lower emission by the year 2045 from businesses in Sweden compared to 1990.
- 70 % lower emissions by the year 2030 from domestic transportation excluding domestic aviation compared to 1990.
- By 2040 having a 100 % renewable power production, which is not an end date for nuclear power.
- 50 % more effective energy use (expressed as added energy per GDP) compared to 2005.

When eliminating the fossil-based energy it needs to either be replaced by a renewable energy source, removed by increasing the efficiency or a combination of both. Regarding increasing the share of RES, there are potential within the hydropower (approximately 30 TWh) but the main share is from protected rivers according to Svensk Energi (2015). This means that renewable energy needs to come from other sources. As mentioned earlier in the chapter Background, VRES needs to be combined with some form of storage to ensure stable access to electricity.

There is also the issue with fuel for transportation, farming and construction equipment. Cornander et al. (2018) state that machines are contributing to both emission of CO<sub>2</sub> and local air pollutants, in total 3.5 million tons of CO<sub>2</sub> equivalents which is 7 % of the total GHG emissions in Sweden. They also say that several municipalities have set goals to be free from fossil fuels by 2030. It is either necessary to shift to a renewable fuel or electricity, and both of these solutions come with problems such as load capacity and range. For example is there a rising demand for hydrotreated vegetable oil (HVO), according to Isaksson (2020), because of the increasing requirements to add biodiesel to ordinary fossil diesel which will lead to HVO being scarce.

### **1.3 Aim**

The aim is to investigate the current status of hydrogen gas in Sweden, hydrogen gas' future applications as energy storage and fuel for cars, trucks, construction and farming equipment. In the study, issues like security and storage solutions also will be investigated.

### **1.4 Research questions**

- How is hydrogen gas used today in different application and what are the future applications?
- How can hydrogen gas be sustainably produced and used in large- and small-scale applications?
- When is it economically viable to utilize hydrogen gas as energy storage to ensure stability with increase RES?
- When is it economically viable to use hydrogen gas as vehicle fuel when fossil-based fuels are phased out?

## **1.5 Delimitation**

This is an inventory study and does not study the implementation in individual companies but aims to give a general perspective. Even though this study investigates methods of utilization, production and storage of hydrogen gas, this study does not aim to develop or design technology for this.

The focus for this is hydrogen in Sweden. This means that the solutions need to be suitable for Sweden and the Swedish climate, but literature presented can be covering other geographical regions than Sweden.

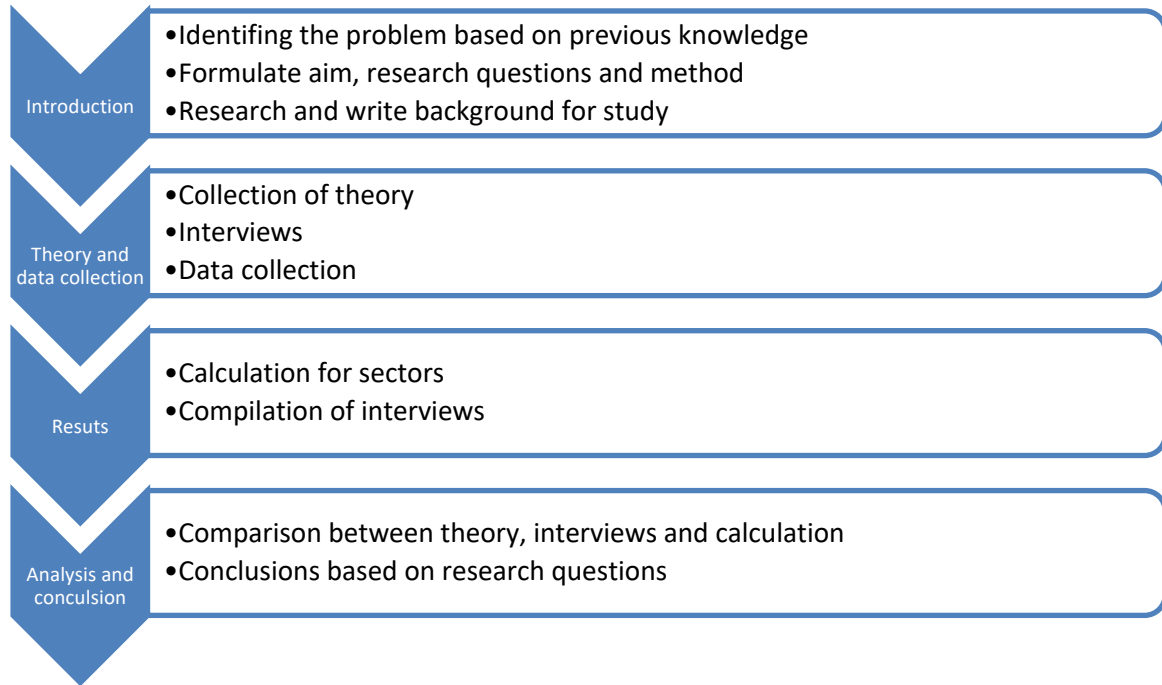
As the problem area for this study cover targets of reducing emissions, this study will not use a system based on hydrogen production from hydrocarbons for calculations.

## **1.6 Contribution to field**

Expected contributions from this work are to illustrate how hydrogen can be a way to reach the environmental goals in Sweden. The work is also expected to highlight what is necessary to have a successful deployment of hydrogen in Sweden.

## 2 METHOD

The main method for this study is based on literature review, interviews and calculation. A flowchart over the conduction of the study is presented in Figure 4.



*Figure 4 Overall workflow for thesis*

### 2.1 Interview method

Säfsten and Gustavsson (2019) describe that interviews can be used for collecting material regarding perceptions and experiences. Interviews can be structured, semi-structured or unstructured which is a description of how open-ended or close-ended the questions are.

Two interviews will be conducted to collect information regarding actual hydrogen applications and opinions regarding hydrogen utilization. The interview questions, which will be semi-structured or structured, will refer to the following topics:

- Component sizing and sizing criteria regarding system
- Expected production and use
- Expected cost and returns
- Expected lifetime and maintenance
- Troubles occurring when planning and building
- Security assessment

After the interview, which is recorded with the participants' approval, the interview is transcribed to use it in the analysis. The transcriptions are available in Swedish in the appendix.

## 2.2 Calculation method

The calculation, which will be done in excel, in this study will cover the size, performance and economics of hydrogen in different sectors. Calculated system will cover power production via PV system, hydrogen production via electrolysis and power and heat production via fuel cell (FC).

For the different sectors, the calculation will slightly differ. For the residential building hourly electrical and heat demand is available which makes it possible to arrange the calculations according to that, but for transportation, agriculture and industry the energy demand is only available on an annual basis. For these sectors, the system will be calculated in such a way that it covers the annual demand.

With the calculation, a sensitivity analysis will be conducted. It will be used for investigating what conditions with regards to the costs of system components, fossil fuels and electricity is needed to break even.

### 2.2.1 Solar radiation

The solar radiation calculations are based on the equations presented by Duffie and Beckman (2013). Declination ( $\delta$ ), Equation 1, is the angle between the sun's position at noon and the equator. It is dependant of the day of the year, which  $n$  represent. The angle of incidence ( $\theta$ ), Equation 2, which is dependant of the declination ( $\delta$ ), latitude ( $\phi$ ), slope surface azimuth ( $\gamma$ ) and hour angle ( $\omega$ ), while the zenith angle ( $\theta_z$ ), Equation 3, is used for calculation of the ratio of beam radiation ( $R_b$ ), Equation 4. The ratio of beam radiation is the fraction of the direct sun radiation that falls on an angled plane, which is used in calculating the total radiation ( $I_T$ ), Equation 5.

$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right) \quad \text{Equation 1}$$

$$\cos \theta = \sin \delta * \sin \phi * \cos \beta - \sin \delta * \cos \phi * \cos \gamma * \sin \beta + \cos \delta * \cos \phi * \cos \beta * \cos \omega + \cos \delta * \sin \phi * \sin \beta * \cos \gamma * \cos \omega + \cos \delta * \sin \beta * \sin \gamma * \sin \omega \quad \text{Equation 2}$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega + \sin \phi * \sin \delta \quad \text{Equation 3}$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad \text{Equation 4}$$

$$I_T = I_b R_b + I_a \left(\frac{1+\cos \beta}{2}\right) + I \rho_g \left(\frac{1-\cos \beta}{2}\right) \quad \text{Equation 5}$$

### 2.2.2 Power and heat production and storage

The equation for calculating the power produced from the PV panels ( $P_{output}$ ), Equation 6, is retrieved from *How HOMER Calculates the PV Array Power Output* (n.d.). In the original equation from the reference is the PV derating factor used, which according to *PV Derating*

*Factor* (n.d.) is a factor that includes power reducing elements such as wiring losses, but it has been replaced with the PV efficiency ( $\eta$ ).

$$P_{output} = P_{rated} * \eta * \left( \frac{I_T}{I_{STC}} \right) \quad \text{Equation 6}$$

The change in energy in the storage ( $\Delta E$ ) can be described by Equation 7, which in this case is retrieved from Moran (2015). It is an energy balance and says that the change is equal to what comes in and goes out of the control volume, in this case, a storage.

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} \quad \text{Equation 7}$$

For the state of charge (SOC), Equation 8, is based on equations from J. Jiang and Zhang (2015). By combining Equation 7 and Equation 8, the general equations for SOC in the next timestep ( $SOC(t + 1)$ ), Equation 9. It can then be extended to consider if the electrolyser is charging the storage, Equation 10, or if the fuel cell is discharging the storage, Equation 11.

$$SOC(t) = \frac{E(t)}{E_{max}} \quad \text{Equation 8}$$

$$SOC(t + 1) = \frac{E(t) + \Delta E}{E_{max}} \quad \text{Equation 9}$$

$$SOC(t + 1) = SOC(t) + \frac{\eta * \Delta E}{E_{max}} \quad \text{Equation 10}$$

$$SOC(t + 1) = SOC(t) - \frac{\frac{\Delta E}{\eta}}{E_{max}} \quad \text{Equation 11}$$

Equation 12 describes that the energy supplied by PV ( $E_{PV}$ ) and fuel cell ( $E_{FC}$ ) and used by electrolyser ( $E_{EC}$ ) must be equal to the electrical load ( $E_{load}$ ). This is based on the statement from IRENA (2017a) and IRENA (2017b) presented in the Background, that electricity produced and consumed must be equal.

$$E_{load} = E_{PV} - E_{EC} + E_{FC} \quad \text{Equation 12}$$

### 2.2.3 Economics

For evaluation of the economics of the system the levelized cost of energy (LCOE), Equation 13, has been used. Hansen (2019) describes the LCOE as a measure of cost per produced unit of energy.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CAPEX(t) + OPEX(t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n E} \quad \text{Equation 13}$$

To calculate the profitability of the investment, the net present value (NPV) has been used. Equation 14 is taken from Ax et al. (2015) and shows how to calculate the net present value of future incomes ( $I(t)$ ) and costs ( $C(t)$ ). This is then compared with the initial investment in order to determine if the investment is profitable or not.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{I(t) - C(t)}{(1+r)^t}$$

*Equation 14*

### 3 THEORETICAL FRAMEWORK

This chapter contains the literature review done for this study. It is containing theory and results from other studies which will be used for analysing the results from this study.

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) writes that forecasts indicate that as the world population continues to increase, so will the energy demand. They also say that in order to have a sustainable future this energy must come from non-fossil sources. Such an energy carrier can be hydrogen which Mansilla et al. (2018) point out as they state that hydrogen is a solution to decarbonizing several sectors. Both Gupta (2009) and Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) say that hydrogen can be considered as an ideal fuel and a flexible energy carrier. Gupta (2009) describes an ideal fuel as following: clean, unlimited, convenient and independent of foreign authorities. It is also stated by Schoenung (2011) that pairing RES with hydrogen energy storage is a good way to make use of excess energy.

Some of the benefits, as Gupta (2009) mentions, are the diversified supply of hydrogen and that the usage of it does not contribute with any emissions. Another benefit is the high specific energy where Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) gives the example that hydrogen has a specific energy of 142 MJ/kg while liquid hydrocarbons only have 47 MJ/kg. This means that the specific energy for hydrogen is three times higher.

#### 3.1 Hydrogen production

When it comes to producing hydrogen, there are two main options according to Gupta (2009), either from hydrocarbons or electrolysis. Figure 5 below, which is based on the description of hydrogen production pathways by Viswanathan and Aulice Scibioh (2008), shows the overall possible way to go from primary energy source to hydrogen. For example, fossil fuels can be used in producing hydrogen from hydrocarbons and electrolysis, but to use it in electrolysis the fossil energy needs to be converted into electricity.



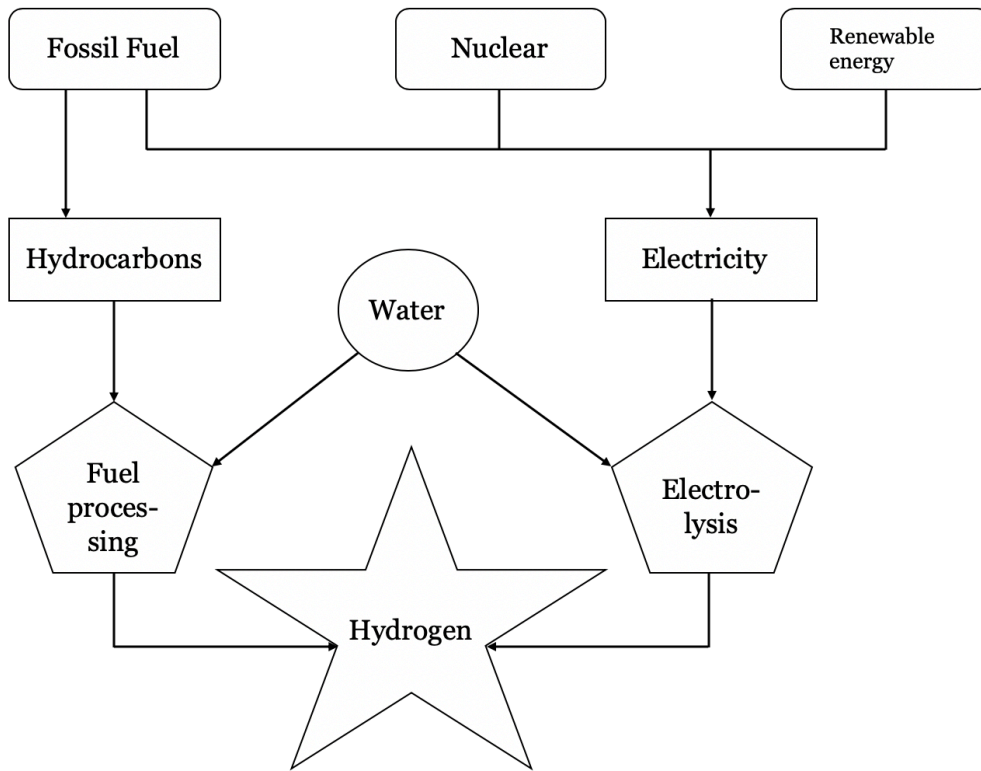
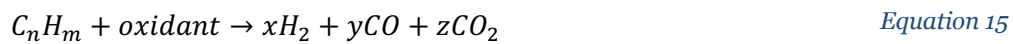


Figure 5 Hydrogen production pathways (Viswanathan & Aulice Scibioh, 2008)

### 3.1.1 Hydrocarbon reforming

Both references Gupta (2009) and Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) say that one possible way to produce hydrogen is from hydrocarbons. But when hydrogen is produced from hydrocarbons, such as natural gas, CO<sub>2</sub> is emitted, this is mentioned by amongst others by Rifkin (2002). Gupta (2009) claims that for each ton of hydrogen produced from hydrocarbons approximately 2.5 ton of CO<sub>2</sub> is emitted. He describes that there are two kinds of hydrocarbon processes and they are oxidative (Equation 15) and non-oxidative (Equation 16) processes. Oxidative processes are for example SMR, POx and ATR which are described more closely below.



Steam reforming (SR) is the most widely used method when it comes to producing hydrogen from hydrocarbons according to Viswanathan and Aulice Scibioh (2008). The most common type of SR is steam methane reforming (SMR) and says that this process has been providing the major part of hydrogen. The size of SMR plants can vary from less than 1 ton/hour to 100 ton/hour. According to Gupta (2009), the CO<sub>2</sub> equivalent emissions for hydrogen production via SMR is 13.7 kg per net kg of hydrogen. Mansilla et al. (2018) say that SMR is the benchmark process when it comes to hydrogen production.

Gupta (2009) also writes about the process partial oxidation (POx). This process can be used with or without a catalyst for producing hydrogen.

The last hydrocarbon main process is autothermal reforming (ATR). Gupta (2009) describes this process as a combination of both POx and SMR.

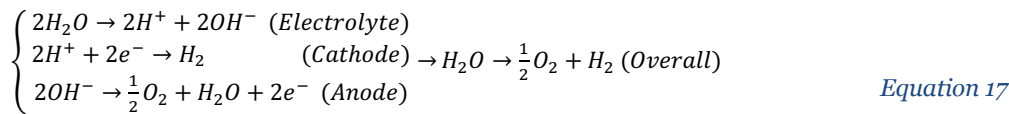
It is also possible to convert other materials, containing hydrogen and carbon. Gupta (2009) say that with gasification, hydrogen can be produced from both coal and biomass. Because biomass is considered as carbon neutral the production of hydrogen is net-zero emissive.

### 3.1.2 Electrolysis

Another way to produce hydrogen is via electrolysis, which according to Gupta (2009) can be produced with any type of electricity: renewable, nuclear or fossil. The kind of electricity that is used affect whether the hydrogen can be considered as a sustainable energy carrier.

Cornander et al. (2018), Nordling (2019) and Gupta (2009) say that as long as the electrolysis is done with renewable electricity the hydrogen production will not cause any emissions.

Mansilla et al. (2018) say that one operating strategy is to use excess electricity and convert it into hydrogen. The chemical reactions that happen in the electrolyser, according to Gupta (2009), is described in Equation 17. It shows that different reactions happen in different parts of the electrolyser, but the overall reaction is splitting water into hydrogen and oxygen.



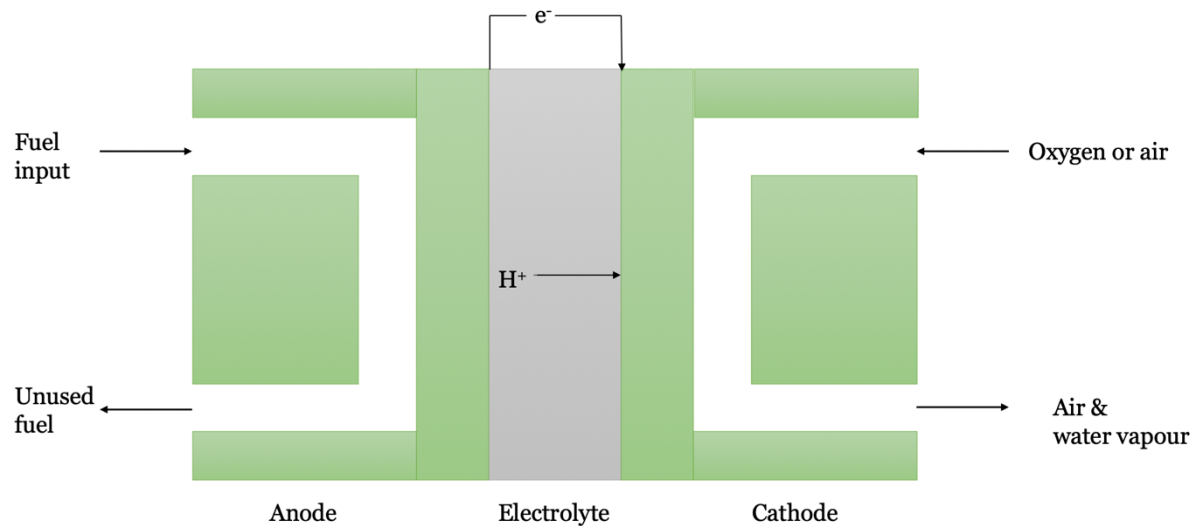
The production cost of hydrogen is heavily linked to the cost of electricity according to Mansilla et al. (2018).

## 3.2 Hydrogen utilization

There are two main ways to utilize hydrogen, either via combustion engine or via fuel cells, this is according to Gupta (2009). When using hydrogen as fuel the main by-product is water, this is also stated by Cornander et al. (2018).

### 3.2.1 Fuel cells

The schematics below (Figure 6) is based on descriptions of how FC is working by Gupta (2009). Hydrogen is imputed on the anode side where it is split into protons and electrons. Protons travel to the cathode side via the electrolyte while the electron travels through an electrical circuit. On the cathode side hydrogen reacts with oxygen and form water molecules. As Cornander et al. (2018) say, the by-product is water. When it comes to choosing fuel and oxygen source, Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) claim that for achieving maximum efficiency pure hydrogen and oxygen should be used.



*Figure 6 Schematic over FC reaction (Gupta, 2009)*

FC can be divided into two categories, either low-temperature FC and high-temperature FC, according to Cornander et al. (2018). In these categories there are six different types where Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) and Gupta (2009) names the following:

- Alkaline fuel cell (AFC)
- Direct methanol fuel cell (DMFC)
- Molten carbonate fuel cell (MCFC)
- Phosphoric acid fuel cell (PAFC)
- Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)
- Solid oxide fuel cell (SOFC)

Table 1 is based on information presented by Gupta (2009). The numbers presented are simplification, for instance, is the operating temperature for SOFC 800-1000 °C. These numbers are confirmed by *Comparison of Fuel Cell Technologies* (n.d.).

*Table 1 Operating conditions for different types of FC (Gupta, 2009)*

<b>FC type</b>	<b>Operating temperature [°C]</b>	<b>Efficiency [%]</b>	<b>Typical power range [kW]</b>
<i>AFC</i>	60-90	45-60	<20
<i>DMFC</i>	60-130	40	<10
<i>MCFC</i>	650	45-60	>1000
<i>PAFC</i>	200	35-40	>50
<i>PEMFC</i>	80	40-60	<250
<i>SOFC</i>	1,000	50-65	>200

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) say that FCs have several benefits. These are for instance no emissions of NO<sub>x</sub> or SO<sub>x</sub>, good efficiency at part-load, higher efficiencies than combustion engines, possible to use in CHP applications and they are relatively simple. One example of the application of FC is in space shuttles where FCs are used for providing both electricity and drinking water.

Different FC has different possible applications. As mentioned previously, FC can be used in CHP systems. For CHP systems Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) says that FC with higher operating temperatures such as PAFC, SOFC and MCFC are suitable. Cornander et al. (2018) and Gupta (2009) say that PEMFC is best suited for automotive applications. Properties that make PEMFC more suitable for this is a high energy density, quick start-up, fast reaction to power changes and not being placement sensitive.

As different FC are suitable for different applications, each type of FC comes with its drawbacks. Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) express that high-temperature FC often require expensive materials and long start-ups. On the other hand, PEMFC which is a low-temperature FC contains platina and is sensitive to moisture as disadvantages according to Cornander et al. (2018). Gupta (2009) sums the overall disadvantages with FC is their cost and durability.

Cornander et al. (2018) say that 2017 was a capacity of approximately 700 MW of FC delivered for transport applications and approximately 290 MW for stationary applications.

### **3.2.2 Hydrogen internal combustion engine**

According to Gupta (2009) is FC is not the only way to use hydrogen as fuel. Another way is to use a hydrogen internal combustion engine (HICE). Verhelst and Wallner (2009) say that HICE is beneficial as it does not require as high purity as FC but also as ICE is possible to use in bi-fuel systems. With a bi-fuel system, it is possible to run the engine on, for instance, either hydrogen or gasoline which means that the hydrogen fuelling infrastructure does not have to be fully developed.

### 3.3 Hydrogen storage

Srinivasan et al. (2017) say that the largest challenge when it comes to implementing hydrogen is how to viably store it. Similarly, Gupta (2009) claims that critical factors such as on-board vehicle storage and transportation are crucial for the success of hydrogen.

Sommerfeldt et al. (2016) say that one reason for adding an energy storage system (ESS) in buildings is to increase the self-consumption of self-produced electricity.

Gupta (2009) says that one of the advantages with utilizing hydrogen as an energy carrier is its high specific energy content which is 140.7 MJ/kg and it is considerably higher than for other conventional fuels. At the same time, hydrogen has a very low energy density in comparison with other fuels and the energy density is 8491 MJ/m<sup>3</sup>. This low energy density poses is a problem when it comes to storage as a larger tank is needed to store the same amount of energy as for conventional fuel. One example of this is that at ambient conditions 1 kg of hydrogen occupies a volume of 11 m<sup>3</sup>. In Table 2 a comparison between different storage solutions for 662 MJ (which is equal to five gallons of gasoline) is made.

*Table 2 Comparison of fuel storage (Gupta, 2009)*

	<b>Gasoline</b>	<b>Liquid HYDROGEN (20 K)</b>	<b>FeTi metal hydride (1.2 wt%)</b>	<b>Compressed hydrogen (207 bar)</b>
<i>Fuel weight [kg]</i>	14	4.7	4.7	4.7
<i>Total storage weight [kg]</i>	20.4	23.3	554	68.3
<i>Volume [m<sup>3</sup>]</i>	0.0189	0.178	0.189	0.409

Desirable characteristics of a hydrogen storage are according to Shafiee et al. (2017): high hydrogen capacity, a simple process of activation, equilibrium pressure and minimum degradation. Another property that is needed is low losses as Hemme and van Berk (2018) say that hydrogen that is lost result is an energy loss.

The main possible methods of hydrogen storage, according to Cornander et al. (2018), are to store the hydrogen as a gas, liquid or solid. Gupta (2009) mentions that it is also possible to store hydrogen in other ways such as carbon materials or silica microspheres. Depending on the phase which the hydrogen is stored at enables different possible transportation methods and both Cornander et al. (2018) and Gupta (2009) mention pipelines, gas tanks and liquid tanks either as liquid hydrogen in cryogenic tanks or as other hydrogen-rich fluids such as ethanol.

Competing energy storage are batteries and according to Jiang et al. (2018) are batteries the most promising energy storage. This is due to characteristics such as high energy density and batteries not being very dependent on their geographical placement. Cornander et al. (2018) express that the trend with battery development is that they can be used with more power demanding engines, charges faster, lasts longer and is getting cheaper. Between 2008 and 2013 the price on Li-ion batteries dropped by 75 %. Table 3 below presents properties for Li-ion batteries according to Demirocak et al. (2017) while Table 4 shows the development targets.

*Table 3 Li-ions battery properties (Demirocak et al., 2017)*

Specific energy [Wh/kg]	90-190
self-discharge at 25 °C [%/month]	<5

*Table 4 Development targets for EV Everywhere project (Demirocak et al., 2017)*

<b>Parameter</b>	<b>2012 status</b>	<b>2022 target</b>
Cost [\$/kWh]	500	125
Specific energy [Wh/kg]	80-100	250
Energy density [Wh/L]	200	400
Specific Power [W/kg]	500	2,000

An issue with Li-ion batteries is that they are classified as dangerous goods, this is mentioned by Cornander et al. (2018). Another is that they contain cobalt, but they have the advantage that they do not contain heavy metals like lead, cadmium or quicksilver. Cobalt is a debated material because the majority is mined in Congo and the mining business in Congo is criticised by the organisation Amnesty International.

How the batteries are utilized affect their technical life span, this is described by Jiang et al. (2018). He gives an example where a battery is cycled at a depth of discharge at 20 % and then it can be cycled 9,000 times. If the same battery is cycled at depth of discharge of 100 % it would only last for 4,500 cycles.

### **3.3.1 Compressed**

According to Gupta (2009) for short-term storage, the most promising technology is compressed hydrogen storage. Disadvantages described by Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) with this technology is the size and weight of the storage tank. This can also be seen in Table 2.

### **3.3.2 Liquified**

Hydrogen condenses at -253 °C according to Gupta (2009) and Cornander et al. (2018) say that storing hydrogen as a liquid is a possible solution. Gupta (2009) says that the benefit of storing hydrogen as a liquid is that the tank will be smaller and not as heavy which is also shown in Table 2. Liquid hydrogen has disadvantages and both Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) and Gupta (2009) mention that boil-off, which is where hydrogen evaporates

in the tank, and the high energy demand to condense hydrogen are two issues with storing hydrogen as a liquid.

### 3.3.3 Hydrides

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) mentions hydrides as a possible storage solution and Gupta (2009) describes hydrides as a solid material which can absorb and desorb hydrogen. There are two types of hydrides metal and organic chemical were Shafiee et al. (2017) say that the most common compositions are lanthanum nickel and magnesium hydride.

Shafiee et al. (2017) describe hydrides as a safe and efficient storage method of hydrogen. It is also said that hydrides operate at constant pressure and that they have a higher energy density than compressed hydrogen. Gupta (2009) mentions that the size of hydride storage is similar to liquid storage, but hydrides are considerably heavier which can be seen in Table 2.

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) describes that the absorption process in the hydrides are exothermic while the desorption process is endothermic. Gupta (2009) highlights an issue with this by the following example; If the formation enthalpy is 40 kJ/mol and the hydride absorb 5 kg of hydrogen at 3 minutes, the total heat rejection is 100 MJ and the heat is 550 kW.

## 3.4 Hydrogen Safety

Safety is a big part of implementing hydrogen as both Rifkin (2002) and Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) writes that the public feels strongly and remembers accidents where hydrogen has been involved. Such accidents are for instance Hindenburg and the Challenger disaster.

Gupta (2009) sees safety issues in comparison with conventional fuels, for instance: wider flammability range, lower ignition energy, faster flame velocity and it burns hotter than methane. This is also seen by Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) who mention the flammability range between 4 % to 75 % and the explosivity of hydrogen and air mixtures. Gupta (2009) summarizes that due to the high flammability of hydrogen, high standards will be set on the safety equipment. In Table 5 the explosive limits for gasoline, methane and hydrogen are presented and these limits show between which concentrations the fuel can be ignited.

*Table 5 Explosive limits (Gupta, 2009)*

<b>Fuel</b>	<b>Lower explosive limit [%]</b>	<b>Upper Explosive Limit [%]</b>
<i>Gasoline</i>	1.4	7.6
<i>Methane</i>	5	15
<i>Hydrogen</i>	4	75

Some of the physical properties are not a safety issue but an asset, Gupta (2009) mentions fast diffusion, high buoyancy and non-toxicity. Viswanathan and Aulice Scibioh (2008)

explains this by the example that due to its fast dispersion hydrogen is hard to ignite if it starts to leak.

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) states that to commercialize hydrogen, safety measures are needed.

### **3.5 Economy and Politics of Hydrogen**

Whether hydrogen will be a success is strongly linked to the political will and economic competitiveness according to Mansilla et al. (2018). Examples of these factors are the price of fossil fuel and emissions. Gupta (2009) writes that to have a successful deployment of hydrogen technology, government incentives will be necessary. Mansilla et al. (2018) describe that the competitiveness of hydrogen can be increased by a regulatory framework such as carbon tax.

Gupta (2009) describes that hydrogen can contribute to a more even distribution of energy resources between countries and regions. This is because RES is available all over the world and therefore the hydrogen production is not limited to a specific geographical area.

Hydrogen has probably a more promising future as a transportation application than a stationary power generating application according to Mansilla et al. (2018). This is mainly due to low electricity prices. Stationary hydrogen applications can be profitable but that is highly dependent on the local context.

Sommerfeldt et al. (2016) describe that self-consumed electricity can be valued at full retail price but overproduction which is sold to the grid can only be valued as the wholesale price.

According to Demirocak et al. (2017) has the expansion in the battery market been caused by the interest in hybrid EVs and ordinary EV.

### **3.6 Hydrogen applications**

Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) say that one benefit of utilizing hydrogen is that it does not produce CO<sub>2</sub> or any harmful emissions. The downside with implementing hydrogen is that extensive changes must be made in the infrastructure and that could become very costly.

#### **3.6.1 Energy storage and power production**

Mansilla et al. (2018) says that FC could be used in several power applications, for instance, backup power generation, off-grid or microgrid applications. It is even possible to utilize fuel cells for CHP. A hydrogen system can either be placed at the production site or the end-consumer, both solutions have different benefits. At the production site, a hydrogen system benefits impact of intermittence, need of forecasts, transmissions capacity and increase the



possible share of RES in the grid. In other words, the hydrogen system is used for stabilizing the grid and balance markets. If the system is placed at the end-consumer it can instead be used to smooth out the local demand curve which in its turn reduce variations in load profile and therefore forecasting need. According to Cornander et al. (2018), there are no large-scale hydrogen-fuelled generators on the market.

One project where hydrogen is used as energy storage is the Zero sun project. The aim of the Zero Sun project is described by *About Zero Sun<sup>TM</sup> | ZeroSun* (n.d.) as showing how solar technology can be utilized. As the project takes place in Skellefteå (Sweden) where sunlight is scarce during the winter season, the project is also an example that it can be possible to implement on other places.

According to the web page *How it works | ZeroSun* (n.d.) hydrogen gas is mainly used as energy storage. In Table 6 are the component's capacity presented, based on (Nohrstedt, 2017). Further describes *How It Works | ZeroSun* (n.d.) that the house is equipped with PV panels which in first-hand supply electricity to the house for direct consumption. If there is any leftover electricity it is firstly stored in batteries but if the batteries are fully charged the electricity is converted to hydrogen via an electrolyser. When the PV panels and batteries cannot supply enough electricity, hydrogen is converted into electricity via an FC. Apart from obtaining electricity from hydrogen, it can also be used in FCEV.

*Table 6 Zero sun system (Nohrstedt, 2017)*

<b>Component</b>	
PV	25 kW installed capacity
Battery storage	100 kWh
Electrolyser	1 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h
Hydrogen storage capacity	2,000 m <sup>3</sup>
Hydrogen storage	150 steel gas tubes, 300 bars
Fuel cell	3-5 kWh electricity
Residual heat storage	3 accumulator tanks á 500 L
Additional heat	Geothermal heat pump

### **3.6.2 Vehicle fuel**

Cornander et al. (2018) write that hydrogen has been designated by the EU as a possible emission-free replacement for fossil fuels in the transport sector. Hydrogen has been used as fuel before, for instance in NASA's Apollo programme and ASEA submarines, but the first commercialized hydrogen-fuelled car came 2015.

Mansilla et al. (2018) explain that important factors for choosing hydrogen in the transportation sector are factors such as the economics of owning and buying, the fuelling time and driving range. Driving range are an issue according to Gupta (2009) as the low density of hydrogen pose as a problem when it comes to storage. Cornander et al. (2018) say that FCEV has however benefits such as they can be fuelled faster than battery electrical vehicle (BEV) can be charged, and efficiency of FCEV does not change over the cycle. It is also beneficial that FC vehicles do not need any room for charging stations or battery changes

which makes FCEV space-saving and that they have roughly the same fuelling time as conventional vehicles.

FC can be used in different ways to electrify vehicles, for instance, says Cornander et al. (2018) that FC can be used as range extenders but then the main energy source is batteries. Whether batteries or FC are the main energy source is dependent on factors such as cost, size and weight.

Machines fall under the so-called Maskindirektivet (Swedish for Machine Directive) and have lower requirements when it comes to emissions than vehicles used for transportation have according to Cornander et al. (2018). This means that there is great potential for improvements. If ICEs in machines was replaced with either batteries, FCs or a combination of both, the emissions from machines would be zero or close to zero which would improve both local and working environment. In Table 7 are conditions for cars and machines are compared.

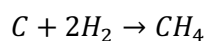
*Table 7 Comparison between requirements for cars and machines (Cornander et al., 2018)*

<b>Cars</b>	<b>Machine</b>
Low power	High power
Low initial cost	Low total cost
Mainly parked	Mainly used
Normal environment	Harsh environment
Transportation	Workplace
Charged overnight	Charged over breaks

According to Rifkin (2002) is the major issue with implementing hydrogen the infrastructure. As long as there is insufficient infrastructure the car manufactures will hesitate to produce and sell hydrogen-fuelled cars and the opposite situation applies to energy companies. Similarly says Cornander et al. (2018) that the main issues seen by machine manufactures the infrastructure regarding fuelling or charging and the energy density in the energy carrier. This applies to both FCEV and BEV.

Vätgas Sverige (n.d.) shows on their map over hydrogen fuelling stations that there are five available stations in Sweden. A hydrogen fuelling station can operate off-grid which Cornander et al. (2018) exemplify by mentioning the PV powered fuelling station in Kjørbo (Norway). A similar fuelling station has been put up in Mariestad (Sweden) which is reported by Carlqvist (2019). This operates off-grid and gets its electricity from PV. The fuelling station is used by the home care department which has 8 hydrogen cars which are remodelled BEVs where the FC and hydrogen tank replace the battery pack.

It is also possible to produce synthetic fuels with hydrogen and Mansilla et al. (2018) mention producing methane with the process methanation step. Gupta (2009) similarly describes how coal and hydrogen can be utilized for producing other fuels, for instance, methane which is shown in Equation 18.



*Equation 18*

Cornander et al. (2018) claim that the trend regarding the electrification of machines is leaning towards batteries. This is seen as battery-powered machines are becoming a more common alternative when it comes to machines which do not require high power levels during longer periods.

According to Cornander et al. (2018), it is important to consider the total cost of ownership as a cheaper fuel is not a guaranty to a lower total cost of ownership if fuelling or charging affect the productivity of the machine.

### **3.6.3 Other**

There are other applications for hydrogen apart for power production and vehicle fuel as Cornander et al. (2018) mentions the HYBRIT project. This is a project where hydrogen is used for separating iron and oxygen instead of coal. One of the reasons for doing this is that SSAB's steel production is one of the least emissive but is still emitting 9.8 million ton of CO<sub>2</sub>.

## **4 CURRENT STUDY**

In this chapter are input data for the calculations presented. It also describes any data treatment made.

### **4.1 Buildings**

Figure 7 and Figure 8 shows the scaled electricity and heat demand for the building. The original annual electricity demand is approximately 120,000 kWh and original annual heat demand 300,000 kWh. According to *Normal Elförbrukning Och Elkostnad För Villa* (2020) is a normal electricity consumption for a single-family house with district heating 5,000 kWh/year. The building's consumption is scaled to have an annual consumption 5,000 kWh. In Figure 7 and Figure 8 are the scaled energy demand of the building presented.

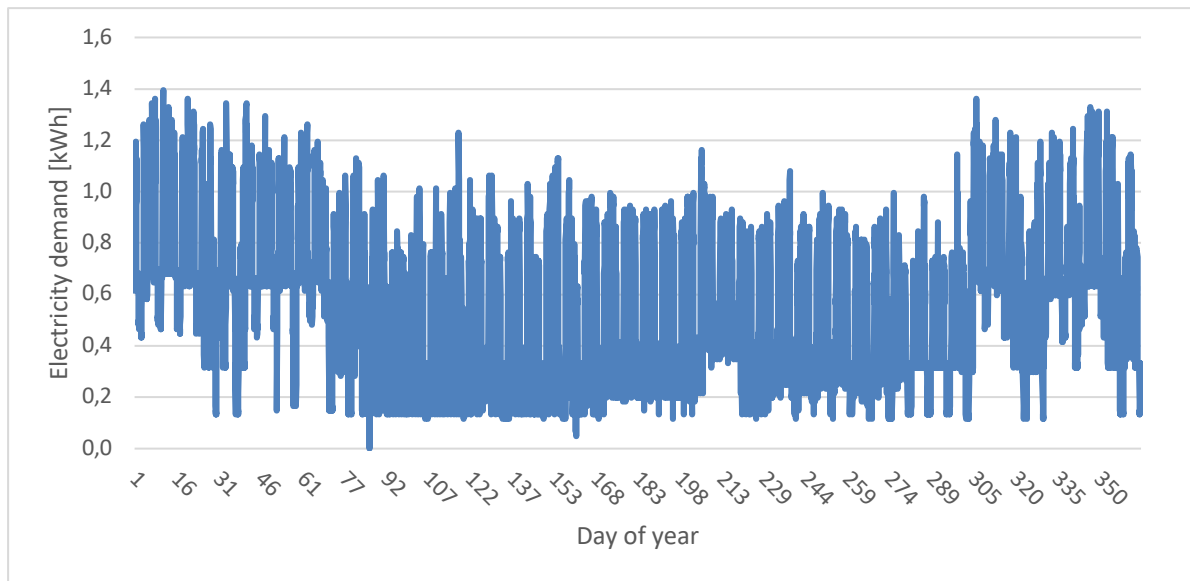


Figure 7 Scaled electricity demand for building

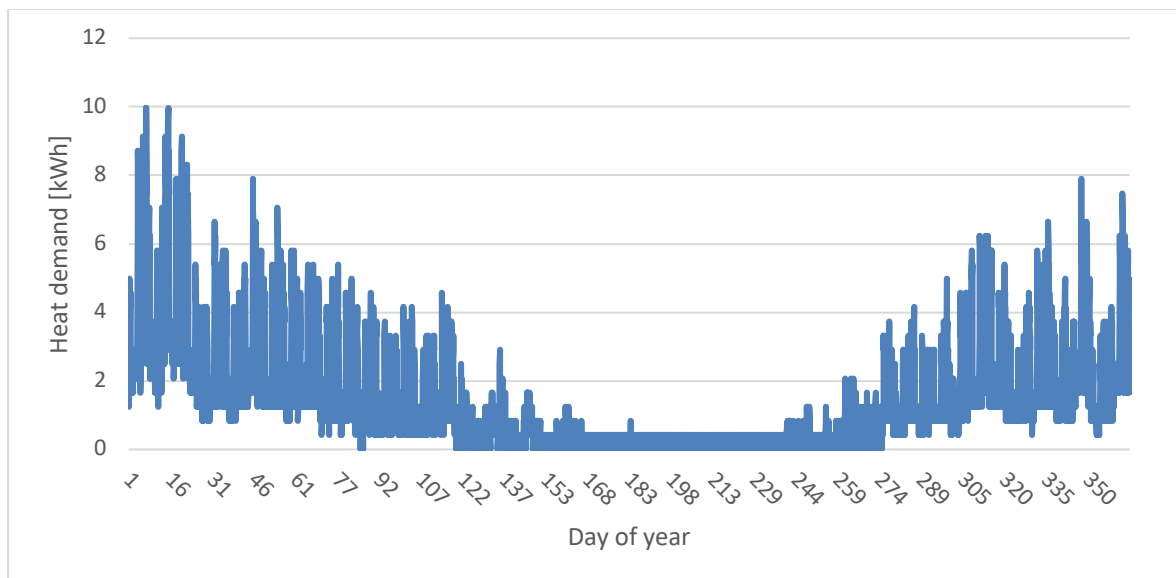


Figure 8 Scaled heat demand for building

## 4.2 Agriculture

Andersson et al. (2018) write that Sweden has 70,000 agricultural companies of which 20,000 have agriculture as a full-time occupation. The agriculture sector consumes approximately 3.7 TWh each year and Figure 9 shows how these are distributed.

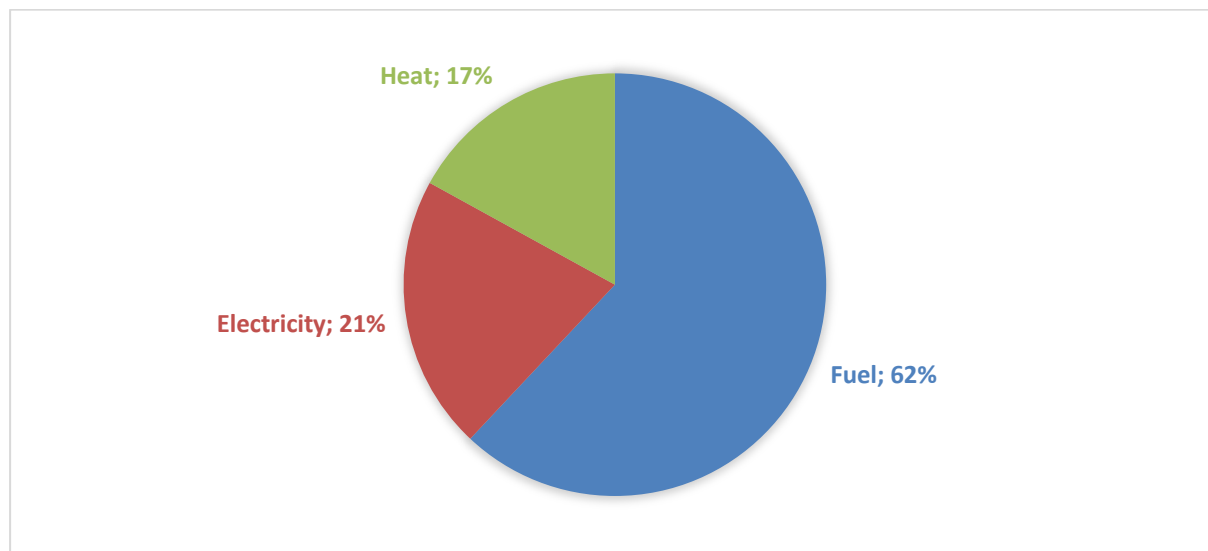


Figure 9 Distribution of energy consumption in agriculture (Andersson et al., 2018)

The type of farm affects which part that accounts for the main energy consumption, according to Andersson et al. (2018). For instance, may a farm with plant cultivation as main occupation demand more energy for fuel while a farm with milk production as the main occupation may need more energy towards milk handling such as cooling and washing of equipment.

## 4.3 Transportation

According to Energimyndigheten (2017b) was 117.4 TWh of energy used by the transportation sector whereof 87.2 TWh was for domestic transportation. Of fossil fuels were 30.22 TWh of gasoline and 45.03 TWh of diesel used. Transportation by road (includes cars, public transportation and cargo transportation by truck) is the main energy consumer and it accounted for 93.6 % of the energy consumption 2016. Table 8 presents the quantity of fuel used while Table 9 specifies the energy content for the different fuels.

Table 8 Fuel consumption in Sweden 2015 (Energimyndigheten, 2017b)

<i>Fuel</i>	<i>Quantity</i>	<i>Unit</i>
<i>Gasoline incl. low-blended ethanol</i>	3,348	1,000 m <sup>3</sup>
<i>Ethanol</i>	274	1,000 m <sup>3</sup>
<i>Diesel incl. low-blended diesel</i>	4,923	1,000 m <sup>3</sup>
<i>biodiesel</i>	1,127	1,000 m <sup>3</sup>
<i>Natural gas and biogas</i>	159	1,000,000 m <sup>3</sup>

Table 9 Energy content for fuels (Energimyndigheten, 2017b)

<b>Fuel</b>	<b>Quantity</b>	<b>Energy content</b>
<i>Gasoline</i>	1 m <sup>3</sup>	32.76 GJ
<i>Diesel</i>	1 m <sup>3</sup>	35.28 GJ
<i>Ethanol</i>	1 m <sup>3</sup>	21.24 GJ
<i>Natural Gas</i>	1,000 m <sup>3</sup>	39.78 GJ
<i>Biogas</i>	1,000 m <sup>3</sup>	34.92 GJ

For recalculating the energy demand of the transportation excluding losses an efficiency of combustion engines of 42 % has been used. According to Thomas (2015) is 42 % the best ICE efficiency, but an ordinary driving cycle has an efficiency of 10-12 %.

## 4.4 Industry

According to Nordling (2019) was the total energy use in industry 136 TWh during 2017 and of this accounted for electricity for 50 TWh and biofuel for 56 TWh. In order to change the industry sector into becoming fossil-free, the energy consumption will increase with at least 32 TWh electricity and 18 TWh of biofuel and bio-based raw material.

Hydrogen can be used in some industries and Nordling (2019) says that the iron and steel industry, refinery industry and chemical industry are the ones. The area of use is different for different industries, for instance, can hydrogen replace coal in iron and steel industry (this is an ongoing project called HYBRIT) but changing all of these would increase the electricity demand by approximately 15 TWh to supply the hydrogen. Other industries, for instance, the mining industry, can also utilize hydrogen as a fuel for operating machines and internal transportation.

## 4.5 Solar data

Solar radiation data used for calculations are retrieved from STRÅNG. It covers the direct and diffuse radiation for the city Västerås, Sweden. Data collected from STRÅNG is missing the solar radiation for 31<sup>st</sup> of December 2019 and this is handled by using the mean values between 1<sup>st</sup> of January and 30<sup>th</sup> of December. Also, 2019 is a leap year and the 29<sup>th</sup> of February has been excluded in order to fit radiation data to match building load profile. Figure 10 shows the radiation on PV over a year.

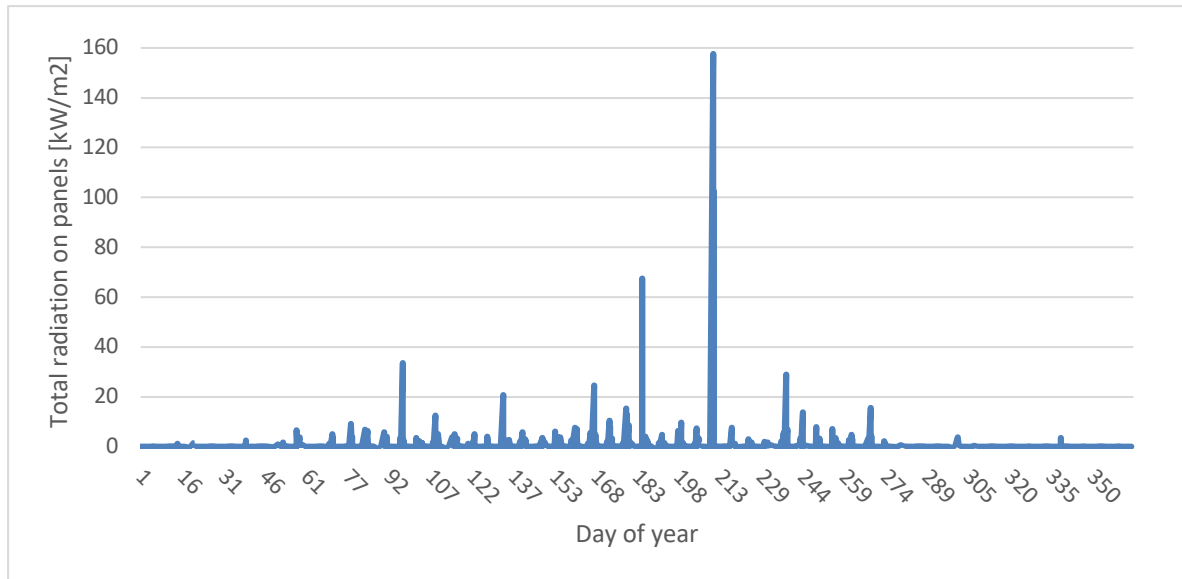


Figure 10 Total radiation on PV

#### 4.6 Calculation data

The calculation is based on the following system configuration: PV, electrolyser cell (EC), storage and FC. Calculation strategy is to size a system which is able to cover the energy demand of the calculation subject, for instance, building or fossil fuel consumption in transportation.

The operational strategy for the calculated building is shown in Figure 11. In the figure, it is shown that firstly PV supply to the building and any excess is supplied to EC which produce hydrogen that charges the storage. Any deficit is covered by FC produced electricity. For transportation, industry and agriculture, there is no load connected to the hydrogen system which means that all electricity is used for producing hydrogen.

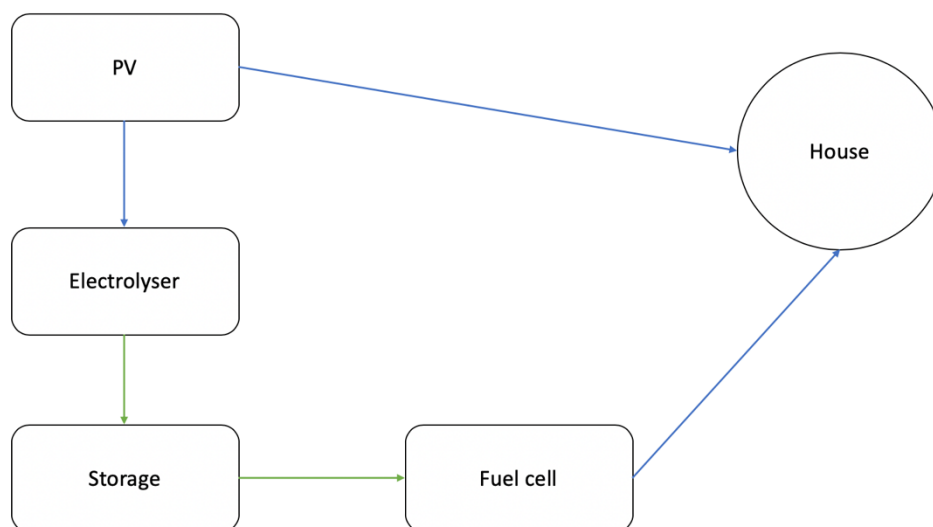


Figure 11 Operational strategy calculated building

It is only for the industry calculation which the calculation strategy is slightly different. For the industry, it is known, based on Nordling (2019), that replacing coal in the steel industry with hydrogen will increase the electrical demand by 15 TWh. Based on this, the calculation is bringing forth how much hydrogen can be produced from that with current and target efficiencies, but also how much such a system would cost.

For the PV a mean value for specific cost, module power and efficiency are used. The mean values are based on a test done by Energimyndigheten and the results from this test is presented at *Jämförelsesida* (n.d.), see Table 10 for data. For calculations, a theoretical PV module with a module power of 165 W/m<sup>2</sup>, efficiency of 16 % and a specific cost of 11.34 SEK/W are used.

*Table 10 Comparison monocrystalline PV panels (Jämförelsesida, n.d.)*

<b>Manufacturer</b>	<b>JA Solar</b>	<b>Rene-sola</b>	<b>Solar-World</b>	<b>SunPower</b>	<b>Swe-Module</b>	<b>Yingli Solar</b>
<i>Model name</i>	JAM6(BK)-60-260/SI	JC250S-24/Bb-b	Sunmodule Plus SW 250 mono black	SPR-E20-327	Winda Tatu 265 Mono	Panda YL270C-30b
<i>Specific cost [\$ /W]</i>	1.02	1.08	1.01	1.62	0.99	1.02
<i>Efficiency [%]</i>	15.4	15.0	14.7	19.0	16.0	16.4
<i>Module rated power [W]</i>	260	250	250	327	265	270
<i>Area [m<sup>2</sup>]</i>	1.63	1.62	1.68	1.64	1.65	1.63

Efficiencies and specific costs for EC, storage and FC used in the calculations are based on the ones used by Schoenung (2011). The target values presented in Table 11 are from the DOE hydrogen program called Multi-year Program Plan

*Table 11 Hydrogen system data (Schoenung, 2011)*

	<b>EC</b>	<b>Storage</b>	<b>FC</b>
<i>Current efficiency [%]</i>	73.5	-	55
<i>Target efficiency [%]</i>	75	-	58
<i>Current cost [\$ /kW] or [\$ /kWh]</i>	340	15	500
<i>Target cost [\$ /kW] or [\$ /kWh]</i>	125	2.5	100



The system lifetime is assumed to be 20 years, which is also used in the study by Schoenung (2011). It is also assumed that it is necessary to reinvest in new EC and FC during the system lifetime, in the calculation, the component lifetime is set to 10 years based on that mean component in Table 12, which is based on IRENA (2018), has an operating time of 65 000 h which would translate to, with a constant operation, 7.4 years. From Table 12 is the operational cost of 2 % of the investment cost taken.

*Table 12 Data electrolyser system (IRENA, 2018)*

<b>Technology</b>	<b>ALK</b>		<b>PEM</b>	
	2017	2025	2017	2025
<i>Efficiency [%]</i>	65	68	57	64
<i>Lifetime electrolyser [operating h]</i>	80,000	90,000	40,000	50,000
<i>CAPEX [\$/kW]</i>	832	532	1,331	776
<i>OPEX [% of initial CAPEX]</i>	2	2	2	2
<i>CAPEX replacement [\$/kW]</i>	377	238	466	233
<i>Output pressure [bar]</i>	0	15	30	60
<i>System lifetime [years]</i>	20			

As said in chapter 3.6.1, it is possible to use hydrogen in CHP applications. For the building calculation, the recoverable heat is calculated. It is assumed that 50 % of the heat loss from the FC is recoverable.

For the economic calculations, an interest of 3 % is assumed. It is supposed to cover any interest for eventual bank loans.

The results will be reported as USD, \$, while some of the calculation data is in other currencies. For the currency conversion from SEK to USD, it assumed that 1 SEK equals \$ 0.1 which is according to *USA-DOLLAR - USD* (n.d.). For the costs in Euro (€) it is assumed that 1 € equals to 11.09 SEK which is according to *Euro till SEK - Aktuell Kurs Och Historisk Utveckling* (n.d.).

Some of the calculated results are either dependant or can be compared with the cost of alternatives, such as grid-connected electricity or fossil fuel. According to *Normal Elförbrukning Och Elkostnad För Villa* (2020) is the price for electricity for a villa, including charges and tax, 1.54 SEK/kWh. This is confirmed by Lindahl (2017) who says that within the residential sector the electricity price is 1.0-1.8 SEK/kWh. The industry pays instead 0.55-1.00 SEK/kWh. In the calculation for a building is an electricity price of 1.4 SEK/kWh used. Agriculture has been interpreted as an industry as it is a company who buys the electricity and, in the calculations, a price of 0.775 SEK/kWh is used.

Weimar (2020) reports on how fuel prices have changed over the beginning of since 2018. The maximum price for gasoline respectively diesel during this period is 17.14 SEK/l and 17.16 SEK/l, while the prices on 22<sup>nd</sup> of April 2020 were 13.53 SEK/l for diesel and 12.28 SEK/l for gasoline. For the calculation, an average between the price for gasoline and diesel has been used. A price for fossil fuels of 13.52 SEK/kWh or 12.90 SEK/L has been used.

District heating can be bought for 1.09 SEK/kWh according to *Fjärrvärme - Pris Och Kostnad* (2020) and this price is used for the building calculation. For the heat demand for agriculture, an assumption that the heat is produced by a heat pump with a COP of 3 is made.

## 5 RESULTS

In the following sub-chapters are results from interviews and calculations presented. Key points from the results are that today is investing in hydrogen is not a profitable and calculations show that price development for both fossil fuels, electricity and components are necessary.

### 5.1 Interview

In chapter 5.1.1 and 5.1.2 are summaries from interviews with a development strategist in a municipality and technical director of a hydrogen company. Full transcriptions of the interviews are available in the appendix, but they are in Swedish.

#### 5.1.1 Development strategist

The main sustainability project, which is a collaboration between the municipality and the trade and industry, was originally started to make up for lost jobs and make use of the potential business in sustainable development. Within the main project, the municipality has been interested in and active in several of smaller sustainability projects fall, which the hydrogen fuelling station is one.

At present, there are two hydrogen projects in the municipality: A hydrogen fuelling station and a preschool with hydrogen storage. The preschool is only in the planning stage, but the fuelling station is in operation. It is based on PV, electrolyser and container storage. 4,000 kg of storage capacity is connected to the PV, but the establishment's total storage capacity is 40,000 kg.

The interviewee says that hydrogen production via electrolysis is a good example of a circular economy. Electrolyser split water molecules into hydrogen and oxygen, which is an emission-free process as long as the electricity is sustainably produced. Hydrogen can be used as fuel while oxygen could be fed into, for instance, a fish farm.

The plans for a fuelling station came when the chairman of the municipal council, who believe in hydrogen, came across a spare fuelling station from a Danish project. Interviewee express that hydrogen is a part of the future. Another reason for going with hydrogen is that it is easy to store and contributes to sustainable development.

The initial investment cost for the fuelling station was slightly less than 20 million SEK, but if the same station was built today it would have cost half, which is approximately 10 million SEK. An ordinary gas station would cost 5-8 million SEK or \$ 500,000-\$ 800,000 to build. To build the hydrogen fuelling station, the municipality received financial aid from foundations.

The hydrogen is sold for a price of 90 SEK/kg or \$ 9 /kg, where the price in Europe varies between 80-110 SEK/kg or \$ 8-\$ 11 /kg. With 1 kg of hydrogen, it is possible to drive an FCEV for approximately 100 km, the total driving range for an FCEV is approximately 400 km but the prognosis for the future says 600-800 km when FCEV is mass-produced. A network of hydrogen fuelling stations are spreading through Europe, the current number is 850 stations. A fuelling takes around 4 minutes.

At the moment the municipality has fourteen hydrogen-fuelled cars which they refuel at their station. The plan is to enlarge the fuel cell car fleet as leasing contracts, and such expires, because according to the municipality's calculation fuelling station investment will start being profitable when they refuel 50-100 cars. A benefit with the use of fuel cell cars is that CO<sub>2</sub> emissions can be removed from ecological accounting.

Moneywise the investment in the hydrogen fuelling station has not been profitable. On the other hand, it has given job opportunities and PR.

The issue with implementing hydrogen today is that it is difficult to certify the systems. Today it is the local fire department who has the responsibility for certifying the systems which pose as an issue. Therefore, there is a need for standards and national strategies in order to have a larger deployment of hydrogen outside research projects. Another issue is that some officials see hydrogen as a competing instead of a complementing technology, for instance with biogas.

With regards to security, the interviewee says that the fire department often sees a larger risk with lithium-ion batteries. Hydrogen is familiar to the fire department as it has been used in industry for 100 years.

The interviewee says that the public's concern should be met by open communication. For instance, explaining how hydrogen works and that there is a security system around it.

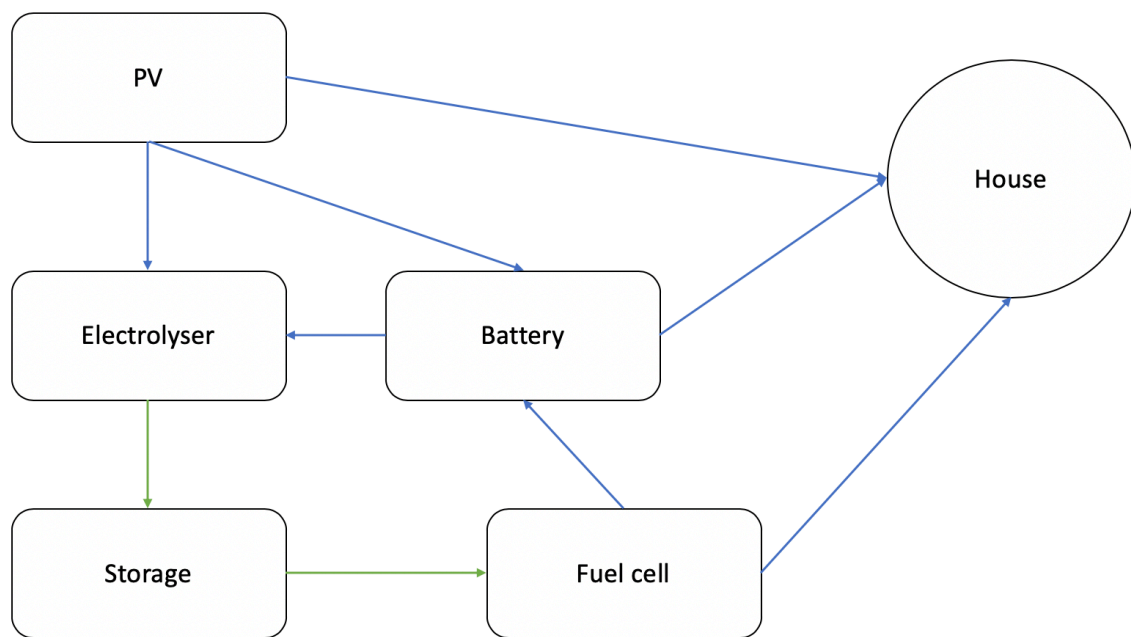
### **5.1.2 Technical director**

The interviewee's hydrogen system consists of 25 kW of PV, 144 kWh of lead batteries, electrolyser, steel flask gas storage with a capacity of 11 m<sup>3</sup> water volume, 5 kW FC and 15 kVA generator. Its initial cost was approximately 2.5 million SEK or \$ 250,000 but today it would have cost 1.5 million SEK or \$ 150,000. The most expensive part was the storage which cost 625,000 SEK or \$ 62,500 at the initial investment.

PV produces 22- 23 thousand kWh of electricity annually. Apart from having roof-mounted PV, the system also contains facade-mounted PV. These are to maintain power production during winter when the sun is low and during the sunsets.

Hydrogen storage is used as a seasonal storage, in other words, excess electricity is stored as hydrogen while the daily electricity comes from the batteries. Pressure in the storage is 300 bar, but higher pressure could be used which would demand more expensive components.

An overview of the operational strategy is shown in Figure 12. Electricity is produced by the PV; it goes in first-hand to the house's electrical demand. Any excess is firstly used to charges the battery and secondly is used in the electrolyser in order to produce hydrogen. During the night the electrolyser continues to run on electricity from the battery as the battery has a daily cycling. During wintertime, the battery is charged by the fuel cell when the PV production is not enough.



*Figure 12 Operational strategy off-grid house*

According to the interviewee, there is very little maintenance on the system. The major maintenance is replacing some filter, for instance, air and ion filters, and replacing the FC coolant.

One problem with installing hydrogen systems is that there are almost no standards or regulations when it comes to hydrogen outside the industry. Today it is the local fire department who approves of these systems. It introduces varying handling of approving the systems, but there are projects for creating standards.

Being off-grid ensure independency of outside power companies, but also a more secure and controllable system. When installing an off-grid system the goal is to be able to have the same standards as if the house was grid-connected. As the hydrogen system offers the opportunity to be off-grid, it can also be used for back-up power.

With the current electricity prices, the cheapest electricity is the one bought from the grid, but the electricity prices are expected to increase. The investment cost for hydrogen system is expected to decrease in the future, for instance, say manufacturers of FC and EC that price for their products will decrease by 10 % over the coming decade. Another prognosis is that FC will cost approximately \$ 100 /kW.

Current projects within hydrogen systems in buildings, where both electricity and heat are supplied, has a payback period of around 20 years. This period correlates with most property owners plans for major renovations. The interviewee raises the question regarding why the main focus is that these systems must be profitable moneywise.

With the current situation, there are no financial aids for installing hydrogen systems. There are for PV and battery installations. In order to implement some kind of financial aids for hydrogen, room must be made for hydrogen on the political agenda.

## **5.2 Calculation**

In the following subchapters, the results from the calculations are presented.

The calculation results are presented for three cases, except for industry, these are: Current, target and break even. Current and target case are based on data presented in Table 11 on page 25. The break-even case is based on price development needed for an NPV equal to zero, which is the point where the investments start being profitable.

Key results from the calculations are that no NPV shows that investing in hydrogen with either current or target case is a profitable investment. The sector closest to breakeven is transportation which demands a 90 % decrease in cost for components from the target case or a 10-fold increase in cost for fossil fuels.

### **5.2.1 Buildings**

Both cases are non-profitable according to the NPV. For the current case, the NPV after 20 years is \$ -479,580 while for the target case it is \$ -174,712. This is a decrease in losses of approximately 64 %.

The total initial investment cost for the current case is \$ 277,550. Of this, the major part, 65 %, represents the investment cost for the EC, which is shown in Figure 13. The least expensive component is FC which accounts for less than 1 %. In the target case, the initial investment cost decreases by over 61 % down to \$ 107,026. As the specific cost for the PV does not change, PV's share of the initial investment cost increases from 12 % to 29 %, see Figure 14. EC is still the major investment cost, but its share has decreased to 61 % of the initial investment. Smallest cost is still for the FC.

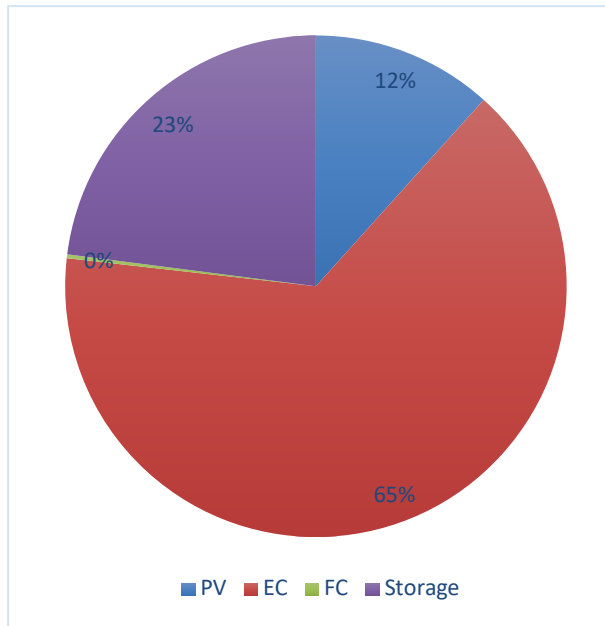


Figure 13 Distribution of initial cost for the building in current case

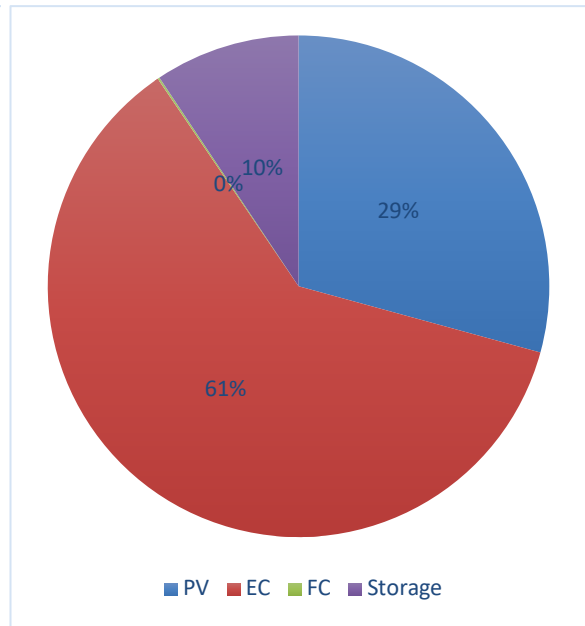


Figure 14 Distribution of initial cost for the building in target case

To supply the building with electricity following component size, Table 13, is needed. For the current case, Table 13, 29 kW PV, 532 kW EC, 1.4 kW FC and storage for 4,250 kWh is needed. For the target case, the system would be slightly smaller, for instance, 28 kW PV.

Table 13 System size for building

	Current case	Target case
EC [kW]	532	524
FC [kW]	1.4	1.4
Storage [kWh]	4,250	4,009
PV Peak power installed [kW]	29	28
PV area [m <sup>2</sup> ]	173	168

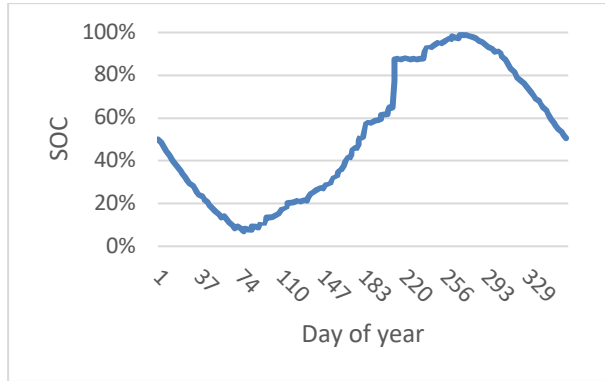
In the building case, the hydrogen system supplied all of the electricity and some of the heat. With the assumption that 50 % of the heat loss was recoverable, the system was able to supply 6 % of the needed heat.

Table 14 shows the LCOE for the current case and target case. In both cases, it is less expensive to buy the electricity and heat from the grid than having it be supplied by a hydrogen system.

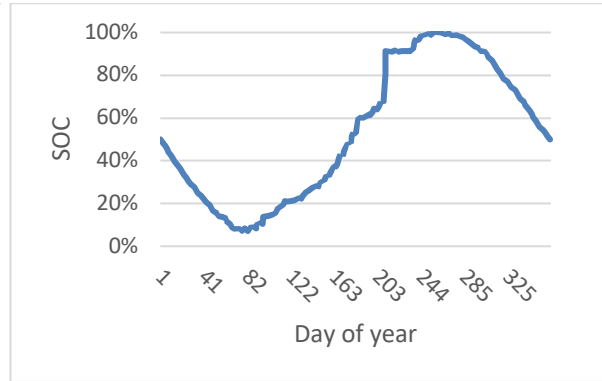
Table 14 LCOE for building

	Current case	Target case
LCOE electricity [\$/kWh]	4.91	1.86
LCOE electricity and heat [\$/kWh]	4.28	1.64
LCOE grid electricity [\$/kWh]	0.10414	0.10414
LCOE grid electricity and heat [\$/kWh]	0.10116	0.10196

Hydrogen is used as a seasonal storage, which means that it is charged during the summer and discharged during the winter. Figure 15 and Figure 16 show how SOC for the storage changes over a year.



*Figure 15 SOC building current*



*Figure 16 SOC building target*

To have a break-even, an NPV equal to zero, the specific cost for PV, storage, FC and EC needs to decrease by 94 % from the target costs for storage, FC and EC. Without any cost decreases for the PV, the investment will not be profitable. In order for the system with the target costs and the used PV specific cost to break-even, the price for electricity and district heat need to increase 16 times

### **5.2.2 Agriculture**

Delivering energy in agriculture, the total of 3.7 TWh, with hydrogen systems is a non-profitable investment, both for the current case and the target case. In the current case would such an investment result in a loss of \$ 0.51 billion while the target case would give a loss of \$ 0.17 billion.

The distribution of the initial costs is shown in Figure 17 and Figure 18. In both cases is the major investment for EC for converting the electricity into storable hydrogen. In the current case, the total initial cost would be \$ 0.31 billion while the target case would cost \$ 0.10 billion.

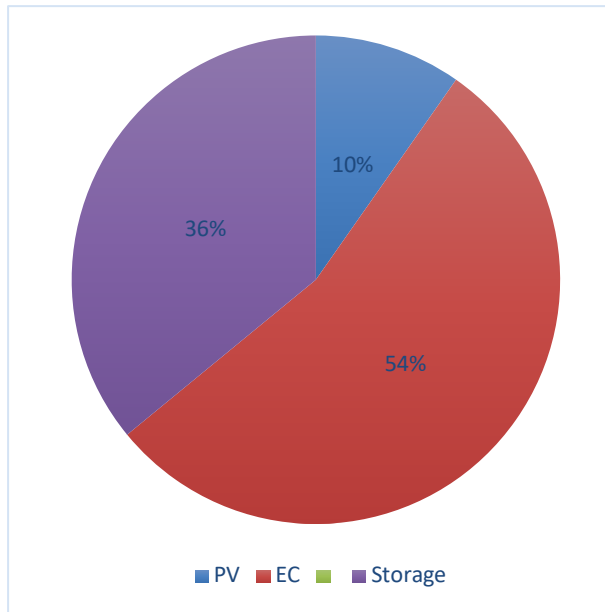


Figure 17 Distribution of initial cost for agriculture in current case

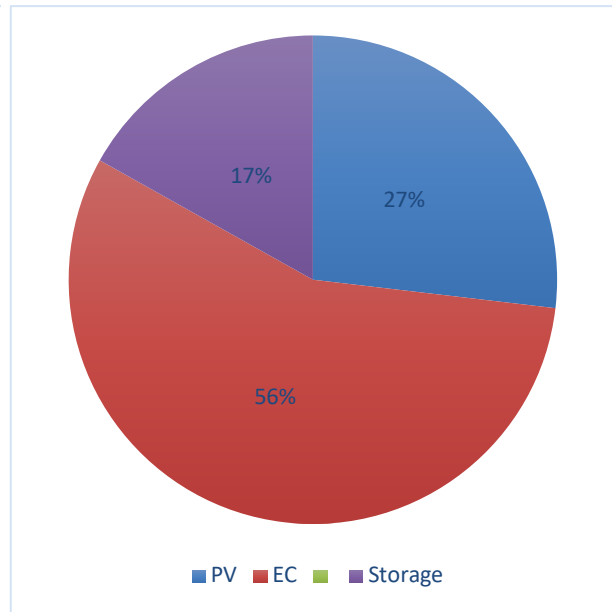


Figure 18 Distribution initial cost for agriculture in target case

In order to supply agriculture with enough energy more than 0.2 TWh of PV is needed in both the current and target case. Similarly, EC capacity needed is more than 0.45 TW.

Table 15 System size agriculture

	Current case	Target Case
EC [TW]	0.494	0.468
Storage (incl. 10% margin) [TWh]	7.40	7.02
PV peak power installed [TW]	0.265	0.246

The annual energy demand in agriculture is 3.7 TWh. In the current case, it would be necessary to produce slightly less than 9.2 TWh of electricity from the PV, see Table 16, while in the target case approximately 8.5 TWh would be necessary.

Table 16 Annual energy demand and production agriculture

	Current case	Target case
Annual energy demand [TWh]	3.70	3.70
Annual PV production [TWh]	9.15	8.51
Annual hydrogen production [TWh]	6.73	6.38
Annual FC production [TWh]	3.70	3.70

LCOE in the current case for the produced energy would be \$ 7.05 /kWh and \$ 2.39 /kWh in the target case. If the energy was instead supplied by the electricity grid and fossil fuels, the LCOE would be \$ 0.104 /kWh

To have a break-even in agriculture the cost for PV, storage, and EC must decrease by 96 % from the target cost and the PV cost. It is needed that there is a decrease in the cost for PV,



without that will the investment not be profitable. Otherwise, would an increase in the electricity and fossil fuel price by 23 times make the investment profitable with the target costs.

### 5.2.3 Transportation

NPV for the current case is \$ -4,3 billion which says that it is an unprofitable investment. For the target case, the NPV is \$ -1.4 billion.

For transportation, replacing fossil fuels, in the current case would cost \$ 2.6 billion and \$ 0.89 billion in the target case. Of this, the major accounted for investing in EC.

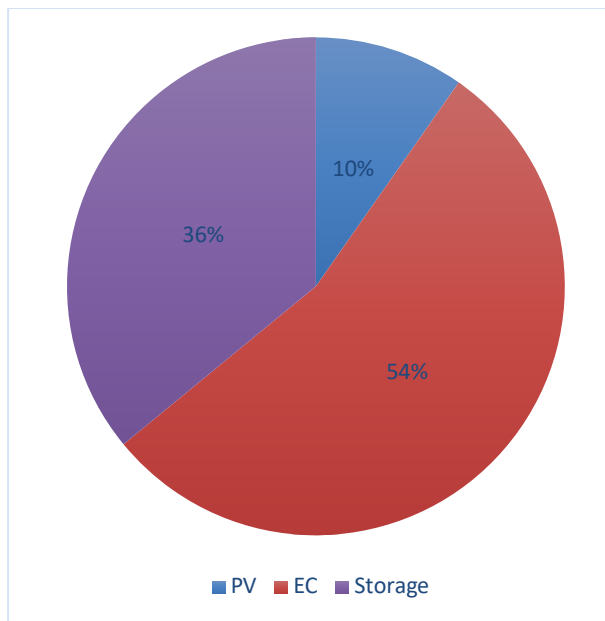


Figure 19 Distribution of initial cost transportation current case

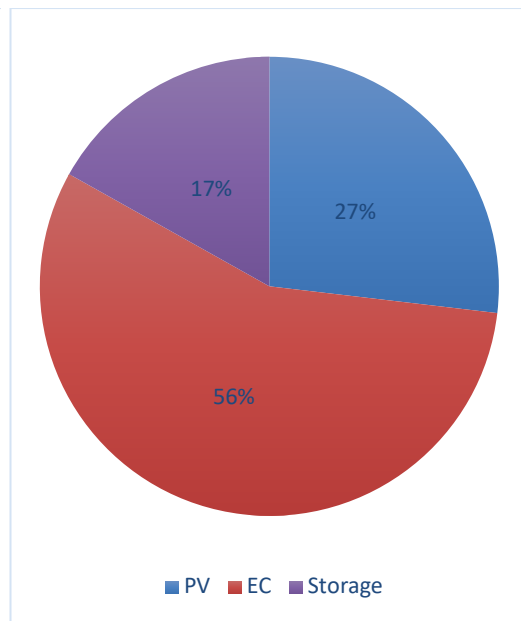


Figure 20 Distribution initial cost transportation target case

In order to replace the fossil fuel an investment, in both cases, in PV of 0.2 TWh is necessary. Table 17 shows the required system size to replace fossil fuels in diesel and gasoline in transportation.

Table 17 System size transportation

	Current case	Target Case
EC [TW]	4.2	4.0
Storage (incl. 10% margin) [TWh]	63.2	59.9
PV peak power installed [TW]	0.2	0.2

In the current case, LCOE is \$ 7.05 /kWh while the target case's LCOE is \$ 2.28 /kWh. LCOE for fossil fuel is \$ 0.24 /kWh.

If the cost for PV, storage, FC and EC would decrease by 90 % from the target case, an NPV equal to zero would be achieved. If no changes were to happen to the PV cost, the investment

would not have a point of break-even. Break-even could also be achieved if the price for fossil fuel would increase 10 times.

#### 5.2.4 Industry

When replacing coal use in steel production 15 TWh is needed, see 4.4. In order to do this, with the current case \$ 1.3 billions while in the target it would cost \$ 0.42 billion. In both cases are the major investment the EC, see Figure 21 and Figure 22.

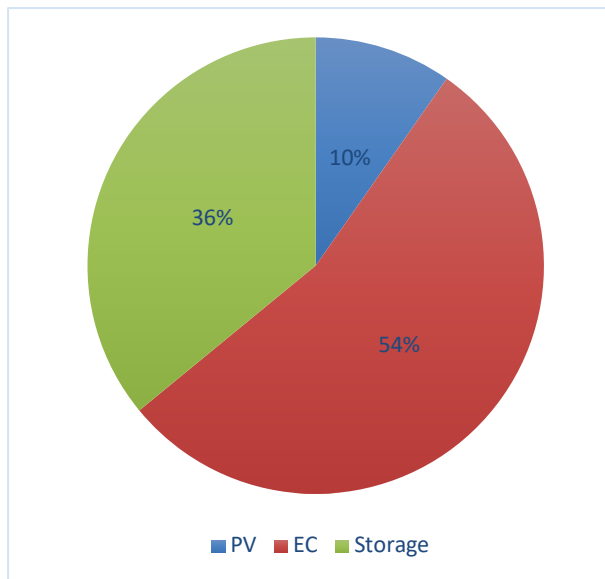


Figure 21 Distribution initial cost for industry in current

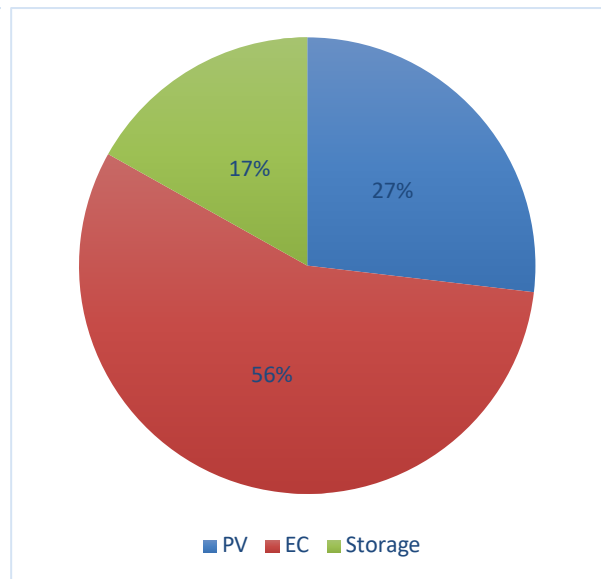


Figure 22 Distribution initial cost for industry in target case

Table 18 shows the needed size to convert 15 TWh of electricity into hydrogen. In the current case an electrolyser of 2.0 TW while the target case requires 1.9 TW.

Table 18 system size for industry in current

	Current case	Target case
EC [TW]	2.00	1.90
Storage (incl. 10% margin) [TWh]	2.72	2.53
PV peak power installed [TW]	30.00	28.45

## 6 DISCUSSION

This chapter contains discussion and analysis of results and theory. It is divided into sub-chapters according to the research questions in chapter 1.4.

As said in chapter 3, hydrogen can be used to decarbonize several sectors. In this study, transportation, agriculture and industry are decarbonized with hydrogen. For the building, hydrogen is used as energy storage in order to utilize VRES, in this case, PV.

### 6.1 Hydrogen applications

As said by literature, in chapter 1.1, is hydrogen mostly used in industry today. There are some projects in Sweden for other applications, such as the Zero Sun project described in chapter 3.6.1, the off-grid house described in chapter 5.1.2 or the fuelling station described in chapter 5.1.1.

Schoenung (2011) writes that utilizing hydrogen storage in combination with RES is an excellent way of taking care of over-production, see page 9. In both the Zero Sun project, mentioned in chapter 3.6.1, and in the off-grid house described in the interview with the technical director, see chapter 5.1.2, are based on having an over-production of electricity from PV which is then stored as hydrogen to be used later. These kinds of system are what Mansilla et al. (2018), see chapter 3.6.1, is placed at the end-consumer in an ordinary grid and form a so-called off-grid application. In the interview with the technical director, it is not necessary to use a hydrogen energy storage for going off-grid, but it can be used for back-up power.

Another application for hydrogen is to use it as vehicle fuel, which has started in small scale, for instance, the fuelling station in Mariestad described in chapter 3.6.2 and that there are at the moment five hydrogen fuelling stations operating in Sweden. Hydrogen has already been appointed as a possible replacement for fossil fuels, according to Cornander et al. (2018). The benefit of using hydrogen as a fuel is that usage of hydrogen does not contribute to emissions, see chapter 3.2.1, and that it has a fuelling time similar to conventional fuel, see chapter 3.6.2. The fuelling time is also confirmed by the interview with the development strategist, chapter 5.1.1, as it is said that fuelling a car with hydrogen takes roughly 4 minutes. As fuelling hydrogen takes approximately the same time as fuelling conventional fuels, hydrogen can be used for machines. In Table 7 it is stated that cars can use over-night charging as it is mainly parked while machines are mainly used and need to have shorter charging periods, for instance charging over breaks. With hydrogen, the fuelling would take roughly the same amount of time as it does today when machines are fuelled with fossil fuels.

Some of the aspects for implementation of hydrogen are storage and security, for instance, it is written in chapter 3.3 that on-board vehicle storage and transportation are crucial. In both interviews, it appears that compressed storage is used for both the off-grid house and the fuelling station. Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) claims that the issue with

compressed storage is that the tanks are large and heavy in comparison with others. As both systems in the interviews are stationary applications, size and weight are not a critical issue.

Both interviews say that today there is a lack of regulations and standards with regards to hydrogen outside the industry. Today it is the local fire department who evaluate and approve of hydrogen systems. In the interview with the technical director, it is said that having the local fire department approving hydrogen system causes issues with varying handling, but that work with standards for hydrogen is an ongoing progress.

In chapter 3.2.1, it is written that the total installation of FC 700 MW of FC is delivered for transport applications and approximately 290 MW for stationary applications in the year 2017. The size of EC needed in transportation is in the size of TW and from that it is reasonable to assume that FC needed is in a similar size. In comparison with the total installed capacity under 2017, such an investment suggested by the calculation would probably force a major increase in the production of components. In chapter 3.5, it is written that according to Demirocak et al. (2017) that a rising interest in battery-powered and hybrid vehicles has caused an expansion in the battery market. With a rising need for hydrogen systems suggested by the calculation might induce an expanding market for hydrogen components.

As said in chapter 1.1 are the success of hydrogen linked to the costs of emissions and fossil fuels, but also the political will. This study has not taken taxes on carbon emissions into consideration, but the sensitivity analysis has shown that an increased cost for alternatives can make hydrogen a more attractive solution. With regards to the political will, interview in chapter 5.1.2 says that today is hydrogen not at all at the political agenda and in order for hydrogen to succeed in Sweden it has to be that.

With security in mind, both development strategist and references say that hydrogen's fast dispersion is something that makes it hard to ignite. In the interview with development strategist, it is said that the fire department does not fear to introduce hydrogen as it has been used in industry for 100 years. According to the interviewee, the fire department sees greater risks with batteries.

## **6.2 Hydrogen production**

Hydrogen can be produced in several ways. In chapter 3.1.1 it is described that hydrogen can be produced from hydrocarbons. This has the downside that it emits emissions, for instance, CO<sub>2</sub> which makes it contribute to global warming. SMR contribute with 13.7 kg of CO<sub>2</sub> equivalent per net kg of hydrogen. Even though, reforming from hydrocarbon is the most commonly used hydrogen production technology.

A sustainable way to produce hydrogen is via electrolysis, where electricity is used for splitting water molecules into oxygen and hydrogen, see chapter 3.1.2. This process does not cause any emissions as long as it is done with emission-free electricity or that the energy is

not converted from fossil energy, which both the interview in 5.1.1 and literature in 3.1.2 support.

In chapter 3.1.2 it is said that according to Mansilla et al. (2018) is the production cost of hydrogen when produced with electrolysis linked to the cost of electricity. For building and agriculture, break-even calculations show that it to have a profitable investment it is also necessary to have cost reductions in PV. This implies that reducing cost for EC, FC and storage is not enough.

### **6.3 Hydrogen as energy storage**

Neither the current nor target case result in a profitable investment in the building application. Both cases result in a negative NPV and in order to have a break-even a serious cost decrease is necessary.

In the calculation, the investment cost for a hydrogen system in a building with the current scenario is \$ 277,550. This is slightly higher than the 2.5 million SEK that the technical director claims that the system in the off-grid home cost. The technical director says that the same system would cost approximately 1.5 million SEK if it was installed today. Costs that are almost the same in the current case for the building and the interviewee's system is the cost for storage. The interviewee says that the storage cost 625,000 SEK while the calculated cost approximately \$ 64,000.

LCOE with the hydrogen storage system for the building is in the current case \$ 4.91 /kWh and \$ 1.86 /kWh in the target case when only considering electricity. If considering recovering heat from FC LCOE would decrease by 12-13 %, but this is still considerably higher than buying electricity and heat from the grid.

In the interview with the technical director, chapter 5.1.2, there are no financial aids for supporting the implementation of hydrogen as energy storage. According to the interview, in order to start having financial support hydrogen must be placed on the political agenda.

The major investment in the building calculations is the EC while the interview with the technical director, chapter 5.1.2, suggest that the storage should be the most expensive component. In the interview, it is explained that the operation strategy for the off-grid home is that the EC runs both day and night. Such a solution demands a short-term storage, in the interviewee's case a battery energy storage, which can supply electricity to EC during the night. If the EC can operate during both day and night, a smaller EC can be installed as some of the excess electricity from the PV can be used to charge the short-term storage and it can be discharged during the night in order produce hydrogen.

Similarly, if the FC is only used for charging the short-term storage as it is in the interviewee's off-grid home, the installed capacity would not be decided by the maximum power demand as in the building calculation but the required time to charge the short-term storage and the capacity of the short-term storage.

## 6.4 Hydrogen as fuel

The LCOE for hydrogen in transportation decreases more than half between the current and target case but it is still cheaper to use fossil fuels. Similarly, it would be cheaper to use fossil fuel and grid-connected electricity in agriculture than change to hydrogen.

Using hydrogen as fuel in order to replace fossil fuels seems to be the most promising application. This is because, even though it still has a negative NPV in both current and target case, it requires the least cost decrease, only 90 % while building require 94 % cost decrease. It is still a major cost development, but it is the least decrease. Furthermore, the system can become profitable with the target case if the cost of fossil fuels would increase ten times. The claim that hydrogen has a better chance in transportation is supported by Mansilla et al. (2018).

As said by Rifkin (2002) and Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) are the issue with implementing hydrogen as fuel the infrastructure. When there is not sufficient infrastructure the public will not be willing to invest in hydrogen-fuelled vehicles. The calculations regarding transportation and agriculture show that major investments are necessary to replace fossil fuels.

In transportation a quite low cost for fossil fuels, only 12.90 SEK/L which is a mean value based on the current price for gasoline and diesel and the energy content. The prices for fossil fuels has been considerably higher than the value for calculation. In chapter 4.6 it is written that the maximum price between 2018 and the middle of April 2020, was over 17 SEK/L for both gasoline and diesel. Cornander et al. (2018) have a similar statement as Rifkin (2002), but that it also is applicable for both hydrogen and battery-powered vehicles.

It is said that political will is one of the decisive factors when it comes to implementing hydrogen. One thing that speaks for implementation of hydrogen is that several municipalities have decided to become fossil-free before 2030, this according to Cornander et al. (2018).

One other benefit of using FC instead than ordinary ICE. For the calculations an efficiency for ICE of 42 % while a normal driving cycle results in an efficiency of 10-12 %, see chapter 4.3. Both Viswanathan and Aulice Scibioh (2008) claims that FC operates at an higher efficiency and Table 11 shows it.

## 7 CONCLUSIONS

Today hydrogen is mainly used in industry but there is a future for using hydrogen as vehicle fuel and energy storage. There are some projects within these, but it has not spread throughout Sweden. It is also possible to use hydrogen to decarbonize iron and steel production by using hydrogen instead of coal.

In order to avoid CO<sub>2</sub> emissions, the best way to produce hydrogen is via electrolysis with emission-free electricity such as PV. When using VRES electrolysis can be run with excess energy for example when production is higher than demand.

Neither current nor target case gives viable investment for any of the investigated sectors. The closest sector to break even is transportation which requires either a decrease for component costs of 90 % from the target case or an increase of 10 times for used fossil fuels.

## **8 SUGGESTIONS FOR FURTHER WORK**

For future work within the subject a deeper analysis and calculations regarding the different sectors, this would include opinions from people within the sectors but also closer calculations with regards to load profile. It is also necessary to do closer studies on how performance and economics can be affected by operational strategies.

## REFERENCES

- About Zero Sun<sup>TM</sup>* | ZeroSun. (n.d.). Retrieved 24 March 2020, from <https://www.zerosun.se/page?id=24550>
- Andersson, R., Einarsson Lindvall, E., Simonson, F., Tillby, L., & Claesson, S. (2018). *Energihushållning i jordbruk—En vägledning för bästa teknik* (ET 2018:04). Energimyndigheten. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwj178m5pbDoAhVBw4sKHT7aAMEQFjACegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fenergimyndigheten.a-w2m.se%2FFolderContents.mvc%2FDownload%3FResourceId%3D109678&usg=AOvVaw1MnStODgDDAs7m8pS0BHFT>
- Ax, C., Johansson, C., & Kullén, H. (2015). *Den nya ekonomistyrningen* (5th ed.). Liber.
- Carlqvist, B. (2019, May 28). Unik vätgasmack invigd i Mariestad. *SVT Nyheter*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vast/unik-vatgasmack-invigd-i-mariestad>
- Comparison of Fuel Cell Technologies*. (n.d.). Energy.Gov. Retrieved 25 May 2020, from <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies>
- Cornander, A., Nilsson, K., Leisner, P., Alexandersson, A., Mörstam, M., Pervik, M., Eriksen, J., Carsten Gjerløw, J., & Lundblad, A. (2018). *The Blue Move for a Green Economy—Behovsstudie och teknikkartläggning av arbetsmaskiner* (RISE-2018-07-BM5.3-V1; p. 32). <http://www.scandinavianhydrogen.org/wp-content/uploads/2017/05/Blue-Move-rapport-WP5.pdf>
- Demirocak, D., Srinivasan, S., & Stefanakos, E. (2017). A Review on Nanocomposite Materials for Rechargeable Li-ion Batteries. *Applied Sciences*, 7(7), 731. <https://doi.org/10.3390/app7070731>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley. <http://site.ebrary.com/id/10683270>
- Energimyndigheten. (2017a). *Energiläget 2017* (ET 2017:12).
- Energimyndigheten. (2017b). *Transportsektorns energianvändning 2016* (ES 2017:01).
- Euro till SEK - Aktuell kurs och historisk utveckling*. (n.d.). Retrieved 8 June 2020, from <https://www.forex.se/valuta/eur>
- Fjärrvärme—Pris och kostnad*. (2020, March 10). Energimarknadsbyrån. <https://www.energimarknadsbyran.se/fjarrvarme/fjarrvarmeavtal-och-kostnader/fjarrvarme-pris-och-kostnad/>
- Gupta, R. B. (Ed.). (2009). *Hydrogen fuel: Production, transport, and storage*. CRC Press.
- Hansen, K. (2019). Decision-making based on energy costs: Comparing levelized cost of energy and energy system costs. *Energy Strategy Reviews*, 24, 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.003>
- Hemme, C., & van Berk, W. (2018). Hydrogeochemical Modeling to Identify Potential Risks of Underground Hydrogen Storage in Depleted Gas Fields. *Applied Sciences*, 8(11), 2282.



<https://doi.org/10.3390/app8112282>

*How HOMER Calculates the PV Array Power Output.* (n.d.). Retrieved 2 April 2020, from [https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/how\\_homer\\_calculates\\_the\\_pv\\_array\\_power\\_output.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/how_homer_calculates_the_pv_array_power_output.html)

*How it works | ZeroSun.* (n.d.). Retrieved 24 March 2020, from <https://www.zerosun.se/page?id=30258>

IRENA. (2017a). *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA\\_Electricity\\_Storage\\_Costs\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf)

IRENA. (2017b). *Planning for the renewable future: Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Planning\\_for\\_the\\_Renewable\\_Future\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Planning_for_the_Renewable_Future_2017.pdf)

IRENA. (2018). *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition* (p. 52). International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA\\_Hydrogen\\_from\\_renewable\\_power\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf)

IRENA. (2019). *Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)*. International Renewable Energy Agency. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA\\_Global\\_Energy\\_Transformation\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf)

Isaksson, B. (2020, February 5). *Biogasmarknadsutredningen och förbättrade villkor för biogas från lantbruk. Marknadsförutsättningar för förnybara drivmedel och arbetsmaskiner som drivs med förnybara drivmedel*. Nyfiken på biogas?, Katrineholm.

*Jämförelsesida.* (n.d.). Retrieved 16 April 2020, from <http://www.energimyndigheten.se/tester/jamforelsesida/?productTypeVersionId=378&comparisonProducts=1788,1790,1791,1792,1793,1794>

Jiang, J., & Zhang, C. (2015). *Fundamentals and applications of lithium-ion batteries in electric drive vehicles*. John Wiley & Sons Inc.

Jiang, X., Nan, G., Liu, H., Guo, Z., Zeng, Q., & Jin, Y. (2018). Optimization of Battery Energy Storage System Capacity for Wind Farm with Considering Auxiliary Services Compensation. *Applied Sciences*, 8(10), 1957. <https://doi.org/10.3390/app8101957>

*Ladda ner meteorologiska observationer | SMHI.* (n.d.). Retrieved 23 March 2020, from <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=wind,stations=all,stationid=97370>

Lindahl, J. (2017). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2016*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23848.26887>

Mansilla, C., Bourasseau, C., Cany, C., Guinot, B., Le Duigou, A., & Lucchese, P. (2018). Hydrogen Applications: Overview of the Key Economic Issues and Perspectives. In *Hydrogen Supply Chains* (pp. 271–292). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811197-0.00007-5>

Moran, M. J. (2015). *Principles of engineering thermodynamics: SI version*. John Wiley & sons.

Nohrstedt, L. (2017). *Norrländska huset drivs av solenergi*. Ny Teknik.

<https://www.nyteknik.se/energi/norrlandska-huset-drivs-av-solenergi-6877836>

Nordling, A. (2019). *Så klarar svensk industri klimatmålen: En delrapport från IVA-projektet Vägval för klimatet* (IVA-M 501). IVA. [https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201904-iva-vagval-for-klimatet-delrapport1-n\\_ver2.pdf](https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201904-iva-vagval-for-klimatet-delrapport1-n_ver2.pdf)

*Normal elförbrukning och elkostnad för villa*. (2020, April 21). Energimarknadsbyrån.

<https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/>

*PV Derating Factor*. (n.d.). Retrieved 9 April 2020, from

[https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/pv\\_derating\\_factor.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/pv_derating_factor.html)

Rifkin, J. (2002). *The hydrogen economy: The creation of the world-wide energy web and the redistribution of power on earth*. J.P. Tarcher/Putnam.

Sabeeh, B., & Gan, C. K. (2016). Power System Frequency Stability and Control: Survey. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(8), 5688–5695.

Säfstén, K., & Gustavsson, M. (2019). *Forskningsmetodik för ingenjörer och andra problemlösare*. (1:1). Studentlitteratur.

Schoenung, S. M. (2011). *Economic analysis of large-scale hydrogen storage for renewable utility applications*. (No. SAND2011-4845, 1029796; pp. SAND2011-4845, 1029796). <https://doi.org/10.2172/1029796>

Shafiee, S., McCay, M., & Kuravi, S. (2017). The Effect of Magnetic Field on Thermal-Reaction Kinetics of a Paramagnetic Metal Hydride Storage Bed. *Applied Sciences*, 7(10), 1006. <https://doi.org/10.3390/app7101006>

Sommerfeldt, N., Muyingo, H., & af Klintberg, T. (2016). *Photovoltaic Systems for Swedish Prosumers—A technical and economic analysis focused on cooperative multi-family housing*. KTH. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:917873/FULLTEXT01.pdf>

Srinivasan, S., Demirocak, D., Goswami, Y., & Stefanakos, E. (2017). Investigation of Catalytic Effects and Compositional Variations in Desorption Characteristics of LiNH<sub>2</sub>-nanoMgH<sub>2</sub>. *Applied Sciences*, 7(7), 701. <https://doi.org/10.3390/app7070701>

Srinivasan, S. S., & Stefanakos, E. K. (2019). Clean Energy and Fuel Storage. *Applied Sciences*, 9(16), 3270. <https://doi.org/10.3390/app9163270>

STRÅNG data extraction. (n.d.). Retrieved 19 March 2020, from <http://strang.smhi.se/extraction/index.php>

Svensk Energi. (2015). *POTENTIAL ATT UTVECKLA VATTENKRAFTEN – FRÅN ENERGI TILL ENERGI OCH EFFEKT*. <https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/bilder-gamla/potential-att-utveckla-vattenkraften.pdf>

SWECO. (2018). *Regionalisering av klimat- och energimål* (Rapport nr 16/2018). Länsstyrelsernas energi- och klimatsamordning. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.2c30d6f167c5e8e7c0252bc/1550068220795/Regionalisering%20klimat%20och%20energimål%20-%20rapport%202018.pdf>

Thomas, C. E. (Sandy). (2015). *Sustainable Transportation Options for the 21st Century and Beyond A Comprehensive Comparison of Alternatives to the Internal Combustion Engine*.

USA-DOLLAR - USD. (n.d.). Retrieved 20 April 2020, from <https://www.forex.se/valuta/usd>

Vätgas Sverige. (n.d.). *Tanka*. Vätgas Sverige. Retrieved 18 March 2020, from <http://www.vatgas.se/tanka/>

Verhelst, S., & Wallner, T. (2009). Hydrogen-fueled internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 35(6), 490–527. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.08.001>

Viswanathan, B., & Aulice Scibioh, M. (2008). *Fuel Cells: Principles and Applications*. CRS Press.

Weimar, A. (2020, April 3). Höjda priser på diesel och bensin att vänta. *ATL*. <https://www.atl.nu/entreprenad/hojda-priser-pa-diesel-och-bensin-att-vanta/>

# APPENDIX 1: INFORMATION LETTER AND INTERVIEW QUESTIONS FOR INTERVIEW WITH DEVELOPMENT STRATEGIST



## Information angående intervju

Du är härmed inbjuden till att delta i en studie angående vätgas och hur den kan användas i framtiden.

Denna studie är en del av en masteruppsats på akademien för Ekonomi, Samhälle och Teknik på Mälardalens Högskolan. Målet med arbetet är att undersöka den nuvarande användningen av vätgas i Sverige samt dess framtida användningsområden inom energilagring och bränsle till bilar, lastbilar, entreprenad- och lantbruksmaskiner. Anledningen till att denna studie genomförs är att vätgas är en mångsidig energibärare som kan användas både för lagring och bränsle något som är nödvändigt när andelen förnyelsebara energikällor som exempelvis solkraft och när de fossila bränslena fasas ut.

Ditt deltagande i denna studie kommer att bestå av att delta i en intervju. I denna kommer då få möjlighet att besvara frågor gällande vätgas och dess användningsområden.

I rapporten kommer dina svar att pseudonymiserade genom att ersätta ditt namn med din titel. Detta innebär att ditt namn inte kommer att förekomma i rapporten eller dess bilagor.

Ditt deltagande kommer att gynna studien genom att tillföra åsikter och tankar som du och din organisation har angående vätgas.

Deltagandet i denna studie är frivilligt och **du kan avbryta ditt deltagande i studien genom att kommunicera detta till undersökaren, dock senast 10 maj 2020.**

Frågor som du ej vill besvara kan du be intervjuaren hoppa över.

Tack för ditt deltagande!

Med vänliga hälsningar,

Katarina Björkman

[kbn15004@student.mdh.se](mailto:kbn15004@student.mdh.se)

## Intervju angående vätgas

1. Vad är din titel och vilken typ av organisation representerar du?
2. Vilken typ av vätgasprojekt är kommunen intresserad av eller har genomfört?
3. Varför har ni valt att satsa på vätgas?
4. Vad hoppas ni åstadkomma som kommun med era vätgasprojekt?
5. Enligt artikeln *Unik vätgasmack invigd i Mariestad* av Bosse Carlqvist använder hemtjänsten bilar som drivs med vätgas. Hur många vätgasbilar har kommunen idag? Är planen att utöka detta antal?
6. Vad har er personal sagt om att använda vätgas som bilbränsle? (Detta inkluderar både personal som kör vätgasbilar och de som inte gör det.)
7. Vad händer om vätgastanken är full men att solcellerna fortfarande producerar el?
8. Har tankstationen hittills varit en lönsam investering? Om inte: vad kommer att krävas för att göra den lönsam?
9. Har det varit några problem under planeringen, byggandet eller driften av tankstationen? Om ja: vad för problem och hur har ni löst dem?
10. Vad har varit det största hindret för er när det kommer till satsningen på vätgas?
11. Vätgas Sverige har skrivit att kommunen planerar att bygga en självförsörjande förskola. Varför en förskola och har allmänheten uttryckt någon oro för detta? Har allmänheten uttryckt någon oro över era vätgasprojekt överlag?
12. Hur ser ni på säkerhetsaspekten och vilka förebyggande åtgärder har ni implementerat? (Gäller både tankstationen och förskolan.)
13. Vilken kapacitet har tankstationen och hur stor kapacitet kommer förskolan att ha?
14. Vilka ekonomiska krav ställer ni på era vätgasprojekt?
15. Vad kommer att krävas för att andra kommuner, företag eller dylikt ska satsa på vätgas?



## APPENDIX 2: INTERVIEW WITH DEVELOPMENT STRATEGIST

Genomförd 2 april 2020 via Skype.

I: Intervjuare, R: Respondent, [text]: intervjuarens ersättningar eller kommentarer

I: Men vad är det egentligen din titel och vilken typ av organisation är det som du representerar?

R: Jag sitter ju, eh, då under samhällsbyggnadsavdelningen, kan man ju säga. Så då ser hierarkin ut så att det så det kommer en chef, samhällsbyggnadschef, tillväxtchef och sen kommer jag då. Och min titel är utvecklingsstrateg.

I: Okej, och det innebär att du styr eller föreslår hur utvecklingen i kommunen ska ske då, eller?

R: Mm, och mitt första, eh. Vi är ju en väldigt flexibel kommun och det kan jag väl säga att det särskiljer lite från. Jag har ju varit i min tidigare roll, var jag regionråd i [Landskap], eh, så jag har ju jobbat politiskt innan och det jag kan säga är ganska flexibel på arbetsuppgifterna, så att säga, på så vis. Eh, jag ansvarar för konceptet för [projekt], som är liksom ett koncept där vi samlar projekt inom hållbar omställning, kan man säga. Och [projekt] kom egentligen till 2015 när kommunen och näringslivet satte sig ner, och ville ha en industriell förnyelse, för jobb försvann och sådär och man såg att det fanns affärer att hämta i det här om man ställde om och gjorde allt klimatsmart enligt Agenda 2030 och så då. Men just kopplat till min titel då, så är det mitt huvudansvarsområde sen är jag sån att i min roll ligger också att bredda det. Så ser jag andra saker i kommunen, som jag säger, ja men det här behöver utveckla, som den här grejen jag håller på men nu då när jag samordnar varudistribution. Då har jag lite fria händer att lyfta sånt, liksom. Det kan ju va någonting annat jag ser i någon annan avdelning, så är det fritt fram att göra det liksom, ja.

I: Okej. Och vilka vätgasprojekt är det som kommunen har varit intresserade av och har genomfört?

R: Eh, vi är intresserade av alla typer, kan man säga. Vi har ju, eh, tittat på alla möjliga lösningar, allt från laddskenor och vi är med i laddinfrastrukturen och allt möjligt men vi har ju sett. Tidigt så såg vi, vårt kommunalråd [namn på kommunalråd] då, eller kommunstyrelsens ordförande som [hen] är, att vätgas var en grej och då var det en tankstation övers 2015 i ett projekt i Danmark som [hen] kom över egentligen, fick tips om. Det var så det började med just vätgasen då. Åh, han hade sen länge trott att det här var framtiden då. Så att vi har varit intresserade eller är intresserade av en mängd olika projekt och har gjort ansökningar till Energimyndigheten, Trafikverk, Ingvar Kamprads hållbarhetsstiftelse, eh, där vi också har fått beviljat pengar med Linköpings universitet där vi är en part då, för att titta på det här. Eh, och vad vi är intresserade av är ju alla typer av transporter: tåg, bil, båt kan man väl säga, cyklar, vi har tittat på allt, alla möjliga grejer inom



infrastruktur. Men vi också kommer bygga en förskola med den här lösningen då. För den här systemlösningen är ju så unik och det som är roligt med den är ju att den är. I den här processen där det spjälkas i en elektrolysör, där du får vätgas och syre, så kan du ju verkligen visa ett cirkulärt system. Eh, du skulle ju kunna, till exempel, i jordbruket ha en traktor som går på väte, vätgas, och så skickar du in syret i landbaserad fiskodling så får du ett cirkulärt system som är fossilfritt, om man har solceller eller vindkraft eller någonting annat kopplat till det då, och inte kör på fulel så att säga då. Så att det är lite bredd i frågan jag försöker ge dig men vi är intresserade av det mesta och försöker jobba brett och försöker ha någon, liksom, typ av strategi "ira" i olika delar. Och det vi redan har gjort då det är ju tankstationen som är kopplat till solcellerna och där vi har köpt in 14 vätgasbilar till kommunen och jag har ett uppdrag att beräkna det här och se hur det här kan se ut på sikt och vi ser väl att ungefär vid 50 till 100 bilar kanske vi når någon ekonomi som är riktigt bra i det här också plus att vi kan ta bort CO<sub>2</sub> utsläppen i bokslutet då, miljöbokslutet. Så att det finns ju många vinster i det, så att säga, och det är väl lite svar på fråga 3 då.

I: Mm precis, varför ni har valt...

R: Precis varför vätgas? Jo det för att det är bra. Det är så himla bra just det här att man kan lagra allting. Har du en vindkraftpark, så idag får du ju inte betalt för vissa tidpunkter. Då skulle man kunna lagra det i vätgas och köra ut det när man får betalt. Eh, och lika med solceller; då är det många som säger så här: ja men effektförlusten då? Ja den är ganska stor, den är 40 % eller nåt, men det är ju ointressant för solen skickar ju ingen faktura. Eh, och sen kan man ju också få till svar: ja men när det är snö då? Ja men då är det ju det att då lagrar vi i de här containrarna då som vi har. Där vi har en vätgaslagring så att vi kan lagra upp dem med lite mer sol och sen när vi behöver det och inte solen skiner och ger så bra effekt på det där då kan vi hämta det ur lagret då. Mm, vad hoppas vi åstadkomma? Ja det är ju att få en hållbar omställning, det är ju stora målet. Men vi ser ju att när vi har gjort det här nu och blivit lite omskriven och fått vara i media och så, då gynnar det våra etableringar. Folk hör av sig mer och mer hit och vill ha samverkan och de vill flytta hit sina företag, och det uteslutande såna med hållbara affärsidéer. Och det är väl den roligaste effekten, kanske som jag ser det då.

I: Så det har helt enkelt blivit PR av det också?

R: Ja absolut. Det har ju verkligen satt [Kommun] på kartan, men just att vi attraherar just rätt typ av företag, att vi har dem som vill vara i det här hållbarhets segmentet. Det är det mest intressanta egentligen då, för framtiden liksom. Mm, sen ska vi se här. Hemtjänstbilarna. Aa precis, vi har ju 14 bilar och vi planerar att utöka det men det måste vi göra när leasingar går ut och på ett hållbart sätt. Så vi gör det lite eftersom andra bilar löper ut i avtal och så där då. Och de vi kan få tag på, det finns ju bara 50 bilar i Sverige idag på vätgas och det där kommer ju öka men just nu får vi våra bilar via EU-projektstöd och sånt då. Men vi planerar att utöka det eftersom, vi har ett kommunstyrelsebeslut om det, så det är vårt mål. Eh personalen. Nej, men jag kör ju också de här titt som tätt med grupper och ibland testkör vi med medborgare, för skoj skull så de får känna på dem och så, och besökare. De som



jobbar här och det är, jag kan säga det är väldigt lätt att ställa om, och det tror jag ska människor ska ställa om ska det vara enkelt. De tankas på 4 minuter och går lika långt som en vanlig bil. De vi har nu går 40 mil men de som är nu när det bli massproduktion från i år och nästa år, på nästa alla stora bilmärken, de kommer gå en 60–80 mil, då. Eh, och köra dem är precis lika, de går väldigt tyst och fint, och ja, det är ingen skillnad känner jag. Nästa så att det är roligare att köra dem än min egen bil, men det är ingen... Komfort och allting är jättebra.

I: Har personalen uttryckt någon form av oro över just det här med vätgastankningen?

R: Ja, den där frågan kommer nästa alltid upp när man föreläser eller liksom eller, det har kommit upp sånt också. Absolut, så kan det vara och då brukar väl jag säga; all typ av gas måste hanteras enligt lagar och regler. De här bilarna är precis som vanliga bilar, testade med tankar och sånt. Går det håll på en bensintank kan den också explodera om det är farliga lågor i närheten och sånt såklart. Vätgas kan ju också explodera men då är ju de här vätgastankarna, så är det sensorer och ventiler som gör att det ska släppas ut så fort det blir ett håll i den här tanken. De här är ju testade, det finns på Youtube klipp om det här. Man har ju skjutit på dem och allt möjligt för att testa dem då, men om det värsta skulle hända, att det går håll, då finns det såna här ventiler som löses ut och så sticker vätgasen iväg uppåt. Den är väldigt flyktig och sticker ju iväg snabbt och för att det ska bli en explosion måste den då flyttas in i ett tom... eller ett utrymme och där måste syret, när den blandas med syre i en viss mängd då exploderar den då. Men det här är ju tänkt att det ska sticka iväg innan då, såklart. Eh, och om man lyssnar på räddningstjänsten och sånt så är inte de så oroliga för vätgasen i sig. De är mer oroliga för till exempel litium-jonbatterierna som vi använder idag för de slutar ju aldrig brinna. Så där i de bilarna har man mer, liksom, aa men de känns läskigare för dem. För vätgas har ju används i industrin i 100 år, så det är ju liksom ingen nyhet för räddningstjänsten till exempel då. Men man får ju berätta det här för gemene man då och sen så finns det nu en europeisk standard för hur man ska bygga såna här stationer, för det finns över 850 såna här tankstationer i Europa och många länder bygger ju ut det här nu. Så att vi tänker väl att det kommer ju en svensk standard som man börjar jobba på nu i februari och sen ska vara klar om ett år då. Så då tror jag att alla vet hur man ska hantera om man bygger såna här stationer och vilka regler som gäller då. Men det är ju lite lika bensinmackar, jag vet inte hur det är där, men jag tror man pratar 100 meter ifrån, liksom, allmän bebyggelse, aa eller jag vet inte riktigt, men såna där saker så. Jag vet inte vad det kommer stå i den där men... Men det är väl lite svar på frågan så där då.

I: Absolut. Och eran vätgasstation där. Den är... Den går ju på solceller, men när vätgastanken där är full, vad händer då egentligen?

R: Ja, det är ju det som jag var inne på förut, den blir ju inte full för det lagras då i... Det lagras i containrar, den solenergin som vi får vätgasen av då. Den vätgasen lagras i containrar tills den dagen vi trycker på tankknappen, så att säga. Så det är lagring där då.



I: Okej. Hur stor lagringskapacitet har ni ungefär?

R: 4000 kg kopplat till solcellerna, men själva anläggningen är dimensionerad för 40 000 kg. Så om vi bygger ut solcellsparken, då har vi chans att tanka 40 000 kg i den då. Och på ett kg kommer du ungefär 10 mil då. Och vi tar 90 kr idag och det beror på att när det här började hade man ju inte de här beräkningarna som jag har pratat om, utan dem sitter jag med nu. Och då kan väl jag säga, även om du spelar in då att, jag har ju suttit och tittat lite. Och på 4000 kg så kanske det är fortfarande lite dyrt. Eh, vi har ju nu bara tagit ut en avgift, snittpriset på vätkärl liksom i Europa ligger på mellan 80 kr kg till 110. Vi har valt att lägga oss på 90 för att man inte hade någonting att gå på när man började, men jag ser ju det att om vi kan öka på solcellsparken lite, då kan vi komma ner ganska snabbt till 5 kr kg och då är det riktigt försvarbart alltså. Det är det ju redan vid 90 kr, det är ungefär översatt är det 9 kr litern. Så men jag håller på att räkna på det och om vi skulle ta ut den till den klarar blir det ännu bättre pris. Men jag håller på att titta på sånt nu och försöker få en bild, du vet, så att man har när folk frågar. Många frågar: vad kostar det? När vi byggde den kostade den, det kanske kommer längre ner men jag bara berätta lite snabbt. Den kostade ju då 19 miljoner 900 tusen, i allt som alla kringkostnader med solcellspark och allt. Sen har vi fått ungefär 8,5 miljon i stöd. Men det här är så gamla siffror, genom att det byggs nya hela tiden i Europa går ju priserna ner. Så vi har väl ungefär fått den uppgiften att halva priset av det vi betalade är det idag då. Och då måste man ju sätta det här i relation, tycker jag, vad kostar det att bygga en bensinstation idag, eh, och vad kostar det om jag bygger en vätkärlstation och vad är vinsten för samhället i stort. Det är inget CO<sub>2</sub>-utsläpp om jag bygger vätkärlstation medans jag vet vad jag gör om jag bygger en bensinstation. En bensinstation går på mellan 5–8 miljoner att bygga och kostar då den här vätkärlstationen halva priset, då hamnar vi ju runt en 10 miljoner kanske om vi saltar på lite för den för det är fortfarande en ny teknik. Då börjar vi ändå närma oss en ganska rimlig möjlighet att det kanske är lika bra att satsa på en vätkärlstation, om jag ska vara dit jag vill komma liksom.

I: Mm.

R: Mm. Eh, lönsam investering? Aa, i sig så är ju inte det initialt. Det vi ser är ju om ett par års sikt så kommer vi ju räkna hem den på grund av att vi tankar våra bilar och sånt. Men det föder ju med andra saker. Det är ju konceptet [projekt] som är som att satsa på, om man ska jämföra, jag har ju bett [Företag] räkna på, enligt sin "SEK"-metod. De har räknat på sånt här förut; om vi etablerar ett hotell, vad ger det? Aa, det är tio tjänster, det är 16,5 för det är massa kringtjänster också. De har gjort det på Kolmården, på ishallar enligt en beprövad forskningmodell då. Och jag har låtit dem göra det på [projekt] och vi har bara presenterat den lite kort än så länge, den är färdig men nu vart det här Coronan så vi har gjort något mer. Men då ungefär kan jag säga att [projekt] har gett 25,5 årsarbetare för det har blivit massa kringjobb och vi har fått lite arbetstillfällen kopplat till det här också då. Sen, då har vi inte tagit in något goodwillvärde för just det här PR för det har ju verkligen satt [Kommun] på kartan. Så det kan jag säga, om jag hade satsat det i en firma där jag skulle



marknadsföra någonting så i reklampengar så har vi räknat hem det många gånger om. Nu vart det ju Corona men vi har haft väldigt bra tryck på etableringsförfrågningar hit till [Kommunen]. Så i det hänseendet så finns det ju flera värden som man kanske inte kan direkt sätta i siffror och ören då, mer än de här 25 årsarbetarna som ändå är enligt en beprövad modell, man har tittat på det då.

I: Precis.

R: Eh, och då har vi tittat på [projekt] i sig och sen har vi tittat på hur det kunde se ut på 3–5 år framåt. Nu kommer det bli lite inbromsat på grund av den här krisen men om man hade tittat på det så har vi gjort ett framtidsscenario också. Det ser ju väldigt bra ut, liksom, men det tar jag inte in nu men bara så att du vet hur vi har tänkt då. Mm.

I: Och hur har det varit under med det här med planeringen, byggandet och driften; har det varit några problem med det?

R: Ja, det har det varit och då brukar säga såhär: Vi är en test- och demonstrationsplats och vi är först i världen med att göra en sån här grej, det är klart att det blir problem som ska lösas. Då har det varit, ja, förutom leverantörens problem, det vet ju inte jag om vad de har haft när de står där och skruvar ihop sitt system som är liksom deras innovation, det kan jag ju inte. Däremot har det ju varit mycket det här med hur ska certifiera, du hörde ju själv att man ska ha en standard för Sverige klar om ett år och då har ju vi stött på patrull för då vart det ju räddningstjänsten som ska godkänna det här. Och vår anläggning, vi har ett preliminärt godkännande men i höstas tog man ett krafttag för hela landet där MSB har varit inblandade, vi har haft brandskyddskonsulter och där man ville titta på alla av de här typerna av anläggningar som byggs i landet nu då. Eh, och det tycker väl vi var bra för då börjar bli att det blir något enhetligt så att inte, för det är ju varje räddningstjänst själv som ska då tycka till om det här och det är en helt ny systemlösning och bransch egentligen. Så det blir väldigt godtyckligt upp till enskilda tjänstemän på räddningstjänsten, hur de ser på det här. Lite varvid det; hur, vad tycker de om vätgas, vissa kanske har jobbat med det länge så de tycker det här hanterar vi och vissa kanske, nej men det här är läskigt, liksom. Så det där är ju bra om man får någon enhetlig standard, för det tycker jag är ett problem, för det har varit ganska mycket turer i det där då, som så då. Eh, men annars då. Det kan vara lite stopp ibland med tankstationen men vi har ju ett serviceavtal med leverantören, så det har kommit igång. Vi har aldrig haft några långa stopp utan vi har aldrig, liksom, hamnat i klistret så då. Hittills då.

I: Precis och när. Vad har egentligen varit det största hindret för er när det kommer till eran satsning på vätgas?

R: Ja, men det är väl, jag ska inte säga att det har varit mer eller mindre här i [Kommun] för jag har inte varit med från början, men alltid är det ju hindret är ju problemsökarna. Antingen är man problemsökare eller så är man en möjliggörare, och hindret är ju alltid de som vill hitta problem, och liksom med. Och sen när man använder offentliga medel så är det klart att det är vanskligt att göra såna här



satsningar på sitt vis också. Men jag brukar ju säga det till de som vill hitta problem, men jag vet ett biogasprojekt uppe i Sundsvall där man satsade 100 miljoner som man bara la ner. Här har vi satsat 20 och det har gett både arbetstillfällen och vi har fått jättemycket positiv feedback på det, och vi har ju jobbar ju på med det så det här kommer ju kunna räknas hem många år framöver. Så jag tror det är mer de här som vill hitta, ja man vill hitta nåt fel, liksom. För att det är ju... I min tidigare roll när jag har suttit och fattat beslut om både biogas och andra typer av lösningar för att få energi för att få fossilfritt, som man säger. Så tycker väl jag att vätgasen faktiskt är lite unik för att den är så bra att lagra och jag... Det som också har varit ett problem är att många som har jobbat med biogas, det kan jag ta upp, de har ju varit motståndare när vi kommer och söker stöd och sånt. För det finns många tjänstemän som har jobbat med det i olika organisationer och de förstår inte att det här är ett komplement, och att det är ett väldigt bra komplement för man kan ju använda vätgasen i biogas för att förhöja energivärdet och den här delen kanske du kan bättre än mig men det är vad jag har lärt mig i alla fall. Och sen är det en annan del med biogas, det är mycket transporter i det som är inte riktigt försvarbart men man har ju investerat så mycket i de här anläggningarna så man har ju liksom blivit, låst fast sig själv lite, och det kanske inte har gett den där fantastiska och ekonomiska vinningen som man trodde och då blir ju det här ett hot kan jag ju säga, har ju varit problematiskt. Så det jag försöker göra, vad är det för problem, hur har vi löst det. Jo, då brukar jag alltid säga det i mina föreläsningar att jag tycker biogas behövs också, det är inte det men vi behöver en mängd olika möjligheter för att ställa om, varav vätgas är en väldigt bra möjlighet, ungefär så, för att undvika det här då att de ställs mot varandra. Och det ingår ju i nästa fråga också där ja.

I: Precis, vad... Om eran förskola där, om allmänheten. För det här handlar ju om föräldrar och pedagoger som kanske inte kommer i kontakt med det här på samma sätt.

R: Mm, vi har ju då dragit igång redan tidigt nu en, vi har möten mellan kommunikation i kommunen, förskolechefen och jag vi sitter tillsammans och vi kommer göra en liten utställning i förskolan, hur det här systemet funkar och vad man kan använda det till, som vi jobbar stenhårt med. Och sen oro, det är ju precis som alla andra, man kan ju åka och tanka på tankstationen och ha barnen i baksätet och vara rädd även där idag. Så det vi kan berätta om är ju hur vätgas fungerar och att det finns säkerhetsventiler, i förskolan så lägger vi teknikhuset med gott avstånd så att inte det ska komma för nära, liksom, ifall det skulle hända en olycka då. Som det går ju aldrig att utesluta, liksom, så att man måste va bara tydlig och att man gör på rätt sätt och sånt då.

I: Precis och där går vi in på säkerhetsaspekten, både för tankstationen och den här förskolan. Hur har...?

R: Det är att hålla sig till, precis som om du bygger något annat med farligt, med brandfarlig vara, man får hålla sig till lagar och regler som finns. Och förklara lite hur vätgas funkar och så då.



I: Och vi var redan inne på innan kapaciteten på tankstationen men hur stor kapacitet tror ni att förskolan kommer att ha?

R: Vet du, nu när jag ser, de siffrorna kan inte jag än. Jag vet inte om det är exakt 100 spikat, exakt hur många solceller det kommer ligga på taket där och hur det kommer bli liksom. Så det kan jag inte.

I: Nej, absolut. Kommer ni även ha någon form av utbyte mellan tankstation och, eh, förskolan? Ifall förskolan skulle ha lågt med lagring, så att ni tänker på att tanka över från den ena till den andra på något sätt?

R: Ja, det är ju inte helt omöjligt att man gör så, för så kan det bli vid, om det händer något, i kris så kan det vara helt rimligt att göra så då. Det tycker jag. Så att absolut.

I: Och sen återigen det här med ekonomin. Vad har ni egentligen för ekonomiska krav? Vill ni att det ska prestera likvärdigt mot den tekniken som finns idag eller har den någon form av, vad ska man kalla det, rabatt för att den är förnyelsebar? Om ni jämför mot...

R: Ja, jag förstår vad du menar. Vi har inte tagit nåt sånt ställningstagande som exakt säger nu men, asså, vi vill väl att vi ska kunna visa ekonomi och det är därför jag räknar på det här så noga, för jag har inte sett någon annanstans i världen. Jag har ju letat där man räknar så noga, man bara drar igång de här projekten. Man räknar ju på projektpengar men just hur det långsiktiga: hur många bilar behöver vi tanka för att nå break-even? Asså, hela det här då. Eh, men jag tror väl att i vårt fall så är vi test- och demonstrationsplats som i det offentliga, som visar hur vi kan gå före med ny teknik. Sen ska ju vi, våra vätgasprojekt om jag ska se till dem som vi driver i projektform de har ju en projektbudget och den håller vi oss till, ren krasst då.

I: Och vad tror du kommer krävas för att andra kommuner och företag ska gå i era fotspår och satsa på just vätgas?

R: Ja, jag tror det behövs. Vi har ju skickat in en annan ansökan som jag tänkte berätta för dig om, och det är att vi skickade in en ansökan på fuel cell and hydrogen for europe för att man ska ta ut tio piloter i EU som ska få jobba på sin region och sätta ihop en vätgasstrategi. Det kan man ju säga att det gör ju vi redan här, vi har ju, ja du hör ju själv, jag har ganska bra bild över vad som finns och hur det ser ut och allting. Men varför jag vill ha kontakt i EU, därför vi har ju till exempel en leverantör idag, [Företag], men vi behöver ju kontakt med flera i den här branschen, så att inte vi ska bli så sårbar heller som kommun liksom. Eh, så att jag tror dels behöver man, så jag hoppas att vi kanske får bli en av de här tio för jag tror att då får vi lite mer tryck i frågan. Och vad krävs? Det är nog det vi gjort; man får marknadsföra det med redaktionell text eftersom jag inte direkt har någon marknadsföringsskuld så har jag varit noga med att skicka till tidningsreporta... eller till tidningar och så. När vi hade invigning i våras började, så jobbade jag väldigt hårt med just mediabilden och få ut det i media, vara ute och föreläsa och ställa upp då som offentlig aktör på de delarna för att sätta det på kartan. Och sen uppåt också lobba politiskt så att man får en förändring på riks... man på nationell nivå i Sverige vågar ta ställning och ha en strategi för Sverige, för det har många andra länder med inte Sverige. Så det man



måste jobba på flera olika flera olika plan, liksom, men nu har det ju börja hända grejer kring vätgas just. Jag vet ju att det är flera kedjor igång och tittar på att göra det här i Sverige, nu kom ju den här Coronan och om inte det hade varit så hade vi snart, vet jag, haft ett pressmeddelande på lite sånt ute. Så jag tror att det här är på gång men, lite här och där. Så vi kommer nog få se en rätt snabb utveckling för hela omvärlden ställer ju om. Jag vet inte om du har sett det men jag kan ju måla ut det lite utanför frågan men det här med Nikola trucks i USA, de har ju... Jag hade nätverket för tunga transporter i Sverige här för några veckor sen och då sa jag det till dem: vad gör ni om hela ICA säger att vi ska bli hållbara, då står ni där med dyra lastbilar som inte är hållbara och så har vi en uppstickare som rundar marknaden och inte har någon tung utvecklingsportfölj i bakgrunden och de heter Nikola trucks, en ung entreprenör Trevor heter han. Han har ju fulltecknade orderblock och levererar ju nu tusen lastbilar till Norge, tusen till Österrike och så vidare. Och i Trondheim testar man ju redan, ICA:s motsvarighet i Norge Asko, testar ju fyra vätgaslastbilar, Scania lastbilar i Trondheim just nu. Så det är redan här och då tror jag ändå att jag fick dem att, liksom, ja just det. Det är ju redan, liksom, det här kan hända, det är inget som kommer hända om 5–10 år utan det handlar i närtid då, för att vara lite tydlig i frågan. Så att, och alla stora biltillverkare har ju det här i ordinarie lina i fabrikerna med vätgasbilar. Audi sa förra sommaren: vi hoppar nu elbilarna och går direkt på vätgas, för vi har inte råd med mineralerna i batterierna. Och det vet vi ju att, det är ju den största klon i det här med mineraler och exploatering av barn och annat, det har ju belysts väldigt väl nu så jag tror att... att vätgasen har nog en ganska bra... Och det är bara att titta på börsen, alla alla svenska bolag Powercell, Impact coating, alla de som är i den här branschen har ju stigit radikalt, precis innan det här kom nu då, så har ju de bara klättrat uppåt och uppåt. De har ju gått upp, Powercell gick ju upp 150 kr här i början året på bara någon vecka. Och det är mycket spekulationer men jag tror att vi kommer få se en ganska. Det är en ny, ung bransch som är lite som håller på att blomstra ut, kan man säga. Och det är inte något långt bort, det tror jag inte. Ja, det var väl ungefär lite om det hela då.

I: Ja. Jag har fått jättebra svar och jag är jättenöjd, och det har varit väldigt betydande att höra hur ni ser på det här. Det är en sak att sitta och läsa rapporter och vad de säger och vad de tycker och så där. Och det är väldigt skönt att höra från eran sida som statlig, offentlig sektor, vad ni har för tankar och sådär. Så att jag är jättetacksam för att du ställde upp på det här.

R: Ja, det är roligt att du har valt det här, för du är en också, eh, bidragande orsak till att man kanske borde ha satsat, att du bara tar dig an det här ämnet för det är viktigt alltså som jag ser. Så det som är för Sverige också är att det som vi har känt lite här med, vi är lite... jag har varit egen förut i ex antal år, min chef också, vi är ganska många entreprenörer på avdelningen. Vi ser ju jättemånga exportmöjligheter för Sverige i det här och vi har känt oss lite stressade att man inte har någon nationell strategi för nu ser vi hur hela omvärlden springer i det här liksom. Så det kan väl vara lite bra för dig att ha med dig, att vi tror att det är en framtidsbransch. Så vill du jobba inom den här nischen så tycker jag att du ska göra det, för det är en bra framtid tror jag.

I: Det tror jag också. Jag kommer själv från, min familj är bönder och jag såg problemet där med att allt, de är så fossilt beroende...

R: Ja precis.

I: ...med traktorer och alltihopa. Och där finns ingen plan riktigt.

R: Nej, nej. Det har ju jag stött på, du vet jag har försökt få tag på bönder också som vill vara med här men det har varit lite svårt för de har så fullt upp och liksom bara överleva, och det har jag förståelse för. Men nu har vi faktiskt kommit i kontakt med några, ett lite större säteri kan man säga, som har lite muskler. Och då får man väl tänka att vi tror att de kanske kommer igång med något och då har jag tänkt att, ja, man hade velat rädda de här kanske lite mindre bönderna också. Men om de här som lite, som kanske har lite muskler kan gå före så kanske det är bra, liksom.

I: Precis. Det måste ju vara någon som har orken och kraften att påbörja ett sånt här projekt och driva igenom det.

R: Ja visst, det är det också.



## APPENDIX 3: INFORMATION LETTER AND INTERVIEW QUESTIONS FOR TECHNICAL DIRECTOR



Informationsbrev 2020-04-02

### **Informationsbrev om medverkan i en intervjustudie till kandidat och mastersexamen inom energiteknik**

Du tillfrågas härmed om att delta i en studie för att utöka vår kunskap inom självförsörjande energisystem. Intervjun uppskattas vara under 90 minuter och kommer att genomföras av 6 studenter samt 3 handledare från Mälardalens Högskola. Resultatet från intervjun kommer att analyseras och redovisas i vår kandidat samt mastersexamen.

Syftet med intervjun är att analysera och få en inblick över användandet av självförsörjande hus som inte är kopplade till elnätet främst från en ekonomisk och energiperspektiv.

Din medverkan är frivillig och kan när som helst avbrytas. Intervjun tar plats på Microsoft Teams där deltagandet filmas och spelas in med ditt tillstånd. Inspelningen kommer att försvaras så att obehöriga individer inte har tillgång till den.

Denna studie ingår i examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i energisystem samt högskoleingenjörsprogrammet i elektroteknik.

Vid frågor och funderingar är du välkommen att kontakta oss eller våra handledare.

- *Bengt Stridh*
- *Handledare*
- [Bengt.stridh@mdh.se](mailto:Bengt.stridh@mdh.se)
  
- *Pietro Campana*
- *Handledare*
- [Pietro.campana@mdh.se](mailto:Pietro.campana@mdh.se)
  
- *Esin Iplik*
- *Handledare*
- [Esin.iplik@mdh.se](mailto:Esin.iplik@mdh.se)
  
- *Mahamed Maxamhud*
- *Student*
- [Mmd14005@student.mdh.se](mailto:Mmd14005@student.mdh.se)
  
- *Arkam Shanshal*
- *Student*
- [Asl15002@student.mdh.se](mailto:Asl15002@student.mdh.se)
  
- *Katarina Björkman*
- *Student*
- [Kbn15004@student.mdh.se](mailto:Kbn15004@student.mdh.se)



MÄLARDALENS HÖGSKOLA  
ESKILSTUNA VÄSTERÅS

*Informationsbrev 2020-04-02*

- *Amanda Hallblad*
- *Student*
- [Ahd14003@student.mdh.se](mailto:Ahd14003@student.mdh.se)
  
- *Sarro Manjeegyan*
- *Student*
- [Smn17004@student.mdh.se](mailto:Smn17004@student.mdh.se)
  
- *Pauline Lundgren*
- *Student*
- [Pln16009@student.mdh.se](mailto:Pln16009@student.mdh.se)



## APPENDIX 4: INTERVIEW WITH TECHNICAL DIRECTOR

Genomförd 3 april 2020 via Teams.

I: Intervjuare, R: Respondent, [text]: intervjuarens ersättningar eller kommentarer

I1: Om vi börjar med första frågan och det är, tänkte vi, vilka komponenter består energisystemet av?

R: Ja, energisystemet... Om vi tar energisystemet, det består ju av, om vi börjar ytterst, är naturligtvis solceller och solfångare, har jag då. Jag har då båda delarna. Det är ju om vi börjar i den änden. Och sen har vi "inverters" [eng. växelriktare], såklart, "solcellsinverters". Jag har ju ett batterisystem. Jag har "inverters" som gör om batterisystemet till växelspanning då, i och med att huset är ett standard 400 volt, 50 hertz installation. Så det är ju inget likströmssystem i huset... ja det är det i och för sig delvis. All belysning är likström i huset då, all belysning går på 24 volt. Men för övrigt är det standard, trefas. Det är ju själva energisystemet grovt. Och sen frågar ju du om vilka komponenter som ingår i vätgassystemet då.

I1: Exakt, exakt.

R: Och där, om det börjar ytterst eller i den ena änden, så är det... börjar det med vattenrening. Jag behöver ju vatten som spjälkas så där avjoniseras ju dricksvatten. Så det är ena komponenten. Sen har vi ju elektrolysören som spjälkar vattnet och efter det kommer kompressorn som hanterar gasen, pumpar den vidare till vätgaslagret. Nu hoppade jag över en grej. Efter elektrolysören finns det ju också en torkare då som torkar vätgasen, ser till att det är... all fukt försvinner ur vätgasen.

I1: Okej.

R: Och jag torkar den ner till -70 grader för att garanterat få bort fukt och kondens, ja. Det var alltså vattenrening, elektrolysör, vätgastork, kompressor och sen har vi ju själva lagret då, vätgaslagret, som består i mitt fall av ståltankar, av stål. Vi använder ju idag glasfiber för våra kunder som vi installera såna här system för men jag har ståltankar. Och naturligtvis, sen är det ju, vätgassystemet är ju det rigorös säkerhet runt det, så där är ju naturligtvis säkerhetsventiler, överströmningsventiler och hela tiden tryckövervakning, då. Så det var väl, kan man säga, vätgassystemet då.

I1: Ja.

R: Jag vet inte, är det någon som, skriver vi ner eller ni bara lyssnar?

I1: Jo, det är någon som skriver ner och sen vi spelar in samtidigt också.

R: Ja, men det är bra. Visst. Okej. Sen läser jag en fråga här om jag bytt några komponenter sen installationen då. Ja och det har jag gjort. Jag har bytt elektrolysör en gång. Den första jag hade var en alkalisk elektrolysör. Nu är det en PEM [förkort. Polymer Electron Membrane].



I1: Vad är det nu sa du?

I2: PEM.

I1: Okej, PEM.

R: PEM ja. Alkalisk... problem hade jag på grund utav att jag... elektrolysören går ju bara på sommaren när det är solöverskott. Den står ju still i en 5, 6, 7 månader då och då blir det så att luten då, det är lut i den då, det torkar i vissa kretsar av systemet så torkar ju det. Så den pluggar ju igen systemet på vissa ställen så det var ju ett jättestort jobb att få igång elektrolysören. Och så kan man inte ha det. Utan därför blev det ut med den och in med en PEM.

I1: Okej.

R: Annars så är ju alkaliska väldigt vanligt och det fungerar alldeles utomordentligt när de går mer konstant. Sen har jag bytt kompressor. Först hade jag en mekanisk kompressor, prova, och sen satte vi in en metallhydridkompressor.

I1: Ja.

R: Metallhydrid, ja väldigt spännande. Inga rörliga delar utan den är ju helt, jobbar ju med två temperaturer, med värme och kyla då.

I1: På tal om kompressor. Vilken tryck arbetar den? Vid vilket tryck? Den komprimerar.

R: Ja, jag har valt att när tanken är full så är det 300 bars tryck i den, i vätagaslagret.

I1: Varför just 300, ja, varför just 300?

R: Det är bara för att jag ska få plats med den mängden gas som jag behöver i en given volym. Vätagaslagret är 11 kubikmeter vattenvolym. Jag har alla de här stålcyldrarna jag har 203 stycken, har tillsammans 11 kubikmeter vattenvolym. Det är helt enkelt, så trycket är därefter. Och sen kan man lagra med högre tryck naturligtvis men då blir komponenterna ruskigt dyra. Extremt dyra komponenter. Så det är knappt... det är dyrt tillräckligt kan vi säga med 300 bar eller 350. Så det var, det är därför. Det är som sagt 300 bar. Du hade en där du beskrev: either as part of maintenance or for improvment of the system. Det var delvis för att förbättra systemet. Och fråga nummer två: How has the hydrogen storage worked during the winter season?

I1: Exakt. Hur den var under vintertid.

R: Det finns... Alltså, vätagasen är ju inte beroende av temperatur på det sättet som gasol till exempel. Är det kallt så blir det vätska utav det, då förgasas den inte, men hydrogen, vätagas, har inga bekymmer med låg temperatur. Och i och med att vätagasen torkas ner till -70 grader så har jag inga problem med fukt. Så det fungerar sommar som vinter. Nu kör jag inte på sommaren. Inga störningar, nej.

I1: Men det är mest att man lagrar på sommaren och sen använder det på vintern?

R: Ja, [ljudet försvinner en kort stund]. Alla solstrålar som inte används driver ju elektrolysören.



I1: Exakt, exakt. Och sen, ja den där tredje frågan. Som du svarade på, vid 300. Exakt.

R: Ja det har med vilken plats man har och hur mycket man ska lagra. Det är riktigt.

I1: Och sen om vi går på fjärde frågan. Hur mycket energi har solpanelerna producerat och hur mycket har solfångarna producerat årligen?

R: Solfångarna de, jag har alldeles för mycket solfångare. Jag har 20 kvadratmeter solfångare och de levererar cirka 6 500 kilowattimmar per år. På tok för mycket. Huset, eller vi eller huset säger vi då, förbrukar knappt 2 000. Så det är 4 000 för mycket solfångare, eller termisk energi som jag måste göra mig av med, såklart. Och det är då ner i borrhålet. Huset har ju bergvärmepump, så att all den överskottsvärmen går ju ner i hålet.

I1: Okej.

R: Det är ju till ingen nytta kan vi säga då. Där, solfångarna det var, där var jag inte så seriös när jag la dit dem. Jag la dit tre rader för det såg bra ut, vad det mer. Det var en sån bedömning men det, det var, det blev för mycket. Men som sagt var, idag använder vi inte solfångare när vi gör installationer för andra kunder.

I1: Nehej.

R: Nej, det är för mycket... det behövs mer, det kräver mer underhåll, tillsyn. Det måste alltid vara vätska i systemet. Cirkulationspumpar måste fungera. Temperatursensorer uppe på taket som mäter, du vet, temperaturen i solfångarna. Nej, det är för, det kräver underhåll, tillsyn och det gillar vi inte.

I1: Använder vi er av bergvärme istället?

R: Vad sa du?

I1: Bergvärme.

R: Ja. Alltså, de husen som vi installerar vårt system i, vi installerar ju inte värmesystemen utan vi levererar ju bara el.

I1: Jaha.

R: Vi levererar elektriciteten men sen när bränslecellen och elektrolysören kör så skapar ju den värme, som då VVS-entreprenören. Vi talar om för dem att här kommer det värme, du får göra vad du vill med den. Vi måste ju bli av med den och då matas den in i fastighetens värme- eller och varmvattensystem då. Jo, du frågar hur mycket energi, 6 500. Solcellerna då? Är det ett bra år så, bra år ja det är lite skillnad på åren faktiskt. Det beror på hur skitigt det är i luften också, kan man ju se även om det ser blått och fint ut när man tittar uppåt så kan det bli, man ser skillnad på instrålningen då och temperaturen spelar liten roll, den spelar viss roll men det är mer hur ren luften är. Och kul nog kan jag se att denna lilla mars som har varit, det här är den bästa mars på jättelänge här hos mig. Kanske för att jag bor i stan, jag vet inte, i och med att det är definitivt minder skit i luften, måste jag nog säga då.

I1: Ja.



R: Jag har haft ungefär åtta procent mer än den bästa mars på fem år då, är detta den bästa mars för mig. På årsbasis blir det knappt 22- till 23-tusen kilowattimmar el.

I1: Okej.

R: 22- till 23-tusen kilowattimmar el.

I1: Och det täcker behovet?

R: Ja det gör det. Vi ska se på din fråga här. How did you choose the use, ja det var där. Du frågar såhär, how much of the area is covered by solar panels? Och det är ungefär 150 kvadratmeter på taket, har jag. Och sen har jag i fasaden också, solceller integrerade i syd- och västfasad. Sydfasaden en kilowatt och i väst två kilowatt installerad effekt.

I1: Ja.

R: Fungerar väldigt bra på vintern. Syd är väldigt bra på vintern och västfasaden är väldigt bra på sommaren då, på eftermiddagen och solnedgången då.

I1: [pratar om batterier, går ej att transkribera på grund av dålig ljudupptagning]

R: Och på fråga nummer fem skrev du: What kind of batteries? Ja. And capacity? Jag har blybatterier, lead-acid batteri, bly.

I1: Blybatterier.

R: Köpte, ja, jag då. Det är fem år sedan nu, sex. På grund av kostnad. Då var litiumbatterier väldigt dyrt, för fem sex år sedan. Väldigt, väldigt dyrt. Det kostade en tolv, i storleksordningen tolv tusen kronor per kilowattimme.

I1: Oj då. Vad har dina batterier för kapacitet?

R: När de var nya hade de 144 kilowattimmar.

I1: Okej.

R: 144 kilowattimmar. Det behöver inte huset alls. Huset behöver, det har en baslast brukar man säga det som man aldrig kan bli av med. Baslasten är då för elsystem, ventilationssystem, cirkulationspumpar, sånt som alltid är igång dygnet runt. Det ligger på ungefär 0... 750 till 800 watt per timma. Det är baslasten.

I1: Ja.

R: Det, säg en 25 kilowattimmar per dygn. Batteriet är på 144 så det är mycket överkapacitet men det är delvis för att, bland annat var det för att kunna ladda el... vi kör ju elbilar. När man än kommer hem, om det är på natten, på dagen, det spelar ingen roll, när man kommer hem ska det finnas energi att ladda bilen då. Så det var en av anledningarna då att det blev den mängden batterikapacitet. Och sen behövde jag den också för att köra elektrolysören. Elektrolysören har ju en viss kapacitet och den räcker inte riktigt till att suga åt sig allt solöverskott under sommaren, så parallellt med elektrolysören laddas det här batteriet upp. Så när solnedgången är klar så fortsätter elektrolysören att gå på batteriet.

I1: Okej.



R: Och sen tömmer den batteriet under natten.

I1: Ja. Vet du livslängden på såna batterier? Hur många år är det, sen måste man byta om? Eller måste man byta.

R: Ja, det är det. Det är svagheten med blybatterier då. Man pratar ju om, inte livslängd i år, utan laddcyklar.

I1: Okej.

R: Urladdning och uppladdning då.

I1: Ja det är dem.

R: Ladda ner till 0 och upp till 100. Det är en laddcykel. Och ett blybatteri har cirka 16-, 17-, 18-hundra, säg max 2000 gånger sen är det slut.

I1: Ja, just det.

R: Och det är ju lätt att räkna då, 365 dygn om året. För batteriet laddas ju in och ur varje dag, eller dygn, så det är ju fem år, fem sex år sen är de ju... Och de jag har, de börjar bli dåliga.

I1: Ja.

R: Ja. I och för sig har jag inte kört dem till 100, noll till 100 procent, utan jag har kört mellan 30 och 80, har jag försökt hålla det. Jag använder hälften av batteriet med det betyder inte dubbel livslängd, det blir lite längre livslängd men de är på upphållningen, så om ett år. Så jag tror jag byter ut dem.

I1: Och vad sa du att sådana batterier kostar? Vad var kostanden på sådana batterier?

R: Ja när jag köpte dem för sex år sedan då, då kostade de 1000 kr kilowattimmen.

I1: Okej, just det.

R: Ja och då kostade litium 12-tusen, vet du.

I1: Oj. Det är stor skillnad.

R: Det var ju ett lätt val då, att välja bly. Men nu blir det, nästa gång nu, då lär det bli litiumbatterier. För de har ju i alla fall, om man väljer det rätta batteriet för energy storage, så har du upp till en 8 000 cyklar. Då har du i alla fall 20 år, 20–25 år.

I1: Det är bra.

R: Det blir bra, ja. Det blir riktigt bra. Det finns ju andra batterier med. Vi har ju det svenska Ni-lar, Nilar, som också är ett alternativ när de får ordning på det. Så kan det vara att det blir det också. Det hade varit trevligt om man hade kunnat köpa ett svenskt batteri.

I1: Och sen...

R: Vilken pratade... du hade...

I1: Fråga fem vi var på. [I1 och R pratar i mun på varandra, går ej att transkribera]  
Och sen... Do the batteries and fuel cell work simultaneously? Alltså, bara om de fungerar samtidigt. Arbetar de samtidigt?

R: Ja, eller nja. Det gör de. Huset går ju, eller säg, fuel cellen, bränslecellen, laddar bara batteriet, det är det enda den gör. Bränslecellen driver aldrig något direkt, utan all energi i huset kommer via batteribanken då. Inte på dagen naturligtvis, när solen lyser då är det direktförbrukning. Då går växelström rakt in till de förbrukarna som finns men när inte solen lyser är det ju alltid, all energi går över batteribanken ja, förutom en solig dag. Så bränslecellen är ju liten, den är på bara tre komma, den är på fem kilowatt elektrisk effekt och den går på 3,7 när den är aktiv, har jag valt. Den är inställd på 3,7, där är den effektivast. Alltså den drar minst vätgas per levererad kilowatt då. [I1 och R pratar i mun på varandra] Ja, så den levererar, den bara laddar batteriet. Den gör egentligen som solcellerna, solen levererar energi så drar bränslecellen igång.

I1: Om man tänker såhär: fuel cellen fungerar den varje dag eller bara när den behövs?

R: Den går bara på vintern.

I1: Bara på vintern.

R: [ljud försvinner, R pratar om vilka månader som bränslecellen inte går]

I1: Ja men då så.

R: Solen driver huset på dagen och så laddar den batteriet. Så varje natt så går huset på batterienergi då.

I1: Exakt. Fråga sex var det. Om elektricitet, hur mycket den producerar? Men jag tror, svarade du på den här frågan innan?

R: Nja, elektricitet. Solcellerna leverera ju 22-, 23 tusen kilowattimmar om året och bränslecellen har ju, jo den... bränslecellen levererar, nu ska vi se här. Fuel cell, fuel cell... Den levererar, ja på års, inte så där ruskigt, knappt 3 tusen kilowattimmar under vintertid levererar den.

I1: Ja okej.

R: 3 tusen kilowattimmar. För solcellerna funkar på vintern också ju. Alltså, är det ingen snö så kommer det ju lite energi in, även om vi har låg sol. Solen kommer ju in väldigt lågt då med tio, tolv grader men det blir ändå kilowattimmar varje dag kan man väl säga. Och speciellt med den panelen jag har i söderfasaden. Den har ju aldrig snö eller frost på sig så den, varje dag levererar den energi. Inte mycket men dock användbar energi så det är... Elektrisk energi, ja. Så har du skrivit såhär, fråga 6: How much hydrogen is produced?

I1: Ja jus det.

R: Och det är cirka 2 100 normalkubikmeter hydrogen, vätgas. 2 100.

I1: Okej.



R: Och för att göra det så går det åt... För att göra en normalkubikmeter vätgas så går det åt cirka fem kilowattimmar elektricitet. Så tio- elva tusen kilowattimmar solöverskott omvandlas till vätgas under sommaren för då är solöverskott under de fina, under sommarsäsongen.

I1: Ja. Och sen när man ska använda den här en... Vad sa du? En normalkubik, när man ska använda den i fuel cellen. Hur många kilowatt producerar man från den?

R: Cirka 1,3 kilowattimmar.

I1: 1,3 okej.

R: Ja och så kommer det ut samtidigt 1,3 kilowattimmar termisk energi med.

I1: Just det.

R: Det är det som är det fina med bränsleceller när man har den i en fastighet då. Att den kör ju på vintern och då behöver man ju värme och varmvatten. Så det är en väldigt lämplig metod för fastigheter då.

I1: Men jag förstår inte [I1 och R pratar i mun på varandra, går ej att transkribera] För uppvärmningen och för varmvatten, och ja, för uppvärmningen i huset så använder du dig av solfångare, värme från elektrolysör och värme från fuel cell, va?

R: Ja, och så har jag en värmepump.

I1: En värmepump också. Men tänker värmen som kommer från fuel cell och elektrolysör, hur använder du dem?

R: Den går in i husets värmesystem via en värmeväxlare.

I1: Via värmeväxlare, okej.

R: Ja, ja. Så på sommaren, just det, så kan man använda den värmen till varmvatten. För varmvatten förbrukar man ju året runt.

I1: Ja.

R: Men i detta huset som jag bor i. Värmen från elektrolysören använder inte jag här för jag har ju solfångare på taket som ger all värme.

I1: Ja okej.

R: Så värme från elektrolysören går ner i borrhålet också. Ja. Men andra installationer vi gör, på andra ställen, där används elektrolysörens värme för primärt varmvatten på sommaren då, i flerfamiljshus eller andra fastigheter. Ja.

I1: Okej.

R: Där gör den nytta.

I1: Ja. Och sen... Den där underfrågan: Do you recover heat from the electrolyzer? Du svarade på den. Och sen, vid vilken verkningsgrad?

R: Vilken sa du?

I1: Den där: How do you do that and to what efficiency can that be used? Alltså, vid vilken verkningsgrad kan man använda denna värme från elektrolysören och fuel cellen?

R: Ja, om man använder värmen från elektrolysören och bränslecellen, båden el och termisk värme, då har man ju... Man når ju en total, ja ska vi säga, en total verkningsgrad, man tangerar 80 procent.

I1: Okej.

R: Så av de solinstrålning som då man fångar upp och använder, kan man tillgodogöra sig nästan 80 procent av den då. Om man använder den termiska energin också då. Ja så det är bra.

I1: Ja, det låter bra.

R: Men sen verkningsgraden i sig är ju lite, inte underordnat, inte så viktigt så länge man har solen som en energikälla, som är fri så är ju verkningsgraden inte så viktig.

I1: Nej.

R: Som när man ska köpa energi och betala dyra pengar för energi. Då är ju naturligtvis verkningsgraden väsentligt. Fortfarande så fast det är fri energi från solen, så tittar man hela tiden på att man får en hygglig verkningsgrad. Det är inte så att man är slarvig utan man tävlar ändå med sig själv att få ner energiförbrukningen, självklart.

I1: Ja exakt.

R: Men då. Ja.

I1: Sen kommer vi till fråga åtta. Hur dimensionerade du systemet och vilka krav måste systemet uppfylla?

R: Åttan där, det är den du menar. How did you dimension the system? Ja, när detta huset gjordes då var det ju räkna med papper och penna då. Det fanns ju, då fick ju räkna på hur husets u-värde väldigt viktigt då, klimatskalet som det heter. Hur mycket värme behöver huset. Det var ju, så då använde jag sådana här befintliga beräkningsprogram som VVS-konsulter och energikonsulter har. Det finns ju ett antal sådana, någon heter Lavip och någon heter... jag vet inte alls vad de heter. Jag lånade sådana program för att få en uppfattning om vad, hur mycket energi som skulle gå åt. Så det var där. Det var där då, som sagt var. Det var väl, ja vad ska vi säga. Det gjorde ju så, på det sättet man kunde då. Nu gör vi ju inte så längre, för nu har vi ju utvecklat ett eget beräkningsprogram som gör de här beräkningarna för hus och behov betydligt enklare då och hyggligt exakt. I och med att här finns ju alla värden som skiljer, alla energier som rör sig i detta huset lagras ju i en hygglig databas som används nu då för att, när man gör en beräkning på ett annat hus eller annan energiförbrukare då.

I1: Exakt.



R: Ja. Ja, jag vet inte om det var svar på din fråga. Jag ska se, have you, nummer nio, backup energy in case of system is shut down? Ja, det finns ju. Solen är ju en energikälla och sen har man ju batteriet, är ju en backup kan man ju säga, och sen har jag ju vätgasen med bränslecellen är ju en annan backup. Och sen om allt det skulle haverera så har jag ett elverk också på 15 kVA. Jajamän. Så det är många backuper. Och solcellssystemet är ju uppdelat i två. Jag har ju ett tak, det är delat i två elektriska tak om jag uttrycker det så, så varje system har ju cirka 11 kilowatt installerad effekt då. Så det är två på taket och sen fasaderna är ett tredje system, de har sitt. Så egentligen har jag ju tre solcellssystem som levererar energi in till huset. Batteriet, bränslecellen och elverk, så många energileverantörer. Allt ska inte gå sönder samtidigt.

I1: Nej, så man klarar sig liksom.

R: Ja, det gör man.

I1: Och sen, har det hänt att energisystemet slutat fungera för dig?

R: Ja, en gång har det.

I1: En gång har det gjort det?

R: Ja, det har gjort det då. Då gick inte heller elverket igång.

I1: Nehej.

R: Ingenting gick igång men det var bara för att elverket stod i manuell start, det stod inte i autostart då. Så det var mitt eget fel.

I1: Ajdå.

R: Ja. Det var att man hade pillat på det. Det var, men en gång. Varför det stoppa, det finns ingen som vet för allting loggas och det är bara precis som när du klipper av en sladd. Poff. Allting stängde av sig. Det är, och det finns ingen, det går inte att veta varför. Det hände bara en gång och det var väl sånt som ska ske en gång och aldrig mer kanske. Så sen dess har det aldrig varit några bekymmer.

I1: Hur kunde du lösa problemet?

R: Nej, det vara bara att starta om alltihop.

I1: Ja, det är bara att starta om.

R: Jaha.

I1: Okej.

R: Ja.

I1: Sen nummer tio. Do you consider this energy system as better than a traditional energy system, being connected to the electrical grid?

R: Jag menar off-grid kan man säga, det är ju bevisar att det funkar. Proof of concept, det är möjligt allts. Komponenter finns, fungerar så. Man kan säga att det fungerar helt enkelt, off-grid, men det är inte nödvändigt att man ska vara off-grid. Man kan



vara på nätet men ha, vad heter det, lagra energi för att man ska ha en bra backup i sitt boende eller i sin fastighet. Det kan man ju ha vätgasen till då. Men igen, om det är bättre, ja det måste ju vara minst lika bra eller hur, som om att vara på nätet om man ska vara off-grid för att det ska vara bättre. Och vad jag menar med bättre det är då det att man är ju helt oberoende av externa leverantörer.

I1: Okej.

R: Man sköter sig själv. Man garanterar att man har CO<sub>2</sub>-fri energiförbrukning då. Ingen utsläpp av CO<sub>2</sub> kan man ju verkligen skriva under på då. Och sedan, vad ska vi säga mer? Självgående eller off-grid, ja, hur var din fråga egentligen? Do you consider, better than traditional...

I1: Alltså om man kan prata om fördelar och nackdelar också. Det går ju in i den frågan.

R: Ja, fördelar. Man är ju oberoende, man är ju oberoende av leverantörer då och det är så att de kan få problem. Men det vet vi ju inte vad som händer i framtiden. Vi kommer säkert att få fler störningar i vårt elnät i framtiden på grund av att allting digitaliseras, allting är ju hela tiden. Det växer ju mer och mer. Molntjänster då, allt ska ju styras utifrån och det gör det ju lite enklare och sårbarare då. Ett sånt här system innanför de fyra väggarna är det ju ingen som kommer åt, inte någon. Solen levererar varje dag, nästintill varje dag, så att... Det är ju minst lika bra om man nu gör ett elsystem som bygger på såna komponenter som går att köpa. Allting är ju växelström i Sverige eller i världen då, det finns ju inte så mycket likström än, det kanske kommer, men i dagsläget får det vara det som går att köpa. Alltså, behöver du en dammsugare, behöver du en spis eller vad det är du ska ha nytt så ska du kunna gå till [Hemelektronikkedja] och köpa grejerna eller [Annan hemelektronikkedja]. Det får inte vara special.

I1: Nej. Jag tänkte vilka kostnader kan man undvika om man väljer att gå off-grid?

R: Abonnemangsavgift till exempel, producenten eller leverantören, abonnemang. Energipriset, du producerar ju all energi själv. Det är egentligen de. Du har ju moms, du har ju energiskatt har du ju då. Och du har ju moms på allting. Så att, ja, du slipper ju alla dem kostnaderna då.

I1: Exakt.

R: Det är ju en... Jajamän det gör du. Om man nu tycker det är viktigt så. Eller var det om det du frågade om?

I1: Ja, exakt det var det.

R: Ja, kostnader. Ja allting för energin då. Så du har ju en... Och de pengarna kan man ju då, man har ju kvar dem. Man kan ju göra något annat för dem men. Om inte annat så ska ju investeringen, eller ja det spelar ju ingen roll. Vissa ska ju räkna hem allting, alltså köper man solcellspanel så ska den räknas hem.

I1: Exakt.



R: Och det förstår inte jag. Jag förstår inte varför man ska räkna hem en solcellspanel. När jag köper en ny trädgårdsmöbel så ska jag inte räkna hem den, va? Men en solcellspanel ska man räkna hem. Lustigt.

I1: Ja.

R: Ja, det är det. Men så är det.

I1: Sen, finns det några nackdelar med det systemet, eller att gå off-grid?

R: Ja, det är det ju. Du kan ju inte ringa till den lokala nätägaren och säga att strömmen är borta. Alltså, man måste ju...

I1: Nej.

R: ...ha. Man måste ju försäkra sig om att det systemet jag har i huset kan bli servat, reparerat om det händer något. Och då gäller det att man har köpt komponenter av etablerade leverantörer då, så att det inte är någon internetbutik eller någon uppfinnarjocke i ett garage någonstans, utan att det måste ju vara standardprodukter från etablerade leverantörer. Och då har de ju service också. Jag menar värmesystemet hemma är ju [märke], jag har [märke] solcellssystem till exempel eller växelriktare. Jag har bränslecell från [märke]. Jag har elektrolysör från en firma i Danmark, [märke] heter de. Så det är, allihopa har serviceorganisation så det är okej.

I1: Okej. Men så det är inte du som kör underhållsarbetet? Det är de som kommer och gör underhåll på själva systemet?

R: Ja, hitintills har jag ju gjort det som har behövts själv då.

I1: Okej.

R: För att man tycker det är intressant men annars så ringer man de här fyra, det är fyra olika leverantörer.

I1: Jaja.

R: Ja. Jag menar vi kommer ju inte bo här i all oändlighet utan det kommer flytta in någon annan och vill de fortsätta med systemet så har de ju serviceorganisationen bakom då.

I1: Men om vi går in på nummer tolv. How secure is the system? Did you face any security issues?

R: Nej. Det är väldigt säkert. Det är ju säkrare än ett publikt elnät för detta systemet har ju sitt eget, ska vi ju säga, styrsystem. Det finns ju ett styrsystem som håller ihop de här sju olika huvudkomponenterna då, funktionerna, men det är ju som jag säger att styrsystemet finns ju inom de fyra väggarna, egna väggarna, och då händer ingenting. Det du har innanför dina fyra väggar har du kontroll på. När du släpper ut det utanför då har du noll koll, då är det andra som kan komma åt det och förstöra och ha sig. Så att säkerheten är ju högre än vid ett publikt elnät, vad det gäller störningar då, finns ingen. Det är helt utan, det... Man är ju off-grid, som man säger då off-grid, och så är man ju även då off-net. Jag är ju borta från nätet också, off-net. Är man off-grid så måste man vara off-net. Så nej, säkerheten är hög.



I1: Sen nummer tretton, jag tror att du svarade lite på den också. Om underhåll och...

R: Ja, underhållet är väldigt lågt. Det är vattenfiltret, det som avjoniserar vattnet, den är extremt viktig. Det filtret som ser till att vattnet är avjoniserat. Så den sätter ju då serviceintervall och, vad kan vi säga, livslängd på både elektrolysör och bränslecell.

I1: Okej.

R: Det är den vitalaste grejen då, som man hela tiden mäter konduktivitet på vattnet så den är. Där finns ju en gräns, så kommer det upp till en viss konduktivitet så då ska filtret åtgärdas.

I1: Jaha.

R: Den är viktig. Det är det man egentligen gör och sen har även bränslecellen ett luftfilter. Den suger ju in luft för att komma åt syret då när den ska skapa elektricitet. Det är som på en bilmotor, ett luftfilter då, och sen har även elektrolysören... bränslecellen ett internt kylsystem med en speciell kylvätska som också fångar upp joner som är på rymmen då. Så att de ska ju man inte, de får inte flyga fritt inne i systemet. Så det är en vätska där som man behöver byta, det beror på hur många timmar bränslecellen kör men säg en gång, knappt en gång vartannat år, behöver man byta ut den vätskan.

I1: Ja.

R: Så det är lite underhåll.

I1: Ja. Om vi går på fråga fjorton. If you would build the system today, would you change any and if so, why?

R: Yes. Solpaneler, inga vattenvärme, vi vill, det har jag ju hemma då, solpaneler. Så det använder vi inte. Vi använder då inte blybatterier längre utan det är litium som man får längre livslängd på då. Nu är priset, nu är det billigare att köpa litiumbatterier än blybatterier då som bara håller knappt tvåtusen gånger. Sedan har vi ihop med leverantörerna av bränsleceller, där använt, de får utveckla DC/AC inverters så att när bränslecellen går i vissa lägen så skulle bränslecellen kunna driva huset direkt när det är lågt, till exempel när det är, huset är i standby-läge alltså baslasten. Baslasten är ju växelström och den ligger då på knappt en kilowatt i detta huset då, strax under. Och då istället för att göra om först likström och sen till växelström så kan man ju driva anläggningen med växelström direkt, alltså baslasten för att få ner lite. Ja det är då, man jagar ju verkningsgrad då. Då går det åt lite mindre energi. Så gör vi nu på nya installationer. Vi, den här baslasten som ibland uppstår den drar vi, den matas med växelström direkt. Så, så har vi gjort.

I1: Det låter bra.

R: Sen finns det...

I1: Sen, tänkte nummer femton. Has the system been evaluated in any formal way? If it is compared to the theoretical efficiency?



R: Nja, nej jag har inte gjort något sånt. Det har jag egentligen inte gjort. Nu ska vi se, for instance comparing theoretical efficiency and capacity with actual. Nej, mer än att jag när energisystemet beräknades då med hjälp, när det var när huset byggdes så har ju installationen som gjordes räckt till kapacitetsmässigt har den räckt till. Både kapacitet och lagrad energimängd då men någon ekonomisk. Alltså det kan man säga, det var ingen ekonomisk det var en teoretisk. På så sätt har det ju, det funkade om vi säger så då, bortsett från att det är för mycket solfångare, skulle ju hellre haft solceller istället då och det är knappt att det blir en gång man byter ut solfångarna som inte används till solceller istället. Du har ju möjlighet att lagra mer vätgas, jag lagrar ju idag 2100 kubikmeter och jag kan ju lagra nästan 3000 kubikmeter.

I1: Ja, okej.

R: Och den kan ju vara bra om man skulle börja köra en bränslecellsdriven bil.

I1: Okej.

R: Då skulle jag behöva producera lite mer vätgas då. Eller jag, solcellerna då.

I1: Då kan man driva den också, exakt. Och sen, nummer sexton. Anläggningens verkningsgrad, the overall efficiency of the system.

R: Den är ju, jag vet inte vad man ska jämföra den med. Jag vet ju att solcellerna leVERRARA ju knappt 23 tusen kilowattimmar, solfångarna 6000 styvt 6500, och vad man skall. Jag vet inte vad man skall riktigt jämföra det med. Jag menar för köper man elektricitet så där är ju en verkningsgrad bakom den också, den kommer ju via kabeln in men den tillverkas ju någonstans i nåt vattenkraft eller kärnkraft eller vindkraft så att jag vet inte riktigt hur man ska jämföra den frågan, jag har lite svårt för det.

I1: Ja men, lite den. Och sen, du hade ingen koppling till elnätet va? Den är fråga sjutton.

R: Nej men jag hade ju det när huset var innan, huset kopplades bort i mars 2015 men kabeln finns kvar.

I1: den finns kvar.

R: för jag använder den när jag, här hemma i huset provar jag olika elektrolysörer bland annat, då. Och den elen har ju inte detta huset. Jag kan ju inte slösa när jag testar andra elektrolysörer och kompressorer och även bränsleceller så måste jag ibland använda el från nätet då.

I1: Okej.

R: För experiment, alltså, kallar det för testningen då. Så på så sätt finns kabeln kvar. Men inte, jag använder inte, så huset använder den inte. Alltså själva huset då. Det är vissa fall, jag skall testa. Just nu kommer jag alldeles dra igång och prova en annan elektrolysör en tredje variant och då behöver jag el ifrån nätet då.

I1: Och det är därför.

R: Ja.



I1: Sen nummer arton. Do you think that the energy system will be more attractive in the future?

R: Ja, det är klart.

I1: Det kommer det göra.

R: Helt kommer det bli. För komponenterna. Jaja. Jag håller faktiskt på här, det är en annan grej än det vi har hemma här i huset, vi väntar på då. Det var därför jag sa ny elektrolysör, vi håller på och får in hela systemet i en IKEA-garderob. Alltså ett skåp som är två meter högt, 60 centimeter brett och en meter djupt. I den kommer det att finnas elektrolysör, kompressor, bränslecell, batterier, vattenrening, så hela systemet. Allting utom vätgastanken. Och då börjar det bli enklare att kunna, till exempel, stoppa in en sån där system i en, ja, fristående hus då, enfamiljshus eller typ. Så vi håller på. Det kommer att bli, det kommer att bli betydligt mer vanligt att man har för mindre, kanske lokala energinät, mikronät säger man ibland. Inte idag men övermorgon. Fast de där för att lasta av, vi behöver ju mer. Allting ska gå med elektricitet, mer och mer el ska vi använda och det är väl bra och näten vi har, även om vi har världens bästa elsystem i Sverige så är det ju ändå överbelastat och det är problem i vissa städer och områden, och kan då nya etableringar och bostäder och industrier skapa mycket av sin egen energi så finns ju en möjlighet för expansion. Så att man på så sätt avlastar nätet då. Så vi kommer att se det och som du sa nere i somali och afrikanska länder [referens till samtal innan intervju] där kommer det. Du producerar där du behöver energin och med hjälp av solceller idag så är det så förhållandevis enkelt att skapa sig sin egen energi. Vi kommer att se det. Både där och även i, kanske, europeiska länder.

I1: Ja.

R: Kommer vi att se. Jaja, det blir det. Tekniken finns och den är ju långvarig men det skulle ju ha funnits statliga stöd. Så att om man nu bygger ett nytt hus, så skulle man kanske fått ett 30-årigt lån eller så, som då enkelt, att då var det inga bekymmer att göra en sån här installation.

I1: Nej.

R: Och ett hus måste ha energi, hela tiden. Utan energi fungerar inte någonting. Så att det skulle kommit statliga stöd. Det hade hjälpt till väldigt mycket då.

I1: Det finns inte i nuläget?

R: Va sa du?

I1: Det finns inte i nuläget? Sådana stöd.

R: Nej.

I1: Nej?

R: Nej. Det finns ingenting. Solceller har vi ju fortfarande lite stöd för.

I1: Ja.



R: Kanske som ni vet. För många år sedan tillbaks när värmepumparna började komma, då fick man ju stöd för att installera en värmepump ju, fick man ju bidrag. Men vad det gäller energilagring i form av vätgas, inte någonting. Batterier kan man ju få fortfarande, en viss ersättning av staten då, upp till ni vet 50 000 kronor kan man få, under detta året ut då men just för sådan här seriösare långvariga energilösningar att använda sol, säsongslagring och göra ett hus från 100 procent mer självförsörjande då, det finns inte. Det är jättesynd det men det behöver komma, då blir det en förändring.

I1: Tror du att det kommer ske något sånt?

R: Om det kommer att ske?

I1: Ja. Alltså om de kommer att ge något sådant stöd i framtiden?

R: Ja, de där uppe som bestämmer, de måste lära sig att stava till vätgas först. De har ju inte gjort det än. De vet ju inte vad det är, nej man måste ju lära sig det. Och när de börjar förstå vad det är då kanske det blir en förändring och så får de titta på grannländer, hur andra regeringar och så satsar pengar och resurser i att titta på vätgas som en. Det är inte den som kommer att lösa alla problem men det är ju en väldigt värdig energibärare som kan göra en stor skillnad.

I1: Ja, exakt.

R: Men det har vi inte kommit till i Sverige än.

I1: Nej.

R: Men det är, de får väl gå en kurs, de där som bestämmer och lära sig vad detta är.

I1: Ja.

R: Det får väl ni fixa, ni på [högskola], lära politikerna vad.

I1: Eller hur.

R: Vätgas.

I1: Det kan vi väl göra.

I2: Ja. Vi tänkte gå vidare nu till ekonomidelen då.

R: Ja du hade, ja just det. Nitton där, fråga nitton.

I2: Och första frågan var då: Ungefär hur mycket kostade hela energisystemet då, i då [I1 och I2 pratar i mun på varandra, går ej att transkribera]?

R: Det jag gjorde då, för fem år sedan då det är ju det då, eller under till, det kanske inte är riktigt relevant va. Det kostade det idag, eftersom du ställer frågan här, kostade det snudd på 2,5 miljoner kronor.

I2: Okej.

I1: Idag?

R: Det jag har, ja. Idag, om jag hade gjort om det jag har då, idag, då brukar jag säga det. Det är alltid svårt att säga exakt på kronan men då brukar jag säga att den som



har råd att köra en [elbil] kan köpa ett sånt här system. Alla vet vad en [elbil] är värd, cirka 1,5 miljon.

I1: Okej.

R: Det kostar det.

I2: Hur mycket kostade vätgaslagringssystemet?

R: Det är den dyraste grejen av alltihop. Det är därför jag har, den jag har, jag håller just på att bygga om mitt lager till, ståltankar som jag sa då, och det kommer att kosta, och det är, det kommer kosta. Nu ändras kurser och så men cirka 625 tusen kronor kostade vätgaslagret. Så det är den dyraste komponenten av alltihop och tyvärr är det inte riktigt några tecken på att den, det går ner, det var i stål det är det billigaste. Sen använder vi idag glasfibertankar till våra kunder, och de priserna börjar att gå ner lite grann för de tar mycket av tekniken från vindkraftsbranschen då. Så de har ju, ni vet vindkraftverk har stora rotoror, blad, de är ju nästan hundra meter, va, 80 meter långa och där är glasfiber. Där har man ju utvecklat glasfibern då, så att själva glasfibern som de lindar bladen med och har fått dem extremt starka då. Och den typen glasfiber börjar man använda nu då i att göra vätgastankar med också nu. Så att den blir inte billigare men jag, som jag sa jag lagar med 300 bar sa jag tidigare 300 bar, med den här ny tekniken kan man då lagra upp till 450 bar i samma tank. Vilket gör att man får ju med sig nästan 50 procent mer vätgas till samma kostnad. Så på så sätt får man ju ner men fortfarande är tanken dyr. Det är det dyraste.

I1: Ja.

I2: Ja, tänkte gå vidare till då fråga tjugo. Is the operational and maintenance cost of the off-grid system than it is for a traditional on-grid connected system?

R: On-grid system, där har jag ju inga kostnader för har jag problem så ringer jag ju nätägaren. Det funkar inte, säger man. Det enda man egentligen har är att man har ju en säkring i fasaden så om den proppen ryker så får jag ju byta ut den själv. Där är ju en liten kostnad. Alltså, men man kan ju säga ett off-gridsystem, nu nämnde jag ju det förut, det är filter man måste ju byta det med visst intervall, avjoniseringsfilter och luftfilter i bränslecellen. Så att det kostar ju lite mer att ha ett off-gridsystem än on-grid men när jag ar en on-gridsystem så har jag ju stora kostnader för abonnemang, energi, energiskatter och allt detta. Så att, det har jag ju inte med ett off-grid. Det kostar ju ingenting, översikt. Det är så här, de här som har fått sådana här system installerade nu, kunder som är fastighetsägare, de har ungefär på tjugo år tar de hem kostnaden, för de slipper att köpa fjärrvärme och elektricitet. Skapar allt det själv. Så det tar en cirka tjugo år och det tycker de är hur bra som helst.

I2: Okej. [I2 och R pratar i mun på varandra]

R: Är jag kvar?

I2: Du är kvar. Ja, tänkte gå vidare.

[försvinner ur videomötet, tappar kontakten]



R: Är jag tillbaks igen?

I2: Ja, nu är du tillbaka.

R: Ja, nu är jag tillbaks igen. Det hände något [för lågt ljud, går ej att transkribera]

I2: Ja.

R: Det var fråga tjugo, ja just det.

I2: Ja, vi lyckades få svar på det då. Att det kostade lite då mer när man är off-grid men rent översikt då, om man ska jämföra båda systemen tillsammans då så är on-grid, off-grid, det bättre alternativet från ett ekonomiskt perspektiv.

R: Jajamän, för ett hus, en fastighet i Sverige är snittåldern 94, 95 år så det blir billigt över sikt så va. Så man har, om man ger det en tjugoårsperiod så är man ikapp. Plus att man är CO<sub>2</sub>-fri, det är ju väldigt viktigt. Till exempel va, det är det vi ska göra, vi ska minska ner det utsläppen. Ja.

I2: Och sedan fråga 21 då. Are there any financial means that can be used for hydrogen investment? If not, would such a thing be able to help hydrogen being more attractive and if so, to what extent would it be needed? Alltså, Finns det någon slags ekonomisk bidrag då...

I1: Han svarade, det fans det inte.

R: Nej, det finns inte. Finns inte. Det skulle funnits så att man skulle få, som du säger, statliga lån. [I1, I2 och R pratar i mun på varandra, går ej att transkribera.]

I1: Jajamän.

R: Ja.

I2: Ja.

R: Ja, sånt skulle behöva övervägas. Och det kan ske så att de här problemen vi har nu, helt plötsligt finns hur mycket pengar som helst att dela ut. Så att så skulle de, kanske, ta tillbaks lite av det sätta dem till, göra dem tillgängliga för såna här miljövänliga energisystem som ökar driftsäkerhet och är bara bra för hela samhället. Vi får se vad som sker.

I2: Och sedan fråga 22. Would such an energy system be significantly more expensive for a family house located in an urban area?

R: Nej. Solen finns ju överallt, den levererar på alla platser då på våran jord, så där är inga bekymmer och vi håller på faktiskt. Norrmännen är himla bra, de är på hugget och vi tittar, vi jobbar ihop med dem, det har inte hänt någonting än men olika konfigurationer på olika hus så ser man till att om vi bygger ett radhus, eller tio hus, tio familjer, tio lägenheter, tio hus eller radhus med tio lägenheter, den är... Det blir den lägsta kostnaden. Det blir dyrare om man bygger fem radhus eller fem lägenheter eller femton eller tjugo. Tio har visat sig är, blir, lägsta kostnaden och det skulle man idag kunna få med dagens priser så skulle ett off-grid system för ett radhus med tio lägenheter då att hamna på knappt 800 000 kronor. Det är jättebilligt.

I1: Ja, det är det faktiskt.

R: Skitbilligt. Så det är, nej urban area, det blir ingen utan, det är inte dyrare där förmodligen utan det blir lite billigare för. Också för när du är utanför storstäderna så är oftast arbetskostnader, allting är ju billigare när du kommer utanför städerna, storstäder. Så det är, va... Men det är fördel att bygga, det är därför när man gör såna här kalkyler med våra program så ser man ju för de här elektrolysörerna, bränsleceller och annat går ju i steg. De är inte steglösa då utan då är det då hoppar de och så kan man då utnyttja någon komponent effektivt så blir ju då det fördelat på alla användarna en lägre kostnad.

I2: Då, fråga 23. Hur tror du, eller how do you think the price trends will be in the next 30 years?

R: 30 år är alldeles för lång tid. Inom tio år så, tillverkarna av elektrolysörer och bränsleceller, allihop säger att de tar väck en nolla på prislappen, inom en tioårsperiod. Den bränslecell som jag har till exempel hemma i huset, den kostar 300 000 kronor. Tar du väck nollan så är vi nere på 30.

I2: Ja, det är en bra utveckling.

I1: Det är stor skillnad.

R: Ja det är det. Den är som solcellerna. De kommer att trilla ner. Så det kommer att bli väsentlig skillnad och de här som kan titta ännu lite längre fram eller som gräver lite djupare i McKenzie-gängen och de här företagen, de räknar med en bränslecell kommer att kosta cirka 100 dollar per kilowatt.

I1: Okej.

R: Uträknat, 100 dollar, US dollar. Dit ska man.

I2: Ja. Då tänkte vi gå vidare till fråga 24. Has your hydrogen system been profitable as it's installation?

R: Nej det kan man inte säga att, det här gjordes av intresse då. Alltså, det var inget någon att det skulle bli billigare, för det kan man säga; sätter man ett sånt här hydrogen system dag ett så är det billigaste att köpa. Den billigaste energin är att köpa från två hål i väggen som man säger då, det är det billigaste. För man ett sånt här system så dag ett är det inte billigare då, om man nu ska titta på ekonomin. Utan man får ju ha den här 20-års horisonten, efter 20 år blir det väldigt billigt med det. Och det kan gå fortare om elpriserna, energipriserna stiger i Sverige och det lär de ju göra. Vi och Norge har ju väldigt låga priser, och vi kommer att få europeiska priser inom en viss tid. Så att det är. Nej lönsam kan man inte säga men det beror på vad man lägger pengarna på. Nu la jag det på detta, vissa köper en båt, en sommarstuga. Alltså man lägger pengarna på olika eller vad man tycker är intressant då. Så att det är. Och hur lönsamt är en motorbåt eller en segelbåt? Det är bara kul. Och det här är också kul att ha ett off-grid system.



I2: Och sedan fråga 25. What economical requirement have you put on the system in particular in net present value or levelized cost of energy? Har du några ekonomiska krav då angående lönsamheten?

R: Nej.

I2: Det är som du berättade tidigare?

R: Ja, det är då med ROI, return of investment, de som är mer professionella då, alltså fastighetsägare, de får ju då, som jag sa, se cirka 20 år ger de systemet. Och det tycker de är extremt bra, normalt sett har de ju en 30-årig plan då på sina fastigheter när de renoverar och annat då. Så det här ligger väl inom gränsen för deras horisonter då. Så såna här system är ju inte till för några, så kallade, day-traders som ska tjäna pengar varje dag utan det måste vara en horisont. Och det är så extremt viktigt att vara, för tillgång till energi om man nu säger så kan man egentligen inte jämföra men utan energi så kan inte day-tradern inte heller hålla på. Alltså, vi måste ha energi och det här är sånt jäkla bra sätt att använda solen då. Vind är det inget fel på heller men det kan du inte göra så personligt, va, utan vind är ju så stora installationer och de står inte i tätorter och så vidare. Utan där är du beroende av ett nät också, medan solen sitter ju på huset, rakt in i huset. Det är oslagbart. Oslagbart.

I2: Och sedan fråga 26. Do you pay any taxes on the energy supplied by your system and if no, do you think that the government will introduce any in the future?

R: Så länge man är en småskalig producent och använder energin i det egna huset så betalar du ju ingen skatt, ingenting idag som du vet. Det är ju fritt och nej de kan inte i framtiden. Sol, ja men solen lyser ju på alla, och sen antingen så står jag i solen och värmer upp mig själv eller så omvandlar jag solen till att jag kan värma vatten eller omvandla den till energi eller vätgas. Nej, de kommer aldrig att ha en möjlighet att göra detta, så de får ta in sina skattepengar på annat sätt då, men inte på energin. Energin är ju fri, den är lika fri som luften vi andas. Och när de... Du har ju sån där passiv uppvärmning, om solen lyser in i växthuset eller in genom min ruta i vardagsrummet så blir det ju varmt på insidan, ska jag betala skatt för det?

I1: Nej.

R: Det går inte. Så de har inte, där kan de inte hämta något. De får ta det på annat vis. Nej, så idag ingenting. Det är ju synd att den här skatten är då på 255 kilowatt. Fortfarande är det ju så lite grann att det är andra regelverk om man blir större och större installationer och så, såklart, men det kanske ändras. Men nej, för min del frågan, nej där, nej det kostar inget, det kostar inget.

I2: Då går vi vidare till fråga 27 och då är det mer angående användandet av vätgas då i vårt samhälle eller här i Sverige. Och då är fråga 27: What is needed to implement the usage of hydrogen in our, in society?

R: Det, vi har haft, vi har inte, det behövs ju regelverk. Hur hanterar man vätgas utanför industristaketet då. Alltså innanför industristaketet, vätgas har ju funnits över hundra år, det är en jättevänlig gas inom industrin men så fort den kommer på utsidan av staketet då är det ovana. Alltså, det är helt enkelt okunskap så det skulle



behövas ett regelverk, ett europeisk och det har, man har börjat på det också nu då, att titta på ett common, gemensamt, regelverk för hur vätgas hanteras i det civila samhället då. Precis som när man använder gasol till utegrillar och så vidare, så ska det bli. Det är på gång, det är på gång. Men idag är det jättejobbigt. Inte jobbigt men det tar väldigt mycket tid. Den som bestämmer är den lokala räddningstjänsten, det är kungen, och kan de inte så blir det jättesvårt, då måste man lära dem. Så hela förra året så jobbade vi med fyra olika räddningstjänster, MSB, länsstyrelser för att få, hur jobbar vi med det här för att få det här på plats då. Vi börjar att få ett hyggligt grepp om detta, hur man kan bygga och installera de här systemen och även jobbar vi ihop med ett, vad heter det, arbetsmiljöverket också då. Det är ju också viktiga, att det är en säker miljö runt omkring det för servicetekniker och annat då. Så det har varit väldigt mycket sånt kring myndighetsarbete förra året då, hela 2019 så det är, vi tog inte på oss några nya uppdrag förra året för att vi måste få en hygglig uppfattning om vad är det, hur tänker människorna och det är osäkerhet då. Vissa är väldigt pålästa och inga bekymmer och de som inte kan något då är det, det vet vi allihop, då är det nej, nej, nej på allting va. Men det har vi jobbat med så att det behövs ett regelverk.

I2: Okej. Då har vi till fråga 28. What obstacles are there when hydrogen gas is to be used energy storage and fuel in our society?

R: Ja, det är ju lite samma sak som 27 att det måste ett regelverk till hur man.

I1: Ja.

R: Ja, det är det. Det måste till ett regelverk och ja det är det det är. Så att, och det jobbas ju på, som sagt var, nationell eller europeisk då. Så det blir en europastandard som alla följer.

I2: Okej.

R: Det är lika så man har harmoniserat en linje, en bil som tillverkas i Tyskland där man ju sälja i Sverige, Norge, överallt då. Det är ju samma regler, förr var det ju jättebekymmer. Alla länder hade ju olika regelverk och hur blinkersglas skulle se ut och speglar och allt vad det är. Nu är det en standard. Så att det kommer. Då blir det enkelt.

I2: Okej. Då, fråga 29. What do the people around you think about your hydrogen usage? For instance, your neighbors and insurance company.

R: Ja, grannar tycker det är riktigt, ja de är så himla intresserade då och frågar. De vill ju göra likadant själv då, alla vill men intresset är extremt stort, är det och. Vad heter det, sen det andra försäkringsbolag, jag har haft de här också och det är ju för att fråga hur de konsulterar en sån här installation då är det här om att det ska vara en säker installation, man gör ju riskanalyser det måste man göra när man har ett sånt här system har man en gjord som identifierat vad som kan hända och vad man gör för att det inte ska hända och det tredje om det händer vad gör man då. Och det är då ett samarbete med räddningstjänsten, så att har man gjort en och har den dokumenterad så är det ingen skillnad. Då kan faktiskt en bristfällig solcellsinstallation kan ju vara lika farlig, alltså vad det gäller brand då, om det skulle



börja brinna då. Så att det att det är sunt förnuft som det heter och använda såna människor när det just gäller riskanalysen som får tänka till och bedöma hur installationen är gjord.

I1: Ja.

I2: Och då går vi vidare till sista frågan. How has your life changed since moving to your off-grid house? Is the way of life in an off-grid house, home, different from an on-grid connected house?

R: Nej, när det här byggdes så skulle ju det vara precis som i ett vanligt hus, det får inte vara någon special, att jag får inte ladda bilen och tvättmaskinen går eller jag kan inte köra ugnen när hårtorken går. Det ska vara precis som vanligt. Och, och det ska egentligen vara bättre i ett sånt här hus. Vad jag menar med bättre är att det som känns bra och fortfarande efter fem år är det att all energi kommer från solen. Så det är så jäkla fin känsla och den finns fortfarande kvar. Hela huset går på solenergi, elbilen går på solenergi och sen det här också då, man kan ju alltid säga att allt det vi förbrukar i huset och kör med bilen, återigen, CO<sub>2</sub>-fritt. Vi släpper inte ut ett enda gram CO<sub>2</sub> någon gång. Vår familj då. Och sen är man ju då, om man tycker det, helt oberoende, man sköter sig själv. Sköter sig själv och de när man och det är kul. Det är ju aldrig, det är ju så att vi har ett säkert elsystem i Sverige då, det är inte så mycket strömavbrott men man hoppas ju alltid att det ska bli något någon kväll eller så, så att det slocknar i grannområdet där och så ser dem att det lyser och det har hänt två gånger i alla fall på fem år, att det har slocknat, blivit strömavbrott, och då ringer de och frågar varför lyser det i erat hus. Då säger man ja men vi har ju egen energi. Då har man den ju i källaren och så, ja. Så det är ju lite kul. Och sen då, man har ju kontroll på kostnaderna, kan man väl säga då. Energin, den är ju billig i Sverige men den kommer att bli dyrare, och de pengarna så, ja, du kan ju göra någonting annat för dem. Spara dem eller unna dig något annat men det är så, det är så jävla mysigt att vara en egen producent på det här sättet då. Helt oberoende av annat. Så det här att vara off-grid, det är ju inte för att man är förbannad på ett nätägaren eller elleverantören, utan det är ett intresse helt enkelt, att visa att det går. Och det är en framkomlig väg för att hjälpa vårt befintliga nät och elsystem att lasta av det för att kunna expandera. Men det är som jag sa tidigare, det är ju vissa tätorter Stockholm har ju, Malmö, Uppsala och överallt där har man ju problem med att få fram energi och effekt till etableringar och det kan ju lösas på detta sättet. Att vara en mikroproducent.

I2: Jag hade en sista fråga faktiskt. Och det här var en uppföljning från fråga nio då. Ifall något system då stängs av. Du berättade tidigare då att det är väldigt ovanligt att alla komponenter slutar fungera, ifall någonting slutar fungera då så kan det vara då i vissa fall att kanske bränslecellen då arbetar och förser huset, eller du använder batterierna då. Och, skulle man kunna dra, alltså från den informationen, skulle kunna dra slutsatsen då att själva användandet vätgas då kan vara då en möjlighet då som reservkraft till själva huset?

R: Ja, det kan säga. Vätgasen är extremt användbar som reservkraft och vi har ju utav de här tio, elva projekten vi håller på med så har vi fått förfrågningar från seriösa användare som få väck sina dieselaggregat och ha vätgas som reservkraft istället, med bränsleceller då. För att den går alltid igång, dieselgeneratorer är ett stort frågetecken de har, kräver, mycket service och underhåll hela tiden fast man inte använder dem, byter dieseloljan en gång om året, den vegetabiliska oljan är ju inte hållbar, är ju inte till exempel. Skitar ner ruskigt mycket kväveoxider och CO<sub>2</sub> när de går. De bullrar. Så att man vill ha vätgas som reservkraft, ja. Man fyller på den själv, då har man en mindre elektrolysör och solceller och det kan ju vara en långsam påfyllning för man behöver ju inte reservkraft varje vecka, utan det händer ju någon gång emellanåt. Du har alltid garanterad bränsle i huset eller i fastigheten, när den väl går igång ljudlös, släpper inte ut någonting och levererar precis den energin eller effekten som den är designad för. Så att ja, vätgas som reservkraft är hur jäkla bra som helst. Och du kan ju spara vätgasen i din cylinder, hur länge som helst, den åldras ju inte. Det är...

I2: Vad sa du?

R: Nej alltså, vätgas som reservkraft det är ju ett, det är ett relevant system.

I1: Okej. Ska vi kolla om de andra har några kommentarer?

I2: Ja, vi kan dubbelkolla ifall de andra har kanske fråga då som de kanske vill ställa. Dubbelchecka allting.

R: Det är bara att mejla mig det är det enklaste då, om ni har frågor eller om det är något ni, som har varit otydligt här då så.

I2: Okej, då kan vi mejla dig.

R: Jajamän.





**MÄLARDALEN UNIVERSITY**  
**SWEDEN**

P.O. Box 883, SE-721 23 Västerås, Sweden **Phone: +46 21 101 300**  
P.O. Box 325, SE-631 05 Eskilstuna, Sweden **Phone: +46 16 153 600**  
**E-mail:** [info@mdh.se](mailto:info@mdh.se) **Webb:** [www.mdh.se](http://www.mdh.se)