

## Smart-hybridvarme til bygningsopvarmning

Projekt under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet  
(j.nr. 2017-3449)

Projektrapport  
Februar 2020



# RAPPORT

## Kolofon

Titel:	Smart-hybridvarme til bygningsopvarmning
Rapportkategori:	Projektrapport
Forfatter:	Karsten V. Frederiksen, DGC
Dato for udgivelse:	17.02.2020
Copyright:	Dansk Gasteknisk Center a/s
ISBN-nr.:	978-87-7795-416-0
Sagsnummer:	745-45
Sagsnavn:	Smart Hybrid varmevirksomhed, bygningsopvarmning
Emneord:	Smart Grid, sektorkobling, hybridvarme, gas, el
URL:	<a href="https://www.dgc.dk/publikationer/soeg">https://www.dgc.dk/publikationer/soeg</a>
Arkivering:	H:\745\45 Smart Hybrid varmevirk\Slutrapport\Slutrapport feb2020_final.docx

<b>Indholdsfortegnelse</b>	<b>Side</b>
1.Forord .....	4
2.Resumé, konklusion og indstillinger .....	5
3.Smart Grid, sektorkobling og gashybridvarmepumper .....	7
4.Demonstration af anlæg på Gredstedbro Skole .....	9
4.1. Gredstedbro Skoles hovedbygning .....	9
4.2. Andre mindre gashybridanlæg .....	14
4.3. Central styring.....	16
5.Systemydelser og perspektiver for forsyningsvirksomheder.....	18
5.1. Systemydelser .....	18
5.2. Aggregatorrolle .....	20
6.Økonomiberegninger for hybridvarme .....	21
6.1. Brugerøkonomi .....	21
6.2. Samfundsøkonomi .....	23
6.3. Følsomhed CO <sub>2</sub> -priser.....	24
6.4. Fordele ved afbrydelighed .....	24
7.Sammenfatning .....	29
8.Referencer.....	32
Bilag 1: Forudsætning for økonomiberegninger .....	33

## 1. Forord

Denne rapport er udarbejdet af Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) med input fra projektpartnere i el- og gasbranchen som en del af projektet *Smart-hybridvarmevirksomhed til bygningsopvarmning* med støtte fra Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (tidligere Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet). Projektet er gennemført over to år med start primo 2018.

Ønsket med projektet har været at afklare, om et Smart Grid-varmeforsyningskoncept (sektorkobling mellem el og gas) baseret på ekstern styring af mange varmeinstallationer i bygninger med gasfyr og elvarmepumpe (gashybridvarme) med fordel kan implementeres i danske bygninger.

Varmeforsyning af bygninger kan herved ændres, så elvarmepumper leverer i størrelsesorden 80-90 % af varmen og gasfyret resten, og det vil være muligt at styre disse to enheder, så samfundet opnår optimal energiudnyttelse af grøn energi fra vind, sol og grøn gas.

Nærværende rapport giver svar på, om et sådant koncept kan fungere rent teknisk, og der kan fastlægges en forretningsmodel, som vil være økonomisk og miljømæssig attraktiv for en varmevirksomhed/aggregator, den enkelte bygningsejer og samfundet. Med andre ord om det vil være god ide at fremme sådanne Smart Grid-løsninger fremover, og om der bør gennemføres implementering af et sådant koncept i stor skala. Rapporten munder også ud i en indstilling til et videre forløb.

Projektets partnergruppe består ud over aktører fra forsyningsarterne el og gas også af rådgivere og en installatør. Følgende har deltaget i udførelsen af arbejdet og bidraget med input til rapporten:

- Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) v/ Karsten V. Frederiksen som projektleder
- SEAS-NVE v/Ole Alm
- StarVVS v/Peter Wagner Holst
- Evida (tidligere Dansk Gas Distribution (DGD)) v/Kristian Nielsen og Bjarne Koch
- O&J CTS v/Brian Sørensen (underleverandør).
- Esbjerg Kommune v/Kjeld Nissen
- Syd Energi - SE Rådgivning A/S (SE) v/John Terpollari Madsen

## 2. Resumé, konklusion og indstillinger

Projektets formål har været at afklare, om et Smart Grid-varmeforsyningskoncept med fordel kan implementeres i mange danske bygninger. Varmeforsyningskonceptet baserer sig på en kobling mellem el- og gassektorerne ved central styring af gashybridvarmeanlæg (gasfyr i kombination med elvarmepumpe).

Projektet har ved demonstration på et skoleanlæg i Esbjerg Kommune vist, at hybridvarmepumper ikke blot nedbringer energiregningen gennem effektivisering af energiforbruget. Hybridvarmepumper kan også levere et meget fleksibelt elforbrug og derved øge anvendelsen af grøn strøm og nedbringe anvendelse af gas til bygningsopvarmning. Dvs. at det via central styring nu er muligt på kort tid at øge og sænke elforbruget i en hybridvarmepumpe. Gassen bidrager altså med fleksibilitet og med at sikre varmeforsyning, når der ikke er vind, og når der i fremtiden kan opstå kapacitetsudfordring i de lokale eldistributionsnet med langt flere elbiler og varmepumper. Der er dog fortsat behov for udvikling af en mere enkel styreløsning. Specielt i forhold til villamarkedet skal løsningen både være mere enkel og billigere.

Hybridvarmepumpeløsningen, der har indgået i demonstrationsprojektet, er i forløbet installeret på Gredstedbro Skole i form af fem METRO THERM varmepumper á 20 kW og et 50 kW Bosch gasfyr, der samlet siden efteråret 2018 har forsynet hovedbygningen på 2.388 m<sup>2</sup> med varme og varmt vand. Hovedbygningen er opført 1938 og renoveret i 2011.

Konvertering af hovedbygningen har samlet set reduceret gasforbruget fra 18.500 m<sup>3</sup> i 2017 til ca. 1000 m<sup>3</sup> i 2019 (dvs. ca. 5 % af det oprindelige forbrug) ved stort set samme varmebehov. Resten af opvarmningen kommer nu fra el – ca. 67.000 kWh (35 %) og energi optaget fra luften (60 %). CO<sub>2</sub>-emissionen fra opvarmning af hovedbygningen er reduceret med ca. 26 tons om året, hvilket er en reduktion på 70 %.

Gassen kan være en billigere opvarmningsform for skolen om vinteren, når udetemperaturen er lav, og der er penge at spare ved at kunne vælge den billigste opvarmningsform, uden at det går ud over komforten. Varmepumperne har mulighed for at deltage i regulermarkedet, men skolen alene har en minimal fordel ud af det. Brugerøkonomi ved hybridvarmepumpeløsningen er dog bedre end den rene elvarmepumpeløsning. Ved samfundsøkonomiske beregninger er gasfyr markant bedre end hybridvarmepumpe og varmepumpe. CO<sub>2</sub>-prisen skal opnormeres med en faktor 3,6 for at sidestille hybridvarmepumpe med gasfyr.

Der kan dog være en større økonomisk besparelse, hvis en aggregator ejer anlægget og leverer varme til skolen. Besparelsen opnås ved både at være fleksibel (Smart Grid-effekter), men også ved,

at aggregatoren som ejer af anlægget kan sænke en stor del af elafgiften og dermed levere billigere varme.

Uden for projektet, men undervejs i forløbet, er yderligere et fritliggende stuehus (boligareal på 222 m<sup>2</sup>) lidt øst for Esbjerg og seks mindre bygninger på Gredstedbro Skole (hver på mellem 311-404 m<sup>2</sup>) forsynet selvstændigt med hver sin gashybridvarmepumpeunit af fabrikat Daikin. Disse anlæg er fuldt markedsmodne og indeholder en luft/vand-varmepumpe på 5 kW og et gasfyr på 33 kW. En aula i en skolebygning på 1168 m<sup>2</sup> forsynes også af en sådan løsning suppleret med to elvarmepumper af samme fabrikat.

Hvis disse anlæg implementeres i stor skala, og hvis det i projektet nævnte Smart Grid-varmeforsyningskoncept benyttes, vil et optimalt samspil mellem el- og gassektor være etableret.

### **Indstillinger fra projektet**

Tiden er således moden til nu at gennemføre implementering i stor skala. Herved forventes alle led i værdikæden at kunne overbevises om, at denne løsningsmodel gavner alle, og at den har potentiale til at gøre bygningsopvarmning 100 % grøn.

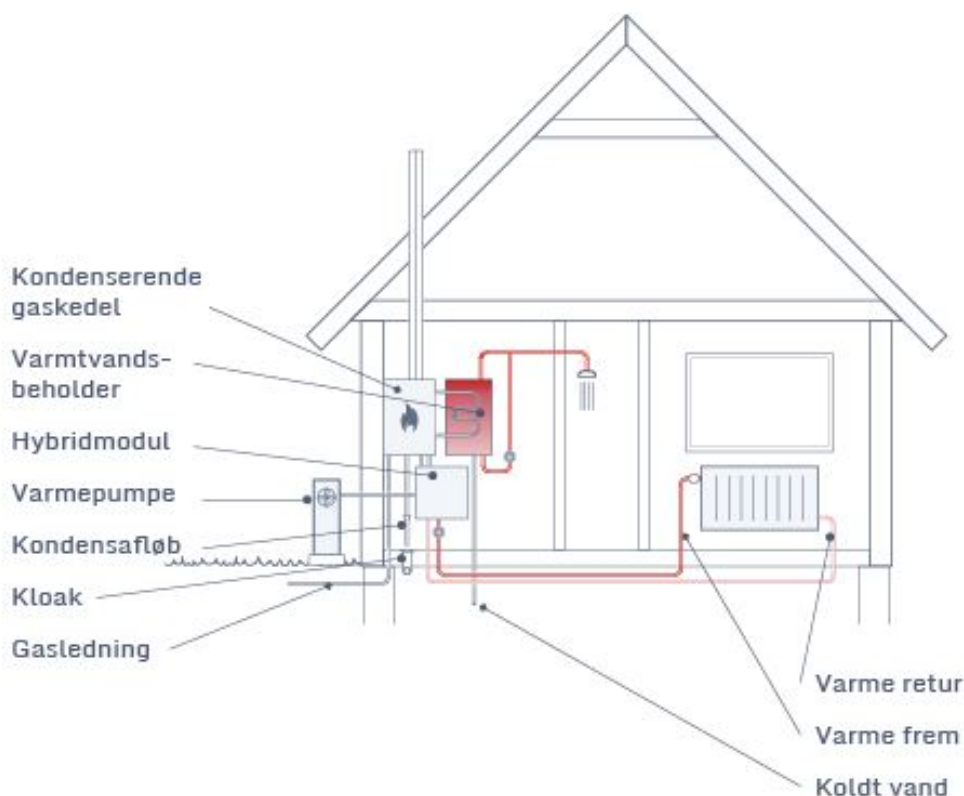
På vegne af skolen har Esbjerg Kommune v/Kjeld Nissen været anlægsvært i projektet og deltaget i projektgruppen. Han udtaler, at gashybridløsninger egner sig fint til kommunale bygninger, men der mangler bedre økonomiske rammer, hvis de skal udbredes i større skala. Egnetheden skyldes, at anlægsinvesteringen er lavere end rene varmepumpeløsninger, elstikledning har den fornødne kapacitet, større forsynings sikkerhed samt mulighed for højere fremløbstemperatur ved ældre varme anlæg.

Flere initiativer til fremme af gashybridvarme er allerede igangsat for at engagere produktleverandører, installatører, energiselskaber, kommuner og andre interessenter. Specielt kommunerne har ressourcerne og en rolle lokalt til at bane vejen for, at flere vil vælge Smart Grid-gashybridløsninger. Men de bør understøttes af myndighederne i form af tilpassede rammebetingelser, så de dokumenterer, at gashybridløsningen er mere rentabel end gasfyr.

Der er flere forhindringer for udbredelse, men den største enkeltstående er, at de nuværende rammebetingelser for kommunerne er, at de ikke kan få elrabat til bygningsopvarmning ved køb af en gashybridvarmepumpe - i modsætning til boligejere. Alene ved en sådan ændring ville kommunerne kunne finde økonomisk fornuft i gashybrid og derved forsvare at vælge denne løsning og bane vejen for Smart Grid og 100 % grøn bygningsopvarmning med vind, sol og biogas, hvor gasnettet indgår som energilager og bidrager til forsynings sikkerheden.

### 3. Smart Grid, sektorkobling og gashybridvarmepumper

Smart Grid-varmeforsyningskonceptet kan med fordel implementeres i mange danske bygninger, både i villa- og større installationer. Varmeforsyningskonceptet baserer sig på en kobling mellem el- og gassektorerne ved central styring af gashybridvarme (samspil mellem gasfyr og elvarmepumpe) [1-7]. Figur 1 viser et eksempel på gashybridvarme i en almindelig dansk husstand. Anlæg findes også som unitløsning, hvor det kondenserende gasfyr og varmepumpens indedel (hybridmodulet) er bygget sammen og ikke kræver ekstra plads i bryggerset.



Figur 1 Skitse af gashybridvarme, hvor et gasfyr kombineres med en elvarmepumpe og leverer varme til et varme- og varmtvandsanlæg.

Traditionel opvarmning med gas kan herved ændres, så

- elvarmepumper leverer i størrelsesorden 70-90 % af varmen, og når varmepumpens energieffektivitet falder, og komfortsyn kræver det, leverer gasfyret resten [1-5, 8].
- samtidig vil det være muligt at styre enhederne fra centralt hold, så samfundet opnår optimal udnyttelse af den grønne energi fra vind, sol og grøn gas (sektorkobling mellem el og gas) [6-7].

- central styring muliggør, at et varmforsyningselskab kan tilbyde systemydelser i form af op- og nedregulering af elforbruget hos de varmekunder, der ønsker at deltage. Er elprisen eksempelvis høj, kan den bruges som styringsfaktor for forsyningsvirksomheden, som ændrer driften af hybrid anlægget til forsyning med grøn gas, hvorved forbrugerne får den billigste og mest miljøvenlige varmforsyning, og elnettet aflastes, ikke mindst i det lokale distributionsnet, der i fremtiden bliver kapacitetsudfordret af langt flere elbiler og varmepumper [8].

I projektet er det derfor blevet undersøgt, om konceptet fungerer teknisk, og om der kan sammensættes en forretningsmodel, som vil være økonomisk og miljømæssigt attraktiv for både varmekunder (aggregatorer), den enkelte bygningsejer og samfundet. Hertil kommer, om komforten er sikret, ved at det relativt billigere gasfyr leverer varmforsyningen ved stort forbrug, og når det er koldt udenfor, i stedet for installation af varmepumper, der er overdimensionerede i den største del af året.

I nærværende projekt beskrives, hvordan en centralt styret gashybridløsning er blevet demonstreret på Gredstedbro Skole i Esbjerg Kommune.



## 4. Demonstration af anlæg på Gredstedbro Skole

Demonstrationsforløbet har haft fokus på Gredstedbro Skoles hovedbygning.

Følgende kompetencer har indgået i arbejdet:

- Dansk Gasteknisk Center a/s (projektleder – ekspert i varmforsyningsteknologier)
- SEAS-NVE (el- og gashandelsselskab – ekspert i energiforsyningskoncepter)
- StarVVS (installation og servicefirma - ekspert i projektering, installation og service)
- Evida det tidligere Dansk Gas Distribution (gasdistributør – ekspert i gasnettet)
- O&J CTS (ekspert i styrings- overvågningsløsninger)
- Esbjerg Kommune (bygningsejer – deltager som anlægsvært)
- SE Rådgivning A/S (rådgiver - ekspert i elnettet)

### 4.1. Gredstedbro Skoles hovedbygning

Gashybridanlægget blev etableret i 2018, og opsamling af driftsdata fra anlægget (ekstern overvågning) startede i september 2018. Gashybridanlægget består af et gasfyr og fem luft/vand-varmepumper (se Figur 2), som leverer rumvarme og varmtvand til skolens hovedbygning på 2388 m<sup>2</sup>, som blev opført i 1938 og renoveret i 2011. Figur 3 viser, hvordan anlægget er opbygget på skolen, hvor de største komponenter er de fem varmepumpe-units, varmebuffertank, gasfyr og varmtvandsveksler. Anlægget er grundlæggende styret, således at varmepumperne leverer basisvarmebehovet ved en given setpunktstemperatur, der også afhænger af udetemperaturen. Kedlen booster kun, når fremløbstemperaturen er tilstrækkeligt høj. Herved får varmepumperne de bedste driftsbetingelser.

Anlægget har nu været i drift i lidt over 1½ år, og der er opnået mange spændende erfaringer. En af de vigtigste er, at skolens klimaaftryk er mindsket betragteligt ved at gå fra opvarmning med ren gas til opvarmning med en hybridløsning.

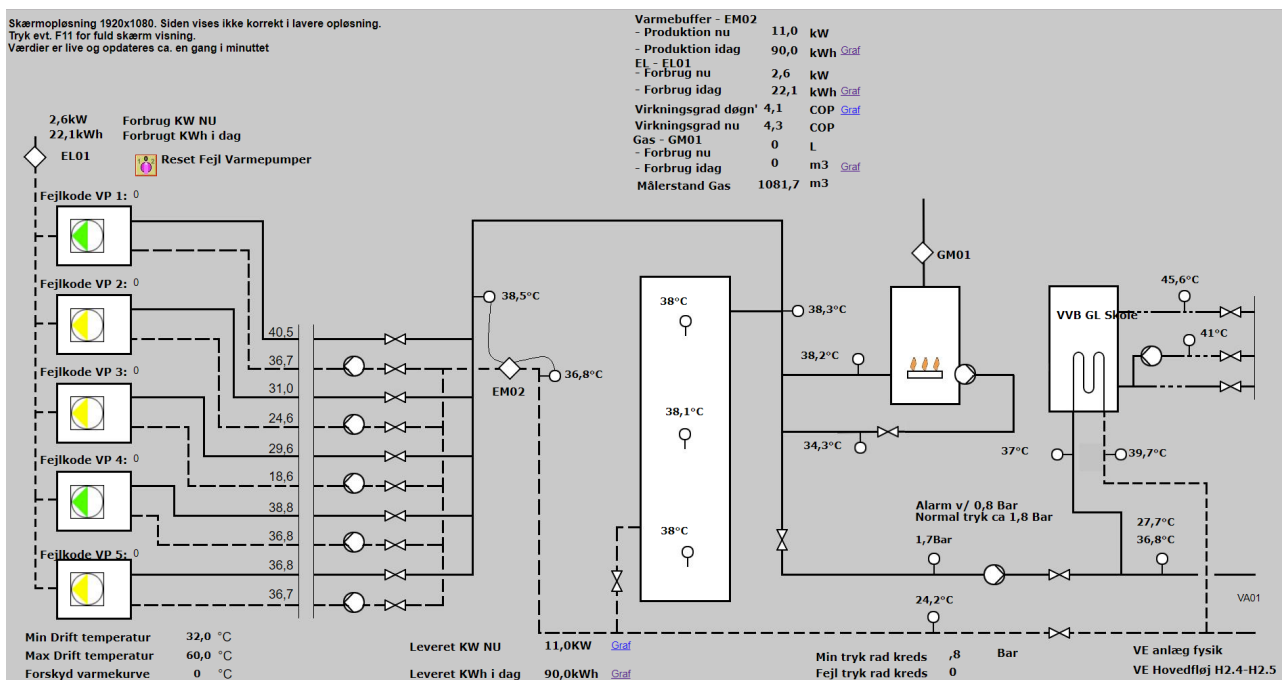
Figur 4 viser en sammenligning af energikilderne til opvarmning af hovedbygningen fra før til efter installation af anlægget. Ved stort set samme varmebehov i 2017 og 2019 er gasforbruget nemlig reduceret fra 18.500 m<sup>3</sup> i 2017 til ca. 1000 m<sup>3</sup> i 2019 (dvs. ca. 5 % af det oprindelige forbrug). Resten af opvarmningen kommer fra el – ca. 67.000 kWh (35 %) og energi optaget fra luften (60 %). Den årlige reduktion af CO<sub>2</sub> er estimeret til ca. 26 tons per år, hvilket er en reduktion på 70 %<sup>1</sup>. Ved smart styring kan anvendelse af grøn gas og grøn strøm yderligere bidrage til reduktion af CO<sub>2</sub>.

---

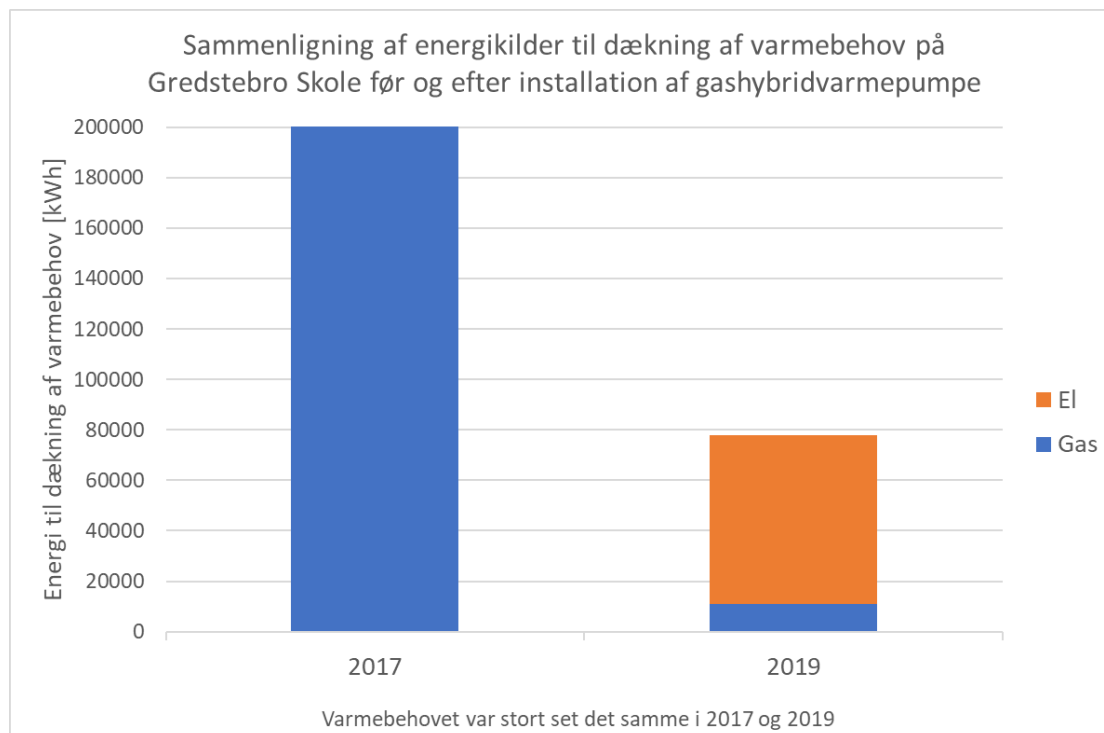
<sup>1</sup> De anvendte emissionsfaktorer er fra Energistyrelsens udgivelse ”Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner, oktober 2018”



Figur 2 Gashybridanlæg ved Gredstedbro Skoles hovedbygning (fem luft/vand-varmepumpers udedele).



Figur 3 Komponenttegning af anlægget (hovedbygningen) på Gredstedbro Skole fra det eksterne overvågningssystem.



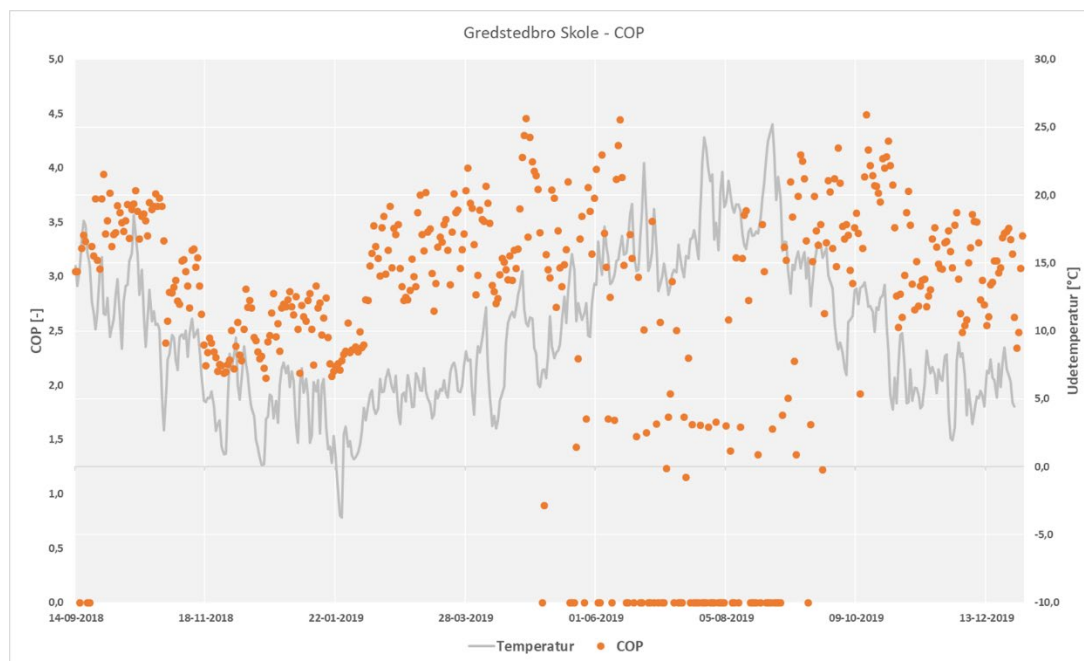
Figur 4 Sammenligning af energikilder til opvarmning af Gredstedbro Skole før og efter installationen af gashybridanlægget.

At gasforbruget er faldet til ca. 5 % i ovennævnte periode er meget i forhold til de 10-30 %, som tidligere erfaringer og standardværdigkataloget angiver [1-5, 8]. Det tilskrives en mild vinter i 2018/2019 og forholdet mellem rumvarme og varmt vand er forholdsvis stort sammenlignet med boliger.

På Figur 5 ses varmepumpernes energieffektivitet (COP-værdier) for anlægget samt udetemperaturen (3 dages gennemsnit). Anlæggets COP ligger samlet på ca. 2,9 for perioden 25. sept. 2018 til 24. sept. 2019. Nulværdierne fra sommerperioden indgår ikke som følge af måleusikkerheden (forklares nedenfor). En smule lavt i forhold til andre fieldtest [2-4, 8]. Det skyldes, at varmeanlægget har behov for en forholdsvis høj fremløbstemperatur. Kedlens boosterfunktion afhjælper det dog delvist.

Det ses, at COP-værdierne for varmepumperne stiger som forventet med stigende udetemperatur. I sommerperioden, hvor varmebehovet er lavt, kører varmepumper kun sporadisk, og de målte COP-værdier er uinteressante for denne periode og vil ikke kunne bruges som grundlag for optimering og Smart Grid-styring. Årsagen skal findes i, at sommer COP-værdierne målt med korte tidsintervaller

er behæftet med stor måleusikkerhed. Specielt temperaturforskellen mellem frem og retur fra varmepumperne bliver meget lille om sommeren. En algoritme for installationen baseret på ugeværdier bør bruges om sommeren når måleusikkerheden bliver for stor.



Figur 5 COP-værdier (3 dages gennemsnit) for anlæg og udetemperatur i perioden sept. 2018-dec. 2019.

En vigtig parameter for projektets succes har været at vise, at der via central styring hurtigt kan skiftes fra drift på varmepumper til gasfyr og tilbage igen, når elprisen stiger og giver dårlig driftsøkonomi. Gasprisen ændrer sig ikke meget og har således ikke indgået som styringsparameter.

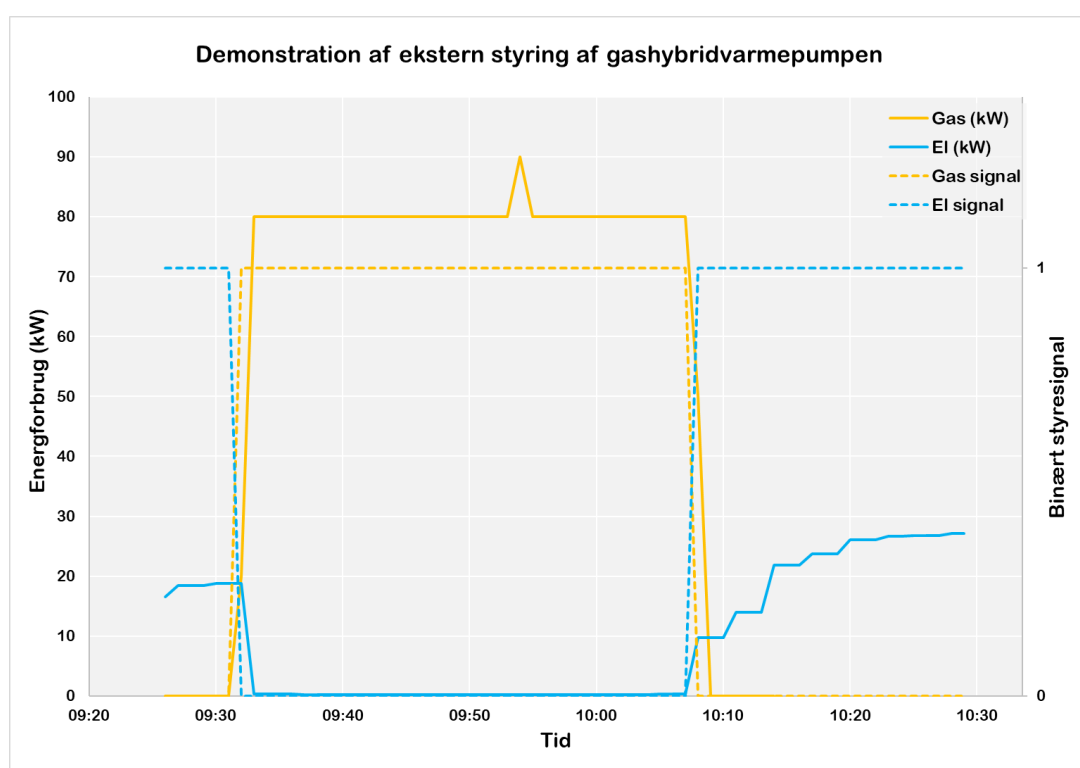
O&J CTS har lavet en styreløsning, der baserer sig på CTS-teknologi, som fungerer fint, men bedst passer til større bygninger, både teknisk og økonomisk. I forhold til boliger og mindre bygninger passer styreløsningen fra Flexgas I og II nok bedre [6,7].

Dette er især interessant for energiforsyningsvirksomheder, der med en pulje af kunder med gashybridløsninger vil kunne tilbyde systemydelser til elmarkedet ved enten at op- eller nedregulere elforbruget for deres pulje af kunder [6]. Ligeledes vil gas kunne anvendes til spidsbelastning, hvorved investeringer i forstærkning af elnettet kan undgås [8]. Dette vil også have en relativt stor værdi for ejerne af elnettet.

Det er blevet demonstreret ved at følge et opstartsforløb og moduleringsforløb, at den ønskede eksterne styring af gashybridløsningen er mulig. Rent praktisk er der sendt signal til anlægget om at

stoppe de fem varmepumper og starte gasfyret, hvor reaktionstiden er blevet registreret. Efterfølgende er samme øvelse udført, hvor varmepumperne tændes igen, og gasfyret slukkes. Et eksempel på dette kan ses på Figur 6.

Kl. 9:31 bliver der sendt et signal til anlægget om at omlægge driften fra varmepumperne til gasfyret. Det ses, at inden for 1 minut er gasfyret startet og i stabil drift. Varmepumperne reagerer straks og aftager ikke el efter ca. 2 minutter. Kl. 10:07 bliver der igen sendt et signal til anlægget om at omlægge driften, og reaktionstiden observeres til ca. 2 minutter, før gasfyret er stoppet. Varmepumperne reagerer igen straks, men der går ca. 4 minutter, før varmepumperne aftager 50 % af ønsket elforbrug, og ca. 13 minutter før stabil drift er opnået.



Figur 6 Demonstration af anlæggets reaktionstid på ændring fra drift på varmepumper til gasfyr.

Varmepumperne har altså en lille tidsmæssig begrænsning i reaktionstiden, og hertil kommer, at den enkelte varmepumpeenhed skal hvile et tilsvarende tidsrum, hvis den nødvendigvis må stoppes. Der skal gå i størrelsesorden 15 min., før kølemidlet er klar til genstart - er omdannet fra damp til væskefase. Hvis en aggregator har aftale med mange anlægsejere og om central styring af mange gashybridenheder på en gang, kan disse køre/hviletidskrav dog løses med en passende styringsstrategi.

Den relativt korte reaktionstid kombineret med styringsstrategien for kaskadeløsningen eller en større pulje af gashybridanlæg gør det muligt for energiforsyningsvirksomheder at tilbyde systemydelser til elnettet (fx regulermarkedet). Dvs. at der kan spares penge ved ikke at købe strøm i de dyreste timer på spotmarkedet for el og i stedet anvende gas til varmforsyningen [9].

For deltagelse i regulerkraftmarkedet er kravet til reaktionstid nemlig på 15 minutter, og det kan ovennævnte anlægsløsning umiddelbart overholde. For deltagelse i frekvensmarkedet er kravet ½ minut, og ved ovennævnte puljestyrløsningsløsning kan anlægget også indgå i dette marked.

Et andet krav er at aggregatoren kan levere mindst 0,3 MW i regulering. Det betyder, at aggregatoren skal råde over ca. 63 kunder som Gredstedbro Skole eller lidt over 1.100 villakunder med hver sin hybridløsning – dette er dog under forudsætning af, at man kan ind- og udkoble varmepumpens fulde kapacitet. Hvis man i stedet forudsætter, at der kun kan reguleres svarende til varmepumpens halve kapacitet (svarende til gennemsnitligt varmebehov for den slags bygninger i fyringssæsonen), skal aggregatoren råde over styringen af en hybridløsning i 126 skoler eller hos 2.200 villakunder.

#### **4.2. Andre mindre gashybridanlæg**

Esbjerg Kommune har med inspiration fra nærværende projekt yderligere etableret seks Daikin-hybridvarmepumpeløsninger i øvrige pavillonbygninger (hver på 311-404 m<sup>2</sup>) på Gredstedbro Skole (se Figur 7 og Figur 8). Hver hybridløsning indeholder en luft/vand-varmepumpe på 5 kW og et gasfyr på 33 kW. En bygning med aula på 1168 m<sup>2</sup> forsynes også af en sådan Daikin-løsning suppleret med to Daikin elvarmepumper á 16 kW. Disse er endnu ikke koblet på den centrale styring som beskrevet ovenfor ift. hovedbygningen.

Det interessante ved Daikins løsning i villastørrelsen er, at den sælges som unitløsning, hvor indedelen til varmepumpen er bygget sammen med gaskedlen. Målene på løsningen passer godt ind i et standard 60 cm skab i et bryggers. Udedelen kan enten være med beskyttende kabinet eller uden. Det skal bemærkes, at der også findes andre fabrikater end ovennævnte, både som pakkedløsning eller add-on-løsninger, hvilket fremgår af hjemmesiden ”hybridvarme.nu”. [11].



*Figur 7 Daikin gashybridvarmepumpe placeret i en af skolens pavilloner med gasfyr og varmepumpens indedel bygget sammen i én unit.*



*Figur 8 Udedel til Daikin gashybridvarmepumpen med beskyttende kabinet, placeret uden for pavillonen.*

Ud over det omtalte anlæg ved hovedbygningen på Gredstedbro Skole er der i forbindelse med projektet også etableret et mindre Daikin gashybridanlæg i et fritliggende stuehus i Glejbjerg ved Esbjerg. Det har været i drift siden april 2019, og på samme vis som ovenfor har der været fjernovervågning på dette anlæg.

### **4.3. Central styring**

Mht. den centrale styring har arbejdet vist, at det ikke er en avanceret CTS-teknologi, der i fremtiden bør styre Smart Grid på anlæg i de private hjem, men en mere simpel løsning [6, 7]. I de større anlæg som på Gredstedbro Skole, hvor det i forvejen indgår i overvågning/styring af energiforbrug, kan det dog give god mening.



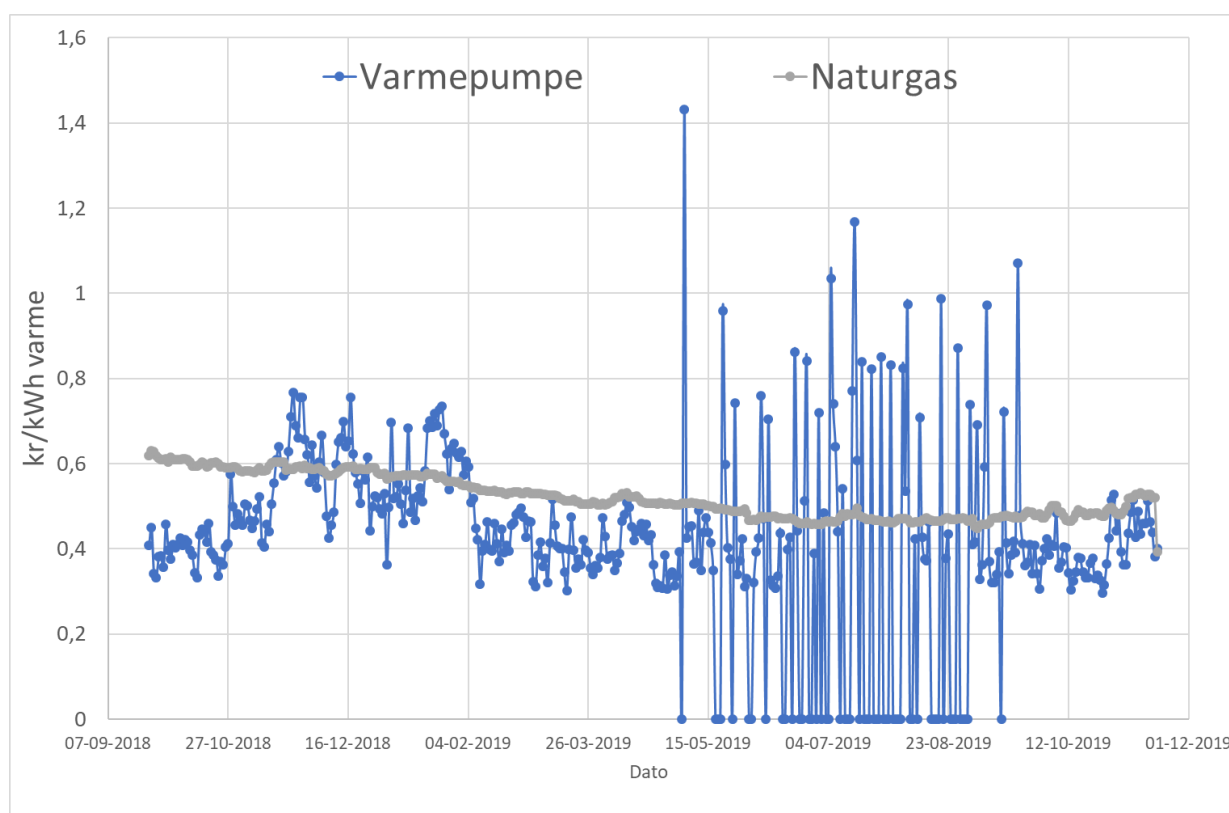
Styringen skal i virkeligheden blot leve op til et enkelt krav. Det skal kunne modtage information om, at elprisen er dyr eller billig. Dette kan evt. distribueres ud til forbrugeren som et simpelt on/off-signal, der tilsluttes varmepumpestyringen som så igen tilsluttes gaskedlen.

Det kunne være via forbrugernes intelligente elmåler, hvor der kan føres et signal ud til et simpelt on/off-relæ, der føres til varmepumpen som jo også styrer gaskedlen. Informationen kunne også komme fra internettet, men her er der selvfølgelig en risiko for, at nettet kan være nede, når signalet sendes, så man mister en omstilling.

## 5. Systemydelse og perspektiver for forsyningsvirksomheder

Når opvarmningsformen benytter to energikilder, eller energibærere, er der muligheder for at skifte mellem disse efter pris, CO<sub>2</sub>-aftryk eller fx belastning af elnettet. I det følgende er der kun set på prisen.

På Figur 9 ses, hvor meget det koster pr. kWh leveret varme via enten gasfyret eller varmepumperne (kr./kWh). I beregningerne indgår dagsprisen for naturgas (inklusive transport og afgift) og gasfyrets effektivitet (100 %) samt spotprisen i DK1 (gennemsnitspris pr. døgn og inklusive transport og afgift) og den gennemsnitlige COP pr. dag.



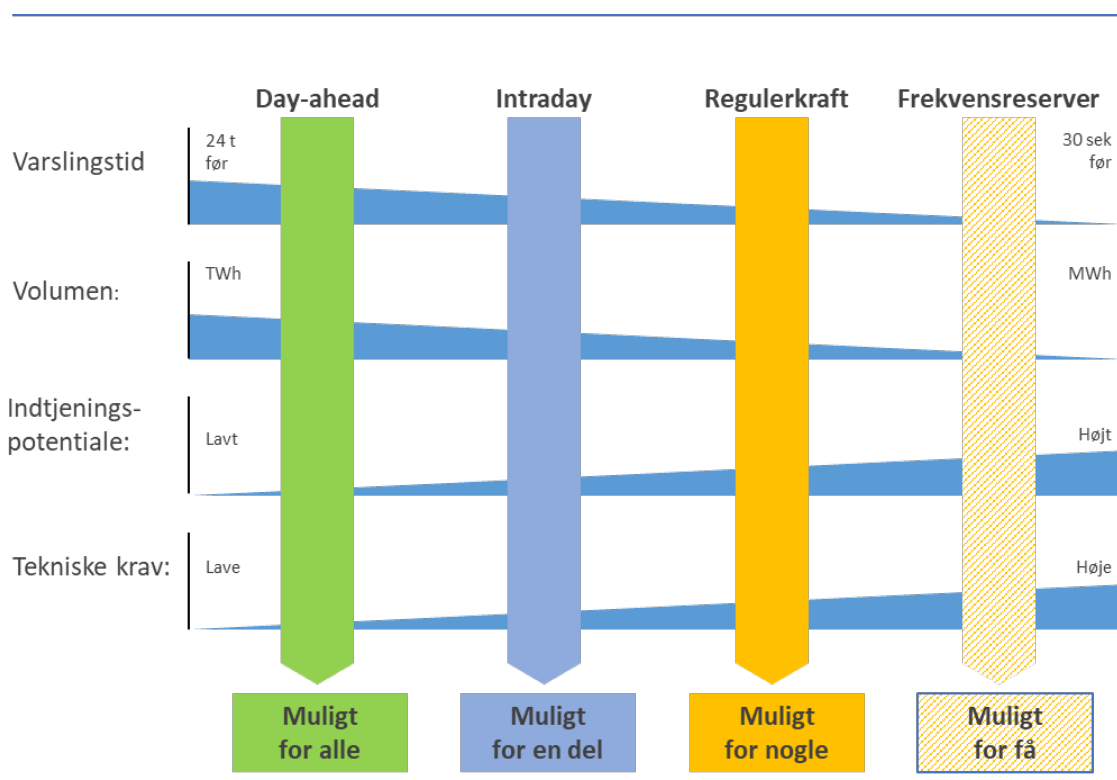
Figur 9 Varmepriis pr. kWh leveret varme via enten gasfyret eller varmepumperne.

Som det ses på figuren, vil det de fleste vinterdage kunne betale sig at benytte gasfyret, mens det resten af året er billigst at opvarme med varmepumpen. Det skyldes både, at elpriserne har været høje om vinteren, gasprisen lav, og at COP-værdierne falder, når udetemperaturen falder.

### 5.1. Systemydelse

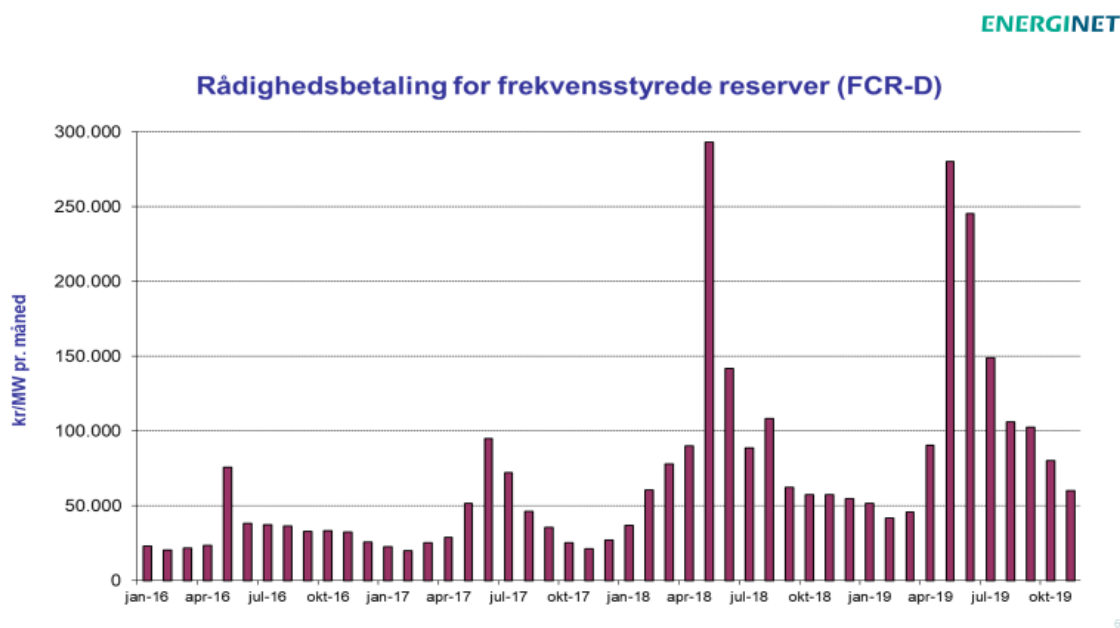
Der er flere måder at være fleksibel på. Ovenstående er et eksempel på mulighederne for besparelser, når man kender elprisen og udetemperaturen 24 timer i forvejen. Det kræver meget lidt teknik,

og det er en service, som mange kan tilbyde, og derfor er indtjeningen ikke særlig stor. Men det er ikke altid, at vejret, produktion og forbrug arter sig på den måde, som det var planlagt. Der sker derfor reguleringer i løbet af dagen, inden for timen og nogle gange helt ned på sekundet. Og grundreglen er, at jo hurtigere eller med kortere reaktionstid dit anlæg kan reagere på et ønske om op- eller nedregulering af et forbrug (eller produktion) – jo flere penge er der at tjene. Dette er illustreret på næste figur.



Figur 10 Krav og indtjening på de forskellige elmarkeder [9].

Som det tidligere er vist (se Figur 6), kan varmepumperne på Gredstedbro Skole reagere (tænd/sluk) på under 30 sekunder, efter der er modtaget et signal, og det er derfor muligt at deltage på frekvensmarkedet. Dog under forudsætning af at anlægget indgår i en større pulje med andre hybridanlæg og dermed indgår i en central styring, der sikrer op- og nedregulering efter behov. Nedenstående Figur 11 fra Energinet viser, hvor meget der kan tjenes pr. MW pr. måned for at stå til rådighed som en frekvensstyret reserve.



6

Figur 11 Indtjening pr. MW pr. måned for at stå til rådighed som en frekvensstyret reserve [9].

Som det ses, varierer rådighedsbetalingen meget over tid. På Gredstedbro Skole er der installeret 100 kW varmepumper, så på de bedste måneder kan der være helt op til knap 30.000 kr. at tjene for at stå til rådighed for det hurtige regulermarkedet. I gennemsnit er det dog noget lavere, omkring 2-3.000 kr. pr. måned, og i realiteten vil det være endnu lavere. Det skyldes, at budet som man afgiver, skal være symmetrisk, det vil sige, at man skal kunne tilbyde lige store mængder op- og nedregulering. Man skal derfor have lige så mange varmepumper kørende, der kan slukkes for, som man har varmepumper, der kan tændes for – eller varmepumperne skal kunne procentvis reguleres på deres ydelse, fx fra 40 til 60 %.

Ovenstående beløb gælder, hvis varmepumpen står til rådighed 24 timer i døgnet, og det kræver, at den enten er slukket 24 timer i døgnet (og er klar til en opregulering) eller tændt i 24 timer i døgnet. Da det ikke er tilfældet, og slet ikke om sommeren, hvor forbruget er minimalt, vil der være en meget begrænset fortjeneste ved at være på regulermarkedet.

## 5.2. Aggregatorrolle

En aggregator kan dog have flere skoler i sin portefølje og kan derfor opnå en fordel ved at pulje de forskellige små fortjenester på de enkelte skoler. Hvis aggregatoren samtidig ejer installationen på skolen, kan denne, modsat skolen selv, opnå reduktion af elafgiften af den del af forbruget, som benyttes til varmepumpen. Derved kan aggregatoren levere endnu billigere varme til skolen, end skolen selv kan opnå.

## 6. Økonomiberegninger for hybridvarme

Der er beregnet bruger- og samfundsøkonomi for tre forskellige varmeløsninger for hovedbygningen på Gredstedbro Skole.

I efteråret 2018 blev der som sagt tidligere installeret et hybridvarmepumpeanlæg bestående af fem METRO THERM varmepumper og en Bosch gaskedel. I de følgende beregninger benyttes en varmepumpeeffekt pr. stk. på 20 kW og en kedeffect på 50 kW.

Esbjerg Kommune, der er anlægsejer, har en politik om, at gasfyr i kommunale bygninger ved endt levetid udskiftes med varmepumper, hvis fjernvarme ikke er mulig. Den alternative løsning for skolen ville derfor have været en ren varmepumpeløsning. En ren varmepumpeløsning ville bestå af 6 METRO THERM varmepumper af samme type som i hybridvarmeprojektet.

Hvis kommunen ikke havde ovennævnte politik for udskiftning, kunne en ny gaskedel have været en løsning. Gaskedelløsningen kunne være baseret på to gaskedler af samme type som installeret i hybridløsningen.

Der er beregnet bruger- og samfundsøkonomi på disse tre alternative løsninger med de i Bilag 1 angivne forudsætninger.

### 6.1. Brugerøkonomi

Af Figur 12 nedenfor fremgår den brugerøkonomiske beregning af det installerede hybridvarmepumpeanlæg med fuld indfasning af reduceret elafgift i 2025, hvor afgiften er reduceret til 77,4 øre/kWh for almindeligt elforbrug, der er afgiftssatsen, som gælder for elopvarmning af offentligt ejede bygninger.

Inkl. moms	Hybridvarmepumpe	Varmepumpe	Gaskedel
Investering i alt (kr.)	1.000.000	1.458.199	150.938
Levetid (år)	20	20	20
COP	2,92	2,87	1,00
Effekt varmepumper (20 kW pr. stk)	100	120	-
Elforbrug (kWh/år)	59.766	64.727	-
Gasforbrug (m <sup>3</sup> /år) - 5%	1.046	-	16.908
Energiproduktion VP (kWh)	174.480	185.986	-
Elpris brugerøkonomi (kr./kWh)	1,57	1,57	-
Gaspris brugerøkonomi (kr./m <sup>3</sup> )	7,50	7,50	7,19
Drift og vedligehold (kr./år)	15.273	15.273	4.172
Gaskøb (kr./år)	7.845	-	121.525
Elkøb (kr./år)	94.129	101.941	-
Årlige omkostning energi og D&V	117.246	117.213	125.697
Ydelse lån Kommunekredit (kr./år)	54.472	79.430	8.222
Årlig omkostning i alt(kr.)	171.718	196.644	133.919
Merbetaling ift. billigste alternativ (kr./år)	37.799	62.725	-

Figur 12 Brugerøkonomi for alternative varmeforsyninger.

Det ses, at hybridløsningen kun er en smule billigere end den rene varmepumpeløsning, og at gasløsningen er væsentligt billigere end de to varmepumpeløsninger. Gasløsningen er således 38 t.kr./år billigere end hybridløsningen og 61 t.kr./år billigere end varmepumpeløsningen. Det vil sige, at hybridløsningen er 28 % dyrere end gaskedeløsningen. Forskellen er begrundet i de store forskelle i investeringer. Gasløsningen kan etableres for blot 151 t.kr. mod 1 mio. kr. for hybridløsningen og 1,2 mio. kr. for varmepumpeløsningen. Samtidig er service på en gasløsning væsentligt billigere end på en varmepumpeløsning. Samlet set er de årlige driftsomkostninger større på gasløsningen end på de to andre løsninger, men investeringsforskellene trækker den indregnede årlige ydelse på investeringen op for de to varmepumpeløsninger, så de samlet set bliver væsentligt dyrere end gaskedelalternativet.

Brugerøkonomien tilsiger, at kommunen vælger gaskedeløsningen frem for de to varmepumpebaserede alternativer.

Der er i Figur 13 regnet en alternativ brugerøkonomi med samme elvarmeafgift, som private betaler i 2022, hvor PSO-betalingen er bortfaldet, og nedsættelsen af afgift på elvarme er fuldt indfaset.

Inkl. moms	Hybridvarmepumpe	Varmepumpe	Gaskedel
Investering i alt (kr.)	1.000.000	1.458.199	150.938
Levetid (år)	20	20	20
COP	2,92	2,87	1,00
Effekt varmepumper (20 kW pr. stk)	100	120	-
Elforbrug (kWh/år)	59.766	64.727	-
Gasforbrug (m <sup>3</sup> /år) - 5%	1.046	-	16.908
Energiproduktion VP (kWh)	174.480	185.986	-
Elpris brugerøkonomi (kr./kWh)	0,80	0,80	-
Gaspris brugerøkonomi (kr./m <sup>3</sup> )	7,50	7,50	7,19
Drift og vedligehold (kr./år)	15.273	15.273	4.172
Gaskøb (kr./år)	7.845	-	121.525
Elkøb (kr./år)	47.884	51.859	-
Årlige omkostning energi og D&V	71.002	67.131	125.697
Ydelse lån Kommunekredit (kr./år)	54.472	79.430	8.222
Årlig omkostning i alt(kr.)	125.473	146.561	133.919
Merbetaling ift. billigste alternativ (kr./år)	-	21.088	8.445

Figur 13 Brugerøkonomi for alternative varmeforsyninger med elafgift som for private.

En anvendelse af samme afgift på elvarme som private opnår ved den fulde indfasning i 2022, forbedrer økonomien i de to varmepumpeløsninger markant. Elprisen sænkes således med 61,9 øre/kWh og forbedrer økonomien så meget, at hybridløsningen nu bliver billigste løsning og varmepumpen den dyreste. Hybridløsningen bliver 12 t. kr. /år billigere end gas og 17 t. kr. /år billigere end varmepumpeløsningen. Brugerøkonomien på de tre alternativer ligger væsentligt tættere ved samme afgiftsbetaling som private end under de nuværende afgiftsforhold for kommunale bygninger.

## 6.2. Samfundsøkonomi

Der er regnet samfundsøkonomi for de samme tre alternative opvarmningsformer. Samfundsøkonomien er beregnet i overensstemmelse med Energistyrelsens retningslinjer og samfundsøkonomiske priser. 95 % af varmeleverancen i hybridløsningen er elbaseret, og der er derfor indregnet det fradrag i elprisen, som Energistyrelsen giver forbrug med en sådan fleksibilitet.

Samfundsøkonomien er beregnet som nutidsværdien af varmeproduktionsomkostningerne inkl. investeringen over en tyveårsperiode, der svarer til den anslåede levetid for anlæggene.

	Hybridvarmepumpe	Varmepumpe	Gaskedel
Investering (kr.)	800.000	1.136.559	120.750
Levetid (år)	20	20	20
Varmebehov (MWh)	186	186	186
COP	2,92	2,87	1,00
Elforbrug (kWh/år)	59.766	64.727	-
Gasforbrug (m <sup>3</sup> /år) - 5%	1.046	-	16.908
Drift og vedligehold (kr./år)	12.218	12.218	3.338
Nettoafgiftsfaktor	1,325	1,325	1,325
Skatteforvridning	0,1	0,1	0,1
Samfundsøkonomisk kalkulationsrente	4%	4%	4%
<b>Nutidsomkostninger inkl. nettoafgiftsfaktor for en 20 års periode</b>			
Investering	1.019.231	1.448.020	153.840
Energi	602.069	605.858	999.592
Drift og vedligehold	220.012	220.012	60.101
CO <sub>2</sub> og anden forurening	11.924	9	192.620
Skatteforvridning	- 164	- 1.277	1.277
Samfundsøkonomisk omkostning	1.853.073	2.272.622	1.407.429
Merbetaling ift. billigste alternativ	445.644	865.193	-

Figur 14 Samfundsøkonomi for tyve år (2019-2038).

Som det fremgår af Figur 14, er gasløsningen det billigste samfundsøkonomiske valg som følge af lave omkostninger til investeringer og billig drift og vedligehold.

### 6.3. Følsomhed CO<sub>2</sub>-priser

En øgning af CO<sub>2</sub>-prisen med en faktor 3,6 over den 20-årige planperiode ligestiller omkostningen mellem hybridvarmepumper og gaskedel på en omkostning på 1,9 mio. kr. Hybridløsningen er ved dette niveau af CO<sub>2</sub>-pris stadig billigere end den rene varmepumpeløsning. Det indebærer en gennemsnitlig CO<sub>2</sub>-pris på 1.113 kr./ton over perioden på 20 år.

Det er en stor stigning i CO<sub>2</sub>-prisen, der kun er basis for hvis 70 %-målet i 2030 ikke kan nås ved lavere CO<sub>2</sub>-priser. Hvis det samfundsøkonomisk skal være fornuftigt at investere i hybridvarmepumper svarende til det undersøgte koncept, bør der ske væsentlige reduktioner i installationspriser og i omkostninger til drift og vedligehold, med mindre der er andre fordele ved hybridløsningen.

### 6.4. Fordele ved afbrydelighed

Hybridvarmepumpen kan netop tilbyde andre fordele i form af Smart Grid-effekter gennem dens afbrydelighed. Afbrydeligheden er undersøgt i projektet, og det er konstateret, at hybridvarmepumpen kan afbrydes og startes via en fjernstyring. Dermed er det muligt at tilpasse elforbruget efter nettariffer, spotpriser, regulerkraftpriser og frekvensreguleringspriser.



## Spotpriser

Gredstedbro Skole indkøber strøm til 22 øre/kWh på fastpris. Det er en særdeles lav pris, og SEAS/NVE har vurderet, at prisen ved en genforhandling bør forventes at være ca. 10 øre/kWh dyrere. Vi har derfor anvendt en pris på 32 øre/kWh i beregningen af brugerøkonomien.

Det er beregnet, ved hvilke priser på el det er billigere at overgå til ren gasdrift.

Den anvendte elpris inkl. distributionstariffer og afgifter ligger på 1,26 kr./kWh – heri er indregnet den fulde afgiftslempelse for elforbrug i offentligt ejede bygninger i 2025 og det nævnte tillæg på 10 øre/kWh, der kompenserer for lav nuværende elpris.

Denne pris giver for hele 2019 anledning til en gennemsnitlig varmeproduktionspris på 43 øre/kWh, der er beregnet som 1,26 kr./kWh divideret med COP for året på 2,92. Produktionsprisen for varme fra gaskedlen findes ved at omregne gasprisen på 6 kr./m<sup>3</sup> til en pris pr. kWh. Det vil sige 55 øre/kWh. Der forudsættes en virkningsgrad på 100 % på gaskedlen.

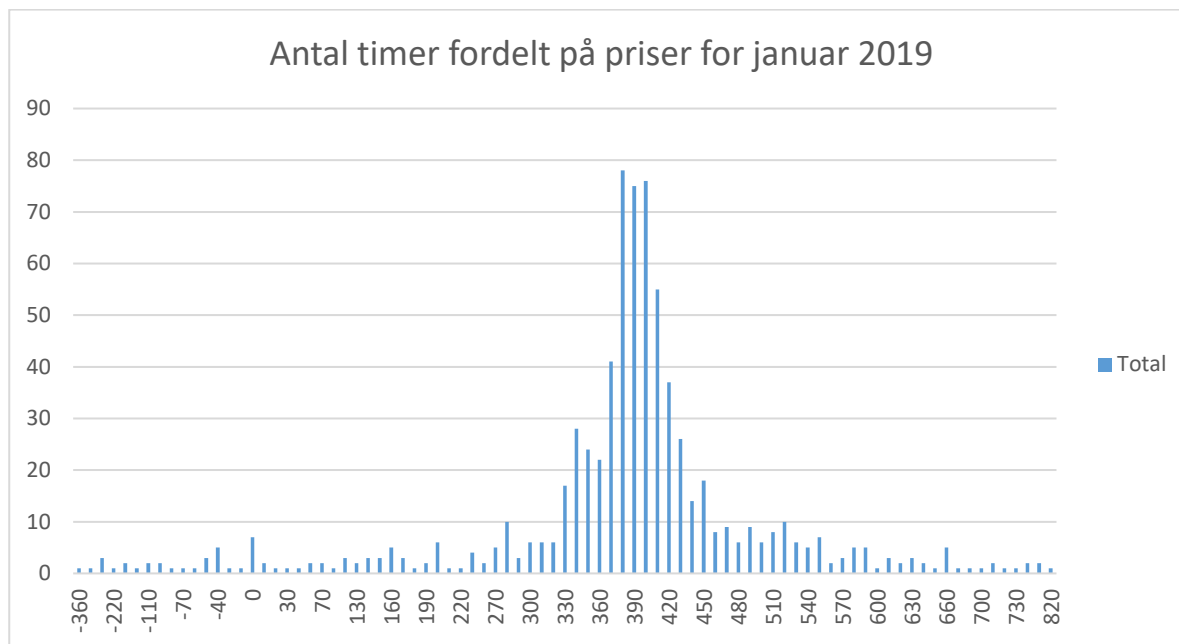
Vi har døgnmålinger for COP og der er beregnet en gennemsnitlig COP pr. måned (se Figur 15). På dette grundlag er der beregnet en balancepris for el – forstået som den elpris, der er råd til at betale, før det er lige så billigt at producere varmen på gaskedlen.

	Gennemsnitligt døgnforbrug (kWh)	Gennemsnitligt timeforbrug (kWh)	Gennemsnitlig COP	Balancepris el ctr. Gasdrift (kr./kWh)
Januar	457	19	2,46	0,347
Februar	318	13	3,01	0,632
Marts	231	10	3,37	0,824
April	135	6	3,38	0,826
Maj	75	3	3,40	0,835
Juni	18	1	3,06	0,659
Juli	7	0	2,81	0,530
August	10	0	3,25	0,759
September	29	1	3,19	0,727
Oktober	122	5	3,61	0,947
November	256	11	3,15	0,706
December	315	13	3,04	0,647

Figur 15 Balancepris for valg af gasdrift frem for eldrift.

Balanceprisen er herefter sammenlignet med spotpriser på el på månedsbasis, hvis man vælger driftsstrategien at skifte til gasdrift, når elprisen på spotmarkedet overstiger balanceprisen. Herved opnår man en besparelse på den samlede energiregning beregnet som elforbrug gange med det, som spotprisen overstiger balanceprisen.

Af nedenstående figur fremgår, hvor mange timer der har været til forskellige elpriser i januar måned 2019.



Figur 16 Antal timer, der har været til forskellige elpriser i januar måned 2019.

Balanceprisen er for januar 2019 beregnet til 347 kr./MWh, og det betyder, at hvis man køber strømmen til spotpris, vil der være en økonomisk fordel ved at skifte til eldrift i de 584 timer, der er dyrere end denne pris.

Samlet set er der beregnet en potentiel besparelse for januar på 895 kr. ved denne strategi. I øvrige måneder ligger COP'en (virkningsgraden for varmepumpen) bedre, og balanceprisen bliver derfor højere. Samtidig er der ikke lige så høje spotpriser på el i de andre måneder. Derfor er det faktisk kun i januar og en enkelt time i juli, at der kan være fordel ved at skifte fra el- til gasdrift som følge af priser på spotmarkedet.

Der var i 2019 for få timer med høje priser på spotmarkedet for el i Vestdanmark, til at der var en reel fordel ved at styre elforbruget efter priser på spotmarkedet.

### Frekvensstyrede normaldriftsreserver

Energinet indkøber frekvensstyrede normaldriftsreserver. Elforbrugere eller elproducenter kan opnå indtjening ved at stå til rådighed med et elforbrug eller en elproduktion, der kan regulere fuldt ud inden for 150 sekunder. Der er mange aktiveringer, men moderate energimængder.

Vi har downloadet en tidsserie for 2019 på priser på op- og nedregulering fra Energinets hjemmeside.

Vi antager, at det er muligt at levere opregulering, når der forbruges mindre end 75 % af ydelsen på fire af de fem varmepumper. I 27 dage er forbruget så stort, at der ikke efter det opstillede kriterie kan leveres opregulering. Og det antages, at det er muligt at levere nedregulering, når der forbruges mere end 25 % af ydelsen på fire af fem varmepumper. I 185 dage er forbruget så lavt, at der efter det opstillede kriterie ikke kan leveres nedregulering. Den femte varmepumpe anses som reserve.

Det er indregnet, at der kan leveres en gennemsnitlig regulering i ovennævnte timer på halvdelen af effekten af de fire varmepumper. Maks.-effekten i forbrug fra fire varmepumper er på 21,3 kW, og halvdelen heraf er 10,7 kW.

Effekten på 10,7 kW er ganget igennem med Energinets timepriser for ned- og opregulering i de timer, der opfylder ovenstående kriterier. Energinets priser for opregulering har i 2019 varieret fra 15 til 889 kr./MW pr. time med et gennemsnit på 275,7 kr./MW pr. time. For nedregulering har prispændet været fra 0 til 626 kr./MW pr. time med et gennemsnit på 26,2 kr./MW pr. time.

Regnestykket for 2019 giver en indtægt for at stå til rådighed for opregulering på 25.021 kr. og på 1.281 kr. for at stå til rådighed for nedregulering; det vil sige i alt 26.302 kr. En indtægt på 28 % i forhold til den årlige omkostning til indkøb af el på 94 t.kr. og på 15 % i forhold til den totale årlige varmeomkostning på 172 t.kr. for skolen ved hybridløsningen, jf. Figur 12.

Merprisen i forhold til en ren gaskedeløsning reduceres dermed til knap 12 t.kr. om året. Hvis skolen afgiftsmæssigt behandles som private, forøges den brugerøkonomiske fordel ved hybriden fra 12 t.kr. til 38 t.kr. om året. Der skal dog fratrækkes omkostninger forbundet med at stå til rådighed for frekvensreguleringsmarkedet. Disse omkostninger formodes kun dækket af en større pulje af anlæg som hybrid anlægget på Gredstedbro Skole.

### **Regulerkraft**

Energinet indkøber regulerkraft fra balanceansvarlige aktører, der repræsenterer elforbrug og/eller elproduktion. Regulerkraften indkøbes for at skabe balance mellem elproduktion og elforbrug. Efter samme kriterier, der ovenfor er opstillet, for at Gredstedbro Skole kan stå til rådighed for frekvensreguleringsmarkedet, er der regnet økonomi for at stå til rådighed for og levere til regulerkraftmarkedet til de priser, som Energinet har offentliggjort for 2019.

Samlet set vil der kunne opnås en indtægt på 1.825 kr. i 2019 for Gredstedbro Skole. Det er en lille indtægt, og det vurderes derfor ikke, med de priser der har været til stede i 2019, at det er besværet værd at byde ind på regulerkraftmarkedet.

### **Opsamling afbrydelighed**

Samlet set vurderes det på grundlag af driften i 2019 og priser fra Energinet på spot-, reguler- og frekvensreguleringsmarkederne, at det kan være relevant at byde ind på frekvensreguleringsmarkedet for en aktør, der har en portefølje af anlæg som Gredstedbro Skole. Der kræves en minimumseffekt 0,3 MW for at byde ind på det mest attraktive frekvensreguleringsmarked; det vil sige 30 enheder af den indregnede størrelse for Gredstedbro Skole, som vi har indregnet med en effekt på 10,7 kW.

Hvis man etablerer et setup til at byde ind på frekvensreguleringsmarkedet vil man også være i stand til at byde ind på regulerkraftmarkedet og styre elforbruget efter spotpriser på el. Vi forventer kun begrænsede ekstra omkostninger ved også at udnytte fleksibiliteten på disse markeder, når man allerede har styringen og beregningsapparatet. Dermed kan man være klar, når og hvis priserne på disse to markeder bliver mere gunstige.

Mulighederne for at opnå indtægter ved salg af afbrydelighed til netvirksomheden er ikke undersøgt i dette projekt. I takt med at elbiler og elvarmepumper udrulles, øges kravene til kapacitet i elnettet, og Dansk Energi har således udmeldt, at der forventes investeringer i størrelsesorden 20 til 50 mia. kr. til forstærkning af elnettet ved en fuld elektrificering. Det er muligt, at hybridvarmepumper gennem afbrydelighed kan være med til at reducere eller udskyde investeringsbehovet i elnettet.

## 7. Sammenfatning

Målet med arbejdet har som nævnt været at afklare, om et Smart Grid-varmeforsyningskoncept med fordel kan implementeres i mange danske bygninger. Varmeforsyningskonceptet baserede sig på et ønske om en sektorkobling mellem elforsyning og gasforsyning ved central styring af gashybridvarmepumpeanlæg (samspil mellem gasfyr i kombination med elvarmepumpe).

Det kan være relevant at øge elforbruget, når der er meget vind i stikkontakten, og sænke det, når der er mangel på grøn strøm, og elpriserne er høje. Via denne løsning kan en aggregator udnytte prisvariationer på spotmarkedet for el og sælge regulerkraft og frekvensregulering til Energinet. Gaspriserne er ret stabile, så det handler om at udnytte prisforskelle på elmarkedet.

Projektet har vist, at hybridvarmepumper ikke blot nedbringer energiregningen gennem effektivisering af energiforbruget. Hybridvarmepumper kan også levere et meget fleksibelt elforbrug og dermed øge anvendelsen af grøn strøm og nedbringe anvendelse af fossile brændsler til bygningsopvarmning.

Projektet har ved demonstration på Gredstedbro Skole i Esbjerg Kommune demonstreret, at det via central styring er muligt på kort tid at øge og sænke elforbruget i en hybridvarmepumpe – det viser altså, at hybridvarmepumper kan være med til at forstærke sektorkoblingen mellem el og gas.

Hybridanlægget, der er blevet installeret og idriftsat på Gredstedbro Skole, består af fem METRO THERM varmepumper á 20 kW og et 50 kW Bosch gasfyr, der forsyner hovedbygningen på ca. 2.388 m<sup>2</sup>.

Komforten er sikret ved, at et relativt billigt gasfyr leverer varmeforsyningen ved stort forbrug, og når det bliver meget koldt udenfor. Dette i stedet for at installere varmepumper, der er overdimensionerede i den største del af året. Idet udetemperaturen ikke har været under -3 °C i forsøgsperioden, er dette dog ikke dokumenteret.

Hybridvarmeanlægget ved hovedbygningen kan nu styres centralt på en måde, så en aggregator kan tjene eller spare penge på at styre el- og gasforbruget efter temperaturforhold og priser på elmarkederne, men også på salg af aflastning af elnettet, når der er brug for det. Med andre ord kan elselskaberne i et eller andet omfang undlade eller udskyde udbygning af det lokale elnet (netforstærkning) fremover.

Resultatet er, at man med fordel kan etablere et Smart Grid-gashybridvarmeanlæg (inkl. styringsløsning) baseret på en simplificeret version af et CTS-anlæg. Tests konkluderer, at det er muligt at

fjernstyre disse anlæg i praksis. Løsningen egner sig dog bedst til større bygninger, da man herved får nogle stordriftsfordele.

Hybridløsningerne på Gredstedbro Skoles hovedbygning har samlet set reduceret gasforbruget fra 18.500 m<sup>3</sup> i 2017 til ca. 1000 m<sup>3</sup> i 2019 (dvs. ca. 5 % af det oprindelige forbrug). Resten af opvarmningen kommer nu fra el – ca. 67.000 kWh (35 %) og energi optaget fra luften (60 %). CO<sub>2</sub>-emissionen fra opvarmning af hovedbygningen er reduceret med ca. 26 tons om året.

Uden for projektet er yderligere et fritliggende stuehus øst for Esbjerg og seks mindre bygninger (pavilloner) på Gredstedbro Skole (hver på 311-404 m<sup>2</sup>) forsynet selvstændigt af hver sin Daikin hybridvarmepumpe, der indeholder en luft/vand varmepumpe på 5 kW og et gasfyr på 33 kW. En bygning med aula på 1168 m<sup>2</sup> forsynes af en sådan Daikin-løsning suppleret med to Daikin elvarmepumper á 16 kW.

Der er gennemført drøftelser og analyser af de forretningsmæssige muligheder og de økonomiske rammer ved brug af den slags Smart Grid-hybridanlæg.

Disse analyser viser, at gas kan være en billigere opvarmningsform for skolen om vinteren, når ude-temperaturen er lav, og der er penge at spare ved at kunne vælge den billigste opvarmningsform, uden at det går ud over komforten. Varmepumperne har mulighed for at deltage i regulermarkedet, men skolen alene har en minimal fordel ud af det. Der kan dog være en større økonomisk besparelse, hvis en aggregator ejer anlægget og leverer varme til skolen. Besparelsen opnås ved både at være fleksibel, og ved at aggregatoren kan sænke en stor del af elafgiften - og dermed levere billigere varme. På frekvensreguleringsmarkedet vil man kunne tjene ca. 26 t.kr. om året, svarende til 15 % af den totale varmeudgift. Det vurderes, at det giver basis for en forretningsmodel, hvis en aktør kan være aggregator for en større pulje hybridanlæg. Dette naturligvis under forudsætning af at frekvensreguleringsmarkedet kan give indtægter nogle år fremover.

Økonomien for kommunen ved hybridvarmepumpeløsningen er altså kun god, hvis de kunne få samme elafgiftsrabat som private, men dog bedre end en ren elvarmepumpeløsning. Ændring af anlægsloftet for kommunerne, harmonisering af krav til årlige serviceintervaller på hybridanlæg og uddannelse af egentlige gashybridvarmepumpeinstallatører vil gavne brugerøkonomien. Aftagerpligten i projektbekendtgørelsen for naturgasbaserede blokvarmecentraler er også en forhindring for at etablere hybridløsninger i de større kommunale bygninger.

Gasfyr slår dog fortsat både hybridvarmepumpe og varmepumpe eftertrykkeligt i den samfundsøkonomiske beregning, hvilket svarer meget godt til andres erfaringer [10]. CO<sub>2</sub>-prisen skal opnormeres med en faktor 3,6 for at sidestille hybridvarmepumpe med gasfyr.

På baggrund af ovennævnte resultater og erfaringer giver det god mening nu at arbejde videre med et implementeringsforløb, hvor flere aktører fra alle led i værdikæden indgår. Dvs. produktleverandører, installatører, el- og gasselskaber, aggregatorer, kommuner og andelsboligforeninger. Gerne i stor skala med et større antal gashybridvarmepumpeinstallationer i en pulje, så aggregatorfunktionen også kan udnyttes.

Målet bør være at fremme ovennævnte model for etablering af gashybridvarmpumpeteknologier til bygningsopvarmning, hvor man starter med de kommunale bygninger og derved inspirerer de nærliggende boligområder. Resultaterne fra Esbjerg-projektet og -anlægget kan bruges som inspiration.

Dette kan på relativt kort sigt sikre energioptimal udnyttelse af grøn elproduktion og grøn biogasproduktion, samtidig med at gasnettets rolle som energilager kan bidrage til forsyningsikkerhed.

## 8. Referencer

- [1] Varmepumpe kombineret med kondenserende kedel. Se følgende link: [https://www.energiforskning.dk/da/projects/detail?program=All&teknologi=All&field\\_bevillingsaar\\_value=&start=&slut=&field\\_status\\_value=All&keyword=345-058&page=0](https://www.energiforskning.dk/da/projects/detail?program=All&teknologi=All&field_bevillingsaar_value=&start=&slut=&field_status_value=All&keyword=345-058&page=0) . [Senest hentet eller vist den 27.01.2020].
- [2] J. Hoen, »Demonstration af Vaillant-hybridanlæg, Gaskedel og varme-pumpe (komplet løsning) på en villainstallation,« DGC, Hørsholm, 2016.
- [3] K.V. Frederiksen, »Gas og vedvarende energi, Gaskedel og add-on varmpumpe på en villainstallation,« DGC, Hørsholm, 2016.
- [4] »Demonstrationsprojekter om forskellige typer varmpumper,« Teknologisk Institut og DGC, 2013-2015. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/feltmaalinger\\_paa\\_gashybridvarmpumper\\_foreloebig.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/feltmaalinger_paa_gashybridvarmpumper_foreloebig.pdf) .[Senest hentet eller vist den 27.01.2020].
- [5] Standardværdikataloget. [Online]. <https://ens.dk/ansvarsomraader/energibesparelser/energiskabernes-energispareindsats/standardvaerdikatalog> . [Senest hentet eller vist den 27.01.2020].
- [6] K.V. Frederiksen og Ianina Mofid, »Flexgas - Flexibelt energiforbrug med elpatron i villagaskedler,« DGC, EUDP-projekt (journalnr. 63014-0123), 2014-2016. Se følgende link: <https://www.energiforskning.dk/node/7923> . [Senest hentet eller vist den 27.01.2020]
- [7] K.V. Frederiksen og Ianina Mofid, »Flexgas II- Villagaskedel i samspil med luft/luft-varmpumpe eller luft/vand varmpumpe,« DGC, EUDP-projekt (journalnr. 641017-0551), 2017-2020.
- [8] Per G. Kristensen, »Belastning af lokale eldistributionsnet ved indfasning af varmpumper og elbiler,« DGC-notat, 26.09.2019. DGC-projekt 747-79 Forsyningsikkerhed v. konvertering af gasvarmekunder, fase 1.
- [9] Henning Parbo, »Gashybridvarme og mulighederne for levere systemydelse til elsidens« Energinet Indlæg fra Gastekniske Dage 2019.
- [10] Flere indlægsholder, Roadmap for udfasning af naturgas til rumvarme, Workshop, 19 dec. 2019.(overhead nr.35).
- [11] Hybridvarmehjemmesiden. [Online]. <https://www.hybridvarme.nu/> .



## Bilag 1: Forudsætning for økonomiberegninger

	Hybridvarmepumpe	Varmepumpe	Gaskedel	Beskrivelse
Investering i alt	800.000	949.592	120.750	HVP baseret på regning fra Star VVS, varmepumpe opnormering af VP-delen på regningen og gaskedel opnormering af kedeldel af regningen.
Levetid (år)	20	20	20	Teknologikatalog anvender 20 år for både gaskedler og varmepumper i denne størrelse
COP	2,92	2,87	1,00	COP er beregnet på grundlag af data for 2019 for Gredstedbro skolen for hybridløsningen, Varmepumpedelen er beregnet som en korrektion af HVP-COP'en, således at Vpen også dækker gaskedlens timer med en COP på 2 (samråd med Kjeld Nissen). Gaskedlen er skønnet til en virkningsgrad på 100% i samråd med (Karsten Frederiksen)
Effekt varmepumper (20 kW pr. stk)	100	120	-	HVP faktisk installeret, VP opnormering af HVP i samråd med Kjeld Nissen,
Elforbrug (kWh/år)	59.766	64.727	-	Faktisk målt på HVP for 2019 og opjusteret herfra til VP
Gasforbrug (m <sup>3</sup> /år) - 5%	1.046	-	16.908	Faktisk målt for HVP og opnormeret til gaskedel
Energiproduktion VP (kWh)	174.480	185.986	-	Faktisk målt for HVP og opnormeret til VP
Elpris brugerøkonomi (kr./kWh)	1,26	1,26	-	Faktisk regning opnormeret med 10 øre/kWh, da Ole Alm mener, at prisen er ret billig. Afgiftsniveau 2025 hvor afgiftslettelse på almindeligt elforbrug som kommuner betaler er fuldt indfaset. Anvendes kun i brugerøkonomiske beregninger
Gaspris brugerøkonomi (kr./m <sup>3</sup> )	6,00	6,00	5,75	Skøn på pris ud fra opslag på gasprisguiden.dk
Drift og vedligehold (kr./år)	12.218	12.218	3.338	For HVP og VP er anvendt Teknologikatalogets skøn for varmepumper. For gaskedel Teknologikatalogets skøn.
Rente til brugerøkonomi	43.577	47.480	6.577	Der er anvendt den rente som forsyningsselskaber kan låne til med kommunegaranti. Det er vurderet, at denne rente svarer til den kommunale rente inkl. et forsigtighedstillæg.
Elafgift 2025 for offentlig bygninger	0,774	0,774		Afgiftslempelse for almindeligt elforbrug fuldt indfaset i 2025
Elafgift 2022 for ikke offentlige bygninger	0,155	0,155		Afgiftslempelse for privates brug af elvarme fuldt indfaset i 2022, hvor PSO også bortfalder.
Nettoafgiftsfaktor	1,325	1,325	1,325	Ganges på alle faktorpriser i beregningen af samfundsøkonomi, jf. Energistyrelsens vejledning
Skatteforvridningsfaktor	0,1	0,1	0,1	Belaster de løsninger, der ikke leverer det største afgiftsprovener med 10% af forskellen mellem løsningens afgiftsprovener og det maksimale afgiftsprovener i en anden løsning.
Samfundsøkonomisk kalkulationsrente	4%	4%	4%	Den officielle samfundsøkonomiske kalkulationsrente fra Finansministeriet og Energistyrelsen. Består af langsigtet rente plus et risikotillæg på 1 pct. pro anno.