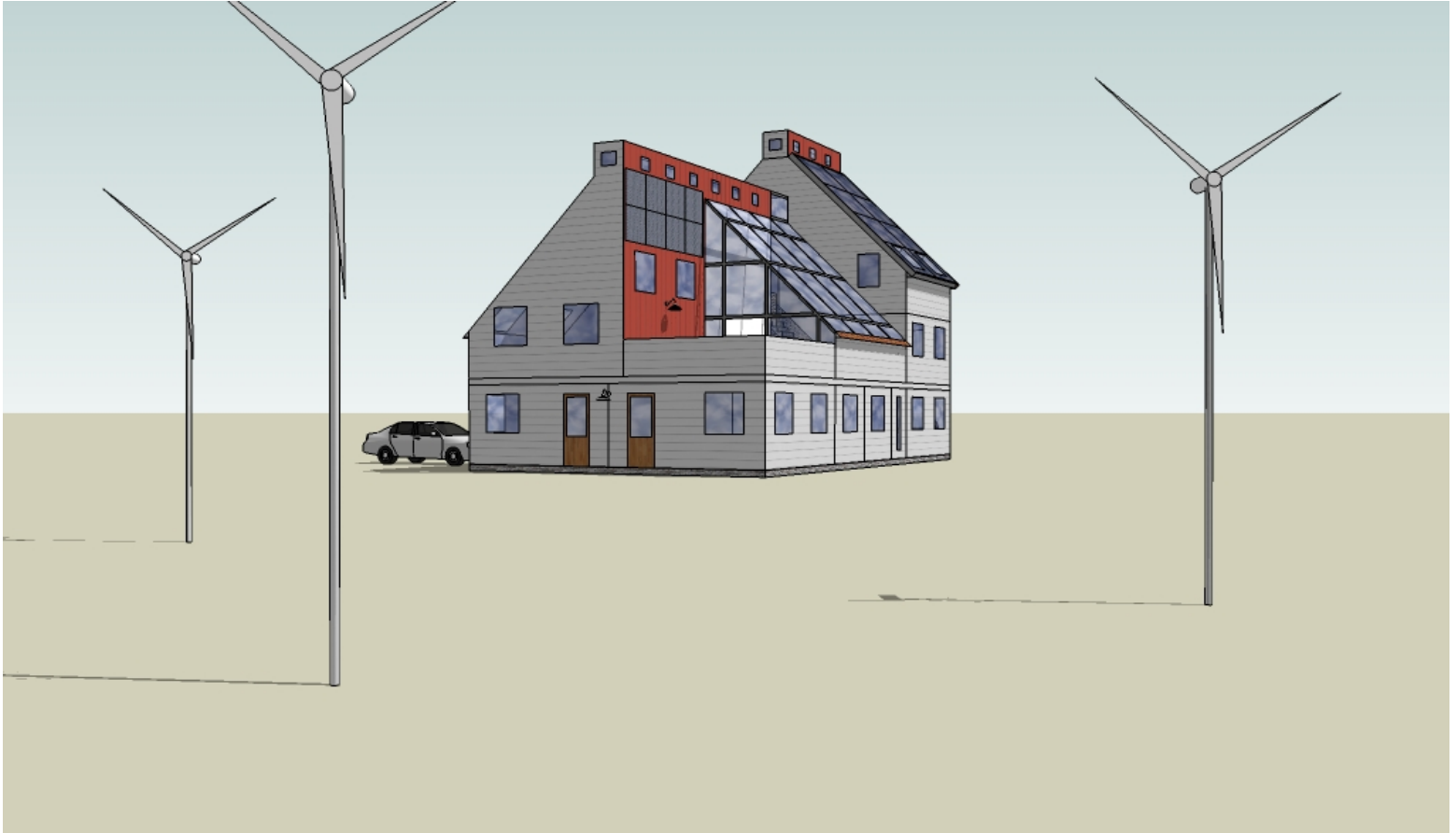


Brintboliger på Samsø

Baggrundsrapport for pjecen "Hydrogen House – huset uden regninger"



Juni 2007

Mikkel Korsbæk - s011529

Bo Riisgaard Pedersen - s012415

Ørsted•DTU
Vejleder: Jan Jantzen



Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	1
1.1	Problemstilling	2
1.2	Problemformulering.....	2
2	FREMGANGSMÅDE.....	3
3	BEREGNINGSGRUNDLAG OG ANTAGELSER	5
3.1	Elproduktion.....	5
3.2	Elforbrug og reguleringskomponenter.....	5
3.3	Varmeforbrug og produktion	6
3.3.1	Beregning af varmetabsramme.....	6
3.4	Simulering af varmelager og brintlager.....	6
3.5	3D-model af bygning.....	7
4	RESULTATER.....	8
4.1	Energiforbrug	8
4.1.1	Varmebehov	8
4.1.2	Energiforbrug - el.....	11
4.1.3	Samlet energiforbrug	12
4.2	Energiproduktion	14
4.2.1	Elproduktion fra vindmøller og solceller	14
4.2.2	El- og varmeproduktion fra brændselscelle.....	15
4.2.3	Varmeproduktion fra solfangeranlæg og elvandvarmer	15
4.2.4	Varmeproduktion fra varmepumpe.....	16
4.2.5	Samlet energiproduktion	16
4.3	Energilagre	18
4.3.1	Varmelager	18
4.3.2	Brintlager	19
4.3.3	Batteri	20
4.4	Bygningens energitabsramme.....	22
4.5	Samlet energiregnskab for boliger	24
4.6	3D-model	26
5	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	28
5.1	Anbefalinger til selvforsynende brintboliger	29
5.2	Anvendelse af konklusioner og anbefalinger	30
6	LITTERATURHENVISNINGER.....	31
7	BILAG.....	32

1 Indledning

Denne rapport danner baggrund for pjecen "Hydrogen House – huset uden regninger", som er fremstillet i forbindelse med "Brintvision for Samsø". Brintvisionen går ud på at producere brint af vindmøllestrøm især om natten, og anvende brinten som brændstof til transportformål og til brug i boliger. I første omgang skal brinten anvendes til de seks fremtidige boliger i forbindelse med Energiakademiet. Anvendelse af brint i brændselscellebaseret kraftvarmeanlæg (CHP) i de planlagte nye huse vil være oplagt til el og varmforsyning. Samsø vil med en allerede eksisterende brintforsyning være godt positioneret til at tiltrække demonstrationsprojekter for CHP anlæg. Der er i dag andre danske CHP-projekter på vej, men disse skal først etablere en brintforsyning.

Rapporten og pjecen er resultatet af et tre-ugers specialkursus ved Ørsted-DTU i juni 2007.

1.1 Problemstilling

Ideen er at seks brintboliger (tænkt som en stor bygning) skal køre i fuldstændig ø-drift med vindmøller, solceller, solfanger og jordvarme som energikilder. Elektrolyse af vand til brint skal fungere som energilager, der udnyttes i en brændselscelle, når det ikke blæser eller solen ikke skinner. Der tænkes anvendt et batteri, som buffer ved høj belastning, hvor alle el-apparater i boligerne kører samtidig. Derved undgås, at brændselscellerne skal dimensioneres efter peak-belastning, og der spares ressourcer og desuden mindskes kompleksitet og kølebehov. For at sikre at boligernes varmebehov opfyldes, indføres et varmelager i forbindelse med brændselscellen.

1.2 Problemformulering

I denne rapport ønskes at dimensionere en bygning, som er selvforsynende med energi. De primære energikilder er vind, sol og jordvarme. Ved overskud af energiproduktion ønskes energien lagret enten i et varmtvandsreservoir, i et batteri eller i form af brint fra elektrolyseanlæg. Problemformuleringen består af tre hoveddele.

1. Energibehovet i form af el og varme skal findes. For elforbruget opstilles realistiske forbrug for beboerne. For varmeforbruget fastsættes først bygningens varmetabsramme.
2. Med udgangspunkt i energibehovet for både bygning og beboere findes dimensionerende størrelser af energiforsyning, herunder:
 - a. antal vindmøller
 - b. arealer med solceller og solpaneler
 - c. effekt af brændselscelle og varmepumpe
 - d. volumen af energilagre
3. De deraf fundne værdier vil danne baggrund for en 3D-model af bygningen, som den kunne se ud, når energikravene skal overholdes.

2 Fremgangsmåde

Beregningerne i rapporten tager sit udgangspunkt i de to 2kW mikro-vindmøller, der allerede er opstillet i forbindelse med Energiakademiet. Først undersøges, om to møller er nok til at dække energiforbruget i boligerne, eller om der er behov for en ekstra mølle og evt. solceller.

Derudover inddrages det kommende elektrolyseanlæg på 20 kW. Brinten fra elektrolyseren anvendes i en brændselscelle, som så producerer el og varme, når elproduktionen fra mikro-vindmøller og solceller ikke er tilstrækkelig. Der er ikke inddraget specifikke fabrikater af brændselsceller, så i beregningerne antages en elvirkningsgrad på 50 procent. Til at støtte elproduktionen under spidsbelastning anvendes et lithium-ion batteri. Derved kan brændselscellens effekt mindskes med bedre økonomi, mindre kompleksitet og lavere kølebehov til følge.

Varmeproduktionen fra brændselscellen søges tilpasset varmebehovet vha. en varmepumpe og varmelager. For at finde kapacitet af brændselscelle og batteri opstilles et worst case-scenarie, hvor der er en lang periode uden vind og sol.

Beregningerne foretages efter følgende disposition:

- Elforbruget fastlægges efter en normal forbrugskurve ved brug af de nyeste energibesparende el-apparater (komfur, ovn, tv, pc, belysning, køle/fryseskab, vaskemaskine, dog ikke opvaskemaskine)
- Ud fra vindproduktions-data beregnes en samlet årsproduktion af el fra vindmøller. Der antages i udgangspunktet 2 stk. 2 kW mikro-vindmøller opstillet ved boligerne. Det beregnes, hvorvidt dette er nok til at dække behovet.
- Bygningens varmetab findes. Det forudsættes, at hver bolig skal have et areal på 50 m², og de seks boliger er samlet i en stor bygning for at mindske overfladearealet og dermed isoleringsbehovet.
 - Der opstilles en model af bygningen, og det vurderes, hvor meget plads der er til et solfangeranlæg på taget.
 - De bedste løsninger for at undgå kuldebroer ved fundamenter og omkring vinduer og døre findes.

- Der bestemmes U-værdier for vægge og tag som resulterer i et rimeligt kompromis mellem isoleringsemne og konstruktionstykkelse. Vinduerne antages at 3-glas lavenergiglas.
- Til beregning af den endelige varmetabsramme og energiramme bruges programmet "Be06" (Bygningers energibehov) udviklet af Søren Aggerholm og Karl Grau fra Statens byggeforskningsinstitut 2007 i henhold til SBI-anvisning 213. Derved kan bygningen, sammenlignes med de energikrav der stilles til nybyggeri.
- Kapacitet for det samlede system, batteri (inkl. ladeeffekt og afladningseffekt), brændselscelle og varmepumpe beregnes. Herunder:
 - Worstcase for manglende elproduktion opstilles. Vind-data fra DK-Vest bruges til at bestemme antal timer i træk uden produktion.
 - Worst case for maksimalt varmebehov opstilles for den vindfri periode ud fra den fundne varmetabsramme. Fordelingen af varmebehovet findes vha. en varmemeforbrugskurve fra DTU-værkets fjernvarmenet.
 - Peak-værdi for varmemeforbrug fastslås og varmepumpe dimensioneres.
 - Worstcase for fuld energidækning (el-apparater, batteri og varmepumpe) fra brændselscellen beregnes og brændselscellen dimensioneres.
 - Worstcase for spidsbelastning i den vindfri periode, batteriets mindste kapacitet, ladeeffekt og afladningseffekt beregnes.
- Der opstilles en simulering ud fra de fundne data med de angivne størrelser på batteri, brændselscelle og varmepumpe.
- Herved findes lagerstørrelse på varmelager og brintlager, samt behov for evt. ekstra vindmølle, solceller og et tilhørende brintkøretøj.
- Der opstilles et forslag til bygningens udseende, som skal overholde energitabsrammen. Forslaget skal præsenteres i 3D og laves i programmet "Google SketchUp 6" som er free-ware og tilgængeligt på <http://sketchup.google.com>.

3 Beregningsgrundlag og antagelser

I det følgende er opridset hvilke data, der er brugt i beregningerne. De steder hvor der ikke foreligger faktuelle data, og der er anslået værdier, vil en begrundelse være anført.

3.1 Elproduktion

Der er anvendt datasæt for lavt, middel og højt vindår fra programmet EnergyPlan fra Aalborg Universitet. Årsproduktionen fra mikro-vindmøllerne er fundet vha. forholdet mellem kapacitet og årsproduktion fra Vestdanmarks vindmøller under antagelse af, at vindudnyttelsesgraden er ens. Dette er ikke det optimale, men det var ikke muligt at fremskaffe mikro-vindmøllernes reelle vindudnyttelsesgrad. Vores beregninger for elproduktion vil derfor være en anelse højere end den virkelige, men dette opvejes tilnærmelsesvis ved at antage et lidt højere forbrug end det virkelige. Ydermere beregnes den samlede elproduktion ud fra et worst-case kriterium, hvor sol-elproduktionen følger vind-elproduktionen, hvilket betyder at udsvingene i elproduktionen bliver større, deraf worst-case kriteriet. Antagelsen er i orden, da elproduktionen fra solcellerne er en meget lille del af den samlede elproduktion (<5%).

3.2 Elforbrug og reguleringskomponenter

For at opveje at den anslåede produktion er en smule højere end det faktiske antages det, at alle boliger er i brug hele året rundt. Oftest vil dette ikke være tilfældet, og det beregnede forbrug er derfor en smule højere end det faktiske. Forholdet mellem det højere forbrug og den højere produktion antages derfor at udligne hinanden. Der er anvendt data fra Elsparefonden for effekt og energiforbrug, for alle el-apparater der anvendes i boligerne. Det forudsættes, at der kun anvendes de mest energieffektive produkter. Det antages ligeledes, at den klassiske døgnkurve for forbrug (med høj belastning omkring kl. 8-9 og kl. 18-19, på cirka 20-25 gange grundlasten) er gældende for de seks boliger.

Der er ikke inddraget specifikke fabrikater af brændselsceller, så beregningerne antager en elvirkningsgrad på 50 procent.

Der tænkes anvendt et Lithium-Ion batteri med virkningsgrad på 85 procent [IDA Transportseminar]. Til beregning af batteriets afladningseffekt forudsættes det, at batteriet skal kunne klare den peakværdi, der opstår hvis alle elapparater i bygningen startes samtidigt. Derfor er der regnet med startstrømme på seks gange den nominelle effekt for alle el-apparater med en motor. Problemet med de høje startstrømme kan også løses med et svinghjul, men dette er ikke inddraget i beregningerne.

Elektrolyseanlægget som opstilles ved Samsøs Energiakademi vil have en effekt på 20 kW. Det antages at anlægget har en virkningsgrad på 70%, og at de resterende 30% af energien bliver til varme, som kan udnyttes til rumopvarmning.

3.3 Varmeforbrug og produktion

Variationer i varmebehovet per time antages at være nogenlunde ens i hele landet. Variationerne er derfor udregnet på baggrund af fjernvarmebehovet, som opleves af DTU-Værket (se bilag 1). På baggrund af denne er der opstillet en døgnkurve for varmebehovet. For varmepumpen er ikke anvendt et bestemt fabrikat, men det antages at COP=3.

3.3.1 Beregning af varmetabsramme

Forbruget af varmt brugsvand antages at være 15 m³ per bolig ved en temperatur på 55 grader celsius i overensstemmelse med SBI-anvisning 213 [SBI 213]. Omregnet svarer forbruget til 286 liter/m²/år. Varmesystemet til varmt brugsvand består af solpaneler og elvandvarmer som suppleres med bidrag fra brændselscellens og elektrolyseanlæggets kølevand.

Der er tegnet en skitse af bygningen for at finde realistiske værdier af overfladearealer. Herefter er det samlede vinduesareal, areal af solpaneler og solceller fundet vha. trial-and-error.

3.4 Simulering af varmelager og brintlager

Der foretages en time for time simulering af varmelager og brintlager. På forbrugssiden anvendes de fundne døgnkurver og på produktionssiden anvendes datasæt for vind-elproduktionen i Vest-Danmark. Formålet er at finde lagervolumen af både brintlager og

varmelager. Det forventes at brintlageret tryksættes til 200 bar og komprimeringspumpen antages at bruge 256 Wh/Nm^3 der tryksættes. Pumpens energiforbrug er fundet ved hjælp af Energistyrelsens teknologikatalog over brintproduktion og lagring [ENS 2004] under antagelse af et lineært forhold mellem elektrolysørens effekt og energiforbrug. Både varmelager og brintlager beregnes uden tab, hvilket gør, at brintoverskuddet til transport samt størrelsen på varmepumpen i beregningerne er en anelse mindre end de virkelige størrelser.

3.5 3D-model af bygning

De anvendte og beregnede værdier fra energitabsberegningen anvendes som udgangspunkt for en 3D-model. Bygningen i modellen er altså et realistisk eksempel på, hvordan de seks boliger kan se ud, samtidig med at varmetabsrammen overholdes. Det skal dog nævnes, at 3D-modellen ikke viser vægtykkelser.

4 Resultater

I dette afsnit anføres resultaterne af beregningerne. Resultaterne opstilles i tre afsnit: Energiforbrug; energiproduktion og energilagring. I kapitel 4.5 følger en oversigt i form af et energibalance-regnskab. Resultaterne er ikke præsenteret i den rækkefølge, som de er beregnede, da det virker mere logisk at inddele beregningerne i hhv. energiforbrug, energiproduktion og energilagring. For at finde kronologien i beregningerne henvises til kapitel 2 – Fremgangsmåde.

I afsnit 4.6 benyttes resultaterne til at præsentere bygningen, i en 3D-model, som den kunne se ud.

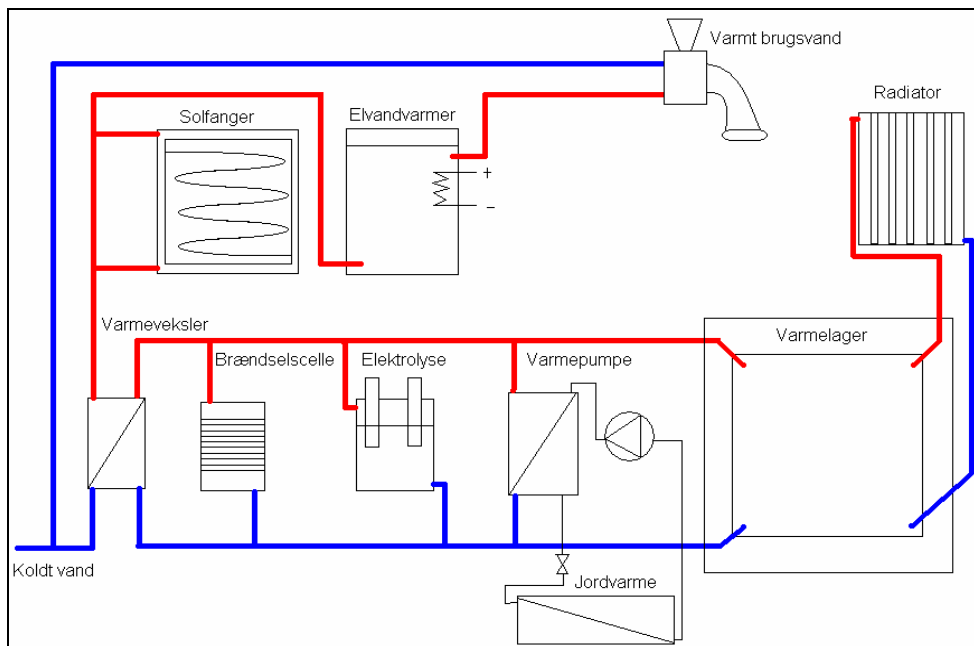
4.1 *Energiforbrug*

I dette afsnit præsenteres det samlede energiforbrug fordelt på hhv. varme og elforbrug. Kapitel 4.1.3 præsenterer det samlede forbrug på årsbasis.

4.1.1 **Varmebehov**

Bygningernes samlede varmebehov er beregnet 14395 kWh/år.

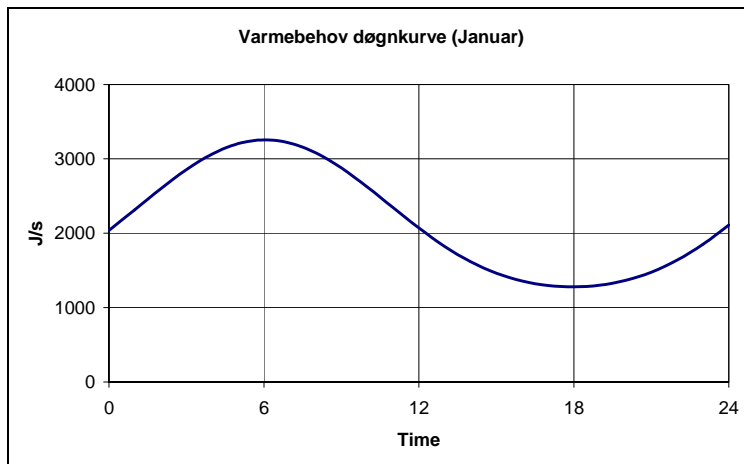
For at bestemme boligernes varmebehov er der opstillet en skitse af varmesystemet i Figur 1. I det følgende er der en kort beskrivelse af systemet.



Figur 1 Brintboligens varmesystem, inkl. lager

Varmelager

Der er taget udgangspunkt i behovet for rumopvarmning med døgnkurver for hver af årets tolv måneder. Døgnkurverne er fundet ved at udglatte DTU-værkets fjernvarmeproduktion under hensyntagen til værkets lagervolumen. Et eksempel på en døgnkurve ses i Figur 2.



Figur 2 Varmebehovets døgnvariation i januar

Med udgangspunkt i døgnkurverne for vind-elproduktion, sol-elproduktion og varmebehov ses det, at der er behov for et varmelager. Beregninger og resultater for varmelageret kan findes i kapitel Varmelager. Her skal kort nævnes, at det nødvendige lagervolumen er 25 m³. Dog er der ikke indregnet tab til omgivelserne fra varmelageret og derfor vil et virkelig varmelager skulle have et større volumen, som afhænger af isoleringsværdien omkring varmelageret.

Varmepumpe

Varmepumpen udnytter jordvarme og el til at generere 3201 kWh varme om året. Da der er regnet med en COP på 3 forbruger varmpumpen således 1067 kWh_{el}/år. Effekten af varmpumpen skal være 0,68 kW_{el}, svarende til 2,03 kWh_{termisk} effekt. Døgnkurverne for varmpumpen er fremstillet på baggrund af vindproduktion, varmebehov og elbehov. Varmepumpens produktionskurver kan ses i vedlagte Excel-ark under fanebladet "Simulering".

Elektrolyseanlæg

Med udgangspunkt i det opstillede anlæg ved Samsø Energiakademi med en effekt på 20 kW er der beregnet et årligt elforbrug på 10432 kWh, som genererer 3130 kWh varme, eftersom der er regnet med en virkningsgrad på 70% og på 62,3 %, inklusiv tryksætning [ENS 2004]. Elektrolyseanlægget producerer således årligt 2400 Nm³ brint til både brændselscellebaseret kraftvarme og til brinttrucken.

Brændselscelle

Det er antaget, at der anvendes en PEM – brændselscelle. Driftstemperaturen af PEM-celler ligger typisk ved 70 °C og har således en kølevandstemperatur der passer godt til rumopvarmning. Brændselscellen skal producere 2804 kWh_{el}/år (se afsnit om elproduktion) og med en virkningsgrad på 50 % produceres der 2804 kWh varme. Brændselscellen skal have en samlet effekt på 3,3 kW (både elektrisk og termisk effekt). Når cellen er i fuld drift producerer cellen altså varme med en effekt på 1,63 kW.

Solfanger

Der er i beregningsprogrammet Be06 indlejret data for solfangeranlæg. Det årlige varmebidrag fra solfangeranlægget er beregnet til 5053 kWh.

Varmeveksler og elvandvarmer

For både varmevekslere og elvandvarmer er der antaget en virkningsgrad på 100%. En oversigt over den samlede varmeproduktion i forbindelse med boligerne ses i Figur 3. Solfanger og elvandvarmer dækker varmtvandsforbruget og varmepumpen og kølevandet fra elektrolyseanlægget og brændselscellen leverer rumopvarmningen.

<i>kWh/år</i>	<i>Produktion</i>
<i>Elektrolyse</i>	3130
<i>Brændselscelle</i>	2804
<i>Varmepumpe</i>	3201
<i>Solfanger</i>	5053
<i>Elvandvarmer</i>	772
<i>Varmetab</i>	-
<i>Varmtvandsforbrug</i>	-
<i>I alt</i>	14959

Figur 3 Oversigt over den samlede varmeproduktion

4.1.2 Energiforbrug - el

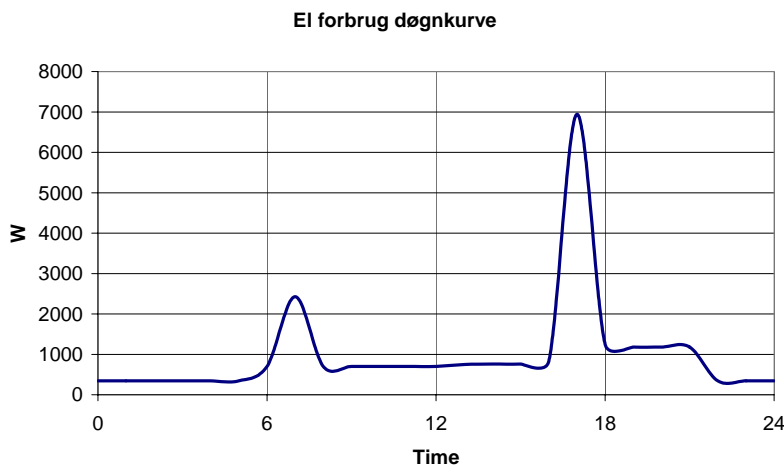
Det årlige elektriske energiforbrug er beregnet til 8836 kWh for alle seks boliger. I forbindelse med store startstrømme på elmotorer i ovn, pumper, vaskemaskine og køleskab kan der installeres et svinghjul, men batteriet er beregnet efter at skulle kunne håndtere startstrømmene.

	Peak W	Peak (Time) W	Standby W	Gens. W	I brug Timer/dag	pr. år kWh
Kogeplade	1400	1400	0	17,5	0,3	153
Ovn	2069	1151	0	24,0	0,5	210
TV	80	80	1	17,1	5,1	150
PC	10	10	0,6	2,4	5,8	21
Lys	119	119	0	39,7	8,0	348
Køleskab	1200	200	0	14,2	1,7	124
Vaskemaskine	1275	425	0	10,1	0,6	88
Pumper	83	14	14	13,8	24*	121
Elvandvarmer	15	15	15	15,0	24*	131
Ventilation	14	14	14	14,4	24*	126
I alt pr. bolig	6266	3428	44,8	168,1		1473
6 boliger	37593	20570	269	1008,7		8836

* Antaget jævn drift over døgnet
Reaktiv effekt antages at kunne dækkes med et svinghjul

Figur 4 Elektricitetsforbrug i boligerne

I Figur 4 er vist fordelingen af elektricitetsforbruget på enkelte el-apparater. Det er antaget, at alle apparater i boligerne er de mest energieffektive på markedet. Alle effekter er hentet fra Elsparefondens produktkatalog [ELSPAR].



Figur 5 Elforbrugets fordeling over et døgn

Elforbruget i beregningerne er fordelt ud fra den klassiske fordelingskurve som vist i Figur 5, hvor forbruget er størst i morgentimerne mellem kl. 8-9 og ved aftenstid mellem kl. 17-

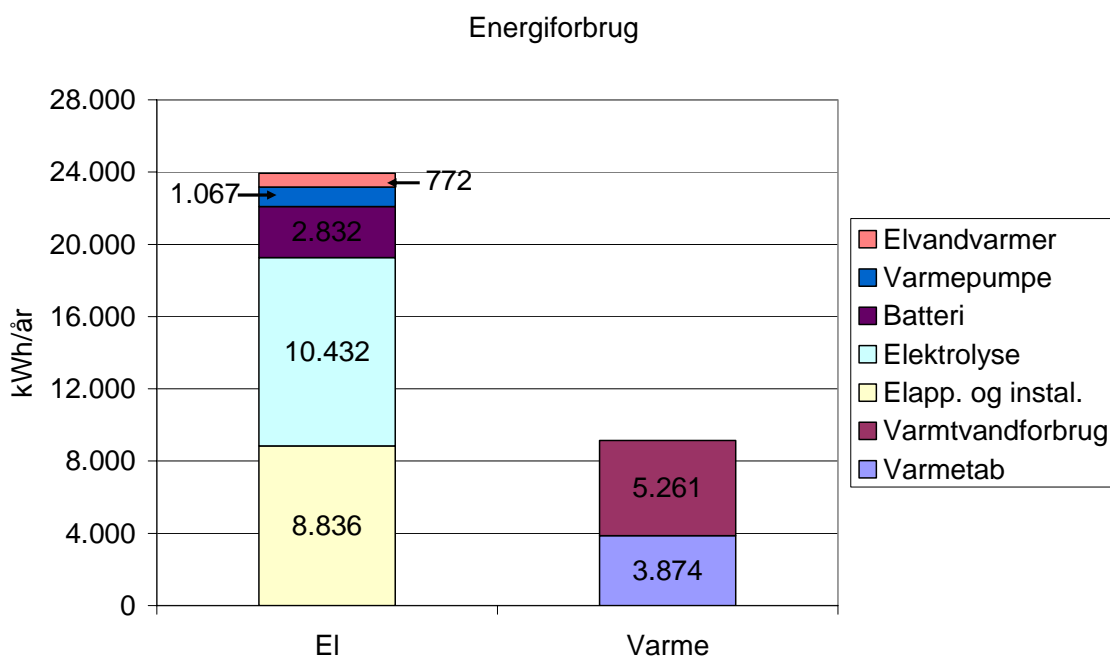
18. Fordelingen skyldes at der er mest behov for elektricitet lige omkring de tidspunkter hvor folk står op, laver morgenmad og laver aftensmad osv.

4.1.3 Samlet energiforbrug

Det samlede energiforbrug, både el og varme i boligerne er vist i Figur 6, fordelt efter type af forbrug. Det ses, at boligerne har et samlet primært årligt energibehov på 17971 kWh, fordelt på 8836 kWh el og 9135 kWh varme. Da systemet skal køre i ødrift, vil der være tab, og derfor er energiforbruget større end energibehovet som vist i Tabel 1. Det totale samlede energiforbrug for de seks boliger bliver 38334 kWh.

Energibehov		Energiforbrug	
EI	8.836	EI	23.939
Varme	9.135	Varme	14.395
Total	17.971	Total	38.334

Tabel 1 Boligernes energibehov og det faktiske energiforbrug



Figur 6 Energiforbruget i boligerne fordelt på energikilde og type af forbrug

Som det ses, er det største forbrug bygningens varmetab, selvom bygningen er dimensioneret med de bedste vinduer og de mest energieffektive løsninger af problemer

med kuldebroer i konstruktionen. I Tabel 1 er vist en oversigt over de værdier, der er brugt til at finde varmetabsrammen.

Linietafskoefficienter	W/mK
Ydervægsfundamenter	0,28
Kældervægsfundamenter	0,21
Langs Vinduer og døre	0,07

U-værdier	W/m²K
Ydervægge	0,2
Kældervægge	0,2
Kældergulv	0,2
Tag	0,16
Vinduer	1,05
Døre	0,7

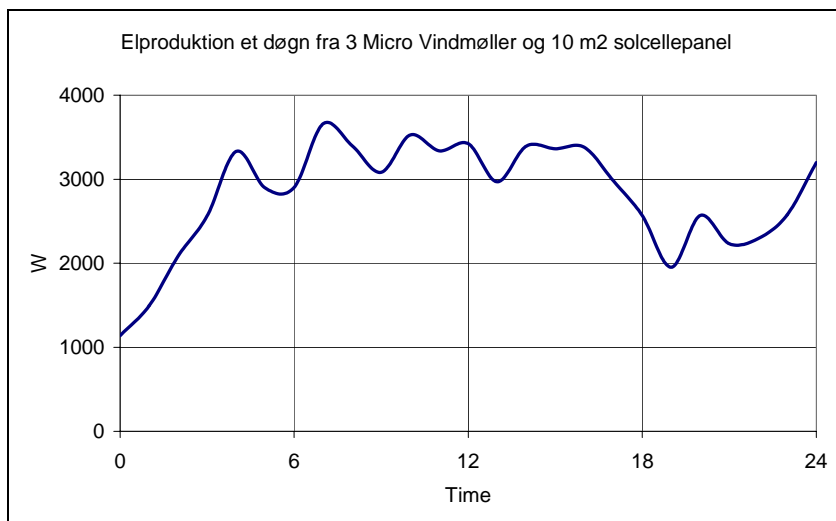
Tabel 2 Oversigt over anvendte U-værdier og linitab i bygningskonstruktionen

4.2 Energiproduktion

I dette kapitel er energiproduktionen præsenteret. Afsnit 4.2.3 opsummerer energiproduktionen på årsbasis.

4.2.1 Elproduktion fra vindmøller og solceller

Vind-elproduktionen er baseret på data fra simuleringsprogrammet EnergyPLAN¹. Her er der fordelingskurver på realistiske produktionsmønstre lavet ud fra flere års reel vindproduktion. På Figur 7 ses et produktionsmønster fra en tilfældig dag. Produktionen på solceller er meget lille i forhold til vindproduktionen, og fordelingen er lavet ud fra et worst-case kriterium. Det vil sige, at det er antaget, at hvis der er vindstille og der ikke produceres el fra møllerne, så produceres der heller ikke el fra solcellerne, eller sol-elproduktionen er negligerbar.



Figur 7 Eksempel på elproduktionsmønster fra vind og sol

Den samlede årlige produktion af el er beregnet til 17955 kWh hvoraf langt størstedelen, 17179 kWh, er produceret på i alt 3 mikro-vindmøller med en effekt på 2 kW hver. De resterende 4,3% stammer fra solcelle produktionen. Beregningsprogrammet Be06 har givet årsproduktionen fra solcellerne ud fra oplysninger om areal, placering, skyggeforhold osv. Som beskrevet i kapitel 3 fordeles selve årsproduktionen efter samme mønster som vind-produktionen.

¹ EnergyPlan er venligst udlånt af Henrik Lund, lektor ved Aalborg Universitet, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning. Programmet kan downloades på <http://www.plan.aau.dk/~lund/download.php>.

4.2.2 El- og varmeproduktion fra brændselscelle

Brændselscellen er dimensioneret til, at kunne oplade batteriet samtidig med at brændselscellen leverer grundlasten i elforbruget (inkl. varmepumpe). Derved kan batteriet stadig levere el i peak-belastningsperioderne i tilfælde af lange kolde perioder uden vind og sol.

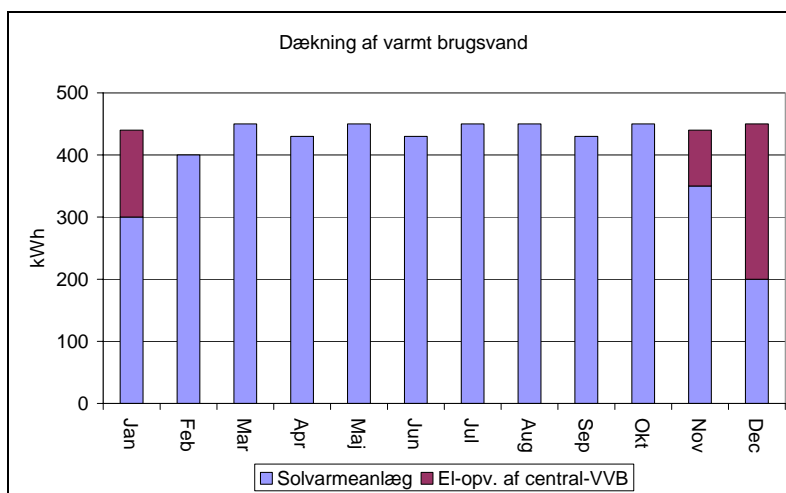
Selve varmeproduktionen fra brændselscellen er meget begrænset i det samlede regnskab og derfor er brændselscellen udelukkende styret af behov for el.

Beregningerne viser at brændselscellen vil være i drift 2383 timer om året eller ca. 27 % af årets timer. Omregnet til fuldlast-timer svarer det til 1718 timer.

Med en omtrentlig levetid på 10000 fuldlast-timer vil brændselscellen altså have en levetid på knapt seks år.

4.2.3 Varmeproduktion fra solfangeranlæg og elvandvarmer

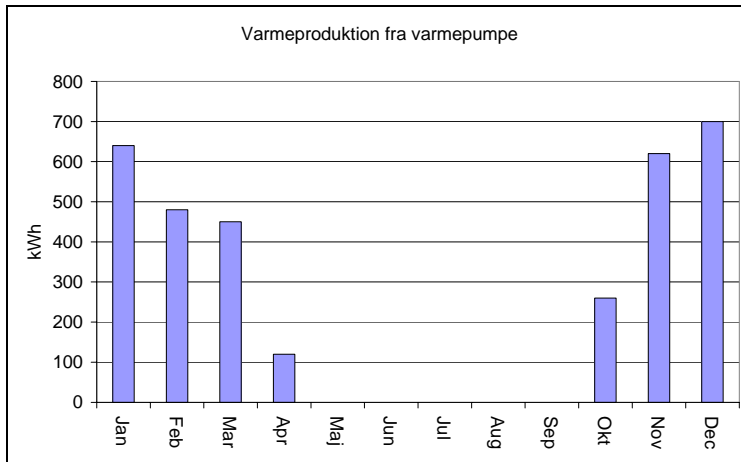
Arealarealet af solfangeranlægget er 28 m² og derved står solfangerne for dækning af det varme brugsvand. I tre af årets måneder er der dog behov for en lille supplering fra en elvandvarmer på knapt 10% af det samlede energibehov til varmt vand på 5270 kWh/år. Fordelingen og variationen i behovet ses i Figur 1.



Figur 8 Årsvariation og kilde af varmt brugsvand til boligerne

4.2.4 Varmeproduktion fra varmepumpe

Varmepumpen producerer varme fra el og jordvarme meget effektiv. I dette tilfælde er der regnet med en COP på 3. Da varmepumpen kører 2365 timer om året, hvor den producerer 3201 kWh varme betyder det, at varmepumpen forbruger 1067 kWh el om året.

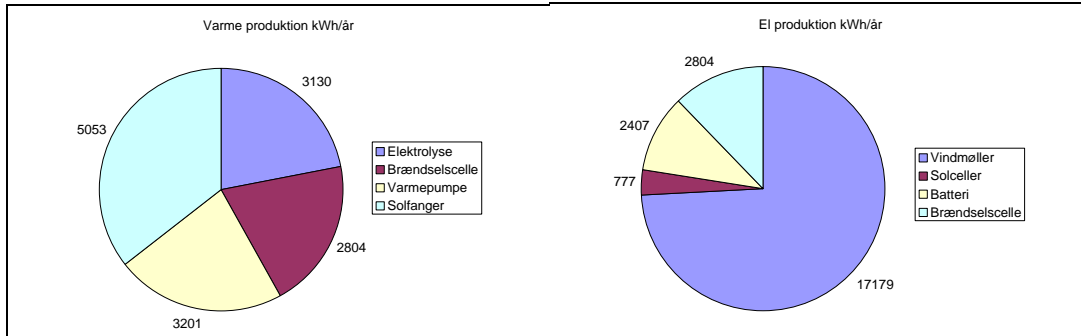


Figur 9 Årsfordelingen og variationen i varmepumpens varmeproduktion

I Figur 9 ses pumpens varmeproduktion henover året og det ses at der i sommermånederne ikke er behov for varmepumpen. Det skyldes, at varmebehovet er mindre i de varme måneder. Det har betydning for temperaturen i varmelageret som vil stige, pga. tilført kølevand fra elektrolyseanlæg og brændselscelle og da varmepumpen er styret af temperaturen i varmelageret, betyder det, at varmepumpen ikke er i drift i sommermånederne. Når temperaturen i varmelageret falder til under 32,8 °C går varmepumpen i gang.

4.2.5 Samlet energiproduktion

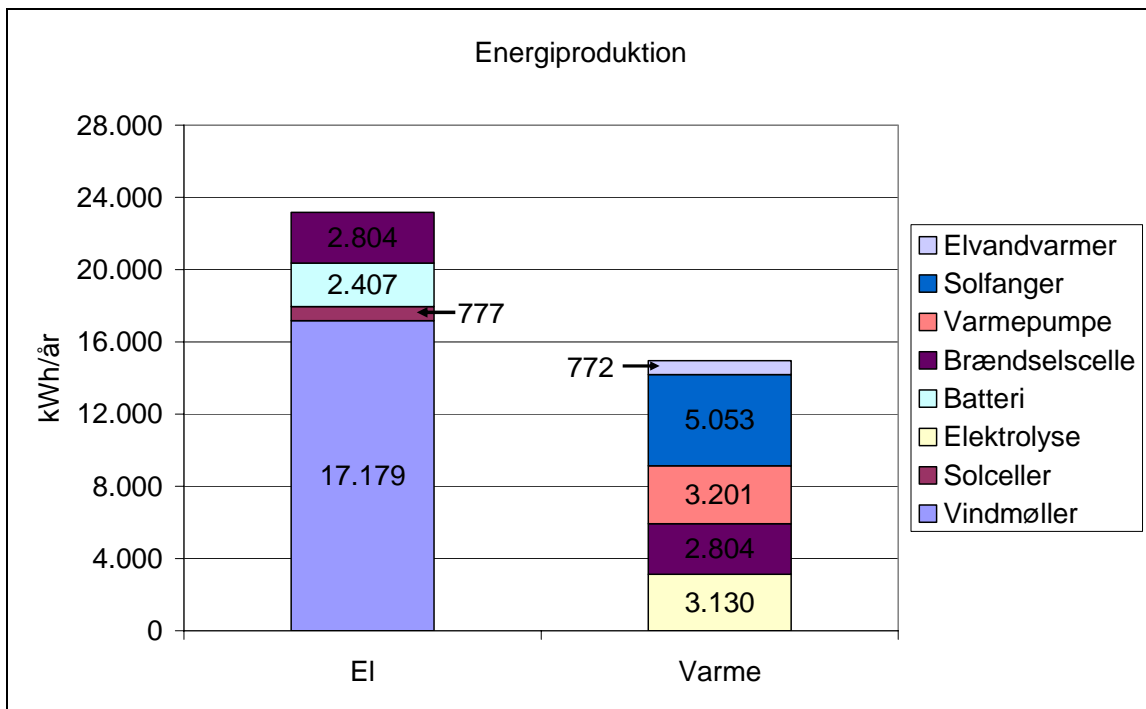
Den samlede energiproduktion fra bygningens energisystem består af elproduktion fra vind og sol, plus et varmebidrag fra brændselscelle, elektrolyseanlæg, varmepumpe og solpaneler. Bidraget fra de enkelte typer af energikilder ses på Figur 10.



Figur 10 Energiproduktion af el og varme fordelt på energikilder

Den samlede energiproduktion i boligernes energisystem beløber sig til 38126 kWh/år, hvoraf den samlede elproduktion udgør 23167 kWh/år, svarende til godt 61 % og den samlede varmereproduktion udgør de resterende 39% svarende til 14959 kWh/år.

Fordelingen og størrelsen af bidragene fra de enkelte kilder ses på Figur 11.



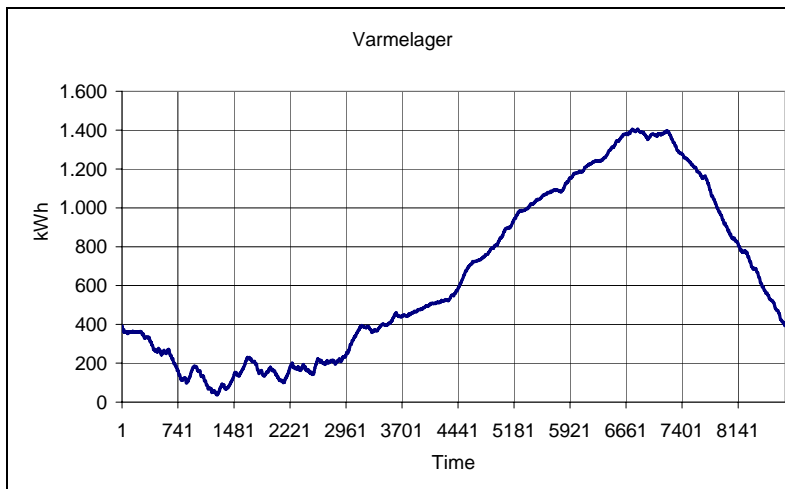
Figur 11 EI- og varmebidrag fra de enkelte energikilder i kWh per år

4.3 Energilagre

Der er behov for lagring af både varme og el. I det flg. præsenteres energilagringen både i form af brint, opvarmet vand og batteri.

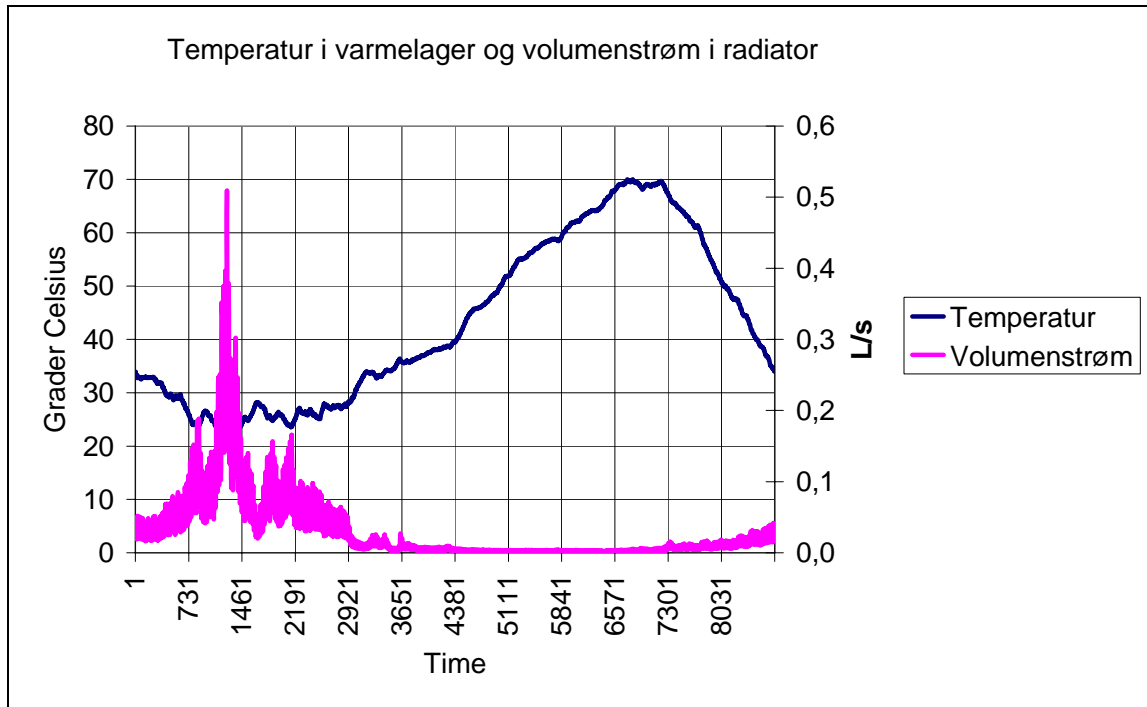
4.3.1 Varmelager

Henover året vil temperaturen i varmelageret variere fra 22 °C i slutningen af januar til 70 °C i slutningen af august med en årlig gennemsnitlig temperatur på 43 °C. I Figur 12 ses den indeholdte energimængde i varmelageret henover året. Temperaturen i fremløbet fra varmelageret til husets radiatorer vil følge samme kurve da $Q = m \cdot c_p \cdot (T_{lager} - T_{inde})$, hvor $T_{inde} = 20$ °C.



Figur 12 Energiindhold i varmelager henover året

Boligernes radiatorer vil altså ikke være temperaturkontrollerede men i stedet være flow-kontrollerede, således at hvis temperaturforskellen mellem indetemperatur og lagertemperatur er meget lille, så øges gennemstrømningen som vist i Figur 13.



Figur 13 Volumenflow i radiatorer afhænger af temperaturen i varmelageret

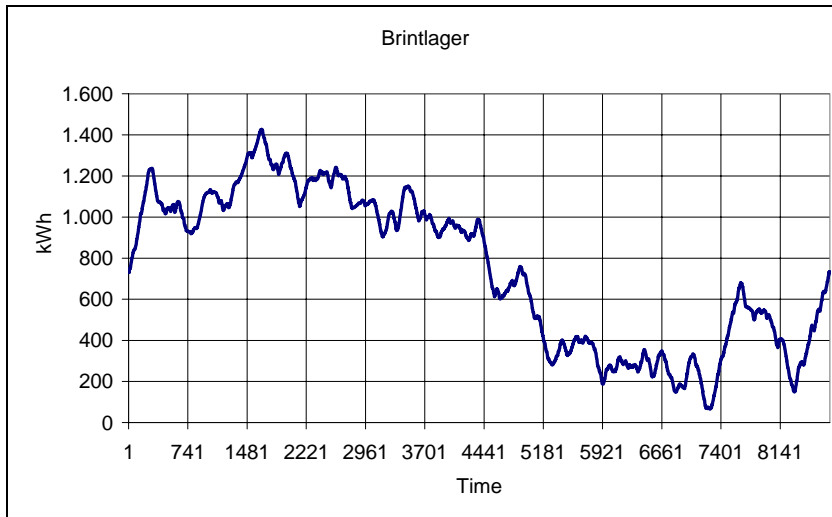
4.3.2 Brintlager

Elektrolyseanlægget producerer brint, når vindmøller og solceller producerer mere strøm end der forbruges i boligerne. Brinten kan så udnyttes til at drive brinttrucken eller til at drive brændselscellen, når vind og sol ikke producerer nok elektricitet til at dække forbruget.

Brint regnskab		
Produktion	<i>kWh/år</i>	<i>Nm³/år</i>
Elektrolyse	6.499	2.407
Forbrug	<i>kWh/år</i>	<i>Nm³/år</i>
Brændselscelle	5.608	2.077
Transport	891	330

Tabel 3 Oversigt over produktion og forbrug af brint

Elektrolyseanlægget er i drift 5146 timer om året og producerer i alt 2407 Nm³ brint om året. Heraf bruges det meste, ca. 86 % til at drive brændselscellen. De resterende 330 Nm³ bruges til at drive brinttrucken og svarer til at trucken tankes 1-2 gange om ugen med 4 Nm³ per gang.



Figur 14 Den kemiske energi af brint i lageret henover året

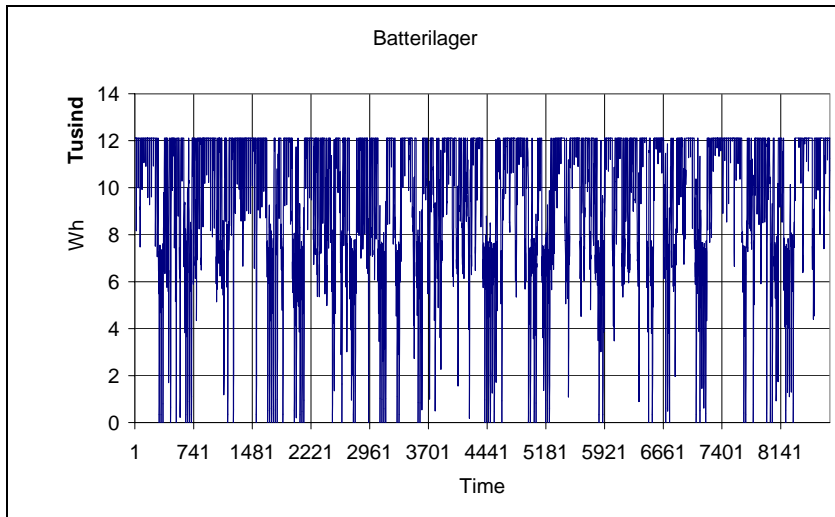
På Figur 14 ses energi i brintlageret henover året. Det ses at hen på sensommeren (5921-7401 timer svarer til september og oktober) er lagerindholdet lavest. Baggrunden er, at vind-andelen er stigende hen over sommeren og derfor bruger brændselscellen mere brint til at lave el.

1 Nm³ brint har et energiindhold på ca. 2700 Wh². Det højeste energiindhold af brint i lageret er på 1427 kWh og derved findes at lageret skal kunne indeholde 528 Nm³ brint. Hvis lageret tryksættes svarer det til 2,7 m³ brint. Reelt vil lageret skulle være en anelse større, idet der ikke er indregnet tab fra lageret.

4.3.3 Batteri

Funktionen af batteriet i boligernes energisystem er at støtte el-systemet ved spidsbelastning. I Figur 15 ses batteriets drift henover et år og på Figur 16 er der zoomet ind på en typisk uge med af- og opladninger. Som det ses af graferne indtræder batteriet almindeligvis kun ved spidsbelastning i morgen og aftentimerne.

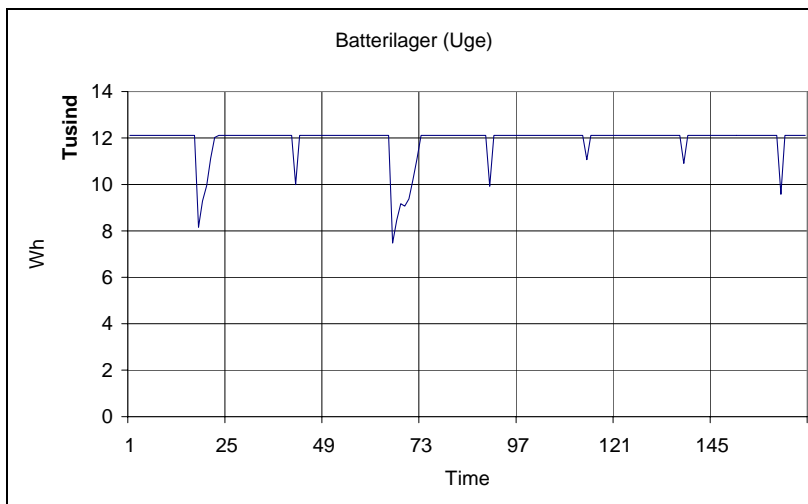
² 2,7 kWh/m³ er den mindste værdi for den lave brændværdi der er fundet og derfor anvendes denne størrelse for at være sikker på at lageret ikke bliver for småt.



Figur 15 Af- og opladning af batteriet henover året

Batteriet er et Lithium-Ionbatteri med en kapacitet på 12 kWh. Et sådant batteri forventes at have et volumen på 40 liter og veje omtrent 100 kg.

Batteriet vil blive opladt 3092 timer/år og vil blive afladt i 1573 timer/år. Det skyldes, at afladningseffekten er større end opladningseffekten, og elforbrugets peakværdi er større end eloverskudet fra elproduktionen.



Figur 16 Batteriets op- og afladning på en typisk uge

Batteriet kan aflade med op til 37,6 kW_{el} effekt ved spidsbelastning, hvorimod det oplades med en max. effekt på 3,5 kW_{el}.

4.4 Bygningens energitabsramme

Dette kapitel præsenterer de fundne værdier for både produktion, forbrug og lagring af energi i forbindelse med de seks brintboliger. Energiregnskabet er opstillet på årsbasis. På Figur 17 som er udskriften fra programmet Be06 ses bygningens energiramme.

Nøgletal, kWh/m ² år	
Energiramme	
BR: 77,0	Klasse 2: 55,1 Klasse 1: 38,5
Samlet energibehov	47,8
Bidrag til energibehovet	
Varme	29,0
El til bygningsdrift	9,9 *2,5
Overtemp. i rum	0,0
Udvalgte elbehov	
Belysning	0,0
Opvarmning af rum	0,0
Opvarmning af vbv	2,5
Varmepumpe	3,5
Ventilatorer	2,4
Pumper	2,3
Køling	0,0
Totalt elforbrug	31,7
Netto behov	
Rumopvarmning	39,5
Varmt brugsvand	16,7
Køling	0,0
Varmetab fra installationer	
Rumopvarmning	0,6
Varmt brugsvand	1,7
Ydelse fra særlige kilder	
Solvarme	16,0
Varmepumpe	10,3
Solceller	2,3

Figur 17 Udskrift fra programmet Be06 - oversigt over bygningens energiramme

Bygningens samlede energibehov er beregnet til 47,8 kWh/m²/år og da bygningen forventes at være på 315 m² opvarmet etageareal, giver det altså et samlet energibehov på 15057 kWh for at drive bygningen. Hvis Micromøllerne var inkluderet i beregningen, ville bygningen opfylde en energiramme på 0 kWh/m² pr. år. Det skyldes, at der ifølge bygningsreglementet modregnes for den energiproduktion, der er indeholdt i bygningen, både den direkte energiproduktion fra solceller, solfangere og varmepumper, men også den indirekte energiproduktion som varmebidrag fra el-apparater, beboere, solindfald og varmegenvinding i ventilation. På den anden side modregnes der så for den el, der ikke produceres i eller på bygningen, da størstedelen af den el er produceret af fossile brændsler. Energistyrelsen har besluttet, at der anvendes en multiplikationsfaktor på 2,5 til den del af elektriciteten, der bruges til bygningsdrift. Desværre kan beregningsprogrammet ikke tage højde for en evt. elproduktion på hus- og/eller mikromøller opstillet i forbindelse med bygningen og derfor multipliceres den anvendte el til bygningsdrift med en faktor 2,5.

Dette burde ikke indregnes, da den el der anvendes i forbindelse med brintboligerne udelukkende er produceret vha. vedvarende energi og ikke af fossilt brændstof.

4.5 Samlet energiregnskab for boliger

For at samle op på energiregnskabet for de seks boliger er baggrunden for energiberegningerne, at boligerne er selvforsynende med energi, altså kører i ø-drift. Energiforsyningen til boligerne er baseret på, at der produceres elektricitet på mikro-vindmøller og solceller som de primære kilder. Ved et overskud af den deraf producerede elektricitet lagres dette overskud enten som brint gennem elektrolyse eller som kemisk energi i et lithium-ion batteri. Når der er underskud fra de primære elektricitetskilder, omsættes det lagrede energi til elektricitet enten vha. brint gennem en PEM-brændselscelle eller via omdannelse af kemisk energi til el i batteriet.

Komponenter	EI		Varme kWh/år	Virkn. %	Drift %	Bemærkninger
	Peak [W]	kWh/år				
Elapp., install. Og varmetab	37.593	8.836	9.135		3 33	Eksl. Varmepumpe
Vindmøller	6.000	17.179			33	3 stk Micromøller
Solceller	851	777		75	10	Combiheat
Elektrolyse m. Tryk	20.000	10.432	3.130	62,3	6	
Batteri (op/af)	3.461	37.593	2.832	2.407	85	9 1 Lithium-ion V=40 L
Brændselscelle	1.632	2.804	2.804	50	20	PEM V=115 L
Varmepumpe	676	1.067	3.201	300	18	Jordvarme COP=3

Tabel 4 Oversigt over bidrag fra forskellige energikilder samt de vigtigste grund-data

Mht. varmforsyningen (rumopvarmning og varmt brugsvand) er den primære energikilde solfangere på taget. Derudover er der en restvarme tilovers fra energiomdannelserne i elektricitetslagrene. Både elektrolyseanlægget og brændselscellen producerer termisk energi og det samme gør den installerede varmpumpe, der henter jordvarme op og derved omsætter elektrisk energi til termisk energi med en COP-værdi på 3. Alle de beregnede elektriske og termiske bidrag samt spidsbelastningsdata kan ses i oversigten i Tabel 4.

Energilagre	Kapacitet Wh	Fylde L
Batteri	12.113	40
Brintlager	1.427.289	2643
Varmelager	1.406.244	24222

Tabel 5 Beregnede kapaciteter og volumen af energilagre

Det er nødvendigt at udjævne el- og varmeproduktion med de respektive forbrug og derfor er det nødvendigt at indføre energilagre. Tabel 5 viser de vigtigste data for alle energilagre.

I de foregående kapitler er der også fundet værdier for energiforbruget og energiproduktionen i boligerne. Desuden er der regnet på bygningens energitabsramme. Alle disse værdier er opsummeret i Tabel 6.

Energiforbrug	[kWh/år]
El-apparater og el-installationer	8836
Batteri ved opladning	2832
Elektrolyseanlæg	10432
Varmepumpe til jordvarmelager	1067
<i>Elektrisk energiforbrug i alt</i>	<i>23167</i>
Bygningens varmetab	3874
Forbrug af varmt brugsvand	5261
<i>Termisk energiforbrug i alt</i>	<i>9135</i>
<u>Samlet energiforbrug i alle boliger</u>	<u>32302</u>
Energiproduktion	
3 stk. mikro-vindmøller	17179
Solceller 10 m ²	777
Brændselscelle - 3,3 kW nominel effekt	2804
Batteri-afladning ved spidsbelastning	2407
<i>Elektrisk energiproduktion i alt</i>	<i>23167</i>
Solfangeranlæg 28 m ²	5053
Varmebidrag fra elektrolyseanlæg	3130
Varmebidrag fra brændselscelle	2804
Varmepumpe fra jordvarmelager	3201
<i>Termisk energiproduktion i alt</i>	<i>14188</i>
<u>Samlet energiproduktion</u>	<u>37355</u>
Bygningens energitabsramme	[kWh/m²/år]
Samlet energibehov	47,8
Tilladt energibehov i følge lavenergiklasse 2	55,1

Tabel 6 Samlet oversigt over beregnede værdier af energiproduktion og –forbrug

4.6 3D-model

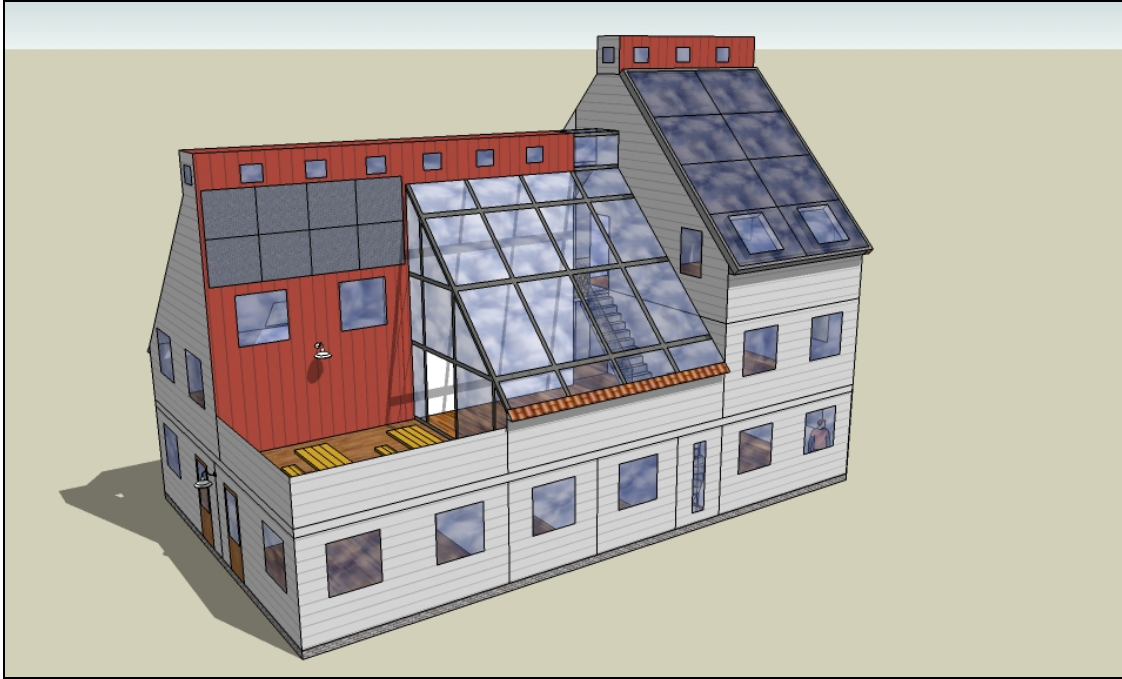
I programmet Google Sketch-up er der tegnet en 3D-model af et forslag til, hvordan brintboligerne kan se ud.

I tegningerne er de udregnede værdier for bygningen fra programmet Be06 anvendt. Det drejer sig om areal af vinduer, solpaneler, solceller, vægge og tag osv. som vist i Tabel 7.

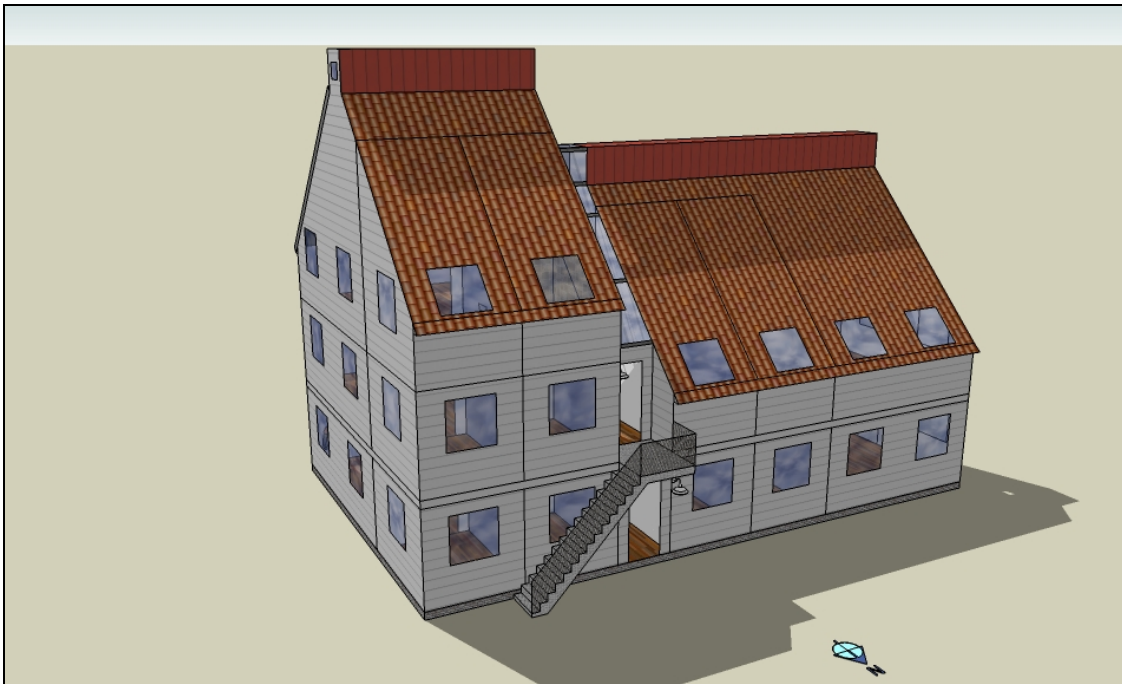
Bygning			Bemærkninger
Grundplan	165	m^2	16,5 m x 10 m
Højde	12	m	Fra jordoverflade til tagspids i øst-enden
Etager	3	stk	3 i øst-enden, 2 i vest-enden
Antal lejligheder	6	stk	
Opvarmet etageareal	315	m^2	Kælder ikke medindregnet
Lejligheder	300	m^2	50 m^2 /stk (inkl. badeværelse, soveværelse og køkkenalrum)
Samlet gangareal	15	m^2	Opvarmet
Udestue	40	m^2	Inkl gang, (uopvarmet)
Terasse	23	m^2	
Solcellepanel	10	m^2	Årsproduktion: 777 kWh
Solfanger	28	m^2	Årsproduktion: 4790 kWh
Vægareal	297	m^2	Ekls. Vinduer og døre
Tagareal	146	m^2	Ekls. Vinduer og døre
Vinduesareal	66	m^2	13 % af samlet husoverflade
Døreareal	12	m^2	2 % af samlet husoverflade
Varmebehov	9.135	kWh/år	Nettobehov
Solindfald	14.960	kWh/år	Fra vinduer ekskl. udestue

Tabel 7 Data for bygning med brintboliger der overholder lavenergiklasse 1.

De angivne mål danner baggrund for modellen som er vist i Figur 18 og Figur 19. På den sydvendte facade ses solcellerne henover den åbne terrasse, mens solpanelerne er placeret på taget til højre for glastaget. På den vedlagte cd-rom er modellen at finde i sin helhed.



Figur 18 Model af brintboliger - sydvendt facade.



Figur 19 Model af brintboliger - nordvendt facade

5 Konklusioner og anbefalinger

I denne rapport er der dimensioneret en bygning, som er selvforsynende med energi og fungerer uafhængigt af både elnet og fjernvarmenet. De primære energikilder er vind, sol og jordvarme. Ved overskud af energiproduktion lagres energien enten i et varmtvandsreservoir, i et batteri eller i form af brint fra elektrolyseanlæg.

Der er svaret på problemformuleringens tre hoveddele.

- 1) Energibehovet i form af el og varme er fundet og fordeler sig på følgende måde.

- a. Boligernes samlede el behov
- b. Boligernes samlede varme behov

Boligernes behov	
<i>El behov</i>	8.836 kWh/år
<i>Varme behov</i>	9.135 kWh/år

- 2) Energibehovet for bygning og beboere kræver flg. energiforsyning:

- a. antal vindmøller
- b. arealer med solceller og solpaneler
- c. effekt af brændselscelle og varmepumpe
- d. volumen af energilagre

Energiproducerende enheder	
<i>Vindmøller, antal</i>	3 x 2 kW Micromøller
<i>Solceller, areal</i>	10 m ²
<i>Solpaneler, areal</i>	28 m ²
Energiomsættende enheder	
<i>Brændselscelle effekt</i>	1.632 W
<i>Varmepumpe effekt</i>	676 W (2.028 W _{Termisk})
Volumen af energilagre	
<i>Batteri kapacitet</i>	12 kWh
<i>Brintlager volumen</i>	3 m ³ (529 Nm ³)
<i>Varmelager volumen</i>	25 m ³

- 3) De fundne værdier har dannet baggrund for en realistisk 3D-model af bygningen hvor energikravene overholdes. Den fulde model kan ses på vedlagte cd-rom. Bygningens specifikationer ses herunder.

Bygning	Bemærkninger		
Grundplan	165	m ²	16,5 m x 10 m
Højde	12	m	Fra jordoverflade til tagspids i øst-enden
Etager	3	stk	3 i øst-enden, 2 i vest-enden
Antal lejligheder	6	stk	
Opvarmet etageareal	315	m ²	Kælder ikke medindregnet
Lejligheder	300	m ²	50 m ² /stk (inkl. badeværelse, soveværelse)
Samlet gangareal	15	m ²	Opvarmet
Udestue	40	m ²	Inkl gang, (uopvarmet)
Terasse	23	m ²	
Solcellepanel	10	m ²	Årsproduktion: 777 kWh
Solfanger	28	m ²	Årsproduktion: 4790 kWh
Vægareal	297	m ²	Ekls. Vinduer og døre
Tagareal	146	m ²	Ekls. Vinduer og døre
Vinduesareal	66	m ²	13 % af samlet husoverflade
Døreareal	12	m ²	2 % af samlet husoverflade
Varmebehov	9.135	kWh/år	Nettobehov
Solindfald	14.960	kWh/år	Fra vinduer ekls. udestue



5.1 Anbefalinger til selvforsynende brintboliger

Hvis det ønskes, at brintboligerne skal være ikke blot selvforsynende men uafhængige af energiinfrastrukturen på Samsø, er anbefalingen altså, at der investeres i én ekstra mikro-vindmølle med en effekt på 2 kW og i 10m² solceller til at levere den nødvendige elektricitet.

Hvis de seks boliger placeres i én bygning mindskes varmetabet da overfladearealet mindskes. Derved er det muligt at forsyne boligerne med varme fra 28 m² solfangerpaneler, en vandvarmer, en varmepumpe og spildvarme fra brændselscelle og elektrolyseanlæg.

For at sikre forsyningen henover året er det nødvendigt at have 3 typer energilagre.

1. Et brintlager på 2,6 m³ (v/ 200 bar) hvor brinten produceres af det 20 kW elektrolyseanlæg der opstilles i forbindelse med energiakademiet. Brinten omsættes til el og varme i en PEM-brændselscelle.
2. Et varmelager på 25 m³ der leverer varmt vand til boligernes rumopvarmning og modtager det varme kølevand fra brændselscelle og elektrolyseanlæg. Desuden er der indkoblet en jordvarmepumpe til varmelageret, hvor der hentes supplerende varme.

3. Et lithium-ion batteri (elektrokemisk lager) der støtter bygningens elforsyning ved spidsbelastning. Batteriet sørger for at brændselscellen kan dimensioneres til en meget lavere effekt end ellers. Det er ønskeligt, da omkostningerne (både økonomiske og tekniske) til brændselscellestakkene er direkte afhængige af leverede effekt.

5.2 Anvendelse af konklusioner og anbefalinger.

Beregninger, modeller og værdier i denne rapport danner baggrund for en pjeces, der tænkes uddelt ved et møde om brintboligerne. Til mødet vil være fremtidige interressanter i processen omkring etableringen af boligerne, dvs. håndværkere, entreprenører og virksomheder og organisationer indenfor energibranchen. Til pjecen er det forudsat, at den primære målgruppe har et lille kendskab til brintteknologi. De er ingeniørmæssigt fagligt forudsætningsløse men overraskende interesserede i emnet. Den sekundære målgruppe er energivirksomheder, der må antages at have et fagligt fundament i dybden, men måske mangler et overblik over, hvor de enkelte komponenter passer ind i sammenspillet mellem de mange teknologier, der er involveret i etableringen af brintboligerne.

6 Litteraturhenvisninger

[IDA Transportseminar]

Roadmapseminar for Transport og Mobilitet, torsdag den 28. Sept. 2006 ved Civilingeniør Per Jørgensen Møller – Formand for Dansk Elbil Komité.

Tilgængelig på <http://ida.dk/NR/rdonlyres/5EDD3C19-F775-46A4-B454-28FAD46062EF/0/PerJorgensenMollerTransportseminar28sept06.pdf>

[SBI 213]

Statens Byggeforsknings-Institut, 2007. SBI-anvisning 213: Bygningers energibehov består af beregningsprogrammet Be06 samt en beregningsvejledning. Anvisning 213 bruges, når man skal eftervise, at en bygning opfylder energikravene i bygningsreglementet.

[ENS 2004]

"Technology Data for Electricity and Heat Generating Plants – 42, Electrolysis and hydrogen storage", Energistyrelsen den 15. oktober 2004. Tilgængelig på:

http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/Forsyning_UK/Technology_Data_for_Electricity_and_Heat_Generating_Plants/html/chapter26.htm

[ELSPAR]

Elsparefondens produktkatalog. De anvendte tal i beregningerne er indhentet den 20. juni 2007. Webadresse: <http://www.elsparefonden.dk/produktoversigt>

7 Bilag

Bilag 1 - Fjernvarmeproduktionsdata

Dataene for fjernvarmeproduktion fra værket er opgivet på døgnbasis (se bilag 6). Driftsformen på værket er i øjeblikket struktureret ved at køre værket ved fuld effekt, indtil det ønskede forbrug er dækket for det næste døgn. I forbindelse med værket er der opført en varmeakkumulator, som kan oplagre tilstrækkeligt varmt vand til at forsyne nettet i over et døgn³ alt efter årstiden. Ud fra disse oplysninger er det muligt at omredigere driftsdataene til timebasis ved at producere fuld kraft indtil forbruget for næste døgn er dækket. I de døgn hvor fjernvarmeproduktionen er større end det maksimale udbytte, beregnes den ekstra produktion som varmtvandsudtag før sidste turbine, som vil lede til en mindsket el produktion.

Den øvrige fjernvarmeproduktion på nettet er leveret af Holte fjernvarme, Øverød fjernvarme og Nærum fjernvarme⁴. Disse data er kun opgivet på månedsbasis (se bilag 7). Ved måneder med forholdsvis lav produktion i forhold til gennemsnittet for måneden, er disse produktionsdata fra de øvrige værker placeret. Herved opnås et troværdigt datasæt for produktionen på hele nettet i den angivne periode.

Fjernvarmebehov

Hvis der ses bort fra varmetab i akkumulatortanken og fjernvarmerørene samt forskel på lagerstatus fra start til slut, vil den ovenfor beregnede fjernvarmeproduktion svare til fjernvarmebehovet i denne periode. Da der på DTU-værket er opstillet en varmeakkumulator på ca. 330 MWh⁵, kan behovet på timebasis dog være forskubbet. Ved at midle fjernvarmeproduktionen indtil at driften kan opnås ved præcist at udnytte varmeakkumulatoren til det yderste, har man et meget godt bud på hvordan det egentlige fjernvarmebehov så ud i den pågældende periode. Da der forekommer udsving fra nat til dag på fjernvarmebehovet pga. temperaturændringerne, er der indregnet en vægtning af hver time i alle døgn.

³ Henrik Simonsen, DTU-værket

⁴ Steffen Sørensen, Holte fjernvarme

⁵ Henrik Simonsen, DTU-værket

Bilag 2 - Elektrolysedata

Technology	Electrolyser			
	2004 A	2010-15 B	2020-30 C	Ref
Energy/technical data				
Generating capacity for one unit (MW)	0.9-1.1	5-50	5-50	1; 4; 4
Energy consumption (kWh/Nm ³ H ₂)	4.0-4.2	n.a.	3.5	1; 6
Output (bar) (H ₂ : LHV 3.00 kWh/Nm ³)	1	n.a.	n.a.	1
Operating temperature (degr. C)	70-90	80-100	850-1000	4; 4; 2
Total efficiency (%) net	71-75 (F)	80	90-95	1; 2; 6
Water consumption (l/Nm ³ H ₂)	1	n.a.	n.a.	1
Time for warm start-up (hours)				
Forced outage (%)				
Planned outage (weeks per year)				
Technical lifetime (years)		15	20	4
Construction time (years)				
Environment				
Financial data				
Specific investment (M€/MW)	0.2-1.4 (G)	0.2	0.18	3; 2; 2
Fixed O&M (€/MW/year)	6000-42000	6000	5400	5
Variable O&M (€/MWh) (D)				5
Regulation ability				
Fast reserve (MW per 15 minutes) (E)	0.9-1.1	5-50	5-50	5
Regulation speed (MW per sec.)	0.004			5
Minimum load (% of full load)	20			5

References:

- 1 <http://www.hydroelectrolysers.com/>
- 2 Risø, 2003
- 3 "Feasibility study on hydrogen refueling infrastructure for fuel cell vehicles using the off-peak power in Japan" Oi T og Wada K. International Journal of Hydrogen Energy 29 (2004) s. 347-354
- 4 "Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem". RUC, april 2001
- 5 Norsk Hydro's Electrolysers, September 2004
- 6 Risø, 2004

Remarks:

- A Electrolyte 25% KOH Aqueous solution (alkaline). Norsk Hydro considers that after 70 years of improvement the atmospheric alkaline electrolyser will be the most efficient for many years ahead.
- B Solid Polymer Electrolysis
- C Solid Oxide Electrolysis
- D Variable O&M costs are mainly electricity costs, which depend on type of compressor used (Ref. 5)
- E Norsk Hydro's electrolysers are up in full production from zero in less than 10 minutes (Ref. 5)
- F The efficiency of the electrolyser is based on a current density, which is the most economical at the moment. A lower current density will decrease power consumption to 4.0 kWh/Nm³ or below but increase the investment. (Ref. 5)
- G The price for a complete electrolyser plant from Norsk Hydro with capacity 485 Nm³/h and with transformer, rectifier, water purifier, lye and lye tank, electrolyser, scrubber and gas holder is approx. NOK 9 000 000.- (close to € 1 mill.) This will be a plant of approx. 2 MW. For larger power plants the price will be lower pr. unit since part of the equipment is common. (Ref. 5)

Technology	Hydrogen storage, cavern			
	2004	2010-15	2020-30	Ref
Energy/technical data				
Capacity for one unit (MWh fuel)	28-28.000	28-28.000	28-28.000	1
Pressure (bar)	50-200	50-200	50-200	1
Losses at filling (%)	3	2	2	1
Stationary losses (% per day)	0.01	0.005	0.005	1
Total efficiency (% of H ₂ in)	67	83	83	1
Supplementary energy (kWh el/Nm ³)	0.17	0.16	0.14	1
Total efficiency including supplementary energy(% of H ₂ in)	84	88	89	1
Planned outage (weeks per year)				
Technical lifetime (years)	20 A	20	25	2; 1
Construction time (years)				
Environment				
Financial data				
Specific investment, storage capacity (€/MWh)	96	72	58	1
Or specific investment, generation capacity (M€/MW)	0.00096	0.00072	0.00058	2B
Fixed O&M (€/MW/year)				
Variable O&M (€/MWh)				
Regulation ability				
Fast reserve (MW per 15 minutes)				
Regulation speed (MW per sec.)				
Minimum load (% of full load)				

References:

- 1 "Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem". RUC, april 2001
- 2 Rambøll, 2004

Remarks:

- A Guess
- B Estimate based on a storage size of 100 MWh and an off-take generation capacity of 10 MWeI

Bilag 3 - Nøgletal

Model: HydrogenHouse3.4	SBi Beregningskerne 2, 7, 5, 2
Be06 nøgletal: HydrogenHouse2.0	
Transmissionstab, W/m²	
Klimaskærm ekskl. vinduer og døre	6,7
Energiramme, kWh/m² år	
Lavenergibygnings klasse 1	38,5
Lavenergibygnings klasse 2	55,1
Samlet energiramme	77,0
Samlet energiramme, kWh/m² år	
Energiramme i BR, uden tillæg	77,0
Tillæg for mekanisk udsugning uden VGV	0,0
Tillæg for særlige betingelser	0,0
Samlet energibehov, kWh/m² år	
Energibehov	47,8
Bidrag til energibehovet, kWh/m² år	
Varme	29,0
El til bygningsdrift, *2,5	9,9
Overtemperatur i rum	0,0
Netto behov, kWh/m² år	
Rumopvarmning	39,5
Varmt brugsvand	16,7
Køling	0,0
Udvalgte elbehov, kWh/m² år	
Belysning	0,0
Opvarmning af rum	0,0
Opvarmning af varmt brugsvand	2,5
Varmepumpe	3,5
Ventilatorer	2,4
Pumper	2,3
Køling	0,0
Varmetab fra installationer, kWh/m² år	

Model: HydrogenHouse3.4	SBi Beregningskerne 2, 7, 5, 2
Be06 nøgletal: HydrogenHouse2.0	
Transmissionstab, W/m²	
Rumopvarmning	0,6
Varmt brugsvand	1,7
Ydelse fra særlige kilder, kWh/m² år	
Solvarme	16,0
Varmepumpe	10,3
Solceller	2,3
Samlet elbehov, kWh/m² år	
Elbehov	31,7

Bilag 4 – Model dokumentation

Be06 model: HydrogenHouse3.4

Dato 28.06.2007 12.29

HydrogenHouse2.0	
BBR-nr	1.002
Ejer	Søren Hermansen
Adresse	Energi akademivej 2, Ballen, Samsø
Bygningen	
Bygningstype	Fritliggende bolig
Rotation	0,0 deg
Opvarmet bruttoareal	315,0 m ²
Varmekapacitet	150,0 Wh/K m ²
Normal brugstid	168 timer/uge
Brugstid, start - slut, kl	0 - 24
Beregningsbetingelser	
Betingelser	Besparelsesforslag
Varmeforsyning og køling	
Grundvarmeforsyning	Fjernvarme
Elradiatorer	Nej
Brændeovne, gasstrålevarmere etc.	Nej
Solvarme	Ja
Varmepumpe	Ja
Solceller	Ja
Mekanisk køling	Ja

Rumtemperaturer, setpunkter	
Opvarmning	20,0 °C
Ønsket	23,0 °C
Naturlig ventilation	24,0 °C
Køling	25,0 °C
Dimensionerende temperaturer,	
Rumtemp.	20,0 °C
Udetemp.	-12,0 °C

Ydervægge, tage og gulve					
Flade	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Kældervægge under 2 m fra jordoverfladen	83,0	0,20	1,000	20	-12
Kældergulv	165,0	0,20	0,700	20	10
	0,0	0,00	0,000		
Ydervægge mod det fri	222,0	0,20	1,000	20	-12
loft mod glasdel	40,0	0,20	1,000	20	-12
Ydervægge mod glasdel	63,0	0,20	0,886	20	-12
	0,0	0,00	0,000		
Tag	158,0	0,16	1,000	20	-12
Ialt	731,0	-	-	-	-

Fundamenter mv.					
Linjetab	l (m)	Tab (W/mK)	b	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Ydervæggsfundamenter	53,0	0,28	1,000	20	-12
Kælderydervæggsfundamenter	53,0	0,21	1,000	20	10
	0,0	0,00	1,000		
Samling omkring yderdøre mod det fri	14,0	0,07	1,000	20	-12

Fundamenter mv.					
	0,0	0,00	1,000		
Samling omkring døre i glasdel	12,0	0,07	0,886	20	-12
Samling omkring vinduer mod det fri	221,0	0,07	1,000	20	-12
I alt	353,0	-	-	-	-

Vinduer og yderdøre												
Bygningsdel	Antal	Orient	Hældn.	Areal (m ²)	U (W/m ² K)	b	Ff (-)	g (-)	Skygger	Fc (-)	Dim.Inde (C)	Dim.Ude (C)
Vinduer S	15	S	90,0	1,4	1,20	1,000	0,80	0,55	S	1,00	20	-12
Vinduer N	14	N	90,0	1,4	1,20	1,000	0,80	0,55	N	1,00	20	-12
Vinduer Ø	9	Ø	90,0	1,4	1,20	1,000	0,80	0,55	Ø	1,00	20	-12
Vinduer V	8	V	90,0	1,4	1,20	1,000	0,80	0,55	V	1,00	20	-12
Yderdøre	1	N	90,0	2,0	0,70	1,000	0,00	0,63	i glashus	1,00	20	-12
Yderdøre til glashus	2	V	90,0	2,0	0,70	0,886	0,00	0,63	i glashus	1,00	20	-12
I alt	49	-	-	72,2	-	-	-	-	-	-	-	-

Skygger					
Profil	Horisont (°)	Udhæng (°)	Venstre (°)	Højre (°)	Vindueshul (%)
N	30	0	0	0	1
S	15	0	0	0	1
Ø	0	0	0	0	1
V	0	0	0	0	1
i glashus	50	0	50	50	1

Uopvarmet rum: Glasdel

Uopvarmet rum: Glasdel	
Bruttoareal	40,0 m ²
Ventilation	0,6 l/s m ²
B	0,89

Transmissionstab fra rummet		
Flade	Areal (m ²)	U (W/m ² K)
Vægge til glasdel	63,0	0,18
Døre til glasdel	4,0	1,05
loft til glasdel	40,0	0,11

Transmissionstab til omgivelserne		
Flade	Areal (m ²)	U (W/m ² K)
Tag, væg og døre i glashus	83,7	1,50

Ventilation												
Ventilationszone	Areal (m ²)	qm (l/s m ²), vinter	n vgv (-)	ti (°C)	EI-VF	qn (l/s m ²), vinter	qi,n (l/s m ²), vinter	SEL (kJ/m ³)	qm,s (l/s m ²), sommer	qn,s (l/s m ²), sommer	qm,n (l/s m ²), nat	qn,n (l/s m ²), nat
Beboelse	300,0	0,20	0,90	18,0	Nej	0,06	0,00	1,2	0,30	0,90	0,00	0,00
Gang	15,0	0,20	0,90	18,0	Nej	0,06	0,00	1,2	0,30	0,90	0,00	0,00

Internt varmetilskud				
Benyttelseszone	Areal (m ²)	Personer (W/m ²)	App. (W/m ²)	App,nat (W/m ²)
Beboelse	300	1,5	2,6	0,0
Gang	15	0,5	0,5	0,0

Belysning											
Belysningszone	Areal	Almen	Almen	Belys.	DF	Styring	Fo	Arb.	Andet	Stand-	Nat

Belysning											
	(m ²)	(W/m ²)	(W/m ²)	(lux)	(%)	(U, M, A, K)	(-)	(W/m ²)	(W/m ²)	by (W/m ²)	(W/m ²)
Beboelse	300,0	0,0	2,4	200	50,00	M	0,70	2,0	0,0	0,0	0,0
Gang	15,0	0,1	0,6	50	50,00	A	0,70	2,0	0,0	0,1	0,1

Andet elforbrug	
Udebelysning, el-effekt	15,0 W
Særligt apparatur, brugstid	0,0 W
Særligt apparatur, altid i brug	0,0 W

Mekanisk køling	
Beskrivelse	Mekanisk køling
Kølevirkningsgrad	2,00
Forøgelsesfaktor	1,50
Dokumentation	

Varmefordelingsanlæg			
Opbygning og temperaturer			
Fremløbstemperatur	43,0 °C		
Returløbstemperatur	22,0 °C		
Anlægstype	2-streng	Anlægstype	
Pumper			
Pumpetype	Pnom	Fp	Beskrivelse
Konstand drift året rundt	0,0 W	0,80	

Pumper					
Konstant drift i opvarmningssæson		0,0 W	0,80		
Tidsstyret drift i opvarmningssæson		0,0 W	0,80		
Kombi-pumpe (konst. i opvarmningssæson)		50,0 W	0,80		
Varmerør					
Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b	Udekomp (J/N)	Afb. sommer (J/N)

Varmt brugsvand	
Beskrivelse	Varmt brugsvand
Varmtvandsforbrug, gennemsnit for bygningen	286,0 liter/år pr. m ² -etageareal
Varmt brugsvand temperatur	55,0 °C
Individuelle elvandvarmere	Nej
Individuelle gasvandvarmere	Nej
Varmvandsbeholder	
Beholdervolumen	1400,0 liter
Fremløbstemperatur fra centralvarme	10,0 °C
El-opvarmning af VBV	Altid
Solvarmebeholder med solvarmespiral i top	Ja
Varmetab fra varmtvandsbeholder	3,5 W/K
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,0

Varmetab fra tilslutningsrør til VVB			
Længde	Tab	b	Beskrivelse
7,0 m	0,1 W/K	0,00	
Ladekredspumpe			
Effekt	50,0 W		
Styret	Ja		
Ladeeffekt	5,0 kW		
Cirkulationspumpe til varmt brugsvand			
Effekt	30,0 W		
El-tracing af brugsvandsrør	Nej		
Rør til varmt brugsvand			
Rørstrækninger i fremløb og returløb	l (m)	Tab (W/mK)	b
Vandvarmere			
Elvandvarmer			
Beskrivelse	Elvandvarmer		
Andel af VBV i separate el-vandvarmere	1,0		
Varmetab fra varmtvandsbeholder	3,5 W/K		
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,00		
Gasvandvarmer			
Beskrivelse	Gasvandvarmer		
Andel af VBV i separate el-vandvarmere	0,0		

Gasvandvarmer	
Varmetab fra varmtvandsbeholder	0,0 W/K
Virkningsgrad	0,0
Pilotflamme	0,0 W
Temperaturfaktor for opstillingsrum	0,00

Kedel	
Beskrivelse	Ny kedel
Brændsel	Olie
Nominel effekt	0,0 kW
Andel af nom. effekt til VBV produktion	0,0

Nominelle virkningsgrader				
Last	Belastning	Virkningsgrad	Kedel temp.	Korrektion
Fuldlast	1,0	0,91	70,0 °C	0,001 -/°C
Dellast	0,3	0,91	35,0 °C	0,001 -/°C

Tomgangstab				
Last	Belastning	Tabfaktor	Andel til rum	Temp. dif
Tomgang	0,0	0,010	0,50	30,0 °C

Driftsforhold	
Kedeltemp, min	30,0 °C
Tempfaktor for opstillingsrum	1,00
Blæsereffekt	1,0 W
El til automatik	1,0 W

Fjernvarmeveksler	
Beskrivelse	Ny fjernvarmeveksler
Nominel effekt	2,0 kW
Varmetab fra veksler	0,0 W/K
VBV opvarmning gennem veksler	Ja
Vekslertemperatur, min	10,0 °C
Tempfaktor for opstillingsrum	0,00
Automatik, stand-by	0,1 W

Anden rumopvarmning	
Direkte el til rumopvarmning	
Beskrivelse	Supplerende direkte rumopvarmning
Andel af etageareal	0,0
Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.	
Beskrivelse	
Andel af etageareal	0,0
Virkningsgrad	0,4
Luftstrømsbehov	0,1 m ³ /s

Solvarmeanlæg			
Beskrivelse	Arcon HT-SA		
Type	Brugsvand		
Solfanger			
Areal 28,2 m ²	Orientering 180	Hældning 45,0 °	Varmetabskoefficient 1,8 W/m ² K
Skygger	Horisont 0,0 °	Venstre 0,0 °	Højre 0,0 °

Rør til solfanger	
Længde 10,0 m	Varmetab 0,17 W/mK
Effektiviteter	
Start 0,8	Veksler 0,9
EI	
Pumpe i solfangerkreds 100,0 W	Automatik, stand-by 5,0 W

Varmepumpe	
Beskrivelse	Ny varmepumpe
Type	Rumopvarmning
Andel af etageareal	0,6

Eldrebet varmepumpe		
Art	Rumopvarmning	VBV
Nominel effekt	2,0 kW	2,5 kW
Nominel COP	3,00	3,00
Rel. COP ved 50% last	0,80	0,00

Test-temperaturer		
Art	Rumopvarmning	VBV
Kold side	8,0 °C	8,0 °C
Varm side	40,0 °C	40,0 °C

Type		
Type	Rumopvarmning	VBV
Kold side	Jordslange	Jordslange
Varm side	Rumluft	-

Diverse		
Type	Rumopvarmning	VBV

Diverse		
Særligt hjælpeudstyr	200,0 W	0,0 W
Automatik, stand-by	0,1 W	0,0 W
Varmepumper tilknyttet ventilation		
Type	Rumopvarmning	VBV
Temp. virkningsgrad for VGV før VP	0,95	0,95
Dim. indblæsningstemp.	40,0 °C	-
Luftstrømsbehov	1,00 m ³ /s	1,00 m ³ /s

Solceller		
Beskrivelse	Solcelle anlæg 1	
Solceller		
Areal 10,0 m ²	Orientering 180	Hældning 90,0 °
Horisont 0,0 °	Venstre 30,0 °	Højre 0,0 °
Diverse		
Peak power 0,110 kW/m ²	Virkningsgrad 0,75	

Bilag 4- Resultat-udskrift

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
EI (faktor 2,5)	1,07	0,55	0,57	0,26	0,11	0,14	0,15	0,13	0,11	0,44	0,97	1,42	5,93
Overtemp. i rum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I alt	3,41	2,50	1,84	0,45	0,11	0,14	0,15	0,13	0,11	0,70	2,08	3,44	15,06
kWh/m ²	10,8	7,9	5,8	1,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	2,2	6,6	10,9	47,8
Varmebehov. Ekstern forsyning til bygning													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Kedel/fjernvarme	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
Gasstrålevarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasvandvarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I alt	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
kWh/m ²	7,4	6,2	4,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	3,5	6,4	29,0
Elbehov. Ekstern forsyning til bygning. Bygningsdrift													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Centralvarmeanlæg	30	27	30	22	4	4	4	4	4	29	29	30	215
Varmt brugsvandsvand	170	25	27	26	27	26	27	27	26	27	112	278	800
Ventilationsanlæg	56	51	56	59	70	74	78	77	65	56	54	56	753
Kedel/fjernvarme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Varmepumpe	195	152	160	49	0	0	0	0	0	104	218	220	1099
Solvarme	10	13	19	26	32	30	30	29	22	16	10	8	244
Rumopvarmning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dec. elvandvarmere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Køling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Belysning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt til bygningsdrift	461	267	292	183	133	134	139	138	117	232	424	592	3112
kWh/m ²	1,5	0,8	0,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	1,3	1,9	9,9

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
Elbehov. Ekstern forsyning til bygning. Andet elforbrug													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Anden belysning	7	5	5	4	3	3	3	3	5	6	6	7	57
Apperatur	579	523	579	561	579	561	579	579	561	579	561	579	6820
I alt til andet	586	529	584	564	582	563	582	582	565	585	567	587	6876
kWh/m ²	1,9	1,7	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	21,8
Elbehov. Ekstern forsyning til bygning. Samlet elbehov													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Bygningen	1047	796	876	747	715	697	721	720	682	817	991	1179	9989
Solcelleydelse	33	48	65	78	87	78	79	87	72	55	35	22	740
Resulterende elbehov	428	220	227	104	46	56	60	51	45	177	389	570	2373
Rumopvarmning, Varmebehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
I rum	2,98	2,44	1,74	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	1,73	2,70	12,45
Vent. varmekfl.	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Rørtab	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,19
I alt	3,01	2,47	1,77	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	1,76	2,73	12,64
I alt, kWh/m ²	9,6	7,9	5,6	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	5,6	8,7	40,1
Rumopvarmning, Dækning af varmebehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Kedel/fjernvarme	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
Solvarmeanlæg	0,03	0,04	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,02	0,25
Varmepumpe	0,64	0,48	0,45	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,62	0,70	3,25
El-rumopvarmning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
El-VF i ventilationsanlæg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Brændeovne mm.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I alt	3,01	2,47	1,77	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	1,76	2,73	12,64
Varmt brugsvand, Varmtvandsbehov													
m ³	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
Samlet forbrug	7,7	6,9	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	90,1
Varmt brugsvand, Forsyning													
m ³	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Centralanlæg	7,7	6,9	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	90,1
Decentrale elvarmere	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Decentrale gasvarmere	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I alt	7,7	6,9	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	7,7	7,4	7,7	7,4	7,7	90,1
Varmt brugsvand, Varmebehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Central VVB	0,40	0,36	0,40	0,39	0,40	0,39	0,40	0,40	0,39	0,40	0,39	0,40	4,73
Dec. elvarmer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dec. gasvarmer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Opvarmning i alt	0,40	0,36	0,40	0,39	0,40	0,39	0,40	0,40	0,39	0,40	0,39	0,40	4,73
Tab cent. VVB inkl. tilslut.	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,54
VBV rørtab	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tab dec. elvandvarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tab dec. gasvandvarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tab i alt	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,54
I alt	0,45	0,40	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	5,27
kWh/m ²	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,7
Varmt brugsvand, Dækning af varmebehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Kedel/fjernvarme	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solvarmeanlæg	0,30	0,40	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,45	0,35	0,20	4,79
Varmepumpe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ei-opv. af central-VVB	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,25	0,48
Ei-tracing af VBV rør	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dec. elvandvarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dec. gasvandvarmere	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
I alt	0,45	0,40	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	5,27
Elbehov i varmeanlæg													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Direkte rumopv.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pumper	30	27	30	22	4	4	4	4	4	29	29	30	215
I alt	30	27	30	22	4	4	4	4	4	29	29	30	215
kWh/m ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,7
Elbehov i varmtbrugsvandsanlæg													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
EI-opv. af central-VVB	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	251	479
EI-tracing af VBV rør	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pumper	27	25	27	26	27	26	27	27	26	27	26	27	321
I alt	170	25	27	26	27	26	27	27	26	27	112	278	800
kWh/m ²	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9	1,5
Elbehov i ventilationsanlæg													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varmeflader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventilatorer	56	51	56	59	70	74	78	77	65	56	54	56	753
I alt	56	51	56	59	70	74	78	77	65	56	54	56	753
kWh/m ²	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,4
Kedel/fjernvarmeveksler, Varme													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Ydelse	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
Forbrug	2,34	1,95	1,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,11	2,01	9,13
Udnytteligt varmetab	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Virkningsgrad	100	100	100	100	0	0	0	0	0	100	100	100	100
Kedel/fjernvarmeveksler, Elbehov													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Brænder, kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
Automatik, kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
I alt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
kWh/m ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varmepumpe, Varme													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Ydelse, Rumopv.	0,64	0,48	0,45	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,62	0,70	3,25
Ydelse, VBV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I alt	0,64	0,48	0,45	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,62	0,70	3,25
Dækningsgr. Rumopv.	0,38	0,35	0,47	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,64	0,46	
Dækningsgr. VBV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Varmepumpe, Elbehov													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Elbehov, rumopv.	195	152	160	49	0	0	0	0	0	104	218	220	1098
Elbehov, stb. rumopv.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elbehov, VBV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elbehov, stb. VBV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	195	152	160	49	0	0	0	0	0	104	218	220	1099
kWh/m ²	0,6	0,5	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,7	3,5
Solvarmeanlæg, Varme													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Ydelse, Rumopv.	0,03	0,04	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,02	0,25
Ydelse, VBV	0,30	0,40	0,45	0,43	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,45	0,35	0,20	4,79
I alt	0,34	0,45	0,49	0,47	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,49	0,38	0,22	5,04
Dækningsgr. Rumopv.	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	
Dækningsgr. VBV	0,68	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,44	
Solvarmeanlæg, Elbehov													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Pumpe	6	10	15	22	28	26	26	25	18	12	7	4	200
Automatik	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	44

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
I alt	10	13	19	26	32	30	30	29	22	16	10	8	244
kWh/m ²	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8
Elbehov til belysning. Indgår i bygningens ydeevne													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Almen i brugstiden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alm. st.-by udenf. brug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbejdsbelysning i brugstid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kWh/m ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elbehov til belysning. Anden belysning													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
I brugstiden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natforbrug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Udelys	7	5	5	4	3	3	3	3	5	6	6	7	57
I alt	7	5	5	4	3	3	3	3	5	6	6	7	57
kWh/m ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Elbehov til apperatur													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Apperatur	579	523	579	561	579	561	579	579	561	579	561	579	6820
Natforbrug, apparatur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Særligt app. i brugstiden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Særligt app. altid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	579	523	579	561	579	561	579	579	561	579	561	579	6820
kWh/m ²	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	21,6
Solceller													
kWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Samlet el-behov	1047	796	876	747	715	697	721	720	682	817	991	1179	9989
Samlet ydelse	33	48	65	78	87	78	79	87	72	55	35	22	740
Balance	-1014	-748	-811	-669	-628	-620	-642	-634	-610	-762	-955	-1156	-9249

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
Overskud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ydelsesjustering	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resulterende ydelse	33	48	65	78	87	78	79	87	72	55	35	22	740
kWh/m ²	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	2,3
Nettovarmebehov i rum													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varmetab	4,35	4,02	3,90	2,99	1,91	1,11	0,86	0,90	1,61	2,37	3,15	3,94	31,12
Solindfald	0,38	0,69	1,17	1,71	2,14	2,04	2,02	1,89	1,40	0,84	0,46	0,25	14,96
Internt tilskud	0,92	0,83	0,92	0,89	0,92	0,89	0,92	0,92	0,89	0,92	0,89	0,92	10,83
Fra rør og VVB	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,87
Samlet tilskud	1,35	1,56	2,13	2,65	3,10	2,97	2,98	2,85	2,33	1,81	1,39	1,21	26,33
Relativt tilskud	0,31	0,39	0,55	0,89	1,62	2,68	3,47	3,17	1,45	0,76	0,44	0,31	
Udnyttelses-faktor	1,00	1,00	1,00	0,97	0,62	0,37	0,29	0,32	0,69	0,99	1,00	1,00	0,77
Del af mnd. med opv.	1,00	1,00	1,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	1,00	1,00	
Varmebehov	3,01	2,47	1,77	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	1,76	2,73	12,62
Opvarm. i vent. VF	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Netto rumopvarmning	3,01	2,47	1,77	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	1,76	2,73	12,63
I alt, kWh/m ²	9,6	7,9	5,6	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	5,6	8,7	40,1
Solafskærmning, forceret vent., natvent. og køling													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Solafsk., red. faktor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Forcering, andel	0,00	0,00	0,00	0,18	0,49	0,71	0,78	0,74	0,38	0,00	0,00	0,00	
Natventilation, andel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,25	0,29	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mekanisk køling, andel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Middelventilation. Sum af naturlig og mekanisk ventilation													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
m ³ /s	0,08	0,08	0,08	0,12	0,19	0,23	0,25	0,24	0,16	0,08	0,08	0,08	
l/s m ²	0,26	0,26	0,26	0,38	0,59	0,73	0,78	0,76	0,51	0,26	0,26	0,26	
Andel af tid på eller over 26,0 °C rumtemperatur													

Model: HydrogenHouse3.4	SBI Beregningskerne 2, 7, 5, 2												
Be06 resultater: HydrogenHouse2.0													
Samlet energibehov													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Tidsandel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mekanisk køling, netto													
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
MWh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kWh/m ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0