



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Økonomisk feasibility studie af opvarmning med varme- pumper og elvarme i nye enfamiliehuse

Titel: Økonomisk feasibility studie af opvarmning med varmepumper og elvarme i nye enfamiliehuse

Udarbejdet for: Det Strategiske forskningscenter for energineutralt byggeri

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Energi og Klima
Gregersensvej 8
2630 Taastrup
Køle- og Varmepumpeteknik

Maj 2014

Forfattere: Thea Sørensen
Søren Østergaard Jensen

Maj 2014
1. udgave, 1. oplag
© Teknologisk Institut
Energi og klima

ISBN: 978-87-93250-02-4
ISSN: 1600-3780

Forord

Nærværende rapport afslutter Teknologisk Instituts studie vedr. økonomisk feasibility af opvarmning med varmepumper og elvarme i nye enfamiliehuse. Arbejdet har været finansieret af Forsknings- og Innovationsstyrelsen via det Strategiske forskningscenter for energineutralt byggeri (www.zeb.aau.dk) - sagsnr. 2104-08-0018.



Deltagere i projektet:

Thea Sørensen, Teknologisk Institut
Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
Esben Vendelbo Foged, Teknologisk Institut
Claus Schøn Poulsen, Teknologisk Institut
Martin Frølich Olesen, Teknologisk Institut
Lars Olsen, Teknologisk Institut
Ivan Katic, Teknologisk Institut
Svend Vinther Pedersen, Teknologisk Institut

Indholdsfortegnelse

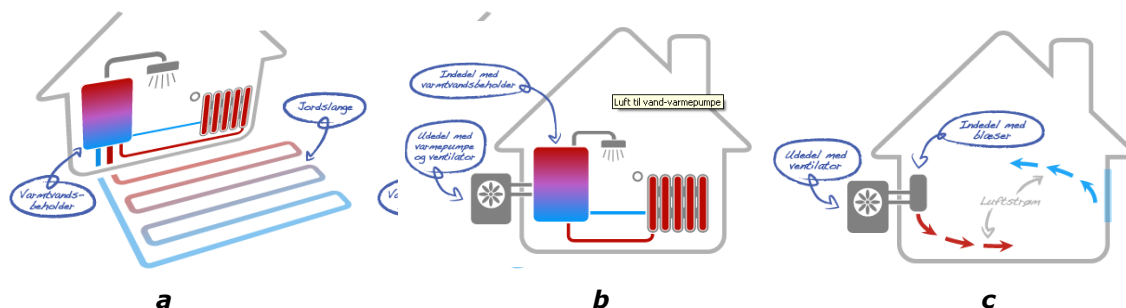
1. Introduktion	5
2. Energiforbrug	6
2.1. Tekniske antagelser	7
2.2. Bygningstyper	8
2.3. Opvarmning i Be10	9
2.4. Energiforbrug i Be10	10
2.4.1. Justering af elforbrug til varmepumperne	11
3. Anlægsinvestering	13
3.1. Væske/vand varmepumpe	13
3.2. Luft/vand varmepumpe	14
3.3. Luft/luft varmepumpe	15
3.4. Elvarme	16
3.5. Solceller	16
4. Privatøkonomisk gevinst	19
4.1. Metode	20
5. Resultater	21
6. Parameteranalyse	23
6.1. Variation i energiforbrug	23
6.2. Variation i elpris	25
6.3. Variation i investeringssum for elvarme, varmepumper og gulvvarme	28
6.4. Variation for solcellers investeringssum, produktion, egetforbrug og feed-in tarif	34
6.5. Variation i varmepumpers effektivitet	39
7. Konklusion	44
8. Referencer	46
Bilag A Varmepumper – Inddata til Be10	48
I) Væske/vand	48
II) Luft/vand	49
III) Luft/luft	50
IV) Elvarme	51
Bilag B Energibehov i Be10	52
Bilag C Elpriser (Energistyrelsen, 2012b)	53

1. Introduktion

Installation af varmepumper er blevet et populært tiltag i nybyggeri for at kunne overholde bygningsreglementets energirammer, idet varmepumper typisk har en effektivitet (COP) på over 2,5, som er primærenergifaktoren for el anvendt i bygninger. Ved en COP på mere end 2,5 leverer varmepumpen mere energi som varme, end der bruges af primærenergi for at producere den elektricitet, som varmepumpen bruger. Yderligere forventes primærenergifaktoren for el at blive sænket til 1,8 i forbindelse med Bygningsklasse 2020 (som forventes at blive krævet i 2020).

En varmepumpe – specielt en jordvarmepumpe – er dog en stor investering, især hvis det ses i forhold til direkte elvarme i form af el-radiatorer. Samtidigt forventes det, at det tilladte energiforbrug i nye bygninger fortsætter med at falde med de kommende bygningsreglementer i 2015 og 2020.

Det har derfor ofte været diskuteret, hvilken varmepumpetype – væske/vand (typisk jordvarme), luft/vand og luft/luft (se figur 1.1) – det privatøkonomisk er mest fordelagtigt at anvende i lavenergihuse, samt ved hvor lille et energibehov grænsen går for, at det privatøkonomisk er mere rentabelt at opvarme et lavenergihus med direkte elvarme frem for ved hjælp af en varmepumpe.



Figur 1.1. De tre hovedtyper af varmepumper: a) væske/vand, b) luft/vand og c) luft/luft (Energistyrelsen, 2014a).

Ovenstående er grundlaget for nærværende rapport, hvor rentabiliteten af fire forskellige opvarmningsformer undersøges for et enfamiliehus, der overholder energirammen for henholdsvis dagens krav i BR10, Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020.

De fire opvarmningsformer er:

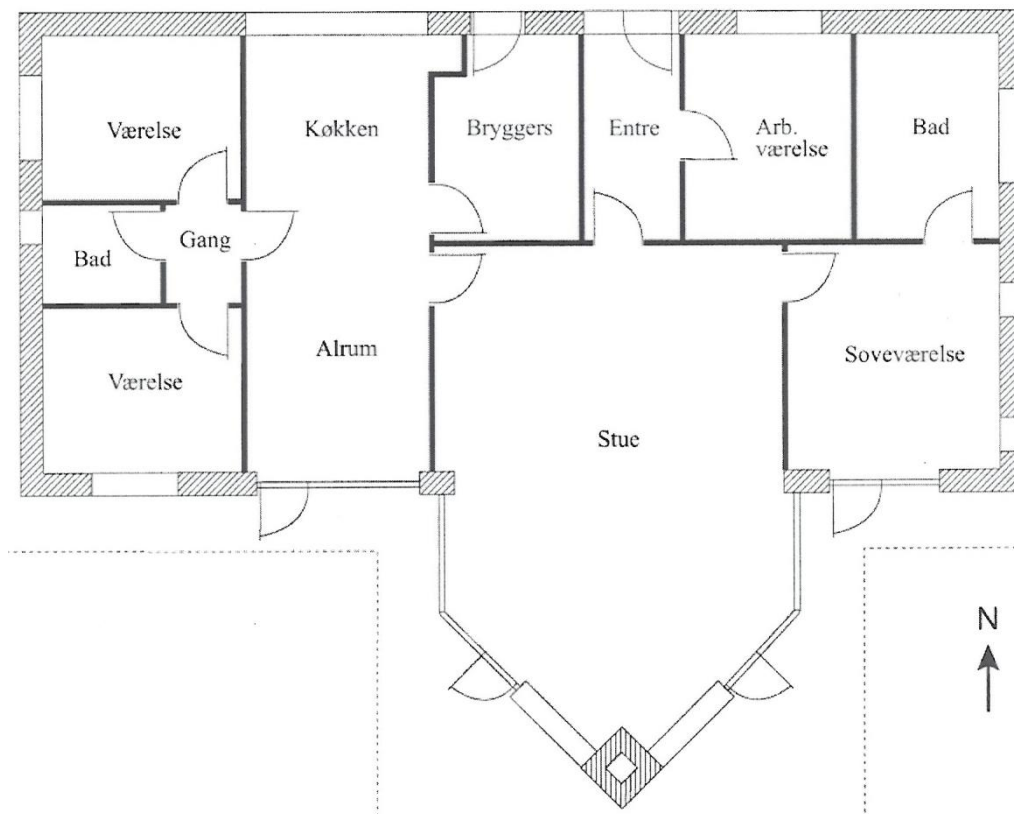
- jordvarmepumpe
- luft/vand varmepumpe
- luft/luft varmepumpe i kombination med el-paneler
- ren elvarme

2. Energiforbrug

Energiforbruget for tre typer parcelhuse er beregnet med Be10 (Aggerholm og Grau, 2011). De tre typer parcelhuse overholder BR10's krav til henholdsvis nybyggeri i dag, Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020.

Undersøgelsen tager udgangspunkt i eksempel-parcelhuset, som findes i Be10. Huset er på 180 m². Husets grundplan er vist i figur 2.1. Energirammen for de tre hustyper er:

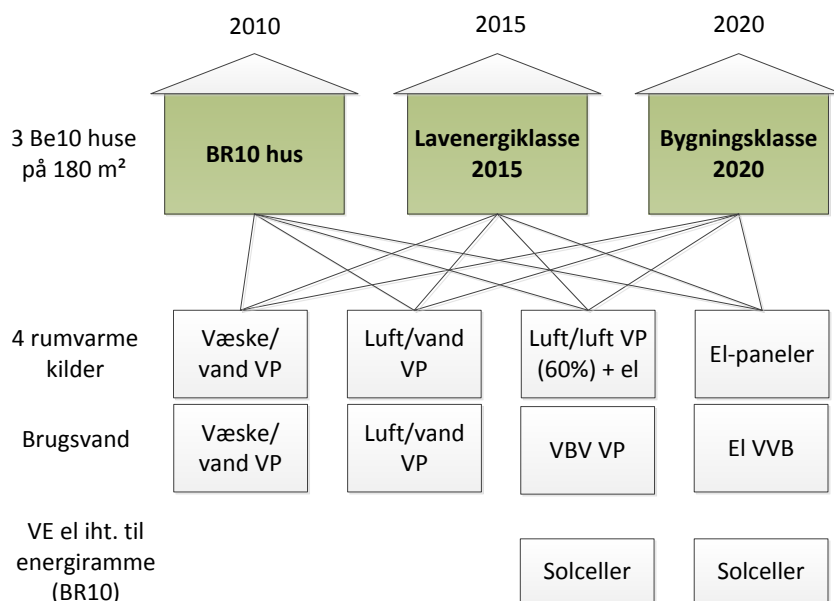
BR10:	61,7 kWh/m ² pr. år
Lavenergiklasse 2015:	35,6 kWh/m ² pr. år
Bygningsklasse 2020:	20,0 kWh/m ² pr. år



Figur 2.1. Grundplanen for parcelhuset i Be10.

Elforbruget for de tre hustyper er beregnet med fire forskellige varmeanlæg som vist i figur 2.2:

- en jordvarmepumpe (Væske/vand VP)
- en luft/vand-varmepumpe (Luft/vand VP)
- en luft/luft varmepumper i stuen/køkken-alrum (Luft/luft VP) og el-paneler i resten af huset
- el-paneler i hele huset



Figur 2.2. De fire opvarmningssystemer anvendt i beregningerne.

Varmt brugsvand produceres på forskellig måde i de fire opvarmningssystemer:

- jordvarmepumpen (Væske/vand)
- luft/vand-varmepumpen (Luft/vand)
- en brugsvandsvarmepumpe (VBV VP)
- en elpatron i varmtvandsbeholderen (el VVB)

Da ren elvarme bevirker, at de to opvarmningsformer med el-paneler ikke kan overholde energirammerne, gennemføres der beregninger med og uden et solcelle-anlæg, der dækker energibehovet, der går ud over energirammerne, således at energirammerne også kan overholdes med disse typer varmeanlæg.

2.1. Tekniske antagelser

Udgangspunktet for designet af husene har været, at husene med jordvarmepumpen netop overholder energikravene i BR10, Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020 med standardværdierne i Be10 beregningerne for rumtemperatur og brugsvandsforbrug. Herefter er de andre opvarmningssystemer blevet introduceret et efter et.

Al erfaring viser dog, at huse typisk har et højere energibehov end beregnet med Be10, da de fleste danskere foretrække en rumtemperatur på 22°C. Brugsvandsbehovet er også højere end antaget i Be10. I de sammenlignende økonomiberegninger er der derfor foretaget følgende ændringer i Be10 modellerne:

- rumtemperaturer er ændret fra 20 til 22°C
- varmtvandsforbruget er ændret fra 250 l/m² pr. år til 324 l/m² pr. år (4 personer á 40 l varmt vand pr. dag)

Ændringerne i inddata til Be10 i forhold til eksempelhuset i Be10 er beskrevet i det følgende.

2.2. Bygningstyper

Tabel 2.1 viser ændringerne for Be10 eksempelhuset med hensyn til klimaskærm og ventilationsform.

Klimaskærmen	Enhed	BR10	Lavenergi-klasse 2015	Bygningsklasse 2020
U-værdi, ydervægge	W/(m ² K)	0,18	0,12	0,09
U-værdi, terrændæk	W/(m ² K)	0,09	0,07	0,05
U-værdi, loft	W/(m ² K)	0,13	0,09	0,07
Linietab, fundament	W/(mK)	0,12	0,07	0,05
Linietab, vinduer/døre	W/(mK)	0,02	0,02	0,02
U-værdi, vinduer/døre	W/(m ² K)	1,5	1	0,7
g-værdi, vinduer/døre	W/(m ² K)	0,5	0,5	0,5
Ventilation				
Ventilationsform	-	naturlig ventilation	mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding	mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding
Vekslereffektivitet	-	-	0,85	0,85
Elforbrug, SFP	J/m ³	-	800	800
Infiltration	l/(m ² s)	-	0,075	0,07

Tabel 2.1. Inddata til Be10 modellerne vedr. klimaskærm og ventilation.

Med inddata fra tabel 2.1 og en jordvarmepumpe (se afsnit 2.3) bliver det årlige primære energiforbrug for de tre hustyper med standardværdierne for rumtemperaturen (20°C) og brugsvandsbehovet (250 l/m² pr. år):

BR10: 60,7 kWh/m² pr. år
 Lavenergi klasse 2015: 35,1 kWh/m² pr. år
 Bygningsklasse 2020: 19,4 kWh/m² pr. år

Altså lidt mindre end energirammerne.

Med disse inddata bliver det dimensionerende varmetab for bygningen (ved -12°C ude og 20°C inde), defineret som det samlede varmetab dvs. transmissionstab og ventilationsstab med evt. varmegenvinding:

BR10: 6,7 kW
 Lavenergi klasse 2015: 4,0 kW
 Bygningsklasse 2020: 3,1 kW

Når rumtemperaturen sættes op til 22°C og brugsvandsbehovet til 324 l/m² pr. år, ændres det dimensionerende varmetab ikke. Det årlige primære energiforbrug for de tre hustyper bliver:

BR10: 75,2 kWh/m² pr. år
 Lavenergi klasse 2015: 43,5 kWh/m² pr. år
 Bygningsklasse 2020: 24,0 kWh/m² pr. år

2.3. Opvarmning i Be10

Energiforbruget for de tre hustyper bliver som nævnt beregnet for tre forskellige varmepumper (den ene i kombination med el-paneler) og ved ren elvarme. Der er taget udgangspunkt i eksisterende varmepumper på markedet. Varmepumperne i tabel 2.2 er valgt, da de vurderes repræsentative for eksisterende varmepumper på markedet.

	Enhed	Væske/ vand	Luft/vand	Luft/luft	VBV ¹ VP til L/L
Type af varmepumpe	-	Kombineret	Kombineret	Duo (rumopvarmning)	Duo (brugs- vand)
Nominel effekt	kW	Stor nok så ingen elpa- tron	Stor nok så ingen elpa- tron	Stor nok så in- gen elpatron	Stor nok så ingen elpa- tron
Nominel COP inkl. Pumper, ventilato- rer og automatik	-	4,55	3,3	2,6	2,83
Rel. COP ved 50 % last	-	0,8	0,94	1,4	-
Test temp. Kold side	C	0	7	-7	7
Test temp. Varm side	C	35	45	20	55
Kold side	-	Jordslange	Udeluft	Udeluft	Udeluft
Varm side	-	Varmean- læg	Varmean- læg	Rumluft	-
Automatik	W	30	0	0	0
Varmesystem	-	Væskebå- ren gulv- varme	Væskebå- ren gulv- varme	Luftbåren var- mefordeling og el-paneler til at opfylde BR10 krav om indivi- duel opvarmning	-
b-faktor – terræn- dæk	-	1	1	0,7	0,7
b-faktor - yder- vægsgulv	-	1,3	1,3	1	1
Brugsvandstank størrelse	L	180	180	-	180
Andel af etageareal dækket af varme- pumpe	-	1	1	0,6	-
Kilde	-	Bosch Compress 6000 LW/M	Vølund Fighter 2025-6	Bosch Compress 7000 – 6,5	Antaget ud fra interne, fortrolige tests

Tabel 2.2. Inputdata til Be10 for de fire opvarmningssystemer.

¹VBV = varmt brugsvand.

Varmepumper dimensioneres typisk til at have en mindre kapacitet end max behov. Ifølge Varmenormen (Dansk Standard, 2013) skal varmepumper dimensioneres til en

udelufttemperatur på -7°C og en rumtemperatur på 20°C . Dette betyder, at kapaciteten er ca. 85 % af det dimensionerende varmebehov, hvilket resulterer i, at varmepumperne "kun" dækker ca. 95 % af det samlede årlige opvarmningsbehov. De resterende 5 % dækkes af varmepumpens elpatron – dvs. ved direkte elopvarmning. Dette justeres der for i energibehovet anvendt i økonomiberegningerne, da Be10 i sine beregninger kun opererer med gennemsnitlige månedstemperaturer, og derved ikke tager højde for de ydersituationer med spidsbelastning for varmepumper på årets koldeste dage. En beskrivelse af den efterfølgende justering findes i afsnit 2.4.1.

I væske/vand varmepumpen medregnes en brinepumpe på 100 W, der kører ca. 1/3 af tiden. Derfor sættes der 30 W ind i Be10 for automatik og standby.

Ved væske/vand og luft/vand varmepumperne antages opvarmningssystemet at være gulvvarme. For luft/luft og elvarme antages det, at varmesystemet er luftbåren. Det antages, at luft/luft varmepumpen er placeret i husets mest varmekrævende rum, samt at den i første omgang kan dække 60 % af husets opvarmningsbehov, som anbefalet i Teknologikataloget for individuelle varmeanlæg og energitransport (Energistyrelsen, 2012a). Det antages, at husets resterende opvarmningsbehov dækkes af el-paneler. Desuden gælder det, at huse i bygningsklasse 2020 ikke må have luftvarme som eneste opvarmningskilde (BR10, 2014).

I Be10 opereres med en temperaturfaktor, b , der tager hensyn til to forhold:

- at der på den udvendige side af en bygningsdel kan være en anden temperatur end udelufttemperaturen
- at der på den indvendige side kan være en anden temperatur end rumtemperatur

Ved elvarme og luft/luft varmepumperne anvendes en b -faktor på 0,7 for terrændæk og 1 for ydervægsgfundament, da det antages, at der ikke er gulvvarme i husene. Ved væske/vand og luft/vand varmepumperne antages en b -faktor på 1 for terrændæk og 1,3 for ydervægsgfundament, jf. Aggerholm og Grau (2011).

For opvarmning af brugsvand antages det, at væske/vand og luft/vand varmepumperne er af typen kombinationsvarmepumper, der både producerer varmt brugsvand og rumvarme. For luft/luft varmepumperne antages det, at opvarmningen af varmt brugsvand foretages med en brugsvandsvarmepumpe. For elvarme antages en løsning med en elvandvarmer. Det antages, at varmtvandsbeholderen er på 180 L ved samtlige varmepumper og på 110 L for elvarme.

Be10 input data for varmepumper og elvarme kan ses i Bilag A.

2.4. Energiforbrug i Be10

Husenes energiforbrug (elforbrug) er taget fra Be10s *Resultater* under *Nøgletal*. Her er data for el til bygningsdrift, opvarmning af rum, opvarmning af vbv (varmt brugsvand) samt elbehov og ydelse for varmepumperne noteret. Bilag B viser Be10 brugergrænsefladen, hvor resultater for energiforbrugene er hentet.

2.4.1. Justering af elforbrug til varmepumperne

Energiberegningerne i Be10 tager ikke højde for elpatrondrift ved lave udelufttemperaturer. Et ekstra elforbrug skal derfor tillægges de resultater, der beregnes i Be10, da ren elvarme har en COP på 1 mod varmepumpens COP på over 2,5. Erfaringsmæssigt dækker direkte elvarme (med elpatronen) 5 % af det årlige opvarmningsbehov. Så varmepumpens elforbrug justeres derfor ved at trække 5 % fra det samlede elforbrug til varmepumpen, hvorefter de 5 % tillægges som ren elvarme, - dvs. de 5 % ganges med årseffektiviteten for varmepumpen som vist nedenfor.

Årseffektivitet eller Seasonal Performance Factor (SPF) med data fra Be10 defineres som varmepumpens ydelse divideret med el til varmepumpe: SPF_{Be10} . Årseffektiviteten defineres som:

$$SPF_{Be10} = \frac{Q}{W}$$

Eksempel:

$$SPF_{Be10} = \frac{101,4 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}}{29,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}} = 3,5$$

Denne årseffektivitet (SPF_{Be10}) tager som nævnt ikke højde for elpatrondrift ved lave udelufttemperaturer, så det skal der justeres for. Varmepumpens elforbrug justeres derfor til et højere og mere rigtigt niveau ved at tage højde for, at 5 % af dette elforbrug erfaringsmæssigt leveres af en elpatron med en effektivitet på 1 i stedet for som her vist 3,5 (SPF) således:

$$W_{justeret} = W - W \cdot 5 \% + W \cdot 5 \% \cdot SPF_{Be10}$$

Eksempel:

$$29,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} - 29,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot 5 \% + 29,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot 5 \% \cdot 3,5 = 32,9$$

Herefter kan en justeret årseffektivitet, der tager højde for elpatron drift beregnes:

$$SPF_{justeret} = \frac{Q}{W_{justeret}} = \frac{101,4 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}}{32,9 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}} = 3,1$$

Energiforbruget for de forskellige scenarier ender herefter som i tabel 2.3.

Omkring de justerede årseffekt faktorer kan siges, at de for væske/vand og luft/vand varmepumperne synes realistiske sammenlignet med målinger på varmepumper installeret i eksisterende byggeri. Der er målt SPF-værdier på 3,3-3,4 og 2,9-3,1 for henholdsvis væske/vand og luft/vand varmepumper med gulvvarme (Teknologisk Institut, 2013).

Det bemærkes, at $SPF_{justeret}$ for luft/luft varmepumperne er ret høj. Dette skyldes blandt andet, at en relativ COP ved 50 % last på 1,4 er anvendt, jf. databladet i Bilag A. Dette bliver derfor undersøgt senere i kapitlet med parametervariationer.

Samlet justeret energiforbrug		BR10	Lavenergi-klasse 2015	Bygningsklasse 2020
Væske/vand	kWh/m ² /år	33,3	17,5	13,1
Luft/vand	kWh/m ² /år	34,9	18,2	13,5
Luft/luft	kWh/m ² /år	51,4	24,0	16,5
Elvarme	kWh/m ² /år	97,7	48,8	35,3
SPF_{justeret}				
Væske/vand	-	3,1	3,0	2,9
Luft/vand	-	2,9	2,9	2,8
Luft/luft	-	3,3	3,0	2,9
Elvarme	-	1,0	1,0	1,0

Tabel 2.3. Justeret elbehov og $SPF_{justeret}$.

Energiforbruget, der anvendes til beregning af størrelsen på solcelleanlægget for at bringe husene med luft/luft varmepumpe og ren el-opvarmning ned under BR10's energirammer, vil blive gennemgået i afsnit 3.5.

For luft/luft varmepumpen skal det bemærkes, at der her ikke er taget højde for et eventuelt alternativt forbrugsmønster, hvis luft/luft varmepumpen anvendes til aircondition om sommeren, hvilket vil medføre et højere elforbrug. Desuden kan der være støjgener forbundet med brug af luft/vand og luft/luft varmepumper, hvilket gør, at man som forbruger alligevel ønsker at installere en væske/vand varmepumpe eller anvende ren elvarme.

3. Anlægsinvestering

Anlægsinvesteringen er estimeret ved hjælp af V&S prisdata (2014) samt Energistyrelsens Teknologikatalog (Energistyrelsen, 2012a). Anlægsprisen for væske/vand og luft/vand varmepumperne er estimeret med en antagelse om, at der findes varmepumper med ønskede effekt, der passer præcist til de tre hustyper. For luft/luft varmepumperne og ved ren elvarme er der installeret den samme effekt i samtlige hustyper. Den ønskede effekt for væske/vand og luft/vand varmepumperne er sat til 85 % af det dimensionerende varmetab fundet med Be10. Med disse forudsætninger bliver den ønskede varmepumpes effekt:

BR10:	5,7 kW
Lavenergiklasse 2015:	3,4 kW
Bygningsklasse 2020:	2,6 kW

Ved estimering af anlægsinvesteringen for de forskellige anlægstyper er V&S Prisdata for Nybyggeri – Husbygning 2014 anvendt. Priserne gælder for Sjælland uden for Hovedstadsområdet. Priserne består af udgifter til arbejds løn, materialer og materielleje. Arbejds løn er fastsat på baggrund af Dansk Arbejdsgiverforenings Strukturstatistik (2012). Priserne er ekskl. moms (25 %) og ekskl. arbejdspladsindretning og drift (normalt 7-15 %). Der er anvendt priser pr. 1. januar 2014, og arbejdspladsindretning og drift er negligeret, da der er tale om nybyggeri. Priserne er i beregningen tillagt moms, så de bliver repræsentative for en almindelig dansk hustand.

Omkring huset forudsættes det, at det er et nybygget typehus på 180 m². 2015 og 2020 husene inkluderer balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding som en del af hovedentreprisen for huset, mens 2010 huset er naturligt ventileret.

Som en del af anlægsinvesteringen skal der tages højde for udgifter forbundet med lægning af gulvvarmeslanger ved de væskebårne systemer (væske/vand og luft/vand varmepumper). Ved luft/luft varmepumpe og ren gulvarme er gulvarme overflødigt, og er derfor ikke inkluderet i anlægsinvesteringen.

Anlægsinvesteringerne er estimeret ud fra tilgængelig data og ekspertvurderinger, men er i sagens natur behæftet med en del usikkerheder, da en reel anlægspris afhænger af konkurrence mellem entreprenører, placering i landet mv. Disse vil derfor blive varieret i parameteranalysen med +/- 50 % i forhold til udgangspunktet, defineret i de følgende afsnit.

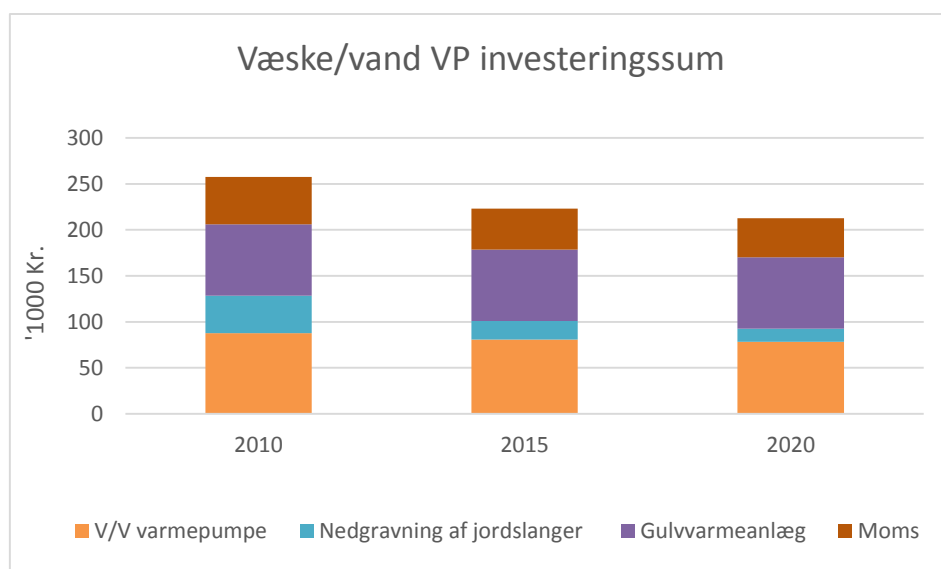
3.1. Væske/vand varmepumpe

For væske/vand varmepumperne er der en 4 kW, 5,3 kW og en 7,5 kW varmepumpe i V&S prisdata. Ved hjælp af lineær ekstrapolation anvendes disse prisdata til at finde prisestimater for de tre hustyper i hhv. 2010, 2015 og 2020. Ved udgravning og nedlægning af jordslanger anslås en fast pris på 100 kr. pr. lbm. jordslange (Den lille blå om varmepumper, 2011). Jordslangens længde er estimeret ud fra følgende dimensioneringsregler (Den lille blå om varmepumper, 2011 s. 64):

- Maksimal belastning af jorden: 40 kWh/m²/år
- Maksimal belastning af jordslangen: 20 W/m våd jord
- Middelbelastning af jordslangen henover året: 6 W/m/år
- Afstand mellem jordslanger: 1 m

Den første regel er anvendt som primær dimensioneringsmetode, da den er den mest stringente. Herefter er det testet, om de næste to regler er overholdt. Der er tillagt 25 % ekstra jordslange for at kompensere for risici ifm. jordbundsforhold. Det antages, at jordslangerne kan graves ned med en kædegraver, og at der ikke er yderligere udgifter forbundet med deponering af jord. Der er ikke taget højde for genetablering af have, da der er tale om nybyggeri. Omkring gulvvarmeanlægget antages det, at det består af:

- 1 stk. 10 kreds gulvvarmeanlæg til 39.900 ekskl. moms (V&S Prisdata, 2014)
- Alupex-rør til 37.800 ekskl. moms svarende til 210 kr. ekskl. moms pr. m² (V&S Prisdata, 2014)



Figur 3.1. Investeringssum for væske/vand varmepumperne.

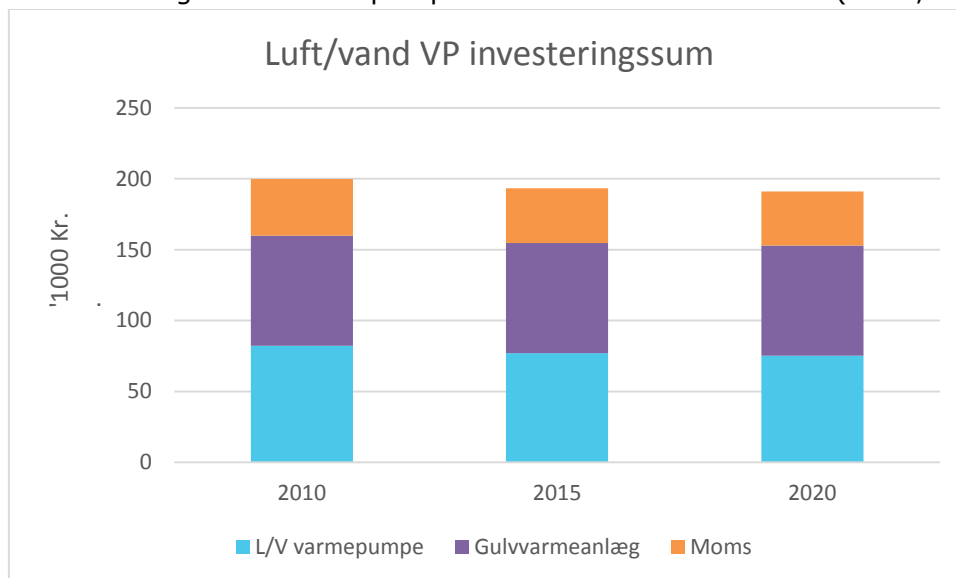
3.2. Luft/vand varmepumpe

For luft/vand varmepumper er der en 6,2 kW og 8,2 kW varmepumpe i V&S Prisdata. Ved hjælp af lineær ekstrapolation anvendes disse prisdata til at finde prisestimer for de tre hustyper i hhv. 2010, 2015 og 2020. Dernæst er tillagt prisestimat for gulvvarmeanlæg som i afsnit 3.1 samt moms.

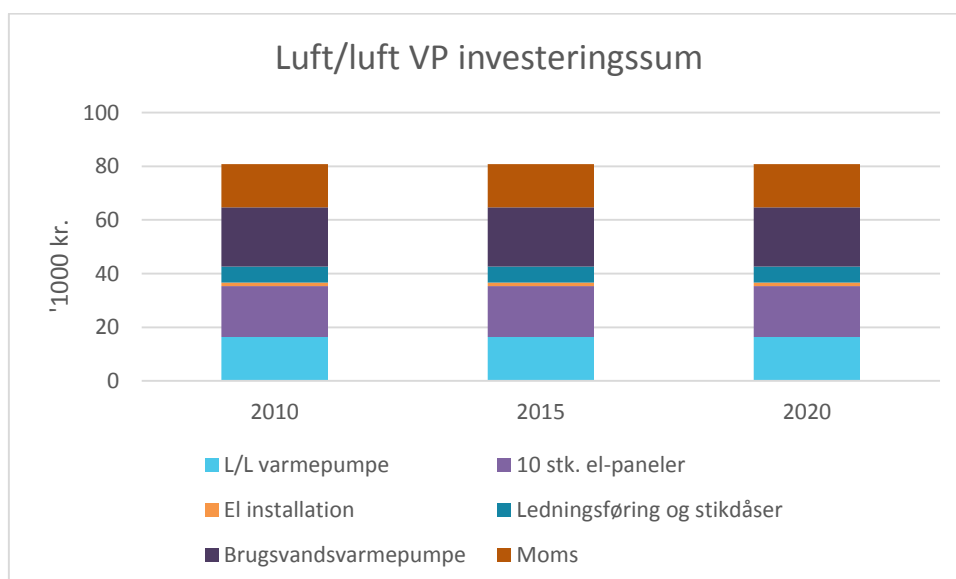
3.3. Luft/luft varmepumpe

Ved opvarmning med luft/luft varmepumpen er det antaget, at husets 11 værelser kan opvarmes af:

- 1 stk. luft/luft varmepumpe til €2.200 (Energistyrelsen, 2012a), der placeres i stuen
- 10 stk. el-paneler til en stykpris á 1.890 jf. V&S Prisdata (2014), der dækker de resterende 40 % af opvarmningsbehovet i husets resterende 10 rum
- 1.350 kr. ekskl.moms til elinstallation inkl. 1 stk. trefaset gruppe inkl. gruppeafbryder og DIN skinne (V&S Prisdata, 2014)
- 6.000 kr. ekskl. moms til ledningsføring og stikdåser, estimeret ud fra 50 m ledning og 10 stikdåser (V&S Prisdata, 2014)
- 1 brugsvandsvarmepumpe til 22.000 kr. ekskl. moms (Nílan, 2014)



Figur 3.2. Investeringssum for luft/vand varmepumperne.

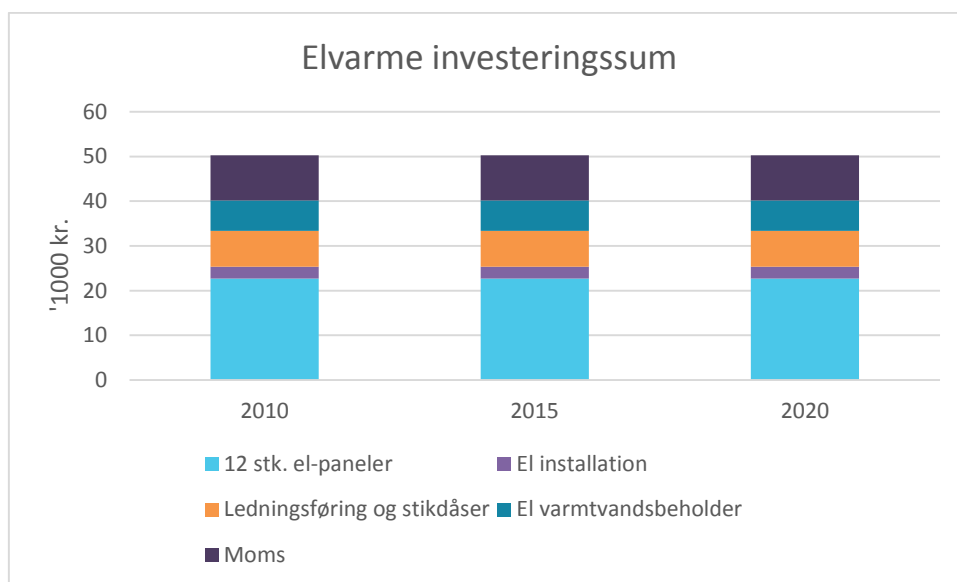


Figur 3.3. Investeringssum for luft/luft varmepumperne.

3.4. Elvarme

Ved elvarme er det antaget, at husets 11 værelser kan opvarmes af:

- 12 stk. el-paneler á 1.890 kr. ekskl. moms (V&S Prisdata, 2014) med 2 paneler i stuen og et panel i hver af de resterende værelser
- 1 stk. 110 L elvandvarmer til 6.820 kr. ekskl. moms (V&S Prisdata, 2014)
- 2.700 kr. ekskl. moms til to stk. trefaset grupper inkl. gruppeafbryder og DIN skinne (V&S Prisdata, 2014)
- 8.000 kr. ekskl. moms til ledningsføring og stikdåser, estimeret ud fra 50 m ledning og 12 stikdåser. (V&S Prisdata, 2014)



Figur 3.4. Investeringssum for ren elvarme.

3.5. Solceller

I de tilfælde, hvor der anvendes luft/luft varmepumper og ren elvarme, medfører den store andel af elforbruget til opvarmning, at energirammerne iht. BR10 (herunder Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020) ikke kan overholdes. Dette kan der kompenseres for med vedvarende energi, såsom vind, solceller eller solvarme. I denne analyse er der anvendt solceller, der, hvis de placeres på bygningen eller i forbindelse med bygningen, kan indgå i energirammen.

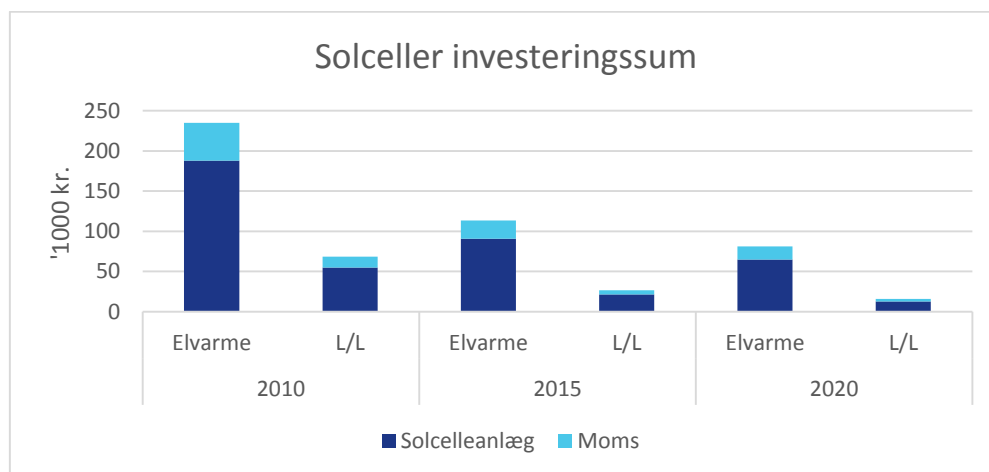
Solcelleanlæggenes størrelse er dimensioneret, så de dækker den energi, der bruges for meget, for at huset kan leve op til energirammerne. For luft/luft varmepumperne og ren elopvarmning er der set på forskellen mellem el til bygningsdrift i referencetilfældet med væske/vand varmepumpe (som netop overholder de tre energiklasser i bygningsreglementet) og hhv. luft/luft varmepumperne eller ren elvarme ved varmtvandsbehov på 250 L/m²/år og en indetemperatur på 20°C, der er standardværdierne i Be10 til beregning af en bygnings energiforbrug. Solcellerne er herefter dimensioneret til at dække denne forskel. Det samlede resultat kan ses i tabel 3.1. Den nødvendige elproduktion og investeringen i solceller anvendes i nutidsværdibetragtningen.

Det antages, at solcellerne producerer 950 kWh/kW_p pr. år. Dette forudsætter nærmest ideelle tilstande; sydvendt, ingen skygger og ideel hældning, samt at degradering af solceller i levetiden negligeres.

Omkring anlægsprisen antages der en investeringssum på 17.500 kr. pr. kW_p inkl. moms¹. Det antages, at solcellerne har en levetid på 20 år, og at der skal udskiftes inverter efter 10 år. Inverterprisen antages til 0,27 €/W (Photon International, 2014).

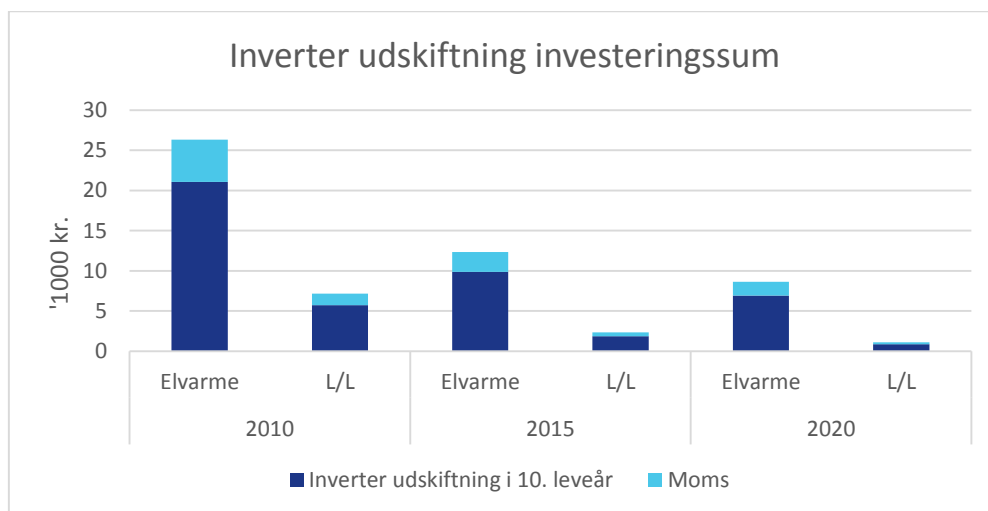
		BR 2010		Lavenergiklasse 2015		Bygningsklasse 2020	
		Luft/luft	Elvarme	Luft/luft	Elvarme	Luft/luft	Elvarme
Elbehov, referencehus V/V 20°C og 250L/m ² /år	kWh/m ² /år	24,3	24,3	14	14	10,8	10,8
Elbehov ved L/L eller EL ved 20°C og 250L/m ² /år	kWh/m ² /år	39,3	79,5	18,9	39,9	13,1	28,9
Difference der dækkes af sol	kWh/m ² /år	15,0	55,2	4,9	25,9	2,3	18,1
Nødvendig elproduktion	kWh/år	3.384	12.186	1.206	5.904	630	4.176
Installeret effekt	kW _p	3,6	12,8	1,3	6,2	0,7	4,4
Solcelleanlæg estimat	DKK	67.500	229.500	27.000	114.000	16.500	82.000
Inverter udskiftning efter 10 år	DKK	7.200	25.800	2.600	12.500	1.400	8.900

Tabel 3.1. Beregning af investeringssummen for solceller.



Figur 3.5. Investeringssum for solcellerne.

¹ Estimat af Ivan Katic, Teknologisk Institut

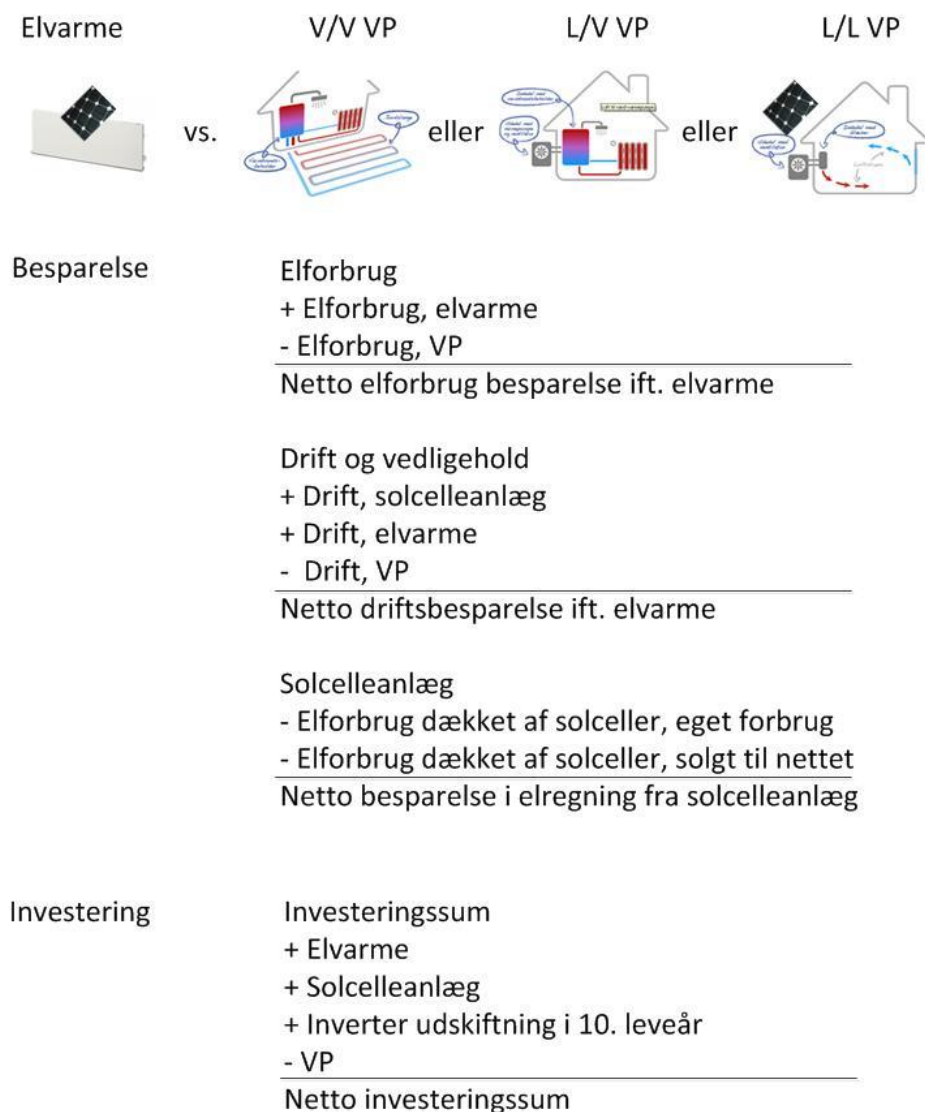


Figur 3.6. Investeringssum for udskiftning af inverter.

4. Privatøkonomisk gevinst

Den privatøkonomiske gevinst ved at vælge en varmepumpe frem for elvarme er undersøgt ved hjælp af en nutidsværdi-beregning for de mulige anlægsinvesteringer. Da det ønskes at undersøge, hvorvidt varmepumper kan betale sig sammenlignet med den mere ineffektive opvarmningsform ren elvarme, er beregningen sat op således, at der ses på besparelsen ved henholdsvis væske/vand (V/V), luft/vand (L/V) og luft/luft (L/L) varmepumper sammenlignet med ren elvarme.

Ved denne metode bliver sammenligningsgrundlaget elvarme med solceller sammenlignet med opvarmning med de tre typer af varmepumper, hvor luft/luft varmepumpen ligeledes har behov for solceller for at leve op til energirammerne i henhold til BR10. Figur 4.1 viser, hvorledes de forskellige besparelser tæller positivt eller negativt i den samlede nutidsværdianalyse. Positive værdier skal forstås, som det man sparer ved ikke at vælge elvarme med solceller, hvor negative værdier skal ses som merudgifter i forbindelse med valg af en varmepumpe.



Figur 4.1. Beregning af nutidsværdi.

4.1. Metode

Generelt anvendes forbrugerpriser inklusive moms m.m. Der tages udgangspunkt i aktuelle forbrugerpriser på elektricitet, hvor prisen er fremskrevet på baggrund af Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger (Energistyrelsen, 2012b). Priserne er omregnet til 2014-prisniveau.

Skatter og afgifter er for det nuværende 2014-niveau og er anvendt fremadrettet. Det antages, at der betales en afgift på 83,3 øre/kWh el ved årligt forbrug under 4000 kWh og 41,2 øre/kWh på det elforbrug, der overstiger 4000 kWh (SKAT, 2014). I det konkrete tilfælde antages elforbruget at være repræsentativt for en husstand på fire personer. En husstand uden el-varme på fire personer med lavt elforbrug bruger gennemsnitligt 4.300 kWh el pr. år (DONG, 2014). Med baggrund i dette antages det, at husets ordinære elforbrug aldrig går under 4000 kWh/år, og derfor anvendes den reducerede afgift i samtlige driftsberegninger for elvarme, varmepumper og solceller. De anvendte elpriser kan ses i bilag C.

Det antages, at der betales 25,9 øre/kWh el for offentlige forpligtelser (net-, system- og PSO-tarif). Der er anvendt moms på 25 %. Der tages ikke højde for evt. moms- eller afgiftsændringer af den nuværende eller kommende regeringer. Der er anvendt en kalkulationsrente på 4 % jf. Energistyrelsens anbefalinger (Energistyrelsen, 2013) og som udgangspunkt en teknisk levetid på 20 år for varmepumpe-, solceller- og elvarme-anlæg, jf. Energistyrelsens Teknologikatalog for individuelle varmeanlæg og energitransport (Energistyrelsen, 2012a).

Driftsudgifter er sat til €200/år for væske/vand varmepumper og €150/år for luft/vand og luft/luft varmepumper, jf. Energistyrelsens Teknologikatalog (Energistyrelsen, 2012a). For luft/luft varmepumper er der tillagt €34/år for brugsvandsvarmepumpen, og for elvarme antages der driftsudgifter på €10/kW/år (Energistyrelsen, 2012a). Ved solcelleanlæg antages den årlige driftsudgift af anlægget at være 1 % af anlægsinvesteringen (Katic, 2014).

For solceller antages et egetforbrug på 50 %, og at feed-in tariffen er på 60 øre pr. kWh de første 10 år og 40 øre pr. kWh de efterfølgende 10 år (Energistyrelsen, 2014b). Såfremt LOV nr. 900 af 04/07/2013 bliver godkendt af EU kommissionen kan en feed-in tarif på 145 øre pr. kWh de første 10 år anvendes for anlæg under 6 kW_p (Retsinformation, 2014). Betydningen af dette undersøges i kapitel 6: Parameteranalyse.

5. Resultater

Tabel 5.1 og 5.2 viser resultaterne af beregningerne med forudsætningerne angivet i de foregående kapitler. Tabel 5.1 viser resultatet, hvor der for luft/luft varmepumpen og ren elvarme investeres i et solcelleanlæg, der bevirker, at disse huse overholder det aktuelle energikrav i BR10 og for Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020. Tabel 5.2 viser til sammenligning resultatet af beregningerne uden investering i solceller.

Det skal nævnes, at analysen ikke tager højde for eventuelle ændringer i forbrugsmønstre ved installation af en luft/luft varmepumpe, som hvis den også anvendes som air-condition om sommeren.

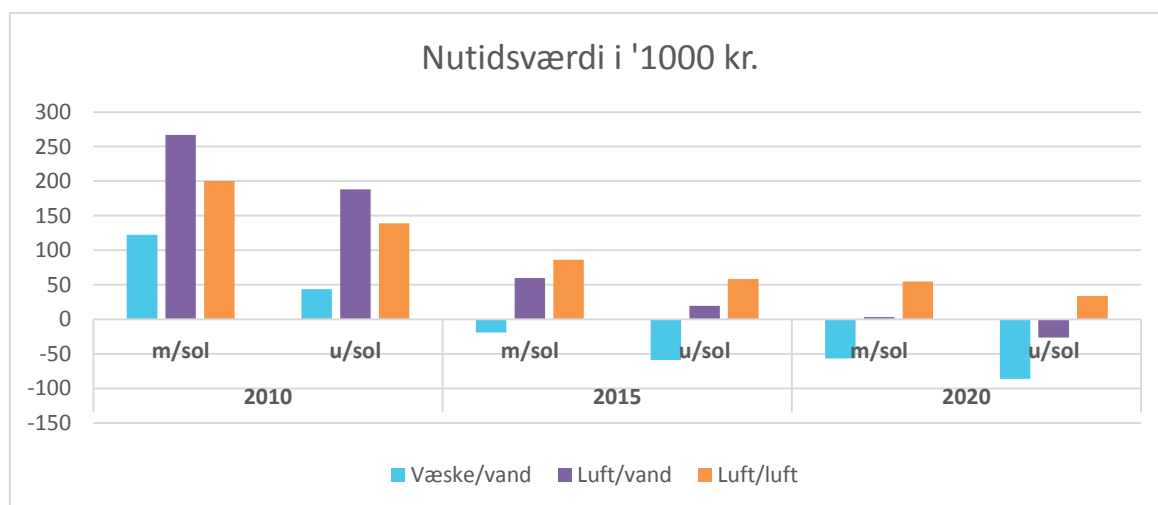
Nutidsværdi		2010	2015	2020
Væske/vand	2014-Kr.	122.000	-19.000	-57.000
Luft/vand	2014-Kr.	267.000	60.000	3.000
Luft/luft	2014-Kr.	200.000	86.000	55.000

Tabel 5.1. Nutidsværdi ved investering i varmepumper i forhold til ren elvarme, hvor udgiften til solcelleanlæg er medtaget.

Nutidsværdi		2010	2015	2020
Væske/vand	2014-Kr.	43.000	-60.000	-86.000
Luft/vand	2014-Kr.	188.000	19.000	-27.00
Luft/luft	2014-Kr.	139.000	58.000	34.000

Tabel 5.2. Nutidsværdi ved investering i varmepumper i forhold til ren elvarme, hvor udgiften til solcelleanlæg ikke er medtaget.

Figur 5.1 giver et samlet overblik over nutidsværdien for de tre typer varmepumper.



Figur 5.1. Nutidsværdi for de tre typer varmepumper sammenlignet med el-opvarmede huse med og uden solcelleanlæg, for at overholde energikravene i BR10.

For BR10 huset (kaldet 2010) er en luft/vand varmepumpe mest rentabel, efterfulgt af luft/luft varmepumpen. Dyrest er væske/vand varmepumpen, der dog er mere rentabel end ren elvarme under de gældende antagelser. Dette gælder både med og uden medregning af investering i solceller i beregningen.

For Lavenergiklasse 2015 (2015) er luft/luft varmepumpen mest rentabel, både med og uden solceller (for at leve op til nuværende BR10 energiramme). Luft/vand varmepumpen er mere rentabel end ren elvarme (dog kun lidt, hvis sol ikke medregnes) grundet det lave elforbrug. For væske/vand varmepumpen er energibehovet blevet så lavt, at det bedre kan svare sig med ren elvarme frem for en væske/vand varmepumpe.

For Bygningsklasse 2020 (2020) er elbehovet til opvarmning faldet yderligere, hvilket bevirker at luft/vand varmepumpen nu kun stort set er lige så rentabel som elvarme, men under de anvendte antagelser er luft/luft varmepumpen mere rentabel end ren elvarme.

Med parameteranalysen i det efterfølgende kapitel undersøges det, hvor følsom nutidsværdien er for variationer af relevante parametre.

Ovenstående analyse viser samtidigt, at investering i solceller ikke er privatøkonomisk rentabelt under de her anvendte forudsætninger, idet nutidsværdien ved anvendelse af varmepumper stiger, når udgiften til et solcelleanlæg medregnes. Dette skyldes de nye mindre favorable feed-in tariffer til afregning af salg af elektricitet til elnettet, samt at denne analyse ser på elforbrug til elektrisk opvarmede huse, hvor elprisen er lavere end ved elforbrug til almindeligt husholdningsbrug.

6. Parameteranalyse

Dette afsnit har til formål at undersøge, hvor følsom resultaterne fra kapitel 5 er for ændringer i beregningsantagelserne. Analysen ser på de forskellige parametres indflydelse en ad gangen. Følgende parametre ændres: energiforbrug, elpris, investeringssum for elvarme, varmepumper, gulvvarme og solceller. For solceller varieres også produktion, egetforbrug og feed-in tarif. Sidst ses på indflydelsen af, hvor stor en del af opvarmningsbehovet som luft/luft varmepumpens dækker, samt ændringer i COP for luft/luft og luft/vand varmepumperne.

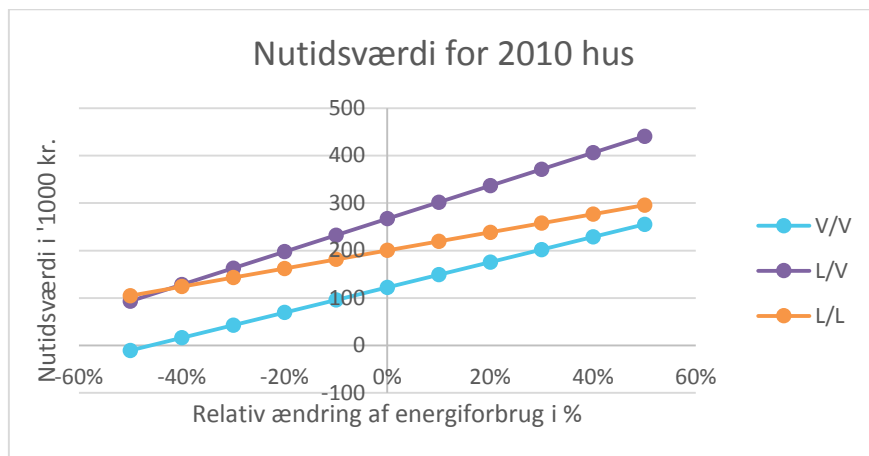
Parameteranalysen er foretaget med solceller inkluderet i elvarme og luft/luft varmepumpe casene for at leve op til energirammerne. Ønskes der at se bort fra dette, kan kurverne parallelforskydes med forskellen i nutidsværdi mellem tabel 5.1. og 5.2.

6.1. Variation i energiforbrug

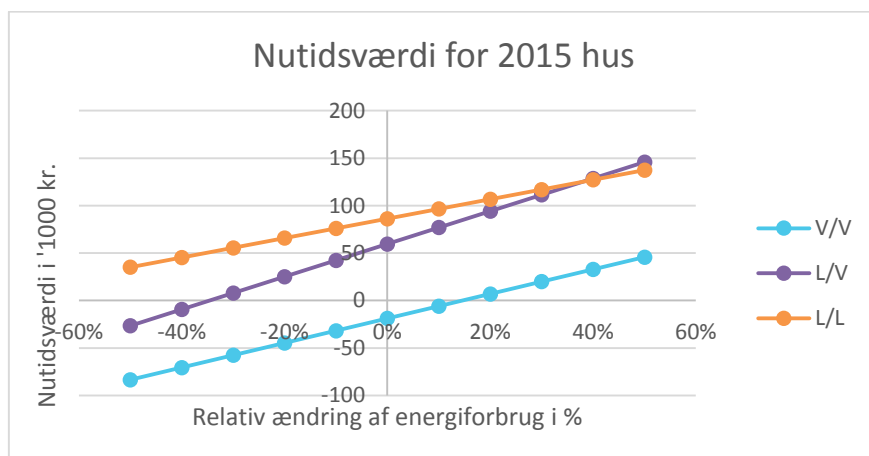
I denne parameteranalyse undersøges, hvorledes nutidsværdien for de tre hustyper påvirkes, hvis det samlede energiforbrug til hhv. elvarme og varmepumper ændres med den samme relative faktor.

Figur 6.1. viser, at 2010 husets energiforbrug skal falde med ca. 50 % før luft/luft bliver mere rentabel end luft/vand varmepumpen. For 2015 huset vil en 40 % stigning i behov medføre at luft/vand bliver mere rentabel end luft/luft (Figur 6.2.). For 2020 huset vil anbefalingen være det samme uanset om energibehovet i huset ændres med +/- 50 % (Figur 6.3).

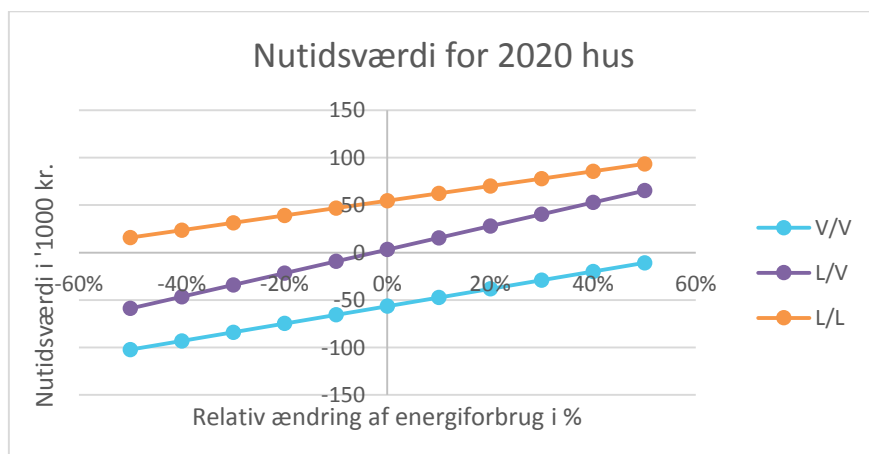
Det bemærkes, at opvarmning med væske/vand varmepumpe bliver mere rentabelt end ren elvarme, hvis energibehovet stiger med mere end 15 % i 2015 huset og over 60 % i 2020 huset.



Figur 6.1. Variation i energiforbrug for de fire opvarmningsmetoder og påvirkning af nutidsværdien for 2010 huset.



Figur 6.2. Variation i energiforbrug for de fire opvarmningsmetoder og påvirkning af nutidsværdien for 2015 huset.



Figur 6.3. Variation i energiforbrug for de fire opvarmningsmetoder og påvirkning af nutidsværdien for 2020 huset.

6.2. Variation i elpris

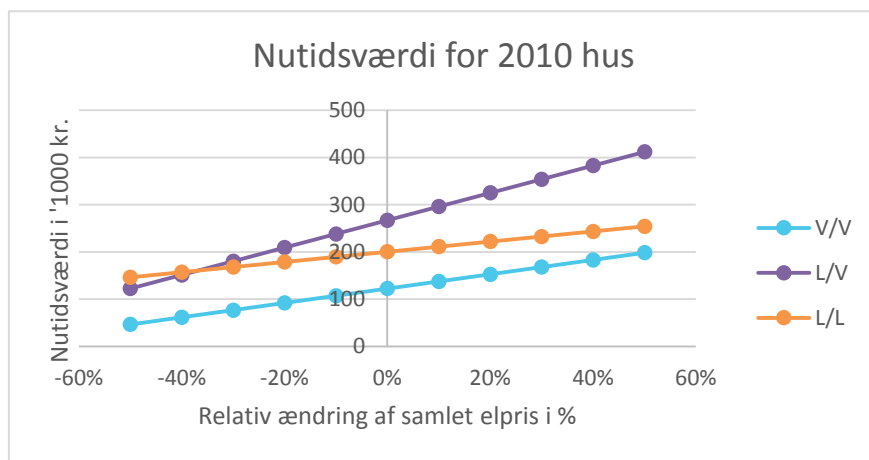
Der er foretaget to parametervariationer for elprisen. I den først analyse varieres den samlede elpris inkl. afgifter og moms relativt med +/- 50 % parallelforskydning henover hele projektets levetid – figur 6.4-6.

Den anden analyse er for et scenarie, hvor den fremskrevne elpris ændres med en fast årlig procentsats. I praksis er $(1+r)^n$ ganget på den fremskrevne elpris fra Energistyrelsen (bilag C), hvor r svarer til den årlige procentvise ændring ift. Energistyrelsens fremskrivninger og n svarer til perioden i projektets levetid – figur 6.7-9. Begge parametervariationer er set ift. den samlede energipris inkl. afgifter og moms - se nederste række i Bilag C.

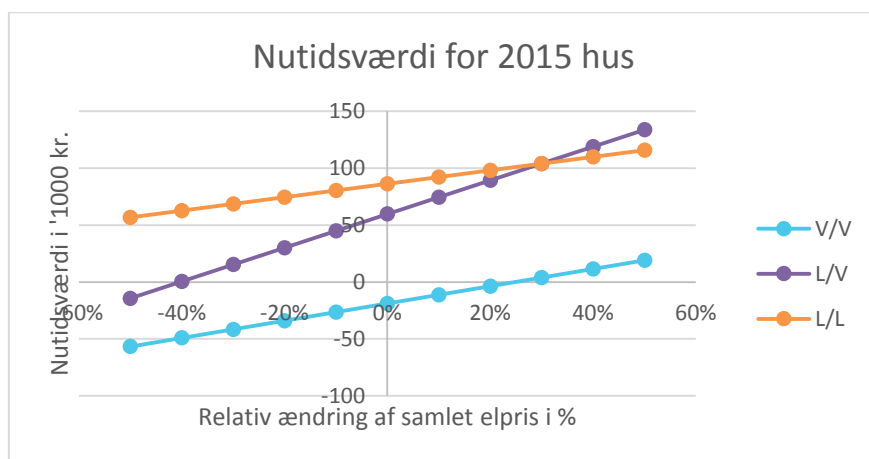
Det ses ikke overraskende, at i begge tilfælde vil stigende elpriser medføre, at samtlige undersøgte varmepumper står stærkere sammenlignet med ren elvarme. Dette skyldes, at elbehovet til elvarme er større end til varmepumperne.

Det ses også, at hvis elpriserne falder med 40 % henover hele projektets levetid, ændres den mest rentable løsning til luft/luft for 2010 huset (figur 6.4). Stiger elpriserne med 30 % henover hele projektets levetid, vil luft/vand varmepumpen blive mere rentabel end luft/luft varmepumpen i 2015 huset (figur 6.5). For 2015 huset bemærkes desuden, at væske/vand varmepumpen bliver mere rentabel end ren elvarme med solceller, hvis elpriserne stiger med mere end 25 % henover hele den 20-årige levetid (figur 6.5).

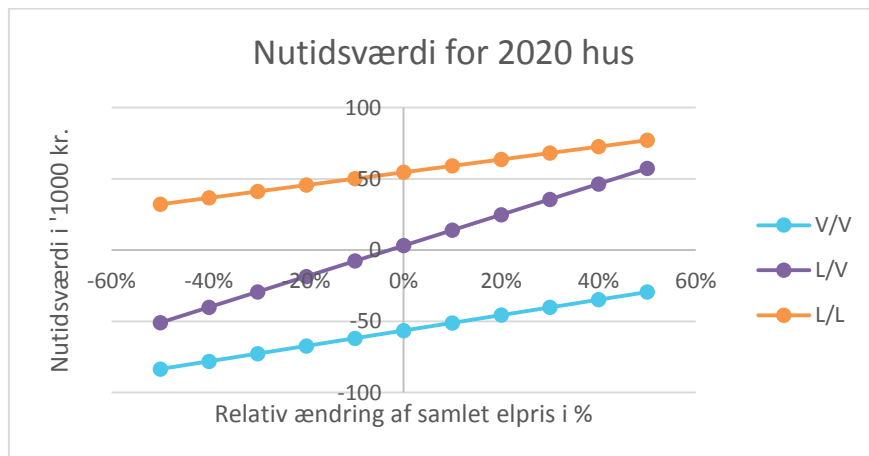
Hvis den årlige stigning i elpriserne sammenlignet med Energistyrelsens fremskrivninger er mindst 3 %, påvirker det 2015 huset (figur 6.8): luft/vand varmepumper bliver mere rentable end luft/luft varmepumper, og væske/vand varmepumpen bliver rentabel sammenlignet med ren elvarme med solceller. For 2010 og 2020 huset (figur 6.7 og 6.9) ændres anbefalingen ikke inden for det undersøgte interval med årlige prisændringer på +/- 5 % sammenlignet med Energistyrelsens fremskrivninger



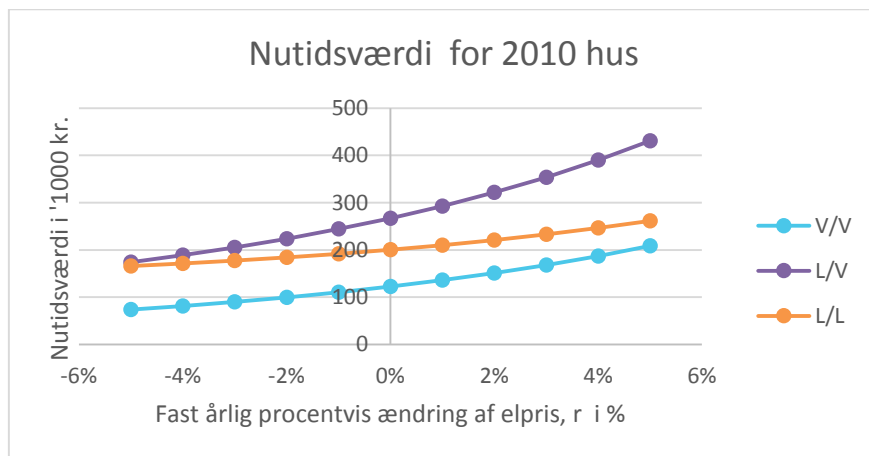
Figur 6.4. Variation i samlet elpris inkl. moms og afgifter og påvirkning af nutidsværdien for 2010 huset.



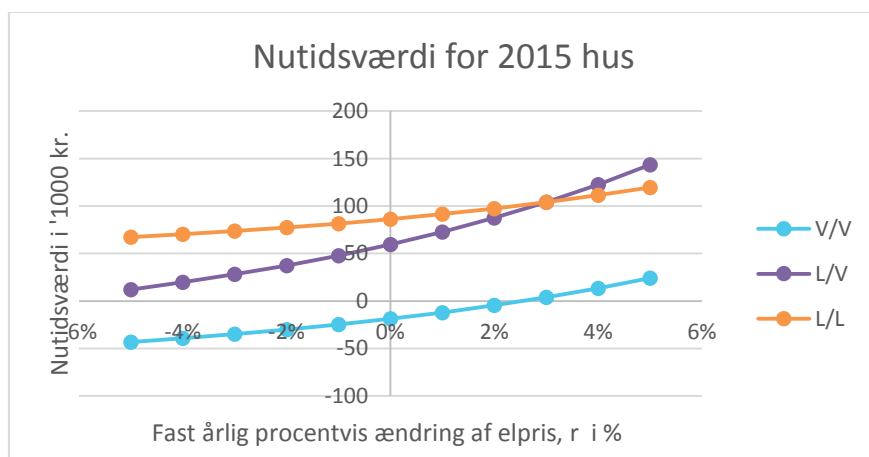
Figur 6.5. Variation i samlet elpris inkl. moms og afgifter og påvirkning af nutidsværdien for 2015 huset.



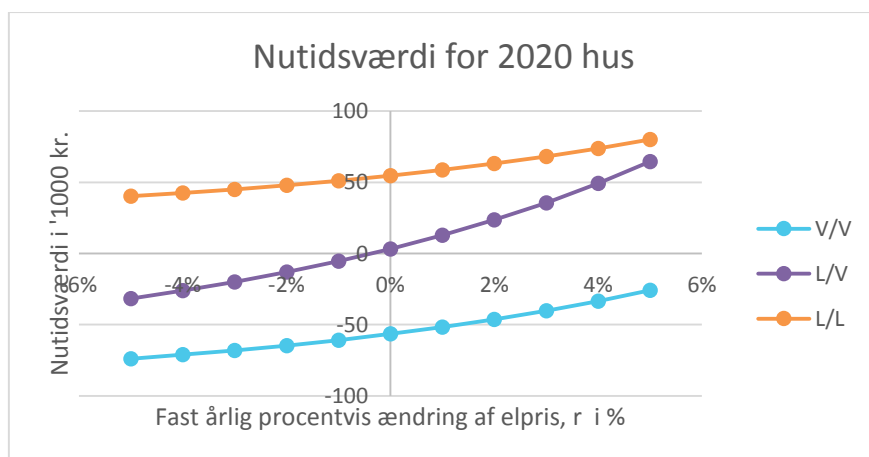
Figur 6.6. Variation i samlet elpris inkl. moms og afgifter og påvirkning af nutidsværdien for 2020 huset.



Figur 6.7. Fast årlig procentvis ændring af samlet elpris inkl. moms og afgifter for 2010 huset.



Figur 6.8. Fast årlig procentvis ændring af samlet elpris inkl. moms og afgifter for 2015 huset.



Figur 6.9. Fast årlig procentvis ændring af samlet elpris inkl. moms og afgifter for 2020 huset.

6.3. Variation i investeringssum for elvarme, varmepumper og gulvvarme

Figur 6.10-12 viser en parametervariation for investeringssummen for ren elvarme. Da elvarme er sammenligningsgrundlaget for nutidsværdien, vil ændringer i investeringssummen påvirke samtlige varmepumper ligeligt. Ved en 40 % stigning vil væske/vand varmepumpe blive mere rentabel end ren elvarme i 2015 huset (figur 6.11).

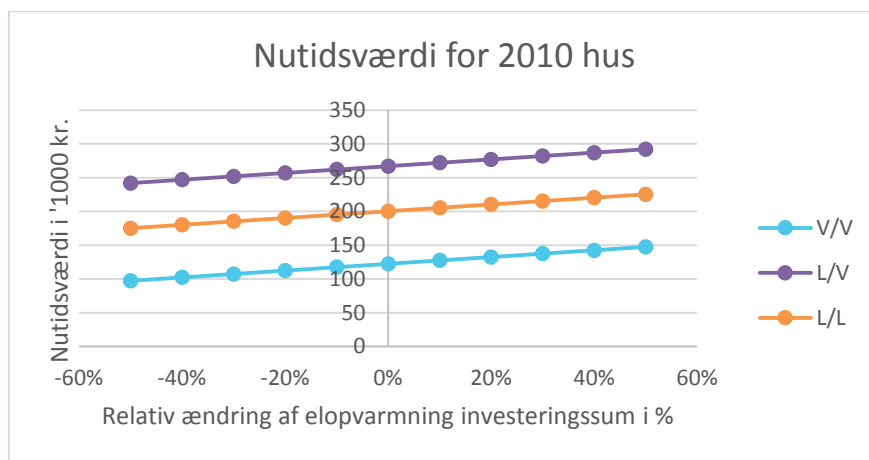
Figur 6.13-21 omhandler effekten af relative ændringer i de tre typer af varmepumpers investeringssum.

Figur 6.13-15 viser følsomheden overfor væske/vand varmepumpens investeringssum. Ændringer på +/-50 % i væske/vand varmepumpens investeringssum ændrer ikke konklusionen på analysen i forhold til, hvilken varmepumpe, der er mest rentabel i de tre hustyper. Dog bliver væske/vand varmepumpen mere rentabel end ren elvarme for 2015 huset (6.14), hvis investeringssummen for væske/vand varmepumpen reduceres med mere end 20 %.

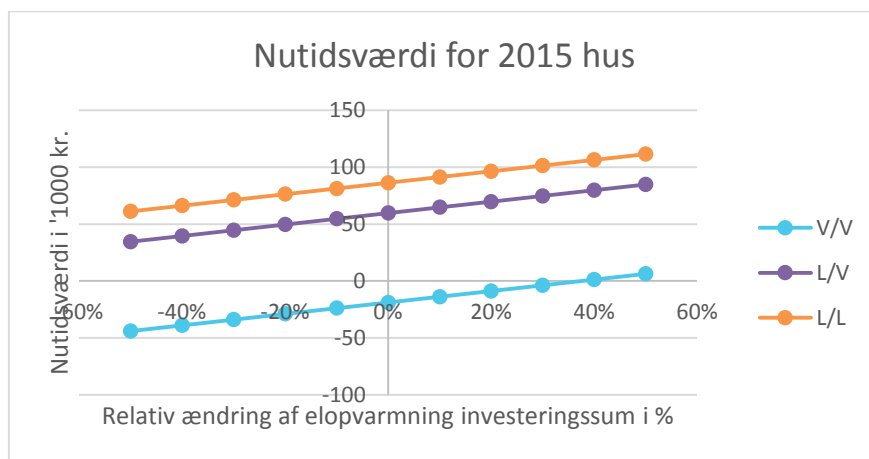
Figur 6.16-18 viser nutidsværdiens følsomhed overfor ændringer i luft/vand varmepumpens investeringssum. I det gældende +/- 50 % interval ændres anbefalingen omkring valg af opvarmingskilde ikke for 2010 og 2020 huset. For 2015 huset (figur 6.17) bliver luft/vand varmepumpen mere rentabel end luft/luft varmepumpen, hvis investeringssummen for luft/luft varmepumpen falder med mere end 30 %.

Figur 6.19-21 viser påvirkningen af luft/luft varmepumpens investeringssum på nutidsværdien. Hvis investeringssummen stiger med mere end 35 %, vil luft/vand varmepumpen være mere rentabel end luft/luft varmepumpen for 2015 huset (figur 6.20) og ligeså rentabel i 2020 huset ved >60 % (figur 6.21).

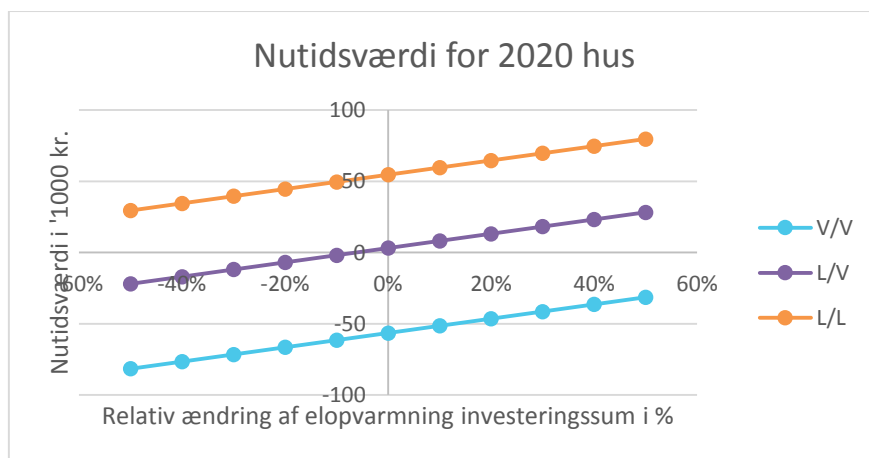
Figur 6.22-24 viser nutidsværdiens følsomhed overfor ændringer i investeringssummen for gulvvarmeanlægget. Denne ændring påvirker nutidsværdien for væske/vand og luft/vand varmepumperne. For 2015 huset (figur 6.23) vil et fald på 30 % påvirke anbefalingen, så luft/vand bliver mere rentabel end luft/luft varmepumpen. I 2010 og 2020 husene ændres anbefalingen ikke. Væske/vand varmepumpen vil blive rentabel i forhold til ren elvarme i 2015 huset (figur 6.23), såfremt investeringen for gulvvarmeslanger falder med 20 %. I 2020 huset (figur 6.24) skal investeringen i gulvvarme mere end halveres, før denne ændring alene påvirker nutidsværdien, så det bliver mere rentabelt at have en væske/vand varmepumpe end ren elvarme med solceller.



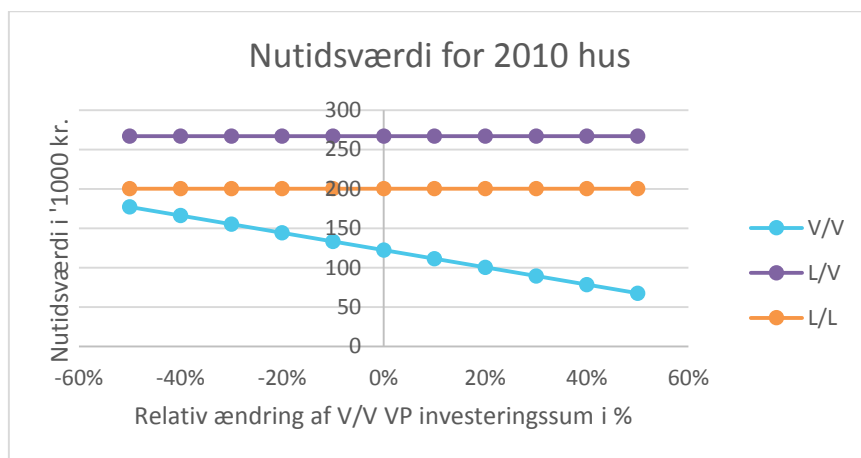
Figur 6.10. Elvarme: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



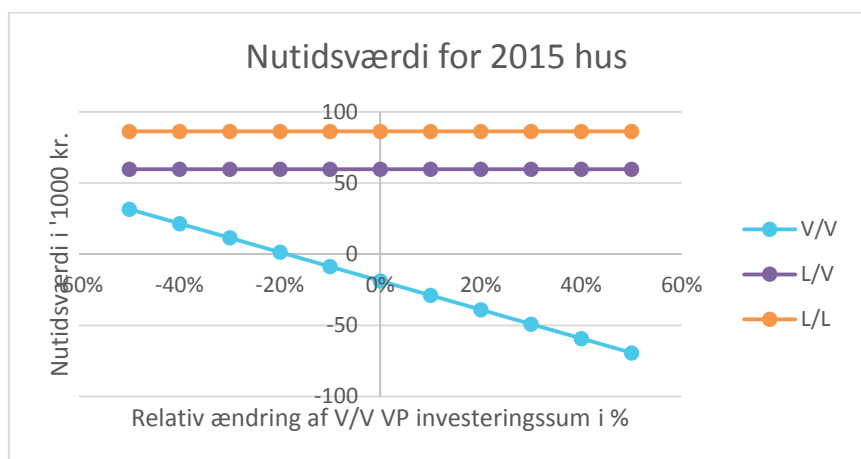
Figur 6.11. Elvarme: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



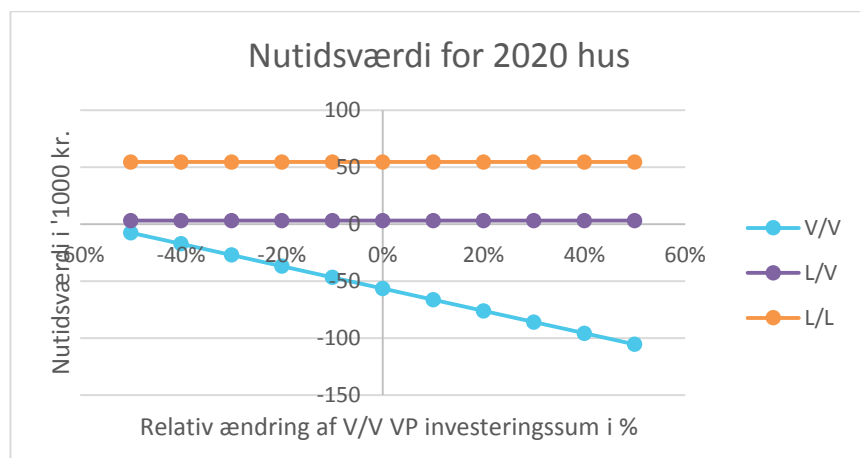
Figur 6.12. Elvarme: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.



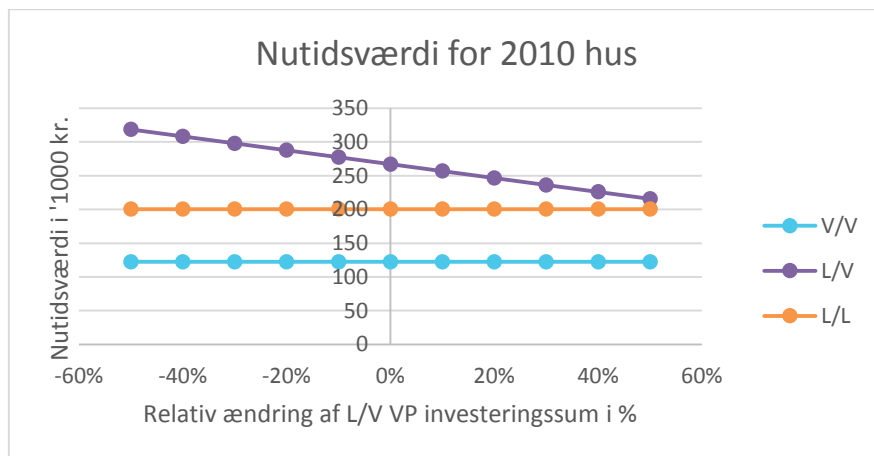
Figur 6.13. Væske/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



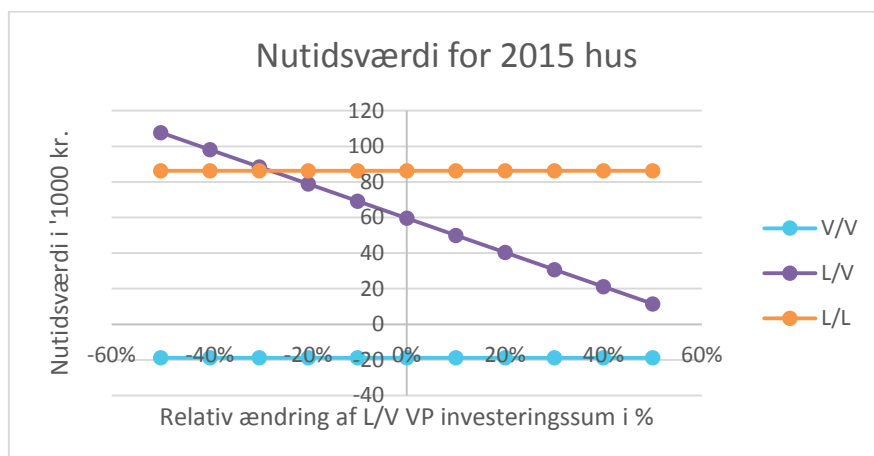
Figur 6.14. Væske/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



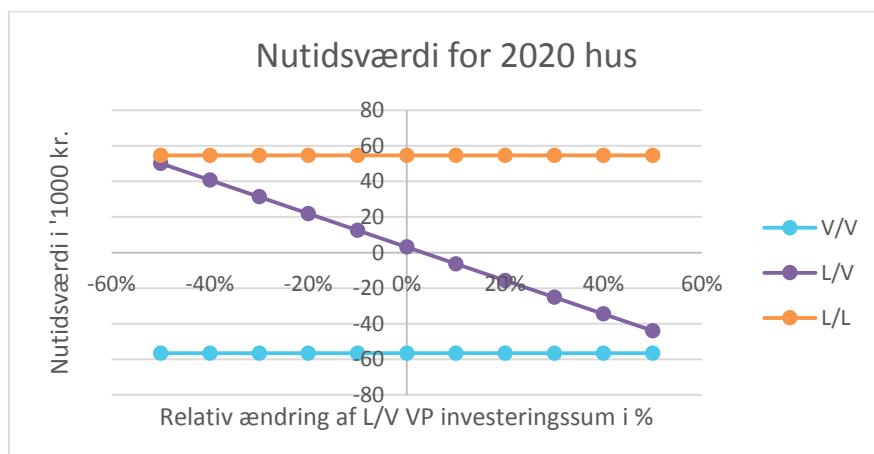
Figur 6.15. Væske/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.



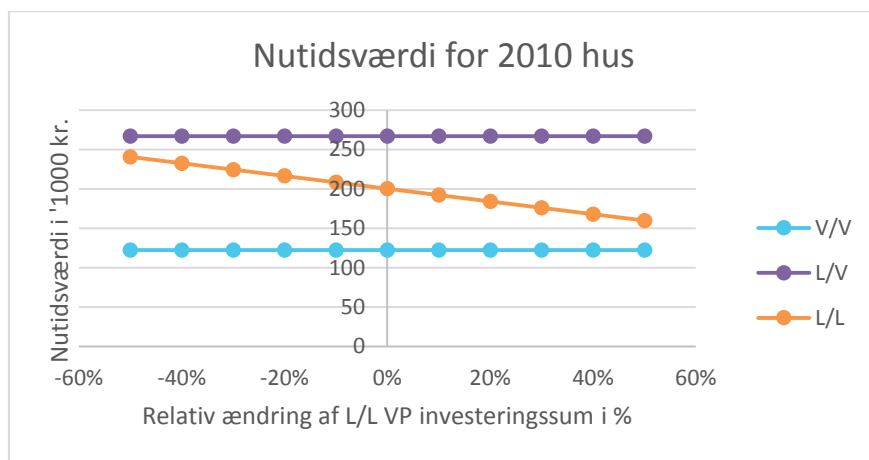
Figur 6.16. Luft/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



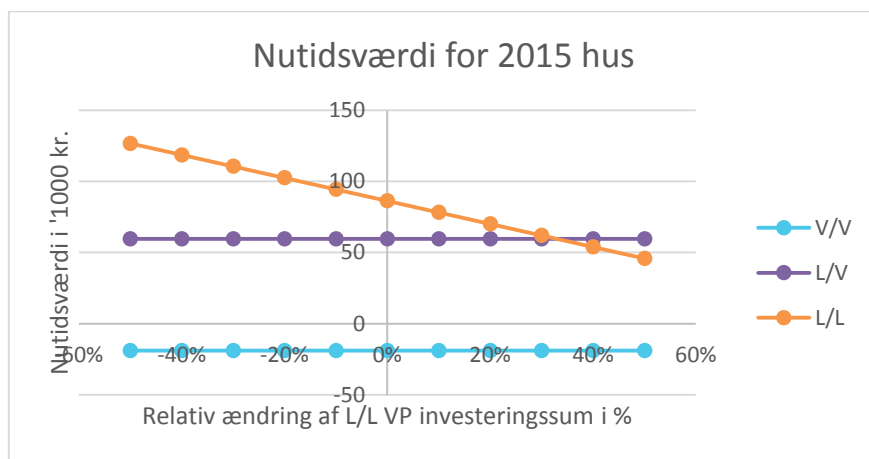
Figur 6.17. Luft/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



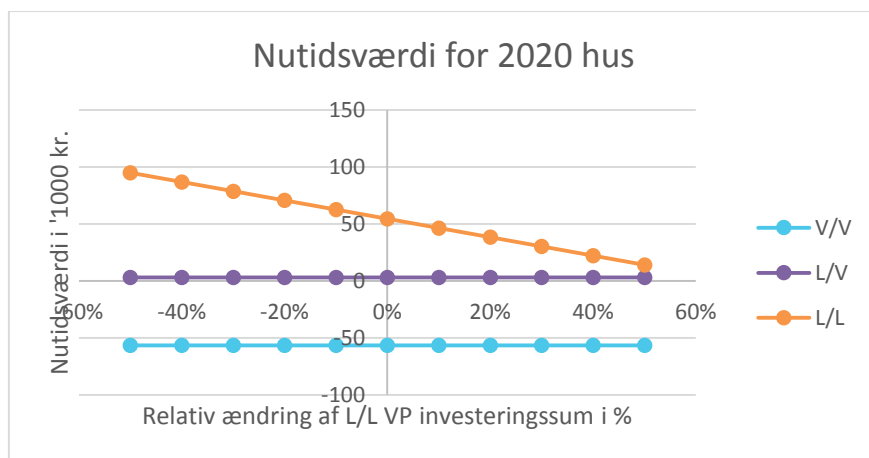
Figur 6.18. Luft/vand varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.



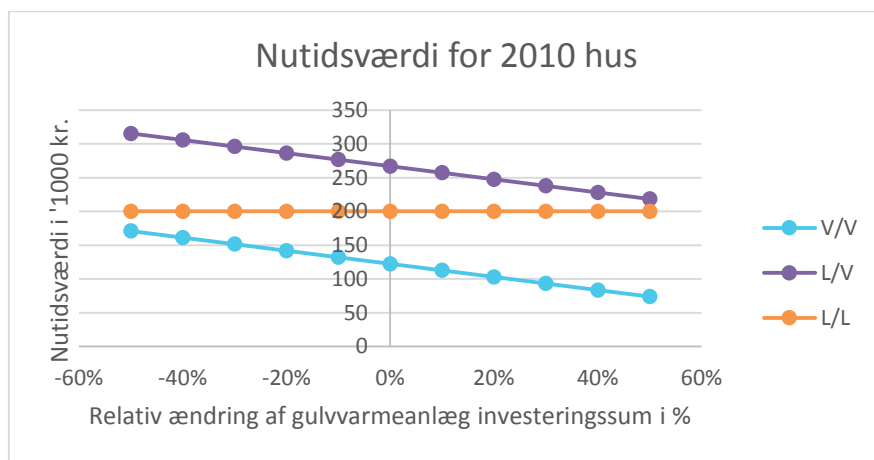
Figur 6.19. Luft/luft varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



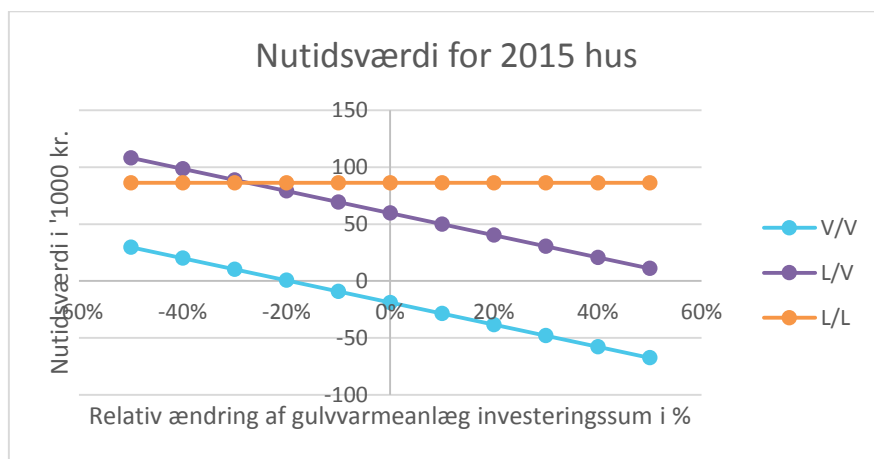
Figur 6.20. Luft/luft varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



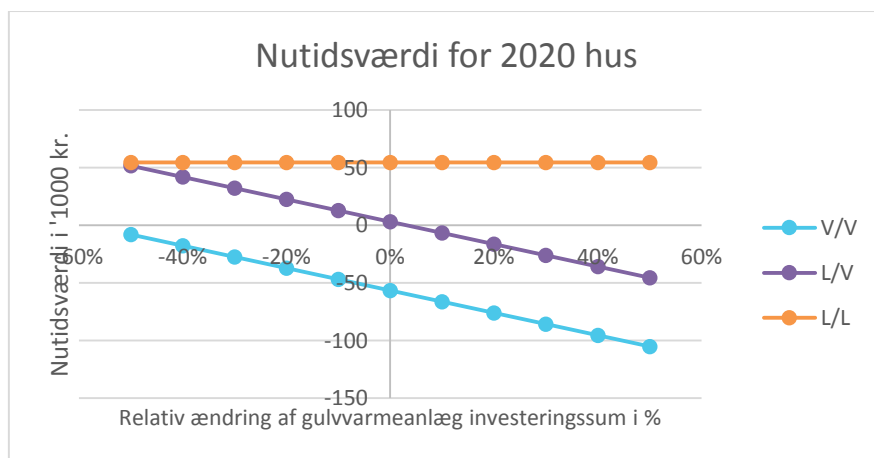
Figur 6.21. Luft/luft varmepumpe: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.



Figur 6.22. Gulvvarmeanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



Figur 6.23. Gulvvarmeanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



Figur 6.24. Gulvvarmeanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.

6.4. Variation for solcellers investeringssum, produktion, eget-forbrug og feed-in tarif

Figur 6.25-27 viser, hvordan nutidsværdien påvirkes af solcellernes investeringssum. Ændres investeringssummen for solceller, ændres sammenligningsgrundlaget, så det ændrer nutidsværdien for alle tre varmepumper. Er solcellernes investeringssum højere end antaget, stiger nutidsværdien for varmepumper, og modsat falder nutidsværdien for varmepumper, hvis solceller bliver billigere. Det ses, at luft/luft varmepumper påvirkes mindre, hvilket skyldes, at der også er solceller ved luft/luft varmepumpen. Dette reducerer påvirkningen af nutidsværdien jf. metoden beskrevet i figur 4.1. Påvirkningen er dog ikke stor nok til, at det ændrer på hvilken af de tre varmepumper, der er mest rentabel i de tre hustyper. Væske/vand varmepumpen er bedre en ren elvarme ved +20 % for 2015 huset (figur 6.26).

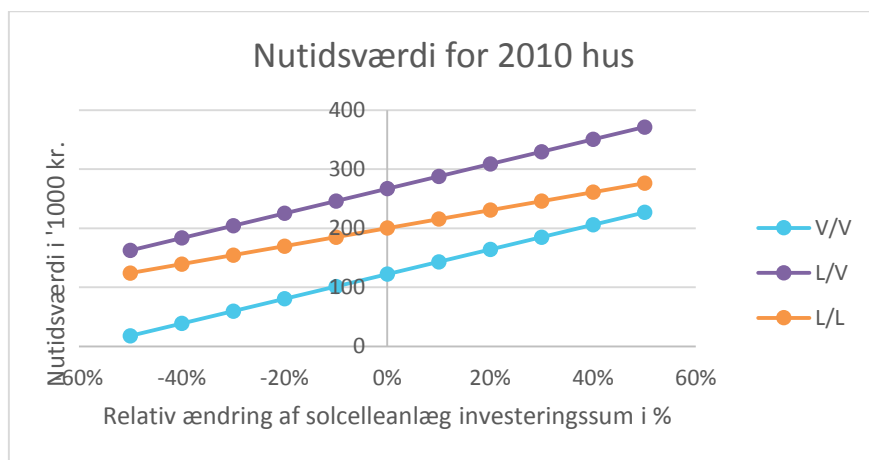
Figur 6.28-30 viser hvad der sker hvis solcellerne producerer mere eller mindre end udgangspunktet på 950 kWh/kW_p. Hvis solcellerne producerer mindre, vil varmepumperne være en bedre investering end udgangspunktet, da det vil medføre dårligere økonomi for solcellerne. Væske/vand varmepumpen får en positiv nutidsværdi ved -15 % svarende til ca. 800 kWh/kW_p i 2015 huset (figur 6.29) og ved ca. -45 % (svarende til ca. 570 kWh/kW_p) i 2020 huset (figur 6.30).

Det er usandsynligt, at solceller placeret i Danmark skulle producere mere end 950 kWh/kW_p, da 950 kWh/kW_p forudsætter nærmest ideelle tilstande. Skulle det være tilfældet, påvirker det dog ikke resultatet af nutidsværdianalysen nævneværdigt.

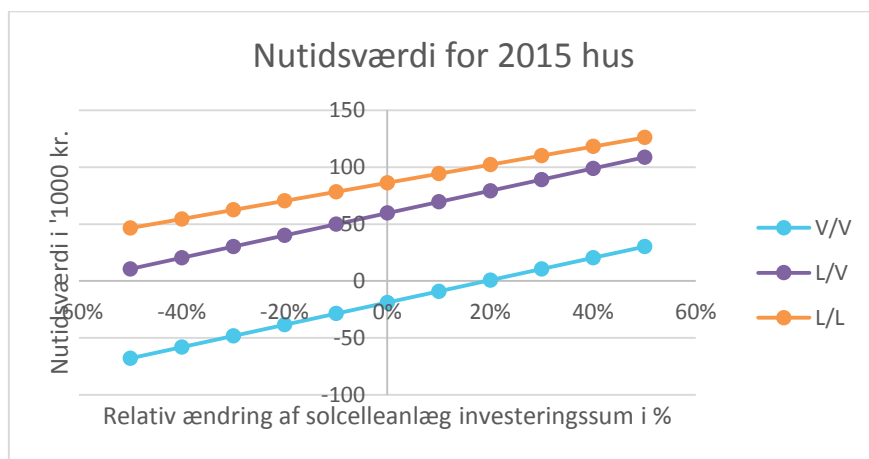
Figur 6.31-33 viser nutidsværdiens følsomhed overfor egetforbrug af elproduktion fra solcellerne. Egetforbrug fra solcellerne er defineret som, hvor meget af solcellernes elproduktion, der kan forbruges i den time, det produceres. Denne er som udgangspunkt antaget til at være 50 %. Hvis mindre end 50 % forbruges, skal der sælges mere elektricitet til nettet til feed-in tariffen, hvilket er lavere end elprisen. I det tilfælde forværres økonomien for solcellerne, hvilket medfører at varmepumpernes nutidsværdi stiger. Det modsatte gælder, såfremt egetforbruget stiger. Ændring i egetforbrug kan ikke alene påvirke konklusionen om, hvilken varmepumpe der er mest rentabel. Væske/vand varmepumpen er mere rentabel en ren elvarme i 2015 huset ved et egetforbrug på mindre end 20 % (figur 6.32).

Figur 6.34-36 viser nutidsværdierne i referencetilstanden og med en forhøjet feed-in tarif. Som udgangspunkt anvendes en feed-in tarif på 60 øre pr. kWh de første 10 år. Herefter er nutidsværdien beregnet for scenariet, hvor der anvendes en feed-in tarif på 145 øre pr. kWh de første 10 år i stedet for 60 øre pr. kWh. De sidste 10 år af levetiden er i begge tilfælde anvendt en feed-in tarif på 40 øre pr. kWh.

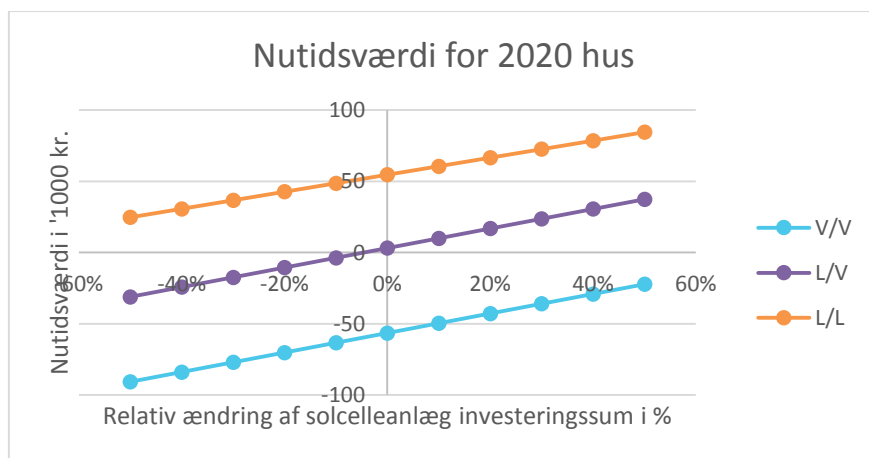
En ændring i feed-in tariffen medfører at samtlige nutidsværdier ændres, men konklusionen på hvilken varmepumpe, der er mest rentabel, ændrer sig ikke. Omkring 2020 huset (figur 6.36) ses, at elvarme nu bedre kan svare sig end luft/vand varmepumpen ved den høje feed-in tarif. Den forhøjede støtte forudsætter dog, at EU godkender Danmarks lov om dette, samt at husene komme i Energistyrelsens puljer for private husstande.



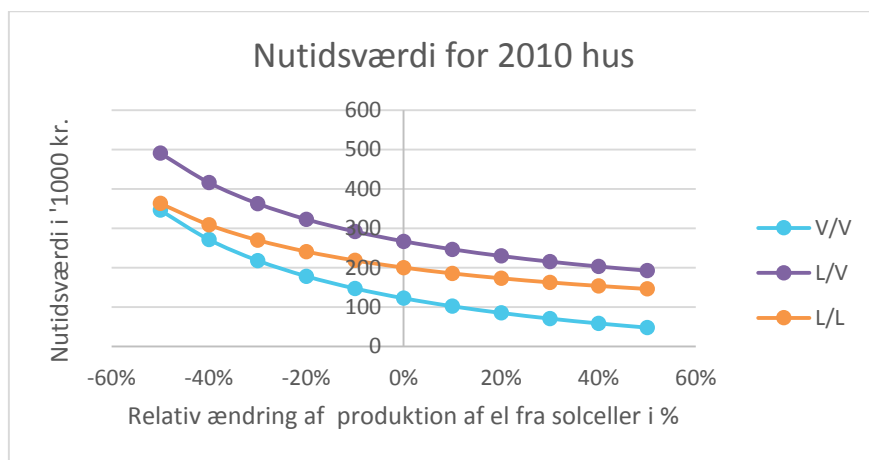
Figur 6.25. Solcelleanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2010 huset.



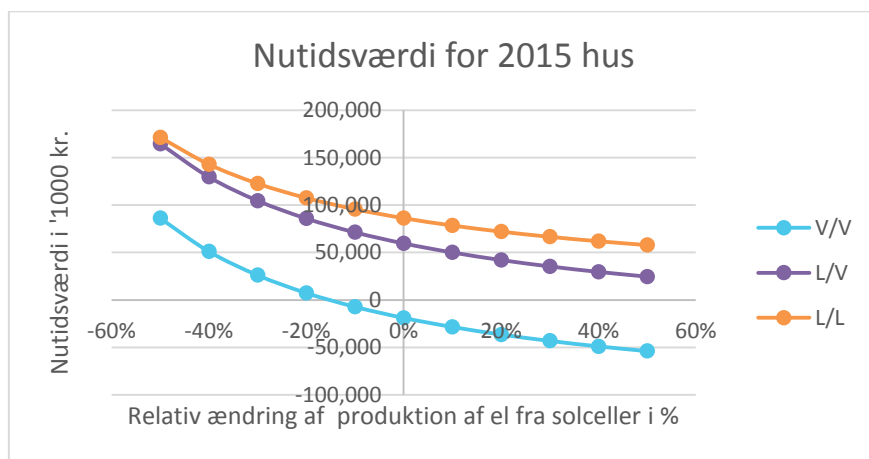
Figur 6.26. Solcelleanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2015 huset.



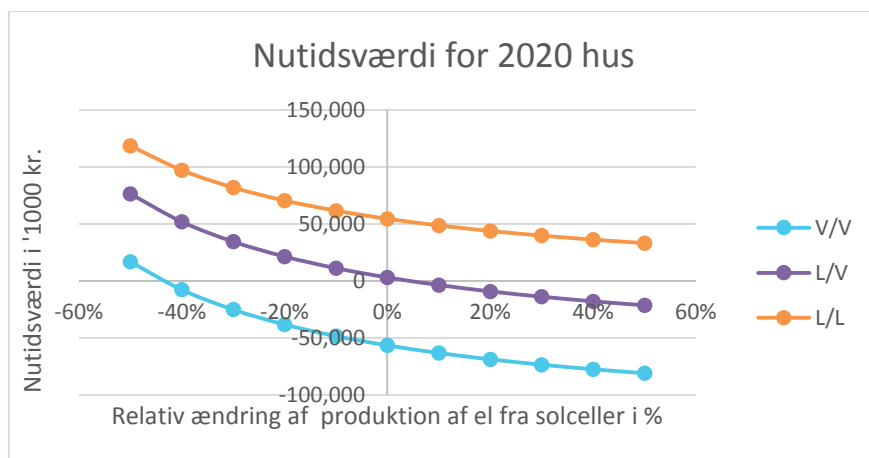
Figur 6.27. Solcelleanlæg: investeringssummens påvirkning af nutidsværdi for 2020 huset.



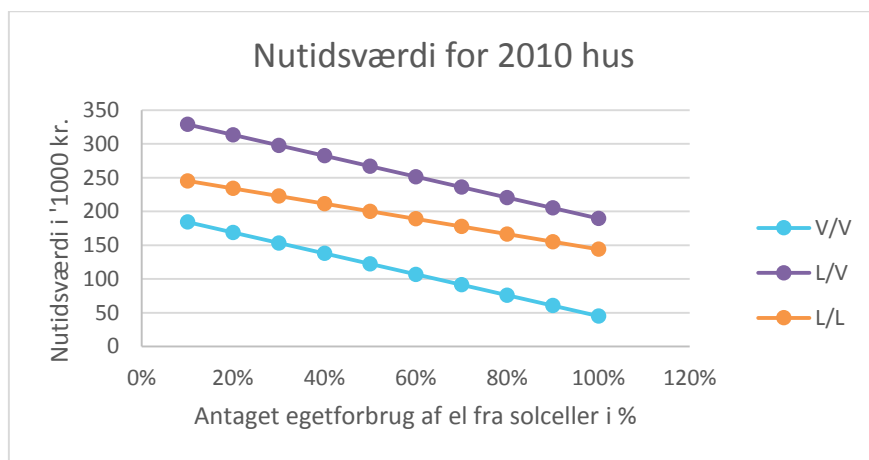
Figur 6.28. Solcelleanlæggets elproduktion og dets påvirkning af nutidsværdien for 2010 huset.



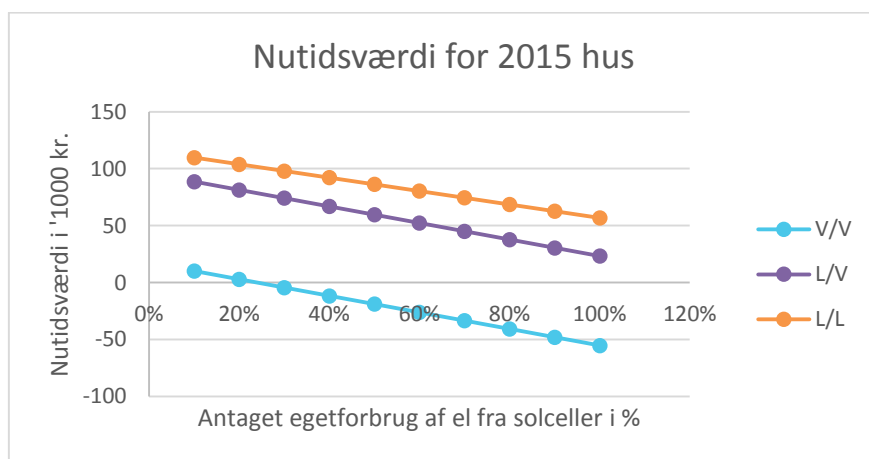
Figur 6.29. Solcelleanlæggets elproduktion og dets påvirkning af nutidsværdien for 2015 huset.



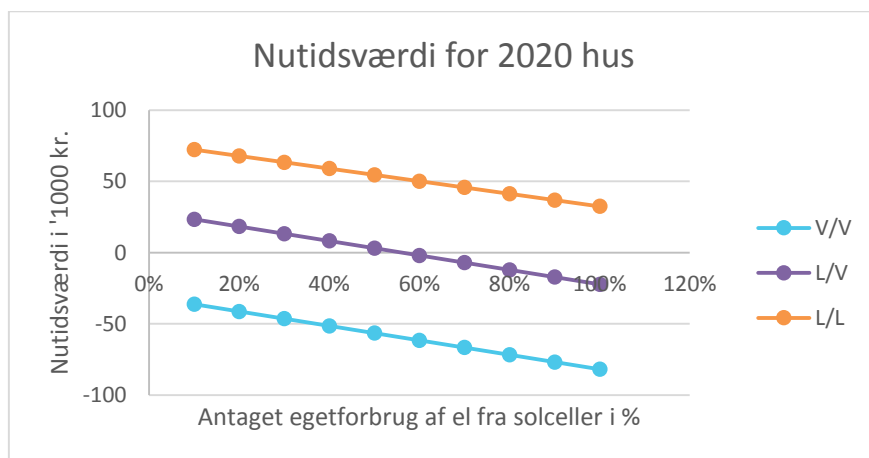
Figur 6.30. Solcelleanlæggets elproduktion og dets påvirkning af nutidsværdien for 2020 huset.



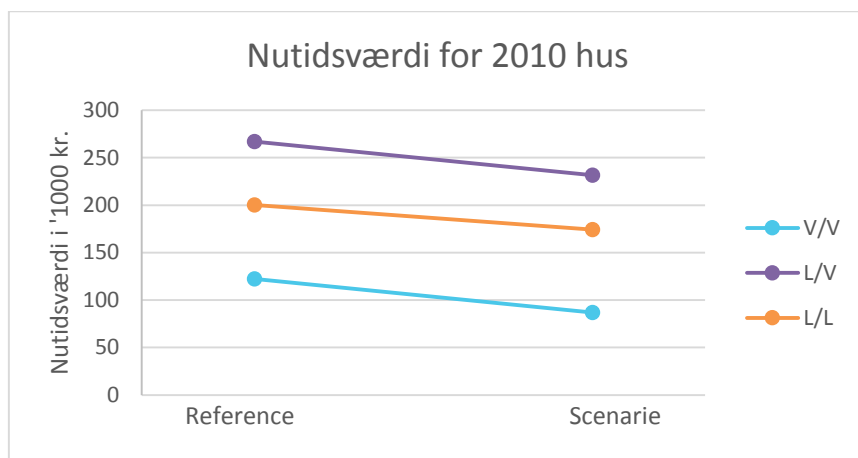
Figur 6.31. Egetforbrug af el fra solcelleanlægget og dets påvirkning af nutidsværdien for 2010 huset.



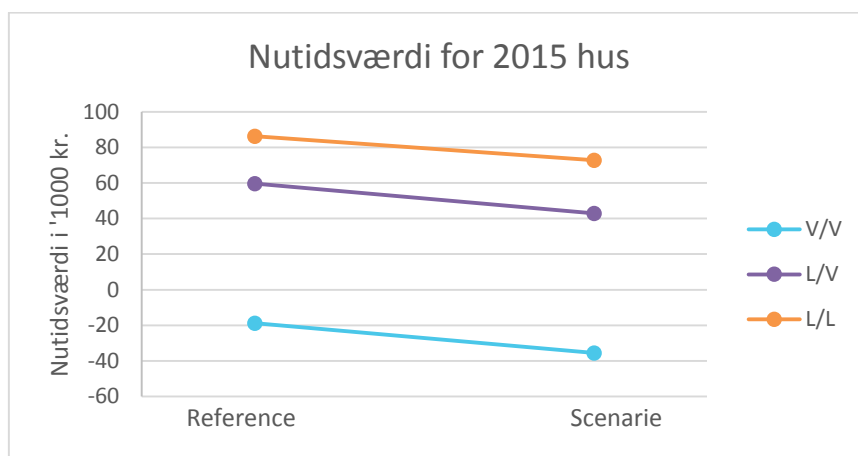
Figur 6.32. Egetforbrug af el fra solcelleanlægget og dets påvirkning af nutidsværdien for 2015 huset.



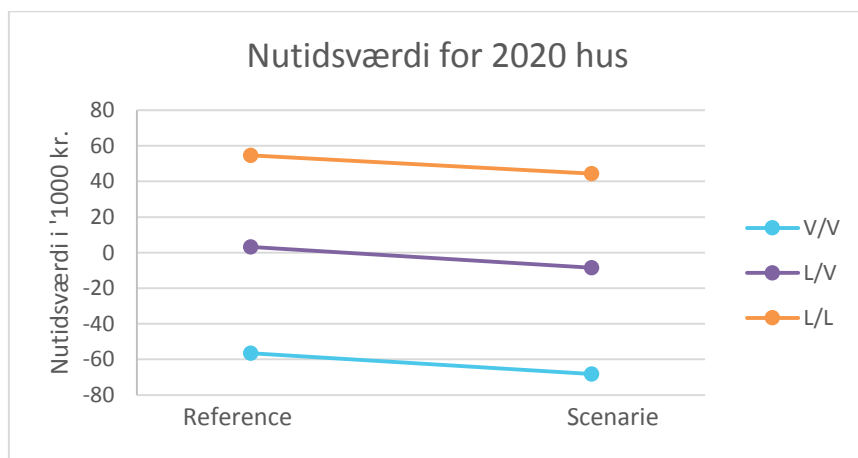
Figur 6.33. Egetforbrug af el fra solcelleanlægget og dets påvirkning af nutidsværdien for 2020 huset.



Figur 6.34. Feed-in tariffen ændres fra 60 øre pr. kWh til 145 øre pr. kWh de første 10 år for 2010 huset.



Figur 6.35. Feed-in tariffen ændres fra 60 øre pr. kWh til 145 øre pr. kWh de første 10 år for 2015 huset.



Figur 6.36. Feed-in tariffen ændres fra 60 øre pr. kWh til 145 øre pr. kWh de første 10 år for 2020 huset.

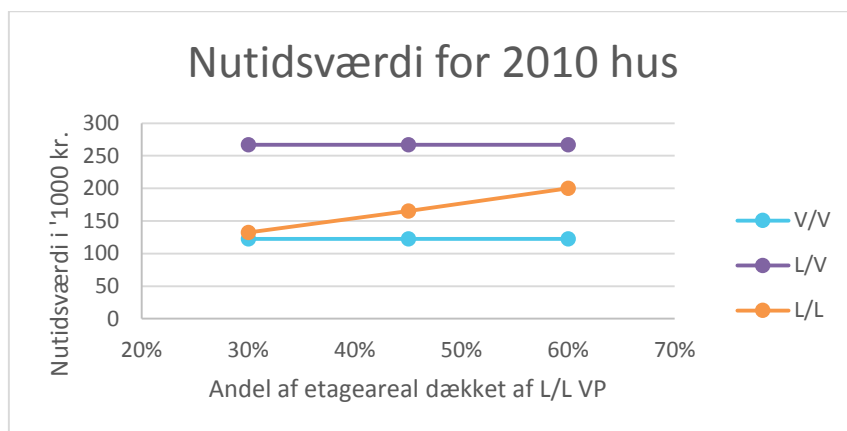
6.5. Variation i varmepumpers effektivitet

Det er diskutabelt, hvorvidt en luft/luft varmepumpe placeret i stuen er i stand til at opvarme 60 % af etagearealet som angivet i Teknologikataloget (2012), altså alle 108 m². Der er derfor gennemført en parametervariation, hvor det i stedet antages, at varmepumpen kan opvarme 45 eller 30 % svarende til 81 eller 54 m², hvilket omtrentligt svarer til hhv. køkken/alrum og stue eller stuen alene. Figur 6.37-39 viser, at for 2020 huset (figur 6.39), påvirkes anbefalingen omkring valg af varmepumpe ikke. For 2010 huset (figur 6.37) bliver væske/vand varmepumpen lige så rentabel som luft/luft varmepumpen, hvis luft/luft varmepumpen dækker mindre end 30 % af rumopvarmningsbehovet. For 2015 huset (figur 6.38) bliver det mere rentabelt at anvende luft/vand varmepumpen, hvis luft/luft varmepumpen her også dækker mindre end 30 % af etagearealet.

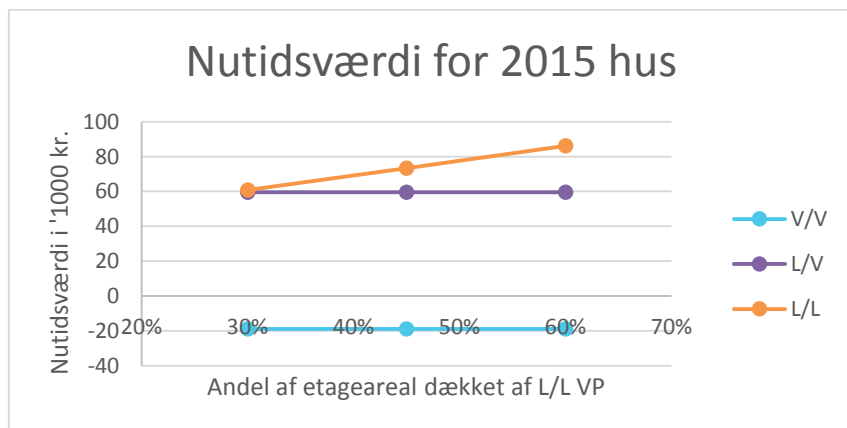
En anden mulig variation er for varmepumpernes effektivitet. Figur 6.40-42 viser COP for luft/luft varmepumpen. Sænkes COP for luft/luft varmepumpen (L/L VP) og varmt brugsvand varmepumpen (VBV VP) med 0,2 og 0,4 til hhv. L/L VP COP på 2,4 og 2,2 og VBV VP COP på 2,63 og 2,43 falder nutidsværdien for luft/luft casen. For alle husene spiller ændringen ingen nævneværdi rolle.

Figur 6.43-45 viser påvirkningen ved sænkning af luft/vand varmepumpernes COP fra 3,3 til 3,1 og 2,9. Relativ COP ved 50 % last forbliver uændret på 0,94. Denne ændring spiller heller ingen nævneværdig rolle i nutidsværdier for de tre huse.

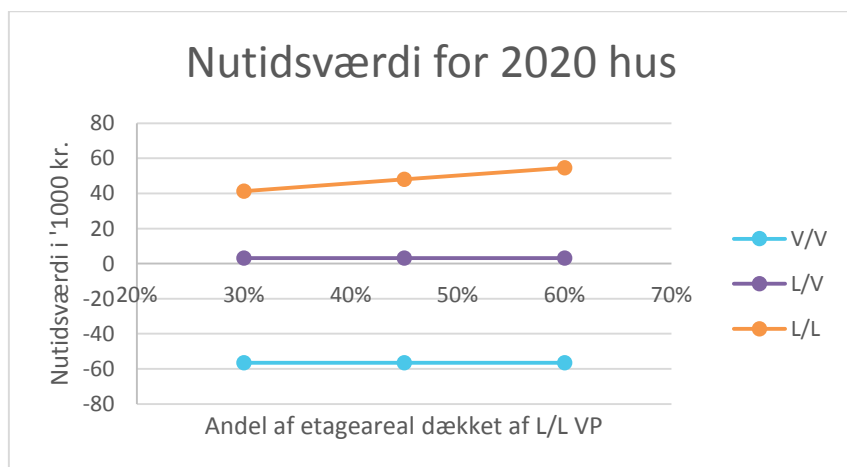
Figur 6.46-48 viser nutidsværdiens følsomhed over for ændring i relativ COP ved 50 % last for luft/luft varmepumpen. Relativ COP ved 50 % last for luft/luft varmepumpen sænkes fra 1,4 til henholdsvis 1,2 og 1,0, men ændringen spiller igen ingen nævneværdig rolle på nutidsværdien.



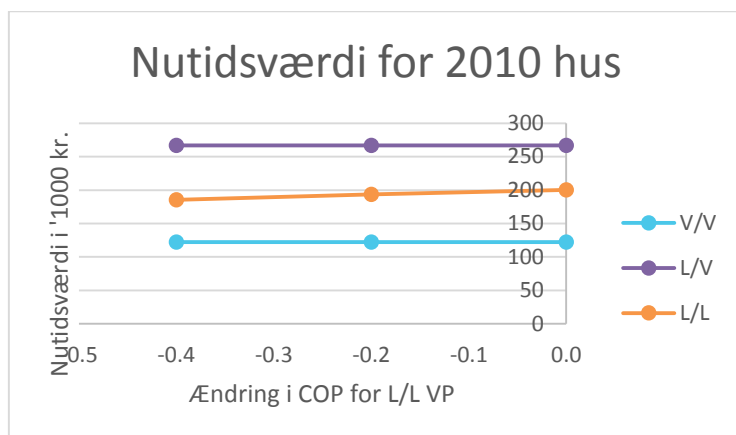
Figur 6.37. Andel af etageareal dækket af luft/luft varmepumpen og dets påvirkning af nutidsværdien for 2010 huset.



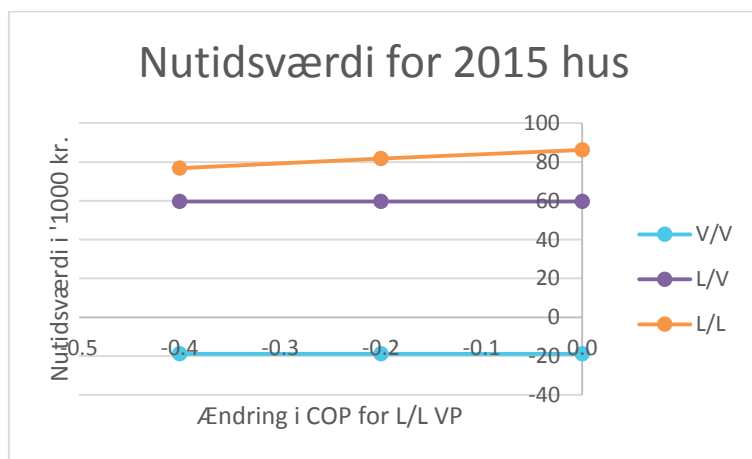
Figur 6.38. Andel af etageareal dækket af luft/luft varmepumpen og dets påvirkning af nutidsværdien for 2015 huset.



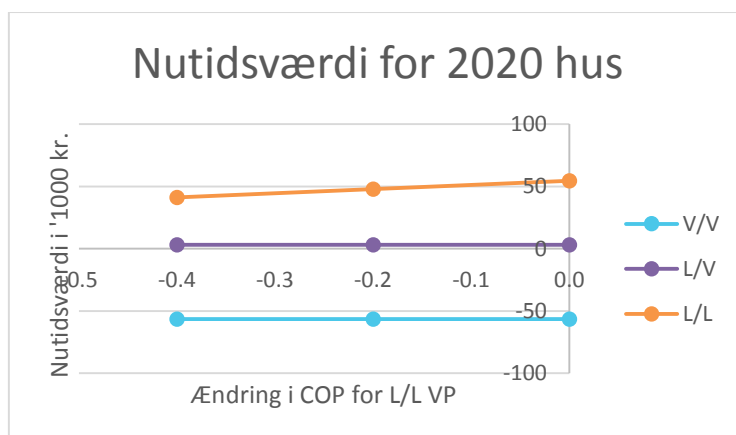
Figur 6.39. Andel af etageareal dækket af luft/luft varmepumpen og dets påvirkning af nutidsværdien for 2020 huset.



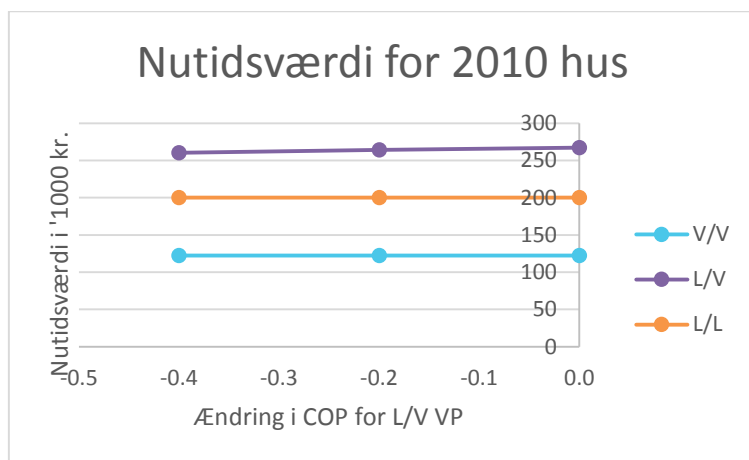
Figur 6.40. Ændring i COP for luft/luft varmepumpen for 2010 huset.



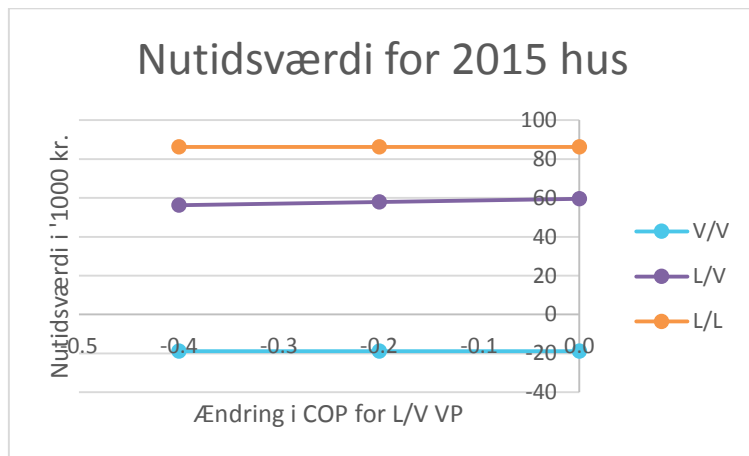
Figur 6.41. Ændring i COP for luft/luft varmepumpen for 2015 huset.



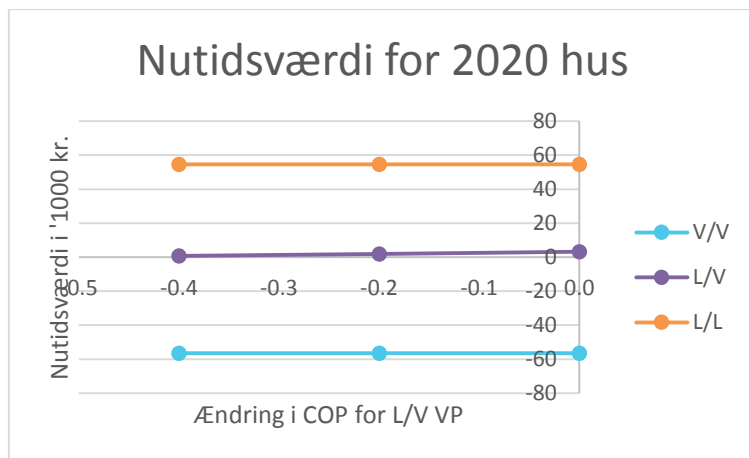
Figur 6.42. Ændring i COP for luft/luft varmepumpen for 2020 huset.



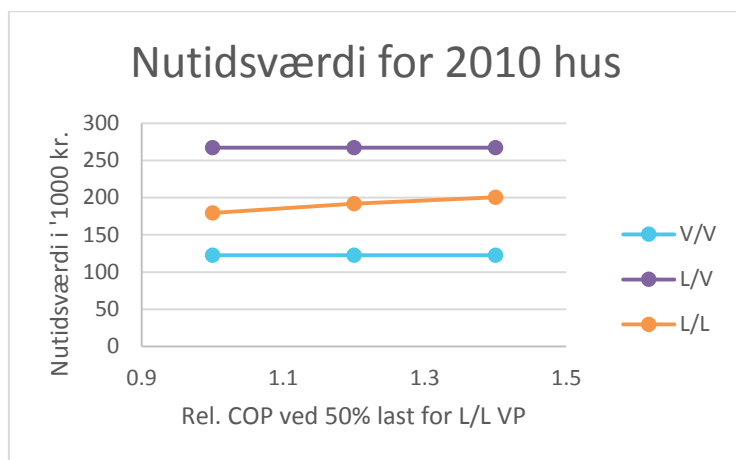
Figur 6.43. Ændring i COP for luft/vand varmepumpen for 2010 huset.



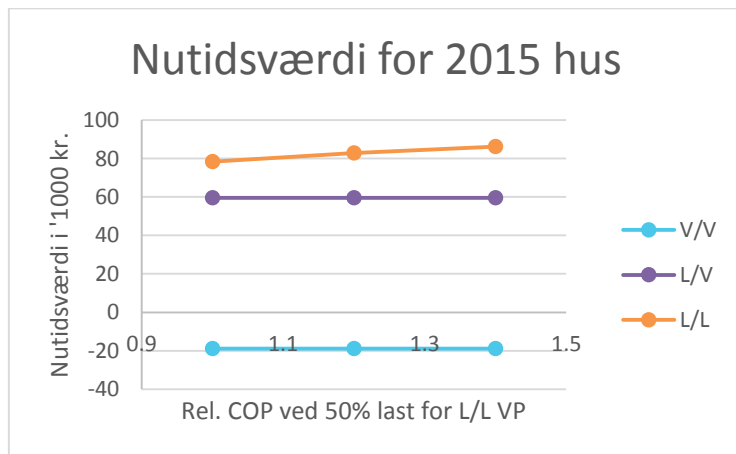
Figur 6.44. Ændring i COP for luft/vand varmepumpen for 2015 huset.



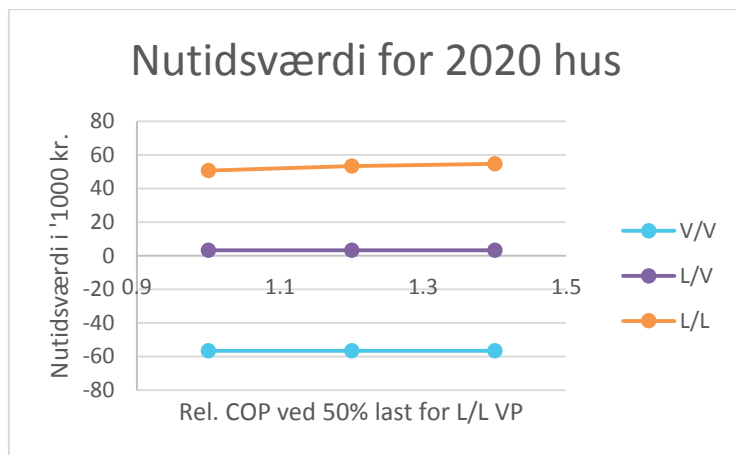
Figur 6.45. Ændring i COP for luft/vand varmepumpen for 2020 huset.



Figur 6.46. Variation af relativ COP ved 50 % last for luft/luft varmepumpen i 2010 huset.



Figur 6.47. Variation af relativ COP ved 50 % last for luft/luft varmepumpen i 2015 huset.



Figur 6.48. Variation af relativ COP ved 50 % last for luft/luft varmepumpen i 2020 huset.

7. Konklusion

Formålet med rapporten var at undersøge hvilken opvarmningsform, der er mest økonomisk rentabel for nybyggede enfamiliehuse - herunder også lavenergihuse. Ved hjælp af Be10 er energibehovet for opvarmning med ren elvarme, væske/vand, luft/vand og luft/luft varmepumper beregnet for tre forskellige hustyper, der lever op til energirammerne for henholdsvis BR10, Lavenergiklasse 2015 og Bygningsklasse 2020. For luft/luft varmepumpen er der medtaget el-paneler som supplement til en del af huset. Med udgangspunkt i disse resultater er en nutidsværdianalyse foretaget, hvor der ses på opvarmning med de tre typer af varmepumper sammenlignet med opvarmning af det samme hus med elvarme med solceller etableret på matriklen for at overholde energirammerne.

Analysen konkluderer, at det for BR10 huset er mest rentabelt at opvarme ved hjælp af en luft/vand varmepumpe, efterfulgt af luft/luft og væske/vand varmepumper. Under de anvendte forudsætninger for 2010 huset, er det mere rentabelt at anvende alle tre varmepumper end ren elvarme - både med og uden medregning af solceller for at overholde energirammerne.

For Lavenergiklasse 2015 er luft/luft varmepumpen mest rentabel, efterfulgt af luft/vand varmepumpen og ren elvarme. For 2015 huset er en væske/vand varmepumpe mindre rentabel end ren elvarme både med og uden medregning af solceller. Luft/vand og luft/luft varmepumper er mere rentabelt end elvarme - både med og uden medtagelse af solceller i beregningerne.

For Bygningsklasse 2020 er luft/luft varmepumpen mest rentabel. Hvis solceller medregnes, balancerer luft/vand varmepumpen med en nutidsværdi på 3000 kr., hvilket vurderes at ligge indenfor usikkerhedsområdet. Væske/vand varmepumpen har en negativ nutidsværdi, hvilket betyder, at ren elvarme er mere rentabel. Hvis der ses bort fra solceller i beregningen, er ren elvarme mere rentabel end luft/vand varmepumper, hvorimod opvarmning med en luft/luft varmepumpe er mere rentabel end ren elvarme.

2010	2015	2020
luft/vand VP	luft/luft VP inkl. elpaneler	luft/luft VP inkl. elpaneler
luft/luft VP inkl. elpaneler	luft/vand	luft/vand VP og ren elvarme
væske/vand VP	ren elvarme	væske/vand VP
ren elvarme	væske/vand VP	

Tabel 7.1. Rentabilitetsrækkefølgen af de fire opvarmningsformer for de tre undersøgte hustyper med antagelserne i kapitel 2-4.

Der er foretaget følsomhedsanalyser, hvor det er undersøgt, hvilke faktorer der kan ændre ovenstående konklusioner. Resultatet er mest følsomt over for variationer i elpris, investeringssummer for luft/vand og luft/luft varmepumper, samt installation af et væskebåret gulvvarmeanlæg. Der skal dog betydelige enkeltvariationer til for at ændre udfaldet af anbefalingen omkring anvendelse af opvarmningsmetode for de tre hustyper. Væske/vand varmepumpen er dog nogle gange mere rentabel end ren elvarme i 2015 huset, men aldrig i 2020 huset. Luft/væske og luft/luft varmepumperne bytter nogle gange plads som den mest rentable opvarmningsform.

For luft/luft varmepumpen skal det bemærkes, at der her ikke er taget højde for et eventuelt alternativt forbrugsmønster, som hvis luft/luft varmepumpen anvendes til aircondition om sommeren, hvilket vil medføre et højere elforbrug. Der kan desuden være støjgener forbundet med brug af luft/vand og luft/luft varmepumper, hvilket gør, at man som forbruger alligevel ønsker at installere en væske/vand varmepumpe eller anvende ren elvarme.

8. Referencer

- Aggerholm, S. og Grau, K., 2011. Bygningers energibehov – Beregningsvejledning. SBI-anvisning 213, 2. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Hørsholm.
- BR10, 2014. Bygningsreglementet 01.01.2014, http://bygningsreglementet.dk/br10_04/0/46
- Dansk Arbejdsgiverforenings Strukturstatistik, forår 2012. da.dk.
- Dansk Standard. DS 469:2013 - Varme- og køleanlæg i bygninger. <http://webshop.ds.dk/da-dk/standard/ds-4692013>.
- Den lille blå om varmepumper, Jensen, J. B, Hvenegaard, C. M. og Vinter Pedersen, S, Dansk Energi, 1. udgave marts 2011
- DONG, 2014. Elforbrug i hus uden elvarme og el-vandvarmer. <http://www.dongenergy.dk/privat/energipoints/tjekditforbrug/gennemsnitsforbrug/Pages/elforbrugihus.aspx>
- Energinet, 2014. <http://energinet.dk/DA/El/Engrosmarked/Tariffer-og-priser/Sider/Naeste-kvartals-tariffer.aspx>
- Energistyrelsen, 2012a. Teknologikatalog for individuelle varmeanlæg og energitransport, 2012. <http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger>
- Energistyrelsen, 2012b. <http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-beregnings-forudsætninger>
- Energistyrelsen, 2013. Opdateret tillægsblad om kalkulationsrente, levetid og reference til Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, Energistyrelsen, april 2005 (Beregningseksempler revideret juli 2007) (opdateret 12. juni 2013) http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsokonomiske-analysemetoder/notat_om_kalkulationsrenten_juni_2013.pdf
- Energistyrelsen, 2014a. <http://spareenergi.dk/forbruger/varme/varmepumper/varmepumpetyper>
- Energistyrelsen, 2014b. <http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmeforsyning/elforsyning/elproduktion/stotte-vedvarende-energi-3>
- Katic, 2014. Personlig samtale med Ivan Katic, Teknologisk Institut.
- Nilan, 2014. Personlig samtale med en sælger fra varmepumpefabrikanten Nilan A/S.
- Photon International, Feb. 2014
- Retsinformation, 2013. LOV nr 900 af 04/07/2013. Lov om ændring af lov om fremme af vedvarende energi <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=152758>

SKAT, 2014. Den juridiske vejledning 2014-1E.A.4.3.6.2 Regler for elektricitet til opvarmning af helårsboliger (elvarmeafgift),

<http://skat.dk/SKAT.aspx?oID=2061621&chk=209219> og

<http://skat.dk/SKAT.aspx?oId=2046167&vId=0>

Teknologisk Institut, 2013. Godkendelse af tilskudsberettigede anlæg, måling, dataindsamling og formidling. Svend Vinther Peders og Emil Jacobsen. Rapport udfærdiget for Energistyrelsen.

<http://www.ens.dk/forbrug-besparelser/byggeriets-energiforbrug/varmepumper/maleprogram-varmepumper>

V&S Prisdata Nybyggeri – Husbygning, Byggecentrum, 2014

Bilag A Varmepumper – Inddata til Be10

I) Væske/vand

Beskrivelse **Compress 6000, 8 LW/LWM**

Varmepumpe

Type Andel af etageareal, -

Kombineret 1

Varmtvandsbeholder

Volumen 185 liter

Rumopvarmning

7,5 4,55 0,8

VBV

6,92 2,71 0

Nominel effekt, kW

Nominel COP, -, Inklusive pumper, ventilatorer og automatik

Rel. COP ved 50% last, -

Test-temperaturer, °C

0 35 0 55

Kold side

Varm side

Jordslange

Jordslange

Varmeanlæg

0 5 0 5

Kold side: Jordslange, Aftræk, Udeluft eller Anden kilde

Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg

Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP

Automatik, stand-by, W, (konstant drift)

Varmepumper tilknyttet ventilationen

0 0 0 0

Temp. virk.grad for vgv før VP, -

Dim. indblæsningstemperatur, °C

Luftstrøm, m³/s

Data for anden kilde

Varmtvandsbeholder

Beskrivelse **Kappebeholder. (Kun ved LWM-model)**

1 Antal beholdere 1 Andel af varmtvandsforbrug, -

185 Beholdervolumen, liter (For solvarmebeholdere opgives totalvolumen)

55 Fremløbstemperatur fra centralvarme, °C

Nej El-opvarmning af VBV (Hvis 'Nej' kører kedlen om sommeren)

☐ Solvarmebeholder med varmespiral i top. (Korrektion for temp.lagdeling)

1,48 Varmetab fra varmtvandsbeholder, W/K

0 Temperaturfaktor, b for opstillingsrum, - (Opv. zone: b = 0, Ude: b = 1)

Ladekredspumpe

Effekt, W Lade-eff, kW

For kombi-pumpe angives Effekt til 0 W 0 Styret 6,92

Kilde: <http://www.bosch-climate.dk/files/201206041400480.Compress%206000%208%20LW-LWM.pdf>

III) Luft/luft

Rumopvarmning

Bosch Compress 7000 – 6,5



Beskrivelse		Bosch Compress 7000 - 6.5	
Varmepumpe		Varmtvandsbeholder	
Type	Andel af etageareal, -	Volumen 0 liter	
Rumopvarm	0		
Rumopvarmning		VBV	
4,6	0		
2,6	0		
1,4	0		
Test-temperaturer, °C			
-7	0	Kold side	
20	0	Varm side	
Udeluft	Jordslange	Kold side: Jordslange, Aftæk, Udeluft eller Anden kilde	
Indblæsning		Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg	
0	0	Særligt hjælpepeudstyr, W, som ikke er med i nominal COP	
6	0	Automatik, stand-by, W, (konstant drift)	
Varmepumper tilknyttet ventilationen			
0	0	Temp. virk.grad for vgv før VP, -	
0	0	Dim. indblæsningstemperatur, °C	
0	0	Luftstrøm, m³/s	
Data for anden kilde			

Kilde: http://www.bosch-climate.dk/files/Bosch_Compress_7000_BE10_DK.pdf

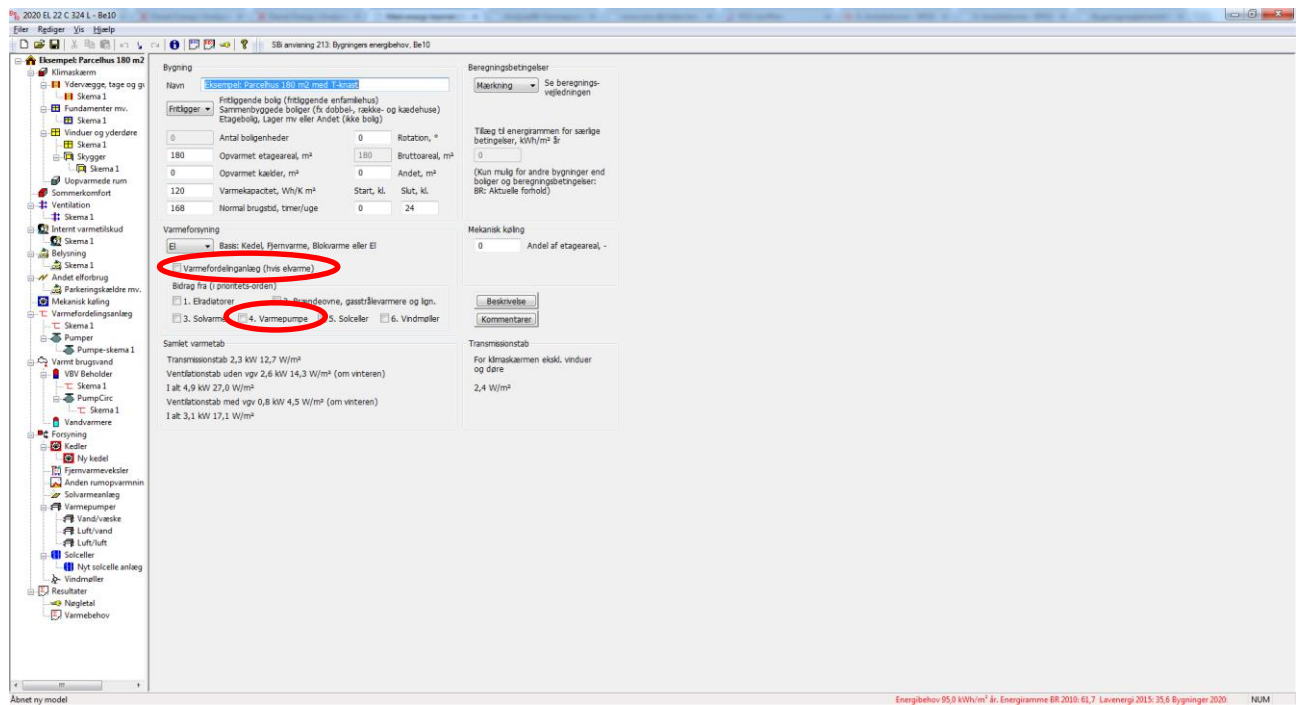
Brugsvandsvarmepumpe

Data taget fra fortrolige varmepumpe tests og estimeret ved hjælp af ekspertbistand fra Teknologisk Institut.

IV) Elvarme

Slår "varmefordelingsanlæg (hvis elvarme)" fra for EL

Slår "4.varmepumpe" fra for EL



Bilag B Energibehov i Be10

[illegible]

Bilag C Elpriser (Energistyrelsen, 2012b)

	Ar	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Inflation		1,97%	1,97%	1,28%	2,53%																					
Inflation index (for prices in real 2011)		1,00	1,02	1,03	1,06																					
Elpris (an forbruger), ENS 2012	2011-kr./MWh		565	573	585	565	548	569	556	576	588	542	569	594	520	546	581	600	621	649	663	682	729	731	780	781
Elpriser (an forbruger)	2014-kr./MWh		598	607	598	580	580	603	589	610	623	574	602	629	551	578	615	635	658	687	702	722	772	774	826	827
El- samt tillægsafgift (>4000 kWh/år)	2014-kr./MWh		412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412	412
Forbrugsafgifter (net- system, PSO-vari)	2014-kr./MWh		259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259
Total skat. Moms	2014-kr./MWh		1269	1278	1291	1269	1251	1274	1260	1281	1294	1245	1273	1300	1222	1249	1286	1306	1329	1358	1373	1393	1443	1445	1497	1498
Moms	2014-kr./MWh		317	319	323	317	313	318	315	320	323	311	318	325	305	312	322	326	332	339	343	348	361	361	374	374
Total inkl. Moms	2014-kr./MWh		1586	1597	1614	1586	1564	1592	1575	1601	1617	1557	1592	1625	1527	1561	1608	1632	1661	1697	1716	1742	1804	1806	1871	1872