

ANALYSE

Samfunds- og selskabsøkonomiske perspektiver for nye højtemperatur NH3 varmepumper til kombineret proceskøling og fjernvarmeproduktion



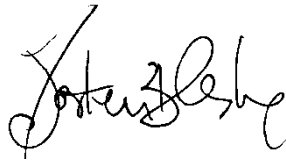
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Morten Boje Blarke
2010-11-15 (Rev. 2011-01-31)

Indholdsfortegnelse

INDHOLDSFORTEGNELSE.....	3
FORORD	4
SAMMENFATNING	5
1. BAGGRUND.....	6
2. METODE OG FORUDSÆTNINGER	7
2.1 TEKNISK-ØKONOMISKE FORUDSÆTNINGER	7
2.2 FORBEHOLD FOR DYNAMISKE EFFEKTER	8
3. RESULTATER.....	9
3.1 NH3 VARMEPUMPEN GIVER MARKANT LAVERE SAMFUNDSØKONOMISKE PRODUKTIONSOMKOSTNINGER FOR FJERNVARME.....	9
3.2 NH3 VARMEPUMPEN HAR HØJERE SELSKABSØKONOMISKE PRODUKTIONSOMKOSTNINGER END FLISFYRING.....	11
3.3 EN HALVERING AF ENERGIAFGIFTEN VIL GØRE NH3 VARMEPUMPEN SELSKABSØKONOMISK LIGE VÆRDIG MED FLISFYRING	11
3.4 NH3 VARMEPUMPEN GIVER HØJERE TEKNISKE CO2 EMISSIONER.....	11
4. REFERENCER	12

Forord

Aalborg Universitet har gennemført en analyse, der forsøger at belyse de samfunds- og selskabsøkonomiske perspektiver for nyudviklede højtemperatur NH₃ varmepumper med enkeltkrue-kompressorer til kombineret proceskøling og fjernvarmeproduktion.



Morten Boje Blarke
Adjunkt, Civilingeniør, Ph.D.
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Fibigerstræde 13, DK-9220 Aalborg
Tlf.: +45 9940 7213
<http://people.plan.aau.dk/~blarke>

Sammenfatning

Analysen tager udgangspunkt i, at nyudviklede NH₃ (ammoniak) baserede kompressionsvarmepumper med enkeltskrue-kompressorer vil kunne matche CO₂-varmepumpers høje afgangstemperatur og effektfaktor (COP), hvilket gør NH₃ varmepumper relevante for direkte anvendelse i fjernvarmeproduktionen.

De centrale resultater er baseret på en forventning om, at NH₃ varmepumpens investeringsomkostninger er under det halve af CO₂ varmepumpens. Der er dog tale om skønsmæssige angivelser for NH₃ varmepumpen, idet der ikke eksisterer erfaringsbestemte driftstal.

På denne baggrund findes, at der opnås markante samfundsøkonomiske besparelser i forhold til både naturgasfyret kraftvarme og flisfyring ved at installere NH₃ varmepumper til fjernvarmeproduktion i tilknytning til industriel køleproduktion.

Selskabsøkonomisk er flisfyring imidlertid mest rentabelt. På denne baggrund vurderes, at L1417 (elpatronloven) bør revideres med henblik på at yde en lempelse af afgift for varmepumpebaseret fjernvarmeproduktion. Analysen viser, at en halvering af energiafgiften for varmepumper vil gøre varmepumpeanlægget selskabsøkonomisk ligeværdigt med flisfyring.

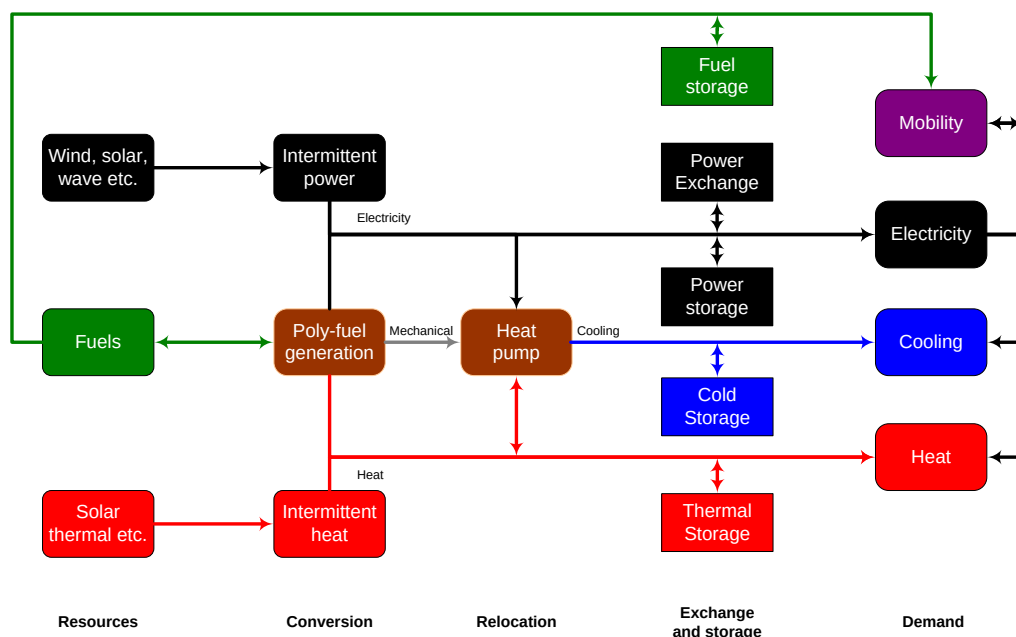
Udvalgte resultater fra modelberegningerne:

1. NH₃ varmepumpen kan opereres med en balanceret samfundsøkonomisk produktionsomkostning på 204 kr/MWh, hvilket er 20% lavere end ved fortsat drift af det naturgasfyrede kraftvarmeanlæg.
2. NH₃ varmepumpen fører til en gennemsnitlig fordobling af de tekniske CO₂ emissioner sammenlignet med fortsat drift af det naturgasfyrede kraftvarmeanlæg.
3. Under gældende afgiftsvilkår opereres NH₃ varmepumpen med en balanceret selskabsøkonomisk produktionsomkostning på 433 kr/MWh, hvilket er 5% lavere end ved fortsat drift af det naturgasfyrede kraftvarmeanlæg, men 18% højere end ved flisfyring.
4. Ved at halvere energiafgiften for varmepumper, reduceres den selskabsøkonomiske produktionsomkostning til 356 kr/MWh hvilket vil gøre NH₃ varmepumpeanlægget selskabsøkonomisk ligeværdigt med flisfyring.

1. Baggrund

Kompressionsvarmepumper er tiltænkt en central rolle i fremtidens vind-venlige energisystem.

Figur 1 illustrerer, at det bæredygtige energisystem er karakteriseret ved en høj grad af operationel fleksibilitet, hvilket især sikres gennem anvendelse af såkaldt lagrings- og relokeringsteknologi. Analyser har vist, at kompressionsvarmepumper i kombination med kulde- og varmelagring er den måske mest omkostningseffektive vej til indenlandsk integration af diskontinuerlig el- og varmeproduktion (1-6).



Figur 1: I fremtidens bæredygtige energisystem spiller lagrings- og relokeringsteknologi en afgørende rolle.

Der har i en årrække især været fokus på perspektiver for anvendelse af transkritiske varmepumper, der anvender CO₂ som arbejdsmedium. Transkritiske CO₂ varmepumper er i stand til at levere varme ved et højt temperaturniveau i kombination med en relativ høj COP (effektfaktor). Et højt temperaturniveau er afgørende dels for varmens direkte anvendelse til fjernvarmeformål, dels for muligheder for effektivt at lagre varmen.

Ammoniak (NH₃) kompressorer finder udbredt anvendelse i procesindustrien til køleformål, men har hidtil ikke kunnet levere kombinationen af høj afgangstemperatur og høj COP. Således skriver Energistyrelsen i Teknologikatalog for Energianlæg (7) at “Ammonia is limited to a maximum temperature of 70 °C. For higher temperatures CO₂ is the only option at the current stage of technological development.”

En ny type enkeltskrue-kompressorer giver dog i følge oplysninger indhentet fra Coolpartners Aps og Vilter anledning til at forvente, at NH₃ varmepumpeanlæg i dag kan matche CO₂ anlæg på både udgangstemperatur og effektfaktor.

2. Metode og forudsætninger

Der er gennemført en analyse af den samfundsøkonomiske og selskabsøkonomiske rentabilitet for et NH₃ varmepumpeanlæg, der leverer fjernvarme. Varmepumpen er installeret i tilknytning til et proceskøleanlæg, der kontinuert leverer 30°C spildevand.

Følgende teknologier indgår i den komparative analyse:

1. Fortsat drift af 6 MW_q naturgasfyret kraftvarmemotoranlæg
2. Investering og drift af 6 MW_q NH₃ varmepumpeanlæg
3. Investering og drift af 10 MW_q flisfyret kedelanlæg
4. Investering og drift af 6 MW_q CO₂ varmepumpeanlæg

Analysen er baseret på en driftssimulering ved anvendelse af COMPOSE, der er en avanceret driftsoptimerings- og projektvurderingsmodel med kobling til en systemanalytisk energimodel (8). Den systemanalytiske energimodel har især betydning for beregning af tekniske CO₂ effekter i den centrale elproduktion ved decentral produktion og/eller anvendelse af elektricitet.

2.1 Teknisk-økonomiske forudsætninger

Analysemetode og teknisk-økonomiske forudsætninger er generelt beskrevet i COMPOSE (8). De detaljerede teknisk-økonomiske forudsætninger med hensyn til generel elprisudvikling og brændselspriser, samfundsøkonomiske CO₂ priser mv., er baseret på Energistyrelsens seneste forudsætningsnotat (9). De detaljerede teknisk-økonomiske forudsætninger mht. investerings- og D&V-omkostninger er delvist baseret på Energistyrelsens teknologikatalog for energianlæg (7).

Af afgørende betydning er det dog, at der er differentieret mellem investeringsomkostninger for CO₂ og NH₃ varmepumpeanlæggene. Fastlæggelsen af investeringsomkostningen er vurderet på basis af informationer indhentet fra hhv. Advansor (CO₂) og Coolpartners (NH₃).

Alle anlæg er suppleret af en naturgasfyret spids- og reservelastkedel og 1225 m³ varmelager, om end det flisfyrede kedelanlæg i praksis dækker varmebehovet 100%. Der er ikke inkluderet investeringsomkostninger for spidslastkedel og varmelager.

Følgende særlige antagelser gør sig gældende:

- Varmegrundlaget er deterministisk anlagt.
- Lavtemperatur-varmekilden er enten ubegrænset eller vil kunne lagres i et ubegrænset koldt varmelager således at varmepumpeanlægget kan driftsoptimeres frit i forhold til elspotmarkedet. Der er ikke medtaget evt. investeringsomkostninger for evt. nødvendighed af et koldt varmelager.
- Varmepumpeanlæggenes driftsmønstre, f.eks. antallet af starter og den enkelte driftsperiodes længde, har ikke indflydelse på de fastlagte teknisk-økonomiske forudsætninger, f.eks. COP og D&V omkostninger.
- Elspotmarkedet er deterministisk anlagt for 24 timer ad gangen, og følger distributionen af elpriser i 2009 (middelpriser følger Energistyrelsens

fremskrivning for det uvægtede Nordpool marked), hvilket danner grundlag for varmepumpeanlæggenes driftsoptimering indenfor 24-timers perioder, dag for dag, år for år.

- Der beregnes en handelsomkostning på 0,6 øre per kWh elektricitet handlet på spotmarkedet.
- Der beregnes en distributionsomkostning på 15 øre per kWh elektricitet købt på spotmarkedet.

Med betydning for de selskabsøkonomiske resultater, antages, at varmepumpeanlæggenes beskattes efter L1417 (elpatronloven), naturgaskraftvarme efter gældende afgiftssatser (e-formel), mens flisanvendelse er afgiftsfritaget.

COMPOSE anvender en særlig prisafhængig metode til at opgøre de tekniske CO₂ emissioner fra elproduktion eller elanvendelse. Metoden er beskrevet i (2).

En række specifikke teknisk-økonomiske forudsætninger for anlæggene fremgår af Tabel 1. En række generelle forudsætninger fremgår af Tabel 2.

	Anlæg	Kapacitet	Inv. (DKK/kWq)	D&V	Virkningsgrad/Effektfaktor
1	CHP	6 MWq	-	0,06 DKK/kWh _{el}	47,58% q, 40,32% e
2	NH3	6 MWq	3,000	0,03 DKK/kWh _{fuel}	3,5 q
3	Flis	10 MWq	2,300	175 DKK/MWq	90% q
4	CO ₂	6 MWq	8,000	0,03 DKK/kWh _{fuel}	3,5 q

Tabel 1: Specifikke teknisk-økonomiske forudsætninger for anlæggene.

Generelle forudsætninger	Værdi
Varmegrundlag – rumvarme (DRY-graddagsafhængigt)	22,5 GWh/år
Varmegrundlag – varmtvand + nettab (konstant)	15 GWh/år
Samfundsøkonomisk diskonteringsrente	6%
Selskabsøkonomisk diskonteringsrente	15%
Planperiode, der svarer til levetid for alle investeringer	20 år

Tabel 2: Centrale generelle teknisk-økonomiske forudsætninger.

2.2 Forbehold for dynamiske effekter

Udbredt opgivelse af naturgasfyret kraftvarme vil føre til et lavere udbud af elproducenter, hvilket vil føre til højere elpriser. Udbredt introduktion af eldrevne kompressionsvarmepumper vil føre til højere efterspørgsel på el, hvilket vil føre til højere elpriser.

Samlet set må det vurderes, at effekterne ved omlægning fra decentral kraftvarme til eldrevne kompressionsvarmepumper udviser en tendens i retning af højere elpriser, hvilket vil forrykke det relative rentabilitetsforhold mellem de to teknologianlæg, således at hvor den samfunds- og selskabsøkonomiske rentabilitet for varmepumper vil forringes, vil rentabiliteten for kraftvarmeanlæg forbedres.

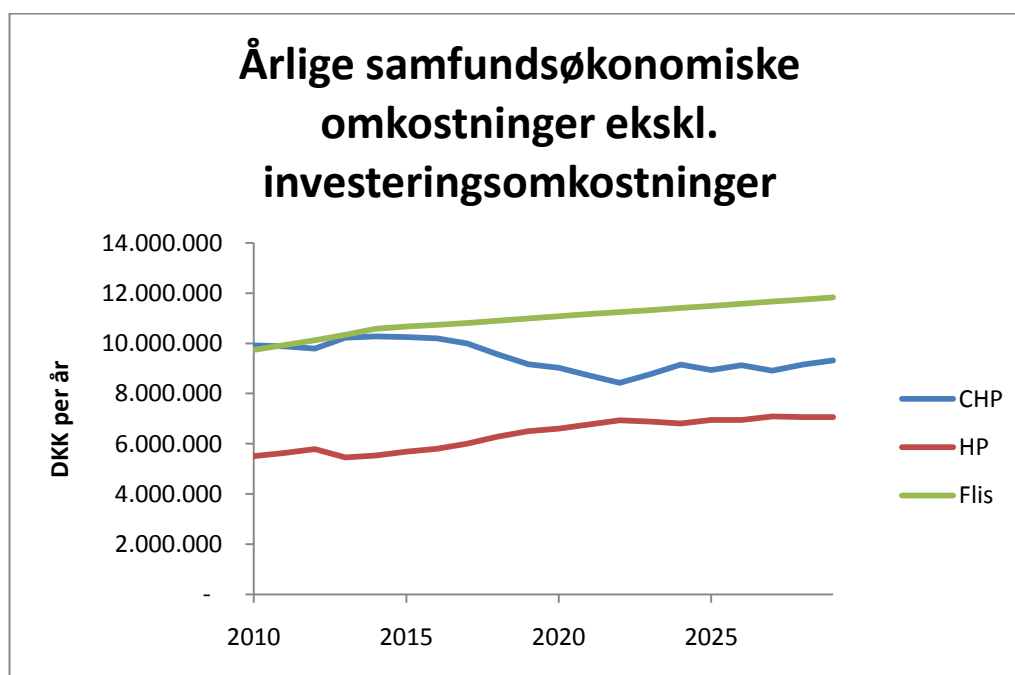
Der er ikke taget hensyn til denne sandsynlige dynamiske forskydning i analyserne.

3. Resultater

3.1 NH3 varmepumpen giver markant lavere samfundsøkonomiske produktionsomkostninger for fjernvarme

Figur 2 viser udviklingen i de årlige samfundsøkonomiske omkostninger ekskl. investeringsomkostninger. De to varmepumpetyper (CO₂ og NH₃) har ens elforbrugsprofiler og ens D&V-omkostninger, derfor også ens årlige produktionsomkostninger.

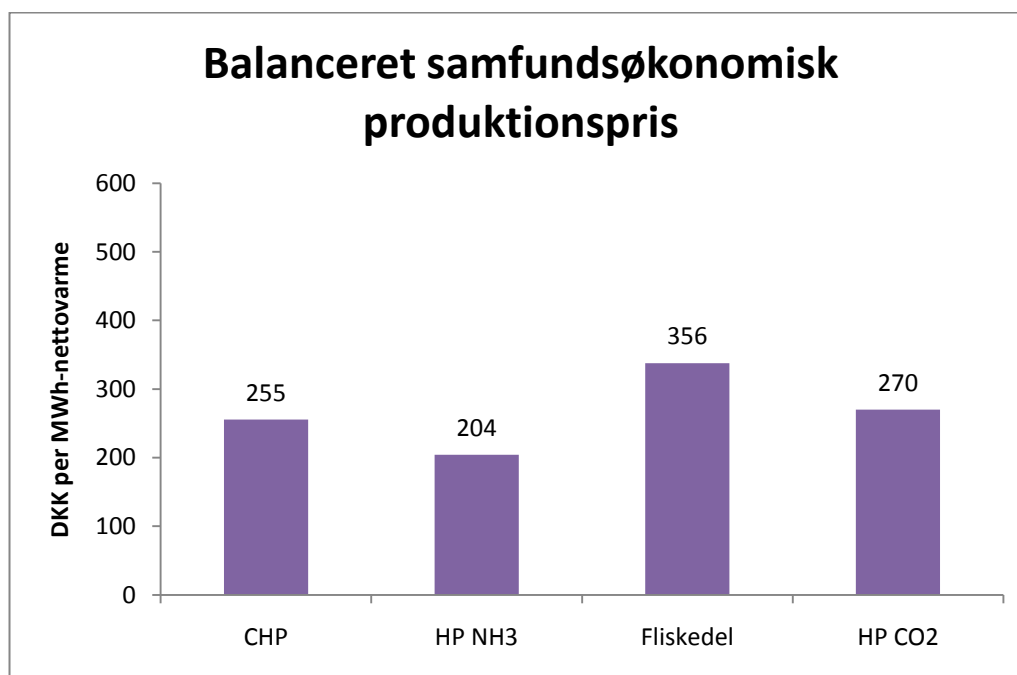
Det fremgår, at de årlige samfundsøkonomiske driftsomkostninger for varmepumpeanlæggene ligger væsentligt under CHP anlæggets driftsomkostninger. Den årlige driftsbesparelse reduceres dog over planperioden, hvilket skyldes forhold omkring CHP anlæggets selskabsøkonomisk optimale drift, der betyder, at anlæggets indtægter fra elsalg forøges væsentligt over perioden, ligesom varmepumpeanlæggets udgifter til el forøges.



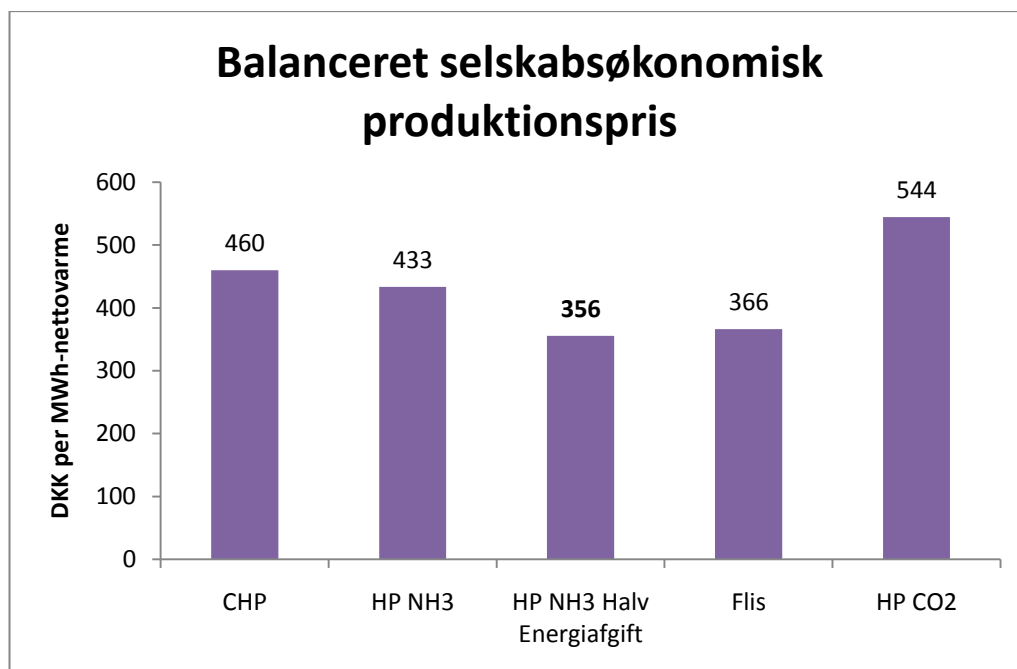
Figur 2: Årlige samfundsøkonomiske omkostninger ekskl. investeringsomkostninger.

Figur 3 viser at de balancerede samfundsøkonomiske produktionsomkostninger er lavest for NH₃ varmepumpen og højest for fliskedlen. Produktionsomkostningen for NH₃ varmepumpen er 204 kr/MWh, hvilket er en besparelse på 20% i forhold til fortsat kraftvarmedrift.

Produktionsomkostningen for fliskedlen er ret følsom overfor den forudsatte årlige D&V omkostning.



Figur 3: Balancerede samfundsøkonomiske produktionsomkostninger.



Figur 4: Balancerede selskabsøkonomiske produktionsomkostninger.

3.2 NH3 varmepumpen har højere selskabsøkonomiske produktionsomkostninger end flisfyring

Figur 4 viser at de balancerede selskabsøkonomiske omkostninger er lavest for flis kedlen og højest for CO₂ varmepumpen.

Produktionsomkostningen for NH₃ varmepumpen er 433 kr/MWh, hvilket er en besparelse på 5% i forhold til fortsat kraftvarmedrift.

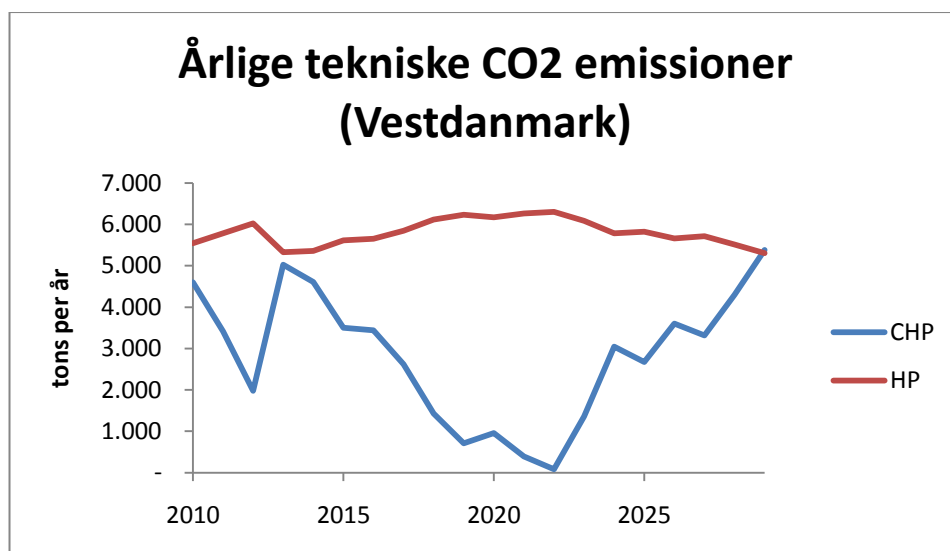
NH₃ varmepumpen er dog dyrere end flis kedlen, der med sit afgiftsfritagede brændsel opnår de laveste balancerede produktionsomkostning på 366 kr/MWh på trods af høje investerings- og D&V-omkostninger.

3.3 En halvering af energiafgiften vil gøre NH3 varmepumpen selskabsøkonomisk ligeværdig med flisfyring

Figur 4 viser endvidere de selskabsøkonomiske produktionsomkostninger i en situation, hvor energiafgiften (specificeret i elpatronloven – L1417) halveres for varmepumper. Dette vil reducere produktionsomkostningen til 356 kr/MWh, svarende til en reduktion på 18%.

3.4 NH3 varmepumpen giver højere tekniske CO2 emissioner

Figur 5 viser udviklingen i de årlige tekniske CO₂ emissioner for naturgasfyret kraftvarme og varmepumpe. De to varmepumpetyper (CO₂ og NH₃) har ens elforbrugsprofiler, og derfor ens tekniske CO₂ emissioner. Gennemsnitligt opnås en fordobling af de tekniske CO₂ reduktion i perioden, hvilket skyldes kraftvarmeanlæggets betydning for fortrængning af central kul- og gasfyret elproduktion.



Figur 5: Årlige tekniske CO₂ emissioner.

4. Referencer

- (1) Morten Boje Blarke. The missing link in sustainable energy: Techno-economic consequences of large-scale heat pumps in distributed generation in favour of a domestic integration strategy for sustainable energy.; 2008.
- (2) Blarke MB, Lund H. The effectiveness of storage and relocation options in renewable energy systems. Renewable Energy 2008 7;33(7):1499-1507.
- (3) Blarke MB. Energy system analysis of large-scale heat pumps and other relocation options. Energy 2007 06/04;Manuscript submitted for publication in September 2007. Status: Under review.
- (4) Energinet.dk. Effektiv anvendelse af vindkraftbaseret el i Danmark. 2009 03-2009.
- (5) Blarke MB. De ”ustyrkelige” varmepumper: Vind-venlige varmepumper giver markante og omkostningseffektive tekniske CO₂-reduktioner ved skift fra oliefyring. 2010 09-2010.
- (6) Finansministeriet. En omkostningseffektiv klimastrategi. 2003; .
- (7) Danish Energy Authority Ed. Technology Data for Energy Plants. 2010 06-2010.
- (8) Blarke MB. COMPOSE. 2010.
- (9) Danish Energy Authority. Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. 2010.