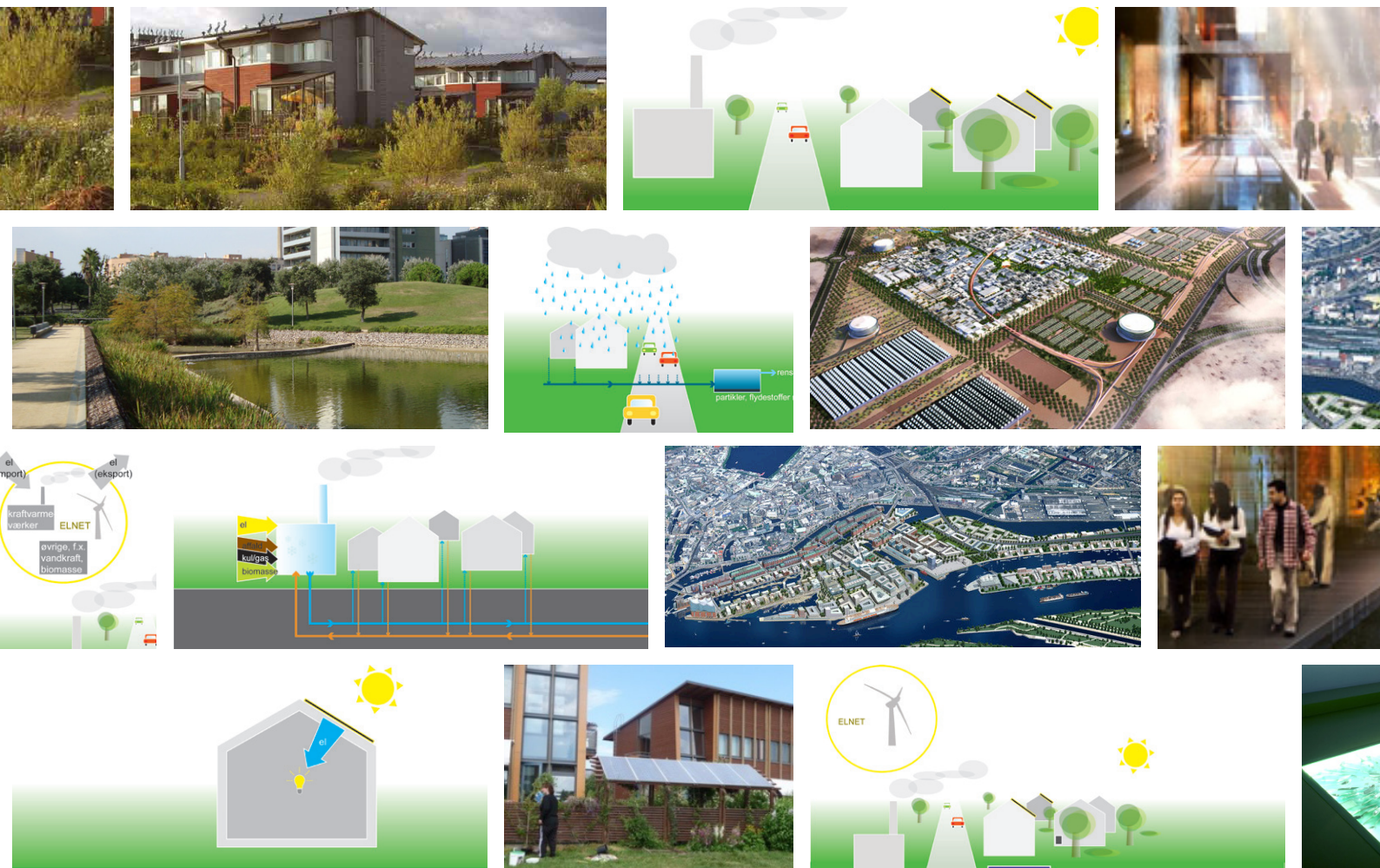


INSPIRATIONSKATALOG

Forsynings- og infrastruktur-teknologier for bæredygtig byudvikling

Januar 2011



Udarbejdet af COWI for



**Realdania
By**

I samarbejde med

BY&HAVN

**Carlsberg
Group**
Carlsberg A/S Ejendomme

INSPIRATIONSKATALOG

Forsynings- og infrastruktur- teknologier for bæredygtig byudvikling

Januar 2011

Indholdsfortegnelse

1	Forord	2
2	Indledning	3
2.1	Overvejelser	5
DEL 1		
3	Byudviklingstyper - fire generiske eksempler	8
3.1	Beskrivelse af generiske eksempler	8
3.2	Nøgletal for vurdering af generiske eksempler	18
3.3	Fremtidig udvikling - følsomhedsanalyser	23
4	Konkrete eksempler på bæredygtig byudvikling	26
4.1	Eco Viikki, Finland	27
4.2	Hafen City, Hamburg	30
4.3	Masdar City, Abu Dhabi	33
4.4	Samsø – Danmarks Vedvarende Energi Ø	35
DEL 2		40
Bilag		
Bilag 1: Beregningsforudsætninger		127
Bilag 2: Følsomhedsanalyser		139
Litteraturliste		150
Illustrationsliste		154

1 Forord

Klimakommissionens udspil i sensommeren 2010 sætter fokus på både energi-effektivisering og omlægning af energiforsyningen i forhold til at nå målet om CO₂ reduktion - 80 % reduktion inden år 2050 ift. 1990 niveauet og uafhængighed af fossile brændsler. Herudover initierer rapporten overordnet diskussion af prioriteringen af de forskellige løsningsmodeller, som det bl.a. beskrives i følgende citat:

"Det er centralt i Klimakommissionens anbefalinger, at det er nødvendigt med såvel effektivisering af energiforbruget som med omlægning af energiforsyningen for at nå de to målsætninger om drivhusgasreduktion og uafhængighed." ¹

Formålet med indeværende katalog er at understøtte, kvalificere og inspirere til afvejningen og indpasningen af disse to hensyn, energieffektivisering og omlægningen af energiforsyningen, i planlægningen af nye byområder i fremtiden.

Kataloget er ikke et forsøg på at opstille og anbefale konkrete optimale løsninger for energiforsyning og energiforbrug i bæredygtig byudvikling. Den optimale løsning for et konkret område vil variere afhængig af lokalitet, funktion og eksterne forsyningsmuligheder, desuden af målgruppe, visioner og værdigrundlag.

Arbejdet med kataloget har demonstreret, at det er et vanskeligt felt dels at beskrive og dels at drage konklusioner på. Det skyldes, at såvel energiområdet som byudviklingsprojekter er præget af stor kompleksitet, underlagt både overordnede og lokale rammer og hensyn. Fra politiske strategier og samfundsøkonomiske hensyn over projektspecifikke ambitioner og visioner til lokale forsyningsforhold og bygningsmæssig kontekst.

Det har ikke gjort arbejdet mindre interessant og vi håber med dette katalog, at kunne inspirere andre beslutningstagere, interessenter, rådgivere og leverandører, der arbejder med eller interesserer sig for bæredygtig byudvikling.

Kataloget er udarbejdet af COWI for Realdania By i samarbejde med Carlsberg Ejendomme og By & Havn. Realdania har støttet økonomisk.

Realdania By, Carlsberg Ejendomme og By & Havn
København, januar 2011

¹ *Grøn Energi - vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler*, Klimakommissionen, september 2010

2 Indledning

Når et nyt byområde udvikles, forholder planlæggere og beslutningstagere sig til bæredygtighed. Hvad skal kendetegne det nye byområde? Hvilke krav skal der stilles til energiforbrug? Hvilke teknologier skal anvendes til energiforsyning af byområdet? Beslutningsprocessen er ofte kompleks og mål og midler er mange.

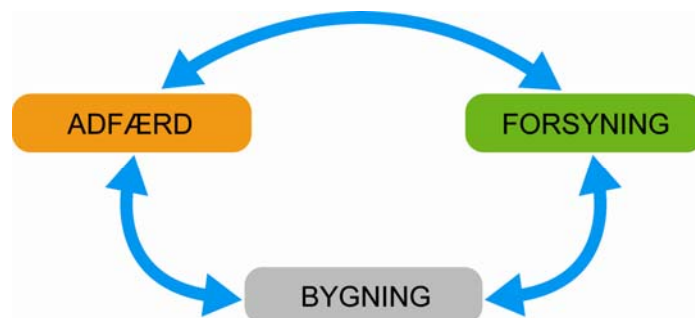
Katalogets målgruppe er byplanlæggere, teknikere og hele den gruppe af beslutningstagere, der arbejder med planlægning af nye byområder og udvikling af eksisterende byområder.

Kataloget beskriver og giver et overblik over en lang række teknologier, og belyser konsekvenserne af anvendelsen af teknologierne gennem eksempler på sammensætning af de enkelte teknologier i en bestemt kontekst. Kataloget opstiller nogle rammer således, at valg af forsyningsteknologier kan diskuteres ud fra de mål og muligheder, som der ønskes for et nyt byområde.

Kataloget kan ligeledes benyttes til inspiration i forbindelse med projekter omhandlede byomdannelse, f.eks. ændret arealanvendelse, fortætning, renovering mv.

Fokus for kataloget er forsyning og energiforbrug - velvidende at bæredygtig byudvikling omfatter væsentligt flere aspekter.

Bygningers indretning og beskaffenhed, samt brugernes adfærd og aktiviteter vil også påvirke områdets forsyningsbehov og ressourceforbrug. Der er i dette katalog valgt ikke se på teknologier, teknikker og metoder for, hvordan bygninger og adfærd kan gøres mere bæredygtige.



Figur 2.1 *Elementer i bæredygtig byudvikling. I dette katalog er der fokuseret på forsyning.*

Der fokuseres primært på forsyningsteknologier, der generelt vil kunne anvendes i danske by- og arealudviklingsprojekter, og der er suppleret med fire konkrete eksempler på bæredygtig udvikling.

Kataloget indeholder ikke vurderinger af, hvor bæredygtige de enkelte teknologier, eller sammensætning af teknologier, er *eller ikke er*, da dette i sidste ende afhænger af, hvor og i hvilken sammenhæng teknologien anvendes.

Kataloget er opdelt i to dele:

Del 1: Eksempler på sammensætning af forsyningsteknologier

Del 2: Katalog over bæredygtige forsynings- og infrastrukturteknologier

Den første del af kataloget omfatter en sammenligning af økonomiske og klimarelaterede betragtninger for fire generiske eksempler på byudvikling. De generiske eksempler er valgt med henblik på at fremhæve forskellene mellem forskellige tilgange til energiforsyning og energiforbrug så tydeligt som muligt.

Sammenligningen af de generiske eksempler suppleres med følsomhedsanalyser for to udviklingsscenarier, hhv. optimerede fremtidige priser for solceller og energibesparende tiltag i bygningsmassen samt fremtidige ændringer i energipriser og afgifter. Problematikken omkring indpasningen af større mængder vedvarende energi i energiforsyningen i fremtiden er diskuteret, men ikke analyseret, i dette katalog.

Der suppleres med korte beskrivelser af fire konkrete eksempler, som illustrerer, hvor forskelligt byudvikling kan gribes an, og hvordan de generiske eksempler kan fortolkes i virkeligheden.

Eksempler beskriver samlede løsninger for forsyningsteknologier og energibesparelser, som benyttes til at sammenfatte en række diskussionsemner, der kan drages ind i overvejelser omkring valget af forsyningsteknologier og målsætning for energireduktion, som del af arbejdet med bæredygtighed i et byområde.

Den anden del omfatter et katalog over forsyningsteknologier, der kan indgå i en samlet planlægning af et byområde. Dette "teknologikatalog" i del 2 giver et overblik over teknologiers egenskaber og beskriver dem i en byudviklingskontekst. Det er forsøgt at gøre beskrivelser og information let anvendeligt. Teknologier beskrives kort og præcist med angivelse af nøgledata, der vurderes væsentlige for beslutninger omkring valg af bæredygtige teknologier.

Sidst i kataloget findes to bilag indeholdende henholdsvis beregningsforudsætninger og en uddybende følsomhedsanalyse samt en litteraturliste.

2.1 Overvejelser

I det følgende præsenteres diskussionsemner fra katalogets første del med fokus på resultaterne fra sammenligningen af de generiske eksempler.

For at danne grundlag for en økonomisk og CO₂-mæssig vurdering af forskellige byudviklingstyper er der opstillet fire generiske eksempler. Disse fire eksempler er valgt så de klart illustrerer forskellige målsætninger og koncepter for energiforsyning og energibesparelser. Eksemplerne er inspireret af typiske retninger for byudviklingsprojekter i dag (jf. beskrivelserne af de fire konkrete eksempler), og er tænkt som inspiration i de indledende faser af udviklingsprojekter.

Ses der isoleret på CO₂ reduktion per investeret krone kan der, ved en sammenligning af nøgletal for de fire generiske eksempler, umiddelbart drages følgende forenkledede konklusion:

Generelt opnås større CO₂ reduktion pr. investeret krone ved investering i vindmøller eller i større biomasse kraftvarme anlæg udenfor nye byområder, end der gør ved investering i energibesparende tiltag for opnåelse af lavenergi-byggeri og investering i lokale vedvarende energianlæg (solceller) placeret i nye byområder.

Ovenstående forenkledede konklusion tager ikke fuldt højde for det samfundsøkonomiske rationale, som Klimakommissionen påpeger, nemlig at der uden en væsentlig energieffektivisering ikke umiddelbart vil være økonomi i en omlægning af energiproduktionen til vedvarende energi. Med dette katalog peges der ikke på, hvor snittet bør lægges, men der opfordres til overvejelser herom.

Der skal desuden gøres opmærksom på, at sammenligningerne af de økonomiske nøgletal for de fire generiske eksempler er forenkledede. Der ses ikke på f.eks. levetider, driftsudgifter, tab og investeringer i distributionssystemer, udvikling i brændsels- og energipriser, CO₂ udledning fra anlæg og drift af energisparetiltag, vindmøller og biomasse kraftværker, fremtidig lovgivning og mange andre faktorer, som kan have indflydelse på opstillingerne.

De gennemførte følsomhedsanalyser viser, at ændringer i energipriser og afgifter ikke vil ændre på investeringsbehovet eller i investering i kr. pr. kg CO₂ reduktion for forskellige teknologier. Følsomhedsanalyserne illustrerer endvidere, at selv hvis teknologierne for energibesparelser i bygninger og solceller optimeres og udvikles, så prisen reduceres med ca. en tredjedel, vil investering i vedvarende energianlæg (f.eks. vindmøller) uden for byområderne stadig kræve markant mindre investering pr. kg CO₂ besparelse.

Stramminger af energikravene i det nye bygningsreglement BR10, og de forventede yderligere stramminger i 2015 og 2020, lægger op til, at der skal investeres i bygningsenergisparelser i nybyggeri. Træder de forventede stramminger i kraft, ændres grundlaget for diskussionen af en udbygning af den eksterne forsyning med vedvarende energi. I takt med at energibehovet for nye bygninger og byområder generelt ventes reduceret, og forholdet mellem varmebehov og elbehov ændres, vil behovet for at fokusere på den samlede energieffektivitet og fleksibiliteten af forsyningsstrukturen intensiveres.

Kan man alligevel sige, at forsyningsmæssig bæredygtighed i et byområde i nogle situationer opnås, rent økonomisk, mest hensigtsmæssigt ved investering i vedvarende energianlæg uden for byområdet?

Det er til stadighed væsentligt at vurdere mulighederne for indpasningen af vedvarende energi i vores energiforsyning. Indpasningen vil afhænge af teknologiske muligheder og systemernes fleksibilitet. Den samlede energieffektivitet i systemerne er den væsentligste faktor, og udvikling af lagringsteknologier samt flytning af forbrug over tid vil være nødvendige faktorer i den fremtidige systemudvikling.

Forholdet mellem reduktion af energibehovet og optimering af forsyningsforholdene må i byudviklingsprojekter vurderes ud fra kontekst og nationale/regionale forudsætninger.

Der bør overvejes en samlet strategi for både forbrug og forsyning, der inddrager både et økonomisk og organisatorisk aspekt. En udfordring vil her være, hvordan der skabes de rette rammer og incitament, der kan understøtte, at relevante aktører sammen udforsker de økonomiske og miljømæssige rationaler i forskellige strategier.

Kan lagring af energi indtænkes i denne samlede strategi for forbrug og forsyning? Kan brugsmønstrene for energiforbrug tilpasses udbuddet af energi? Kan man sammentænke lagring og brugsmønstre med, hvordan energien produceres, og hvordan eventuel spildvarme ved elproduktionen benyttes? Kan eksterne parter inddrages på nye måder i projektudviklingen?

DEL 1

3 Byudviklingstyper - fire generiske eksempler

For at understøtte, kvalificere og inspirere beslutningsprocessen omkring valg af forsyningsteknologier og målsætninger for energiforbrug, præsenteres her fire generiske eksempler på sammensætning af forskellige teknologier til samlede koncepter for bæredygtige byområder.

De generiske eksempler er valgt, så de klart illustrerer forskellige målsætninger og koncepter for energiforbrug, energiforsyning og infrastruktur. Eksemplerne er således tænkt værende debatskabende for, hvordan CO₂ reduktion og forsyningskoncepter kan tænkes ind i ny byudvikling.

Eksemplernes klart forskellige koncepter gør det muligt at sammenligne overordnede data, muligheder og økonomi ved forskellige valg.

Ved at tage udgangspunkt i de fire *generiske* eksempler opnås mulighed for forenkling. Herved kan fordele og ulemper ved de forskellige koncepter simplificeres og tydeliggøres. Til gengæld vil generiske eksempler *aldrig direkte* kunne overføres til et faktisk projekt, da lokale forhold og interesser altid vil være med til at sætte rammerne for et byudviklingsprojekt.

De opstillede eksempler er ment som et idegrundlag til vurdering af forskellige retninger for forsyningsstrategier for bæredygtig byudvikling - og dermed kan de fungere som katalysator for en del af målsætningsdebatten i forbindelse med byudviklingsprojekter.

3.1 Beskrivelse af generiske eksempler

Der er udarbejdet følgende fire generiske eksempler:

Det Bæredygtige Fyrtårn

Eksempel på ny bydel, hvor der lægges stor vægt på at signalere bæredygtighed, og hvor bæredygtige tiltag er en synlig del af bydelen. Der lægges mindre vægt på, hvorvidt det samlede koncept er bæredygtigt eller klimaneutralt.

Den Moderate Bæredygtige By

Eksempel på ny bydel, hvor der lægges vægt på anvendelse af kendte velafprøvede bæredygtige løsninger. I Den Moderate Bæredygtige By anvendes bæredygtige tiltag lokalt i bydelen, samt eksternt til forsyning af bydelen.

Den Bæredygtige Glasklokke

Eksempel på ny bydel, hvor der lægges vægt på, at bydelen ikke klimamæssigt og miljømæssigt belaster omgivelserne. Løsningerne skal findes lokalt indenfor bydelen, og ikke være afhængig af forsyninger uden for bydelen.

Den Globale Bæredygtige Løsning

Eksempel på ny bydel, hvor der lægges vægt på, at bydelen ikke klimamæssigt og miljømæssigt belaster omgivelserne. Løsningerne skal ikke nødvendigvis findes lokalt i bydelen, men kan være tiltag uden for bydelen, når dette er mere rentabelt.

Ved opstilling af ovennævnte generiske eksempler på nye bydele, er der taget udgangspunkt i eksisterende lovgivning (2010) samt udmeldte forventede krav til lavenergibyggeri. (Yderligere forudsætninger kan ses i bilag 1).

For hvert af eksemplerne er der foretaget overslagsmæssige beregninger af nøgletal for energi, CO₂ og økonomi knyttet til varmebehov og elforbrug i bygningerne i byområdet. Disse nøgletalsvurderinger ser primært på omkostningerne - CO₂-mæssigt såvel som økonomisk, forbundet med at etablere de fire eksempler. Der er ikke regnet på samfundsøkonomiske konsekvenser af eksemplerne.

Beregningerne følges op af betragtninger for den fremtidige udvikling af teknologierne, samt udviklingens påvirkning af nøgletallene for hvert generisk eksempel.

Det har ligget udenfor dette arbejde at se på konkret organisering og realisering af valgte koncepter. Hvis det generelt vurderes at være attraktivt at forsyne byudviklingsområdet fra f.eks. eksternt placerede vindmøller eller biomassekraftværker, bør det undersøges, hvordan dette kan gennemføres. Heri kan der være mange overvejelser, som både kan omfatte lovgivning, organisering, involvering af aktører på energimarkedet mv. Dette er ikke omfattet af indeværende katalog.

I det følgende beskrives hvert af de generiske eksempler på følgende måde: Det første afsnit i hver af beskrivelserne omfatter en mere generel indgangsvinkel til bæredygtighed for det enkelte scenarie, hvor forskellige eksempler på løsninger kort introduceres i forhold til det givne eksemplers fokus.

I det følgende afsnit "Energi" fokuseres udelukkende på energiforbrug og -forsyning. Det er disse energitiltag, der senere bruges til opstillingen og sammenligningen af nøgletallene i afsnit 3.2 og 3.3.

3.1.1 Det bæredygtige Fyrtårn (Generisk eksempel)



Ved udvikling af bydelen Det Bæredygtige Fyrtårn ønskes det at signalere bæredygtighed. Der lægges vægt på løsninger og teknologier, som er synlige for områdets brugere.

Ved planlægningen af bydelen er det valgt ikke at stille krav om, at bygninger og infrastruktur skal indeholde bestemte tekniske løsninger, og heller ikke krav til at de skal leve op til strengere krav end de almindelige krav i bygningsreglementer og planlove. Til gengæld er der i byplanen indarbejdet enkelte bæredygtige løsninger, som er fundet egnet til området og som kan være med til at synliggøre bæredygtige teknologier.

I dette eksempel er solceller valgt som et ikon for bydelen, for på denne måde at henlede opmærksomheden på bæredygtighed. I stedet for solceller, eller i samspil med solceller, kunne der dog lige så godt have været valgt f.eks. begrønning, regnvandsopsamling eller lignende. I det bæredygtige fyrtårn vælges tiltag, som er tydelige ikoner, for på denne måde at sætte fokus på bæredygtighed og måske påvirke nogle brugeres adfærd i en mere bæredygtig retning.

Selv om der ikke stilles krav til de enkelte bygninger omkring bæredygtighed, så opfordres der til at bygninger opføres bæredygtige og med bæredygtige teknologier, hvor disse med fordel kan anvendes.

Energi

I bydelen etableres traditionel fjernvarme, som forventes at forsyne alle bygninger i bydelen med varme og varmt brugsvand. Fjernvarmen er valgt, fordi den er relativt miljøvenlig, og energien er relativt billig. Af samme årsag opsættes der ikke solfangere til brugsvandsopvarmning og rumvarme, ligesom der ikke anvendes varmepumper til rumopvarmning. Bygninger med kølebehov - primært erhvervsbygninger og institutioner, har kølemaskiner med tørkølere på taget.

Til de enkelte bygningers energibehov stilles der ikke andre energikrav, end at de skal overholde standard BR krav. Enkelte bygherrer har valgt at opføre deres

bygninger som lavenergibyggeri. Disse bygninger har ud over bedre isolerende facader også typisk installeret solceller på tagene.

Der er opstillet en målsætning om, at der samlet for området i gennemsnit skal være 2 m² solceller pr. bolig og 2 m² solceller pr. 100 m² erhverv/institution. Generelt forventes bebyggelsens energiforbrug ekskl. solceller at svare til kravene i bygningsreglementet (BR10). Solcellerne i området forventes at producere ca. 5 % af bygningernes elforbrug.



I dag ses en del byudviklingsprojekter med fællestræk med Det Bæredygtige Fyrtårn. Det drejer sig om projekter, hvor der ikke stilles konkrete krav til særlige teknologier eller niveauer for bæredygtighed, men hvor der i stedet opfordres til, at der lægges vægt på enkelte teknologier, der tjener som synlige ikoner for bæredygtighed i området.

De konkrete eksempler Hafens City i Hamburg og Eco Viikki i Helsinki har fællestræk med dette generiske eksempel (jf. afsnit 4.1 og 4.2).

3.1.2 Den Moderate Bæredygtige By (generisk eksempel)



Ved planlægningen af bydelen Den Moderate Bæredygtige By er der lagt vægt på anvendelse af afprøvede og kendte bæredygtige tiltag, og det er ønsket at gøre bydelen så bæredygtig som mulig, uden at det dog skal baseres på relativt nye teknologier og mindre afprøvede teknologier.

Det er et ønske, at bydelen skal være CO₂ neutral, selv om det ikke alene sker på basis af energibesparelser og vedvarende energiproduktion inden for området. Det er valgt at dække bydelens energibehov med "grøn energi" fra vindmøller opstillet uden for området.

Samlet er bydelen, når strømmen fra vindmøllerne indregnes, energi- og CO₂ neutral over året.

Bæredygtige teknologier er anvendt, hvor det med miljømæssig og økonomisk fordel er muligt at indpasse dem i byen. Der etableres for eksempel regnvandsseparatorer, mulighed for kollektiv transport og andre bæredygtige teknologier, når det er fordelagtigt.

Implementeringen af teknologierne og opnåelse af CO₂-målet for bydelen sker dels gennem, at der stilles energikrav til anlæg og bygninger, og dels igennem anvendelse af afprøvede bæredygtige forsyningsteknologier. Dette i kombination med vedvarende energiproduktion uden for området.

Energi

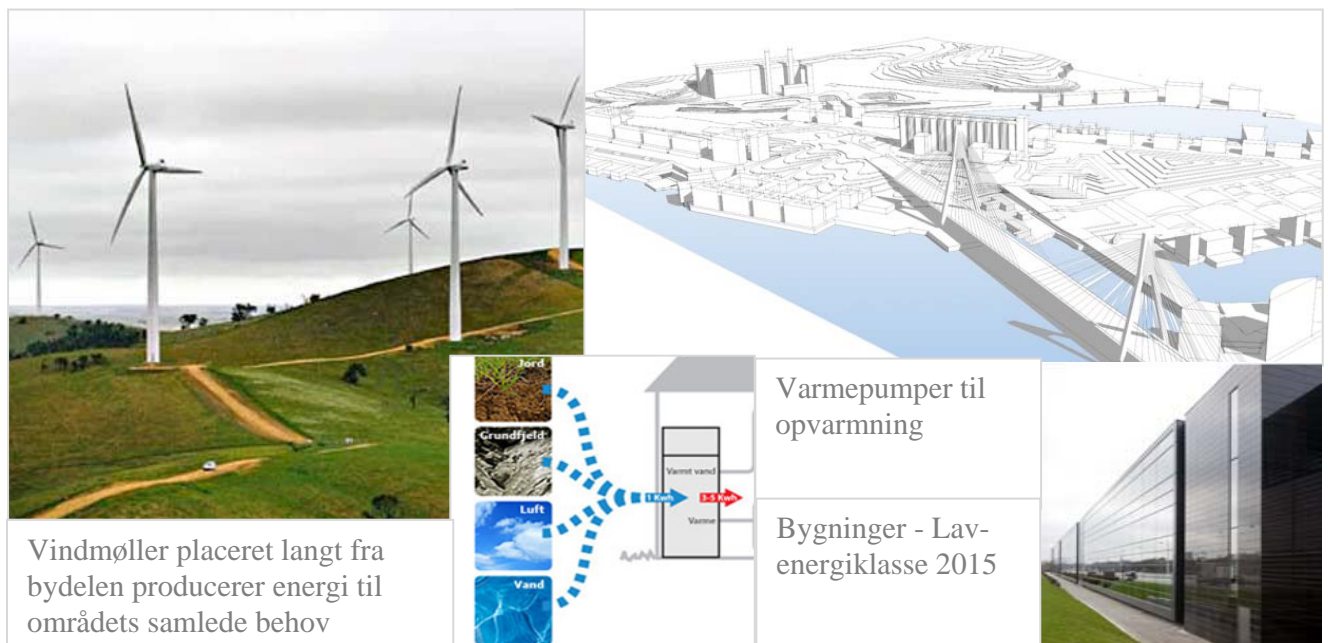
I Den Moderate Bæredygtige By skal alle bygninger opføres, så de som minimum opfylder krav til lavenergiklasse 2015 (BR10).

I bydelen er det valgt ikke at etablere fjernvarme, da opvarmningsbehovet er beskedent. I stedet opvarmes bygningerne med forskellige typer af varmepumper kombineret med solfangere til opvarmning af brugsvand.

Bygningerne i bydelen er designet, så de udnytter energi fra den lave vintersol, men skærmer for den høje sommersol.

En mindre del af områdets elforbrug dækkes med vedvarende energiproduktion fra solceller i området, mens hovedparten af elforbruget dækkes af vindmøller opstillet uden for området. Det forventes, at der skal opstilles landvindmøller med en samlet effekt på ca. 18-19 MW for at dække områdets energiforbrug.

Samlet er bydelen, når strømmen fra vindmøllerne indregnes, energi- og CO₂ neutral over året, hvad angår energiforbrug i bygninger under drift.



I Den Moderate Bæredygtige By er det et ønske at anvende afprøvede og kendte bæredygtige forsynings-teknologier. De afprøvede teknologier skal bringe områdets energibehov på et "fornuftigt" niveau, og kombineres med bæredygtig energiproduktion og andre bæredygtige tiltag uden for området. Bydelen skal forbrugs- og forsyningsmæssigt være energi- og CO₂ neutral på årsbasis.

Kravene til bæredygtige tiltag i området medfører i nogen grad høje anlægsomkostninger. I forhold til energioptimering af bygningerne, er tilbagebetalingstiden for sådanne tiltag ofte lang, og prisen pr. kg sparet CO₂ er tilsvarende høj. Til gengæld er investering, tilbagebetalingstid og pris pr. kg. sparet CO₂ tilsvarende lav på vindmøllerne, så den samlede løsning ender økonomisk på et moderat niveau. De anvendte tiltag er velafprøvede, og dette kan være med til at reducere både ressourcer, omkostninger samt øvrige drifts- og vedligeholdelseskostninger.

3.1.3 Den Bæredygtige Glasklokke (generisk eksempel)



Ved planlægningen af bydelen Den Bæredygtige Glasklokke er der lagt vægt på, gennem reduktion af energiforbrug og gennem produktion af vedvarende energi indenfor området, at gøre bydelen energi- og CO₂ neutral - og måske ligefrem energiproducerende over året.

Samtidig er bæredygtige teknologier tænkt ind i alle dele af byen, således at der etableres regnvandsopsamling, affaldssortering, kollektiv transport, el-baseret privatbilisme og andre bæredygtige teknologier.

Implementeringen af teknologierne og opnåelse af CO₂-målet for bydelen sker dels gennem, at der stilles krav til anlæg og bygninger, og dels gennem anvendelse af vedvarende bæredygtige forsyningsteknologier indenfor glasklokkens areal, herunder store arealer med solceller til el-produktion.

Energi

I Den Bæredygtige Glasklokke er det en forudsætning, at alle bygninger opføres så de som minimum opfylder krav til lavenergiklasse 2020 (forventede BR krav i 2020).

I bydelen er det valgt ikke at etablere fjernvarme, da opvarmningsbehovet er meget lille. I stedet opvarmes bygningerne med forskellige typer af varmepumper kombineret med solfangere til opvarmning af brugsvand.

Bygningerne i bydelen er designet, så de udnytter energi fra den lave vintersol, men skærmer for den høje sommersol. Bygningerne er derfor uden køleanlæg, da indetemperaturene kun få dage om året bliver meget høje.

Områdets elforbrug dækkes med vedvarende energiproduktion fra solceller i området. Der forventes således monteret ca. 330.000 m² solceller, så området over året lige netop bliver energineutral.



Varmepumper til varme og varmt brugsvand

Bygninger - Lavenergi-klasse 2020

Solceller dækker hele elbehovet

Den Bæredygtige Glasklokke er i balance og belaster ikke den øvrige verden

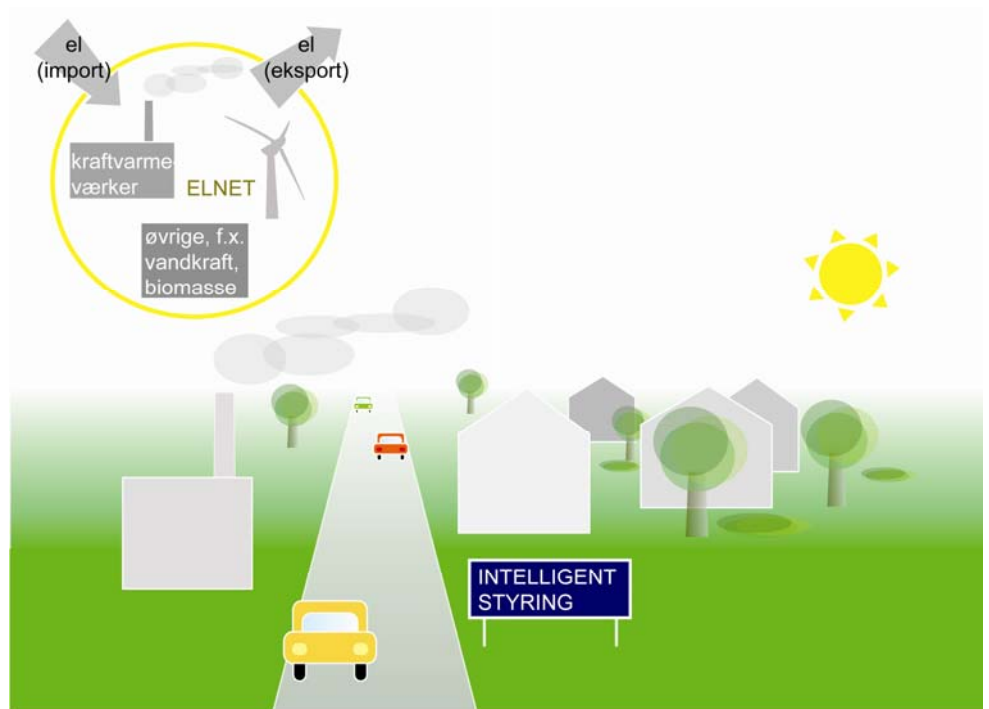
I Den Bæredygtige Glasklokke er grundideen, at området i sig selv ikke må belaste den øvrige verden gennem dets forbrug af energi under drift. Dette stiller høje krav til alle bygninger og installationer i området.

En af konsekvenserne er væsentligt højere anlægsomkostninger, som dog delvist vil blive kompenseret gennem lavere driftsomkostninger (dvs. relativt lange tilbagebetalingstider).

Området kan forventes at være fremtidssikret, forstået på den måde, at det vil leve op til fremtidige energikrav og i ringere grad være påvirkelig over for den globale energiforsyningsituation.

Et konkret igangværende eksempel på denne retning for byudvikling ses i Masdar City, som beskrives i afsnit 4.3.

3.1.4 Den Bæredygtige Globale By



Ved planlægningen af bydelen Den Bæredygtige Globale By er der fokuseret på at opnå bæredygtighed gennem investeringer i teknologier, der giver mest for pengene - også selv om tiltagene ikke ligger indenfor byområdet. F.eks. opnår byen at være energi- og CO₂ neutral gennem investering i vindmøller, eller i kraftvarmeanlæg på biomasse udenfor området.

I bydelen stilles ikke krav til, at bygninger og infrastruktur skal leve op til strengere krav end de almindelige krav i bygningsreglementer og planlove.

Selv om der ikke stilles krav til de enkelte bygninger omkring bæredygtighed, så opfordres der til at bygninger opføres bæredygtige og med bæredygtige teknologier, hvor disse med fordel kan anvendes. Dette kunne f.eks. dreje sig om etablering af kollektiv transport, begrønning af byrum, affaldssortering, genanvendelse af regnvand osv.

Energi

I bydelen etableres traditionel fjernvarme, der forsyner alle bygninger i bydelen. Fjernvarmen er valgt fordi den er relativt billig og samtidig relativ miljøvenlig.

Alternativt til fjernvarmen kan der gives dispensation, hvis bygherrer ønsker at anvende varmepumper i stedet. Dette kan være eldrevne varmepumper med tilskud fra horisontale jordslanger, borehuller, grundvand eller sø/havvand.

Til de enkelte bygninger stilles der ikke andre energikrav, end at de skal overholde standard BR krav.

Da fjernvarme er relativt billigt, anvendes der ikke solfangere til brugsvandsopvarmning og rumvarme i området. Bygninger med behov for køling. Primært erhvervsbygninger og institutioner, har ildrevne eller varmedrevne kølemaskiner.

I området er der indlagt intelligent strømstyring, således at f.eks. varmepumper, vaskemaskiner og opvaskemaskiner kører om natten, hvor der ofte er overskudsstrøm, og hvor elprisen er lav. Dette er også medvirkende til, at der kan integreres mere vindkraft og anden vedvarende energi i elnettet.



I Den Bæredygtige Globale By er konceptet, at investeringer i klimaforbedrende tiltag sker, så der investeres i de teknologier, der giver de største reduktioner i emissioner i forhold til investeringen - også selv om investeringen så måske sker uden for området.

Gennem investeringer i vindmøller uden for området opnås, at bydelen bliver CO₂- og energineutral.

Et konkret eksempel på denne tilgang til bæredygtig byudvikling, eller rettere områdeudvikling, er Samsø Vedvarende Energi Ø, som beskrives nærmere i afsnit 4.4.

3.2 Nøgletal for vurdering af generiske eksempler

Ved overslagsmæssige beregninger er der opstillet fire nøgletal for de fire generiske eksempler:

- **CO₂-besparelse:** Hvor meget den årlige CO₂-udledning reduceres, sammenlignet med en standard nyopført bydel.
- **Merinvestering:** Hvor meget mere der investeres, sammenlignet med en standard nyopført bydel.
- **CO₂-pris:** Prisen pr. reduceret ton CO₂.
- **Tilbagebetalingstid:** Hvor lang tid der går, før energibesparelser og indtægter fra elproduktion har betalt merinvesteringerne hjem.

Nøgletallene er relateret til varmebehov og elforbrug i bygninger, samt elproduktion.

De fire generiske eksempler kan i forhold til beregning af nøgletal karakteriseres ved følgende:

Det bæredygtige fyrtårn (fyrtårn):

Standard bygninger, fjernvarme, enkelte solceller.

Den moderate bæredygtige by (moderat):

Lavenergibyggeri klasse 2015, varmepumper, vindmøller uden for byen.

Den bæredygtige glasklokke (glasklokke):

Ekstremt lavenergibyggeri klasse 2020, varmepumper, solceller.

Den bæredygtige globale by (global):

Standard bygninger, fjernvarme, vindmøller uden for byen.

De fire generiske eksempler er opstillet for at kunne opgøre besparelser, merinvesteringer og CO₂-udledning sammenholdt med en "standard" bydel. Standard bydelen er defineret i den efterfølgende tabel, og er overordnet karakteriseret ved at overholde standard krav til bygningers energiforbrug, samt være forsynet med traditionel fjernvarme og kollektiv elforsyning.

For at gøre CO₂-besparelser og investeringer sammenlignelige, består hver bydel grundlæggende af:

- Indbygger: 10.000 personer
- Boliger: 5.000 stk., i alt 500.000 m²
- Erhverv og institutioner: 200.000 m²

Varmebehovet bestemmes af bygningernes energiklasse. Elforbruget til bygningsdrift afhænger af bygningernes energiklasse og om der opvarmes med

varmepumper. Øvrigt elforbrug er ens for alle eksemplerne. Elproduktionen afhænger af investering i elproduktionsanlæg (f.eks. solceller eller vindmøller).

Tabellen nedenfor giver et overblik over de forskelle mellem de generiske eksempler der har betydning for beregningen af nøgletallene:

Generiske eksempler	Standard bydel	Fyrtårn	Moderat	Glasklokke	Global
Bygningers energiklasse	Standard (BR10)	Standard (BR10)	Lavenergikl. 2015(BR10)	Lavenergikl. 2020	Standard (BR10)
Varmebehov i bygninger (primært energiforbrug²)	27.600 MWh	27.600 MWh	15.200 MWh	11.000 MWh	27.600 MWh
Varmeforsyning	Trad. fjernvarme ³	Trad. fjernvarme	Varmepumper	Varmepumper	Trad. fjernvarme
Elforbrug (ekskl. bygningsdrift) (primært energiforbrug)	27.500 MWh	27.500 MWh	27.500 MWh	27.500 MWh	27.500 MWh
Elforbrug i alt (primært energiforbrug)	32.500 MWh	32.500 MWh	36.700 MWh	32.800 MWh	32.500 MWh
Elproduktion	Ingen	Solceller 14.000 m ² 1.400 MWh/år	Vindmøller (land) 18 MW 36.700 MWh/år	Solceller 328.000 m ² 32.800 MWh/år	Vindmøller (land) 22 MW 43.500 MWh/år
Merinvestering	-	Solceller	Lavenergi-bygninger og vindmøller (land)	Lavenergi-bygninger og solceller	Vindmøller (land)

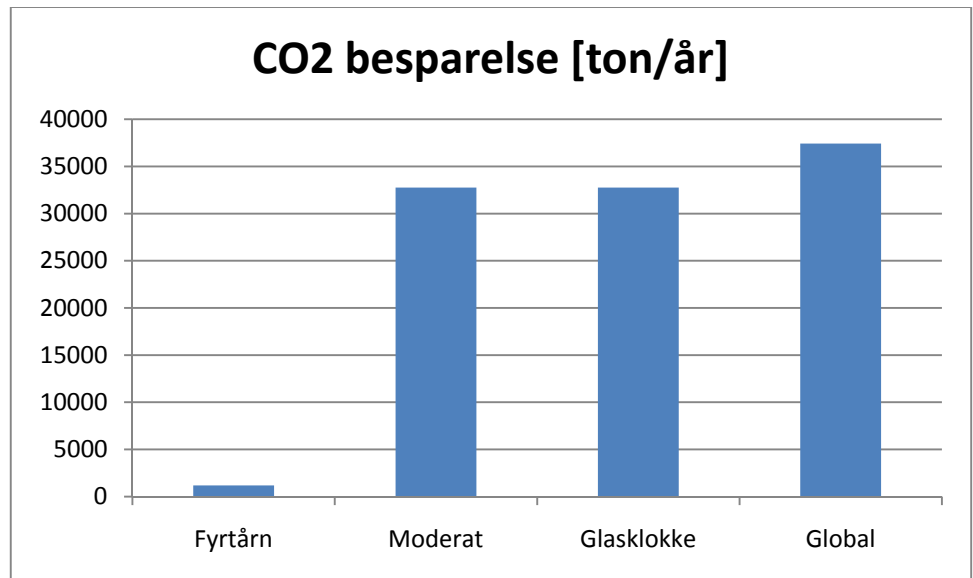
² Primært energiforbrug: Begrebet "primært energiforbrug" benyttes bl.a. i forbindelse med energirammeberegninger i Be06, hvor man lægger en CO₂-mæssig afvejning ind ift. elforbrug kontra varmeforbrug. "Energistyrelsen har besluttet, at der til brug for vurdering af bygningers energiramme anvendes en faktor på 2,5 ved sammenvejning af el med henholdsvis gas, olie og fjernvarme" (SBI Anvisning 213). Dette betyder, at det faktiske elforbrug multipliceres med en faktor 2,5 for at få det "primære energiforbrug". I det nye BR10 benyttes yderligere en faktor 0,8 på fjernvarme-behovet i lavenergi-klassen 2015.

³ Traditionel fjernvarme: Der er taget udgangspunkt i middeltal for fjernvarmen i Danmark.

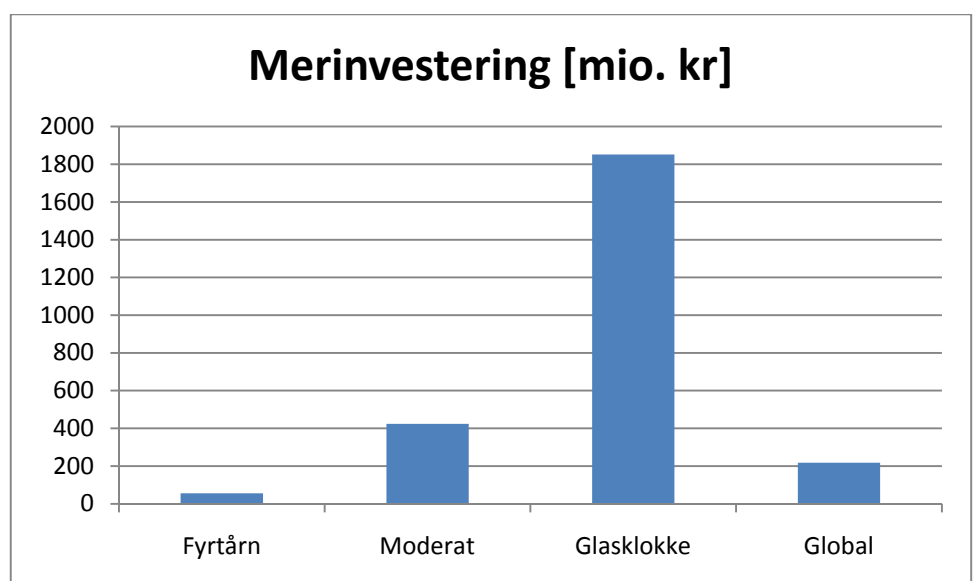
3.2.1 Sammenligning af nøgletal

De generiske eksempler på bæredygtig byudvikling er sammensat ud fra elementer i konkrete eksempler – men forsimplede, så de illustrerer vigtige pointer gennem deres nøgledata. De giver anledning til diskussion, idet specielt investering i energi og CO₂ besparelser og tilbagebetalingstider er meget forskellige i de fire generiske eksempler.

I det følgende sammenlignes og diskuteres nøgledata for de fire eksempler.

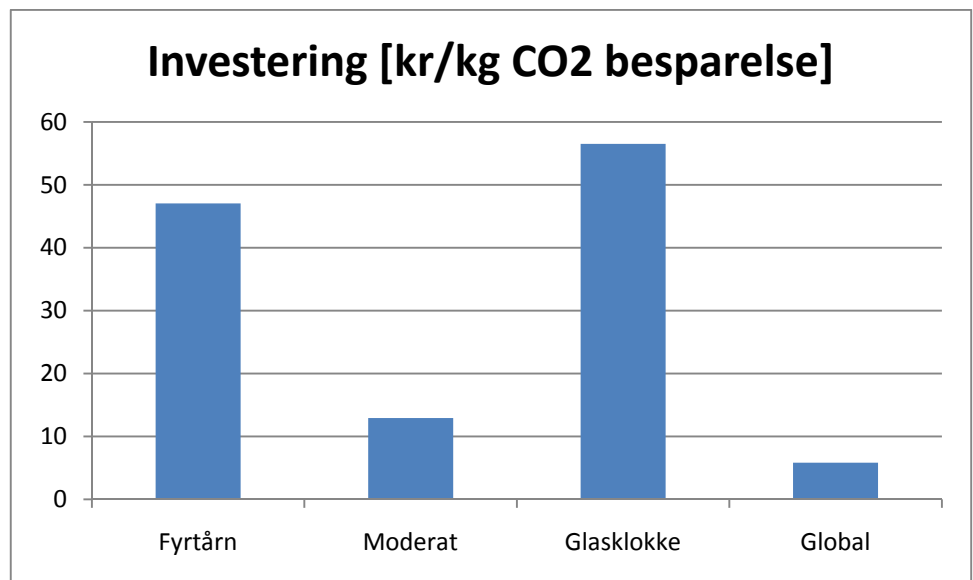


Som det ses på figuren ovenfor giver Det Bæredygtige Fyrtårn kun en begrænset reduktion af CO₂ belastningerne, mens de øvrige modeller har store CO₂ besparelser. For alle eksemplerne, på nær Det Bæredygtige Fyrtårn, er CO₂ besparelserne så store, at de modsvarer CO₂ bidraget fra energiforbruget i bygningserne i en bydel.



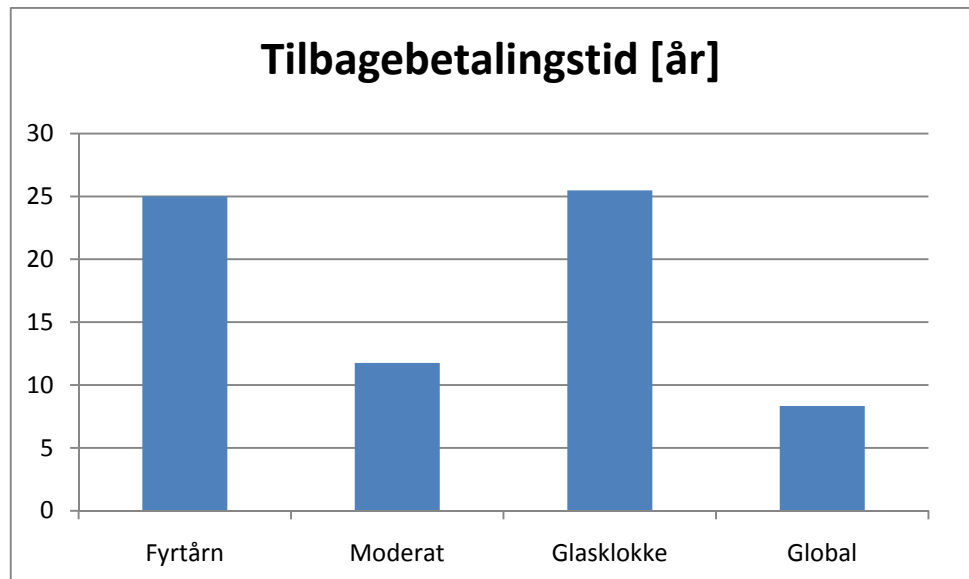
I figuren ovenfor ses merinvesteringen i energiltag for modellerne. Det ses at investeringen er væsentligt lavere for Den Moderat Bæredygtige By og endnu

lavere for Den Globale Løsning sammenholdt med Den Bæredygtige Glasklokke, selv om CO₂ besparelserne for disse tre løsninger er næsten lige store. Årsagen til dette er primært, at investeringen i vindmøller er væsentligt lavere end investering i solceller og lavenergibyggeri i byområder for opnåelse af samme CO₂ reduktion. Der skal således investeres ca. 8 gange mere for at opnå reduktionen i Den Bæredygtige Glasklokke som for opnåelse af samme besparelse i Den Bæredygtige Globale By.



Ovenfor er vist investeringsprisen for opnåelse af 1 kg årlig CO₂ reduktion. Priser for Fyrtårnet (solceller) og Den Bæredygtige Glasklokke (bedre bygninger + solceller) er næsten ens. Derimod er investeringsprisen ved Den Globale By for opnåelse af 1 kg årlig CO₂ reduktion henholdsvis ca. 8 og 10 gange lavere end for henholdsvis Fyrtårnet og Den Bæredygtige Glasklokke.

Den Moderate Bæredygtige By ligger på et niveau væsentligt under Fyrtårnet og Den Bæredygtige Glasklokke, men den moderate løsning kræver stadig en ca. dobbelt så stor investering som den globale løsning pr. kg. CO₂ reduktion.



Ovenfor er vist simpel tilbagebetalingstid for de 4 eksempler udregnet som investering delt med værdi af årlig energibesparelser.

Det ses her, at den simple tilbagebetalingstid for Fyrtårnet og Glasklokken er ca. 25 år, mens den for Den Globale By er ca. 8 år. Den Moderate Bæredygtige By har en tilbagebetalingstid på ca. 12 år.

Den Globale By har således en simpel tilbagebetalingstid som er ca. en faktor 3 mindre end for end Fyrtårnet og Glasklokke løsningen. Grunden til at faktoren/forskellen er mindre her, end ved investeringsprisen pr. kg årlig CO₂ reduktion, er, at indtægten fra strøm produceret på vindmøller (Global By) er lavere end indtægten fra el produceret på solceller (Glasklokken), selvom produktionen er den samme.

Dette skyldes at vindmøllestrøm sælges til nettet, mens solcellestrøm modregnes i eget forbrug. Energiprismæssigt betyder det, at solcellestrømmen sparer bydelen for elafgifter for den strøm, der modregnes, mens brugerne i bydelen ved vindmøller stadig skal betale fulde afgifter for strømforbrug.

3.2.2 Simplificeret økonomisk opstilling

Formålet med at opstille simplificerede overslag på økonomi og energi for de generiske eksempler er, at illustrere forskelle i investeringsomkostninger og forskelle i hvor stor CO₂ reduktion, der opnås pr. investeret krone.

Opstillingen af de økonomiske beregninger er stærkt forenklede og der ses ikke på f.eks. levetider, driftsudgifter, tab i distributionssystemer, udvikling i brændsels- og energipriser og drift af energisparetiltag og vindmøller, fremtidig lovgivning og mange andre faktorer, som kunne have indflydelse på, hvordan økonomien vil være i en virkelig situation.

Det må dog forventes - selv med de ovennævnte faktorer indflydelse på den samlede investering og pris pr. kg reduceret CO₂ for alle eksempler - at det samlede billede af forholdet mellem nøgletallene ikke ændres væsentligt.

I afsnit 3.3 samt bilag 2 er resultaternes følsomhed i forhold til en række af de ovenfor nævnte faktorer analyseret.

Ses der isoleret på CO₂ reduktion per investeret krone kan der, ved en sammenligning af nøgletal for de fire generiske eksempler, umiddelbart drages følgende forenklede konklusion:

Generelt opnås større CO₂ reduktion pr. investeret krone ved investering i vindmøller eller i større biomasseanlæg udenfor nye byområder, end der gør ved investering i energibesparende tiltag for opnåelse af lavenergibyggeri og investering i lokale vedvarende energianlæg (solceller) placeret i nye byområder.

3.3 Fremtidig udvikling - følsomhedsanalyser

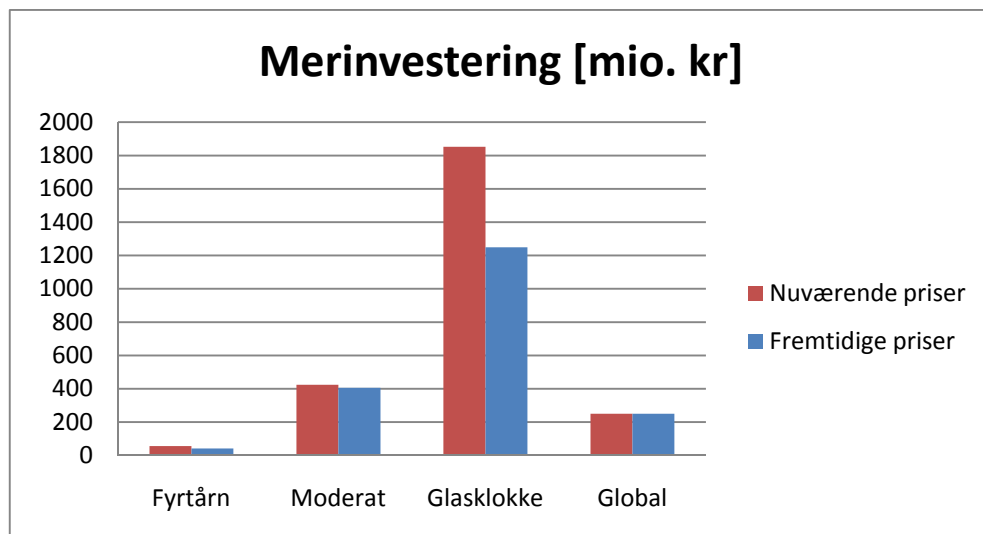
Der er gennemført en række følsomhedsanalyser, for at sikre berettigelsen af resultaterne i de forudgående afsnit. Her præsenteres kort resultaterne af de analyser, der overordnet beskriver, hvad der forventes at ske for følgende to scenarier:

- Hvad sker der, når energibesparende tiltag i bygninger samt solceller udvikles yderligere og bliver billigere i fremtiden?
- Hvad sker der, hvis der sker ændringer i energipriser og afgifter?

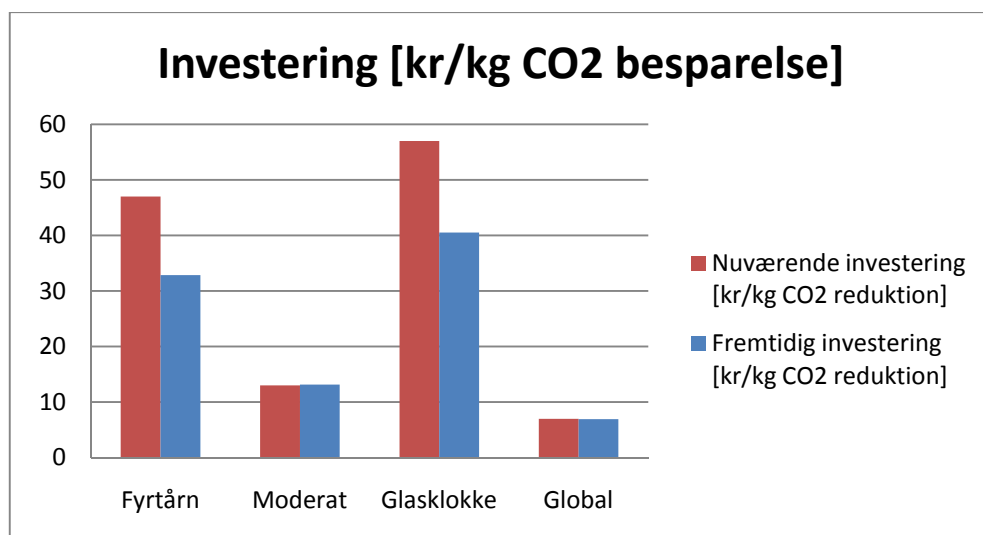
For yderligere information om disse følsomhedsanalyser samt supplerende analyser henvises til bilag 2.

I eksemplerne er energipriser baseret på 2010 prisniveau. Omkostningerne for opfyldelse af lavenergi klasse 2015 og 2020 og anlægsudgifter for solcelleanlæg er baseret på data fra SBI rapport "*Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse*", suppleret med erfaringstal. Yderligere information om beregningsgrundlag, se bilag 1 Beregningsforudsætninger.

I SBI rapporten "*Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse*" er der også estimeret fremtidige anlægspriser på såkaldte optimerede byggeløsninger - kaldet "fremtidige priser" i figurene herefter.



Hvis der i eksemplerne regnes med disse fremtidige scenarier for anlægspriser, og med havvindmøller i stedet for landvindmøller⁴, ændres investeringsbehovet så det bliver som angivet i ovenstående figur.



Tilsvarende ændres investering i kr./kg CO₂ besparelse som vist i ovenstående figur.

Figurerne viser, at selv om teknologierne for energibesparelser i bygninger og solceller optimeres og udvikles så priserne reduceres med f.eks. en tredjedel, så vil investering i vedvarende energianlæg, f.eks. vindmøller, uden for byområderne stadig kræve markant mindre investering pr. kg CO₂ besparelse.

Det Globale eksempel, der bygger på vindmøller, har stadig en lavere CO₂-pris sammenlignet med glasklokkeløsningen, som omfatter lokale solceller og lavenergibyggeri.

⁴ I de fremtidige eksempler regnes med havvindmøller i stedet for landvindmøller, da det forventes at udbygningen af vindenergien i Danmark primært vil foregå offshore i fremtiden.

De gennemførte følsomhedsanalyser vedrørende en ændring i energipriser (Bilag 2) viser, at en stigende pris vil gøre forskellen mellem tilbagebetalingstiderne i de generiske eksempler mindre, men at det samlede billede af forholdene mellem eksemplerne opretholdes.

Ændringer i energipriser og afgifter vil ikke ændre på investeringsbehovet eller i investering i kr. pr. kg CO₂ reduktion for forskellige teknologier. Til gengæld vil det ændre på tilbagebetalingstiderne for investeringerne. Disse ændringer forventes kun i mindre omfang at ændre på det samlede billede af forholdet mellem tilbagebetalingstider for forskellige teknologikoncepter.

I fremtidens energiforsyning forventes det, at der indpasses mere vedvarende energi. Den vedvarende energi vil udfordre forsyningsikkerheden, idet det ofte er vanskeligt at regulere produktionen efter behovet.

For vindmøller kan dette medføre, at der enten ikke er tilstrækkelig produktion til at dække behovet, eller der produceres mere, end der kan afsættes.

For f.eks. biomasse kan der være begrænsning af tilgængelige ikke "spiselige" ressourcer, hvilket i fremtiden kan begrænse mulighederne for udbygninger med store biomasse kraftvarmeværker.

Der kan således være overvejelser om der er begrænsninger for hvor meget vedvarende energi, der kan indpasses i vores energisystem.

Både Energistyrelsen og de fleste større aktører på energimarkedet forventer dog, at der i de nærmeste år vil kunne indpasses en del mere vedvarende el i vores forsyningsystemer, og f.eks. både vindkraft og biomasse vil kunne udbygges. Dette understøttes blandt andet også af Klimakommissionens resultater og anbefalinger (september 2010).

Hvis der i fremtiden installeres flere varmepumper, anvendes elbiler, etableres intelligent strømstyring og afregning, samt kraftigere kabelforbindelser til vores nabolande, vil der kunne indpasses stadig større mængder af vedvarende energi i vores forsyningsnet.

4 Konkrete eksempler på bæredygtig byudvikling

De efterfølgende fire konkrete eksempler viser, hvordan prioriteringer, visioner, målsætninger, fokus i forhold til bæredygtighed osv. kan variere fra projekt til projekt. De konkrete eksempler er valgt for at vise, hvordan bæredygtig byudvikling også i virkeligheden gribes forskelligt an, afhængig af lokale forhold, muligheder, interesser og ikke mindst valgt strategi.

De fire eksempler illustrerer virkelige fortolkninger af de generiske eksempler "Det Bæredygtige Fyrtårn", "Den Bæredygtige Glasklokke" samt "Den Globale Bæredygtige By", som er de tre mest forskelligartede generiske byudviklings typer.

De to eksempler, Masdar City og Samsø VEØ, er begge højt profilerede foregangsprojekter indenfor energi og CO₂ området, og med hver deres strategi:

- Samsø VEØ er et eksempel på en bæredygtig global løsning, hvor opnåelse af energi og CO₂-neutralitet primært sker ved udbygning af vedvarende energi i energiforsyningen.
- Masdar City er et eksempel på et projekt med en målsætning om, at udføre en samlet lokal løsning for forbrug og forsyning indenfor et afgrænset område, og på denne måde opnå energi og CO₂-neutralitet. Masdar City kan altså ses som et eksempel på en bæredygtig glasklokke-løsning.

Eco Viikki og Hafen City er begge projekter, der arbejder med en bred tilgang til bæredygtig byudvikling. Disse projekter er ikke i samme grad fokuseret på energi og CO₂, som de førstnævnte eksempler. Her bliver de bymæssige og sociale kvaliteter oftere fremhævet i forbindelse med beskrivelser af disse projekter.

Eco Viikki og Hafen City er to forskellige eksempler på Det Bæredygtige Fyrtårn. Hafen City kan desuden karakteriseres som en bæredygtig byomdannelse, hvor et nedslidt havnemiljø omdannes til en bydel med beboelse, erhverv og kultur i centrum af Hamburg.

De fire konkrete eksempler underbygger forestillingen om, at man ikke kan definere én given universel løsning, som værende den bedste for byudviklingsprojekter - det rigtige ambitionsniveau og de rigtige prioriteringer afhænger af den kontekst, projektet skal placeres og integreres med.

I beskrivelserne af de virkemidler, der benyttes i de fire konkrete eksempler, henvises løbende til mere uddybende beskrivelser af de enkelte teknologier i teknologikataloget (Del 2).

4.1 Eco Viikki, Finland



Eco Viikki er et konkret eksempel på, hvordan et byudviklingsprojekt kan udføres som et "Bæredygtigt Fyrtårn".

Eco Viikki er et boligområde beliggende i en større nyopført by Viikki nær Helsinki i Finland og er et demonstrationsområde for byøkologi. Det samlede Viikki omfatter ud over boligområder også forsknings-, undervisnings- og servicerelateret byggeri.

Eco Viikki er opført på baggrund af en masterplankonkurrence og en række arkitektkonkurrencer, hvor udbyder har stillet krav til forbrug af el, varme og vand og ladet det være en del af konkurrencebesvarelsen at foreslå virkemidler og teknologier. Kravet var, at alle virkemidler skulle kunne implementeres inden for byområdet, idet der ikke ville blive taget yderligere overordnede initiativer på forsynings- eller infrastrukturområderne.

Det har været et klart ønske fra udbyders side, at de bæredygtige tiltag skulle være synlige i arkitekturen som signalværdi.

ECO VIIKKI i tal og overskrifter	
Bebyggelse	Nyopført boligområde i større bydel, Helsinki. Samlet område er blandet bolig, service og uddannelsesområde.
Areal / omfang	Eco Viikki: 23 Ha, ca. 750 boliger fordelt på 60-70.000 m ² boligareal, ca. 1700 beboere. Viikki (2012): 1.100 Ha, hvoraf 300 Ha bebygges. 18.000 indbyggere, 6.000 studiepladser, 7.000 arbejdspladser. Ca. 40 tegnestuer og 10-12 byggefirmaer involveret.
Opførelse	2004 – (forventes udbygget i 2012)
Teknologier	El: Solceller (0,7 % af samlet elforbrug). Varme: Fjernvarme fra solvarme (10 % af samlet varmekonsum). Vand: Lokal nedsivning, brug af regnvand. Bygningsmæssige tiltag: Naturlig ventilation, varmegenvinding, vandbesparende installationer.
Byudviklingstype	Det Bæredygtige Fyrtårn

4.1.1 Overordnet koncept

Kravene til Eco Viikki på bydelsniveau fokuserer på fem overordnede miljøparametre:

- Forurening (CO₂ emissioner, vandforbrug, bygningsaffald, dagrenovation, miljømærkning af byggematerialer)
- Forbrug af naturlige ressourcer (Energiforbrug i livscyklus: Opvarmning/varmt vand, elforbrug, fleksibilitet og tilpasningsevne)
- Sundhed (Indeklima, fugt, støj, vind og sol, alternative boligplaner)
- Biodiversitet (Valg af bevoksning/biodiversitet, regnvand)
- Ernæring (Dyrkning af nytteplanter)

Kravene danner baggrund for en finsk vurderingsmetode for bæredygtigt byggeri; PIMWAG⁵. De fem parametre udgør strukturen for et pointsystem til bedømmelse af byggeprojekternes bæredygtighed. Et projekt kan opnå max. 30 points, og ved mere end 10 points vurderes projektet at have ”udmærkede bæredygtige egenskaber”. Alle projekter i Eco Viikki skulle mindst overholde minimumskravene (= 0 points). Projektforslagene i Eco Viikki opnåede i gennemsnit 12 points med 17 points som det højeste.

4.1.2 Virkemidler

Solvarme

Forskellige typer solvarmeanlæg, monteret på ni ejendomme med i alt 368 lejligheder (jf. teknologiark D-1). Flere anlægstyper og opsætninger er valgt for at

⁵ Se mere om PIMWAG og Eco Viikki her: <http://cic.vtt.fi>

afprøve muligheder. Solvarmen forsyner ca. halvdelen af Eco Viikkis boliger med varmt brugsvand, og i enkelte tilfælde gulvvarme i vådrum. I alt dækkes ca. 10 % af bydelens forbrug af varmt vand og opvarmning på årsbasis med solvarme, resten kommer fra fjernvarme.

Solceller

Bygningsintegrerede, nettilsluttede solcelleanlæg benyttes på enkelte boligbebyggelser (jf. teknologiark D-3). I alt har 6 % af lejlighederne solceller som supplerende elforsyning, hvilket dækker 0,7 % af Eco Viikkis samlede elforbrug med vedvarende energi.

Regnvand

Hovedsageligt lokalt nedsivet regnvand og opsamling af regnvand til havevanding. (Jf. kapitlet Vand i Del 2)

Infrastruktur / transport

Der er halvt så mange parkeringspladser pr. m² i Eco Viikki som i traditionelle boligområder. Der foreligger ikke præcise data for offentlig transport, men det nævnes at hjemmearbejdspladser og lokale arbejdspladser er hyppige, samt at beliggenheden i udkanten af Helsinki giver gode kollektive transportmuligheder.

Energibesparelser

For opnåelse af energibesparelser i byggeriet har der været særlig fokus på naturlig ventilation og varmegenvinding.

Ud over naturlig ventilation og varmegenvinding er der også arbejdet med optimering af forbrug i boligerne, primært med hensyn til varmeforbrug og vandforbrug.

Kravene til Eco Viikki tager udgangspunkt i det finske bygningsreglement fra 1997 hvor der, i lighed med det danske BR95, kun blev stillet krav til varmeforbruget. Resultatopgørelserne er fokuseret på det enkelte byggeri frem for byområdet som helhed. Betingelserne er således ikke helt sammenlignelige med BR10.

I de enkelte forslag til bebyggelser var der desuden krav til overholdelse af minimumskravene i certificeringssystemet PIMWAG.⁶ I praksis har det dog vist sig, at energi- og PIMWAG-kravene ikke har kunnet overholdes; energiforbruget har vist sig 15 % højere end forventet, men dog stadig 25 % lavere end daværende krav til boligbyggeri i Helsinki.

4.1.3 Vurdering

Eco Viikki er lagt ud som en økologisk bydel, hvor indsatsen primært konkretiseres i de enkelte bebyggelser med fokus på minimering af ressourceforbrug, samt i begrænset omfang bygningsintegreret energiforsyning. På bydelsniveau er varmforsyningen baseret på fjernvarme.

⁶ Se mere om de faktiske resultater i *Eco-Viikki - Aims, Implementation and Results*, City of Helsinki & Ministry of the environment, 2005.

Eco Viikki er et godt eksempel på, hvordan Det Bæredygtige Fyrtårn kan fortolkes i virkeligheden - hvor det er forskellige lokale tiltag, der bibringer et bæredygtigt islæt til bydelen.

Hensigten med at stille overordnede krav om bæredygtighed i arkitektkonkurrencer frem for krav til specifikke løsninger, var at fremme innovation og nytænkning af både sammensætning af teknologier og arkitektur.

I de realiserede byggerier benyttes primært en sammensætning af kendte løsninger såsom naturlig ventilation, varmegenvinding, passiv solvarme, blandede hustyper og boformer, beboertæthed og vandbesparende installationer.

4.2 Hafen City, Hamburg



Hafen City er et eksempel på, hvordan en bæredygtig byomdannelse kan ske med udgangspunkt i en "fyrtårns-tilgang".

Det tidligere havne- og industriområde ved Elben i centrum af Hamburg havde mistet sin oprindelige betydning med etablering af containerhavne i udkanten af byen. Havneområdet, som flere steder var stærkt forurenet som følge af tidligere aktiviteter, er under omdannelse med offentlige rum, kultur og uddannelse, boligområder og erhverv i direkte forbindelse med Hamburg centrum.

En masterplan, som fastlægger infrastruktur, forsyning og fordeling af bebyggelsestyper, er resultat af en tværfaglig planlægningsproces, en international konkurrence samt både en offentlig og en politisk debat.

Det helt overordnede træk ved området er den intensive udnyttelse af et tidligere forurenet, centrumnært byområde - frem for udvidelse af byen i periferiens ubebyggede områder. Dette påvirker især transport og bevarelse af landområder positivt – samt tilfredsstillende ønsket om nærhed mellem arbejde, hjem og fritid. Hafen City betegnes som "Brownfield development", som, i modsætning til "Greenfield development", udnytter eksisterende, forurenede områder frem for nyt land.

Hafen City Hamburg i tal og overskrifter	
Bebyggelse	Blandet erhverv, boliger, kultur- og uddannelsesinstitutioner med fritidsaktiviteter og offentlige rum i tidligere havne- og industriområde ved Elben, centrum af Hamburg.
Areal / omfang	155 ha. 10 km stisystem/promenade og 22 ha park/byrum. 600.000 m ² boligareal / 5.000 boliger / 12.000 indbyggere. 950.000 m ² erhverv / 40.000 arbejdspladser. Resterende areal: kultur- og uddannelsesinstitutioner.
Opførelse	Masterplan fra 2000. Nogle områder er færdige, andre under udvikling og opførelse.
Teknologier	Plan/byudviklingstype: Fortætning og udnyttelse af centrumnært område, rekreative områder især langs vandet. Transport: U-Bahn og brændselscelle baseret busnet, stisystemer til gående og cyklister, udelukkende underjordisk parkering. Energiforsyning: Fjernvarme (kulfyret, suppleret af affald og naturgas) kombineret med brændselsceller og solvarme.
Byudviklingstype	Det Bæredygtige Fyrtårn / Byomdannelse

4.2.1 Overordnet koncept

Det overordnede koncept er transformation af et forældet havne- og industriområde til bolig, erhverv og kultur i direkte forbindelse med centrum af Hamburg.

Det har været en betingelse for denne transformation, at området er befriet for tidligere forurening og samtidig beskyttet mod store tidevandsforskelle i Elben. Planmæssigt er der lagt vægt på en god offentlig transport og stisystemer, begge dele i sammenhæng med eksisterende systemer, for at begrænse biltrafik. Desuden er området forsynet med fjernvarme som primær varmforsyning. To lokale kraftvarmeværker forventes etableret i området.

Hafen City har udviklet et Ecolabel⁷ system for bygninger, som stiller krav til:

- Energiforbrug (noget mindre end gældende bygningsreglements krav for projektet)
- Vandforbrug og anden håndtering af fælles ressourcer
- Brug af stueplan til diverse retailformål
- Materialer (f.eks. materialer fri for halogener, organiske opløsningsmidler og biocider, certificeret tropisk træ)
- Indeklima
- Bæredygtig drift og vedligehold

⁷ Mere information om projektet og Eco Label på <http://www.hafencity.com>

Bedømmelse sker på projektniveau, så ansøgeren kan bruge Ecolabel (guld eller sølv award) ved salg og markedsføring af bygninger, mens den endelige certificering først sker af det færdigopførte byggeprojekt. 200.000 m² byggeri er allerede meldt ind i systemet, som regnes for en stor succes for Hafen City.

4.2.2 Virkemidler

Varmeforsyning

Fjernvarme (udbygning af det eksisterende fjernvarmenet), kulfyret suppleret med affaldsforbrænding og naturgas, er den primære varmforsyning (jf. teknologiark A-2, B-10 og B-5). Der etableres desuden 1.800 m² solfanger til opvarmning af brugsvand i et enkelt område (jf. teknologiark D-1). Brændselsceller og mindre kraftvarmeværker skal supplere forsyningen, angiveligt for at skabe en fleksibel forsyning (jf. teknologiark B-7 og B-8).

CO₂ udledningen er reduceret med 27 %, sammenlignet med naturgasfyret, traditionelt byggeri.

Offentlig transport / bilparkering

Det eksisterende offentlige transportsystem (U-Bahn kombineret med busdrift) udvides til området. Herudover skal et udbygget stisystem til gående og cyklende minimere biltrafik i område. Det forventes desuden, at byfortætningen vil reducere transportbehovet væsentligt, da afstande i mange tilfælde forkortes. Der planlægges ikke med terrænparkering i Hafen City. Såfremt et projekt etablerer underjordisk parkering må det forventes at være relativt kostbart grundet vandstandsproblematikken.

Udnyttelse af byrum

Der har været stort fokus på rekreative elementer i planlægningen og udnyttelse af nærheden til såvel bycentrum som havnen/vandet. Fravalg af butikcentre er et led i denne strategi.

Virkemidler på bygningsniveau

Nogle af virkemidlerne, der er implementeret i udviklingen af byområdet, er på bygningsniveau. Her lægges vægt på at opnå Hafen City Gold Label.

Der er bl.a. benyttet naturlig ventilation i flere bygninger, hvilket delvist eliminerer behovet for køling.

4.2.3 Vurdering

Den miljømæssige tilgang i Hafen City rejser spørgsmålet om, hvilke krav og forventninger, der skal stilles til byomdannelse, især i historiske omgivelser. Hafen City prioriterer livskvalitet og rekreative værdier i den overordnede plan.

Bydelen, der bidrager til Hamburg Centrum, har bragt byen i forbindelse med floden og har skabt liv i et tidligere lukket og nedslidt industriområde. Der er sket genanvendelse af gamle bygninger på nye måder, og hele byen har fået tildelt store rekreative værdier med implicite miljømæssige fordele.

Denne udvikling af de bymæssige og bynære kvaliteter giver også implicite miljømæssige fordele.

4.3 Masdar City, Abu Dhabi



I oliestaten Abu Dhabi er Emiren ved at bygge verdens første CO₂-frie by - et eksempel på et byudviklingsprojekt med klare referencer til det generiske eksempel; Den Bæredygtige Glasklokke.

Der er afsat 73 milliarder kroner til byen, som med sine seks kvadratkilometer skal huse 50.000 indbyggere og 1.500 forretninger.

Byen er planlagt til ikke at udlede nogen CO₂, og samtidig kun bruge energi, der er 100 procent bæredygtig. Fossile brændstoffer erstattes af vedvarende energi. Byen forventes at ville reducere det årlige CO₂-udslip med 1,1 millioner ton i forhold til en traditionel by på en lignende lokalitet.

Byen skal bygges af miljøvenlige materialer, snævre skyggefyldte gader skal mindske energiforbruget, al vand skal genbruges og energien skal udelukkende komme fra solcellepaneler, vindmøller og affaldsforbrænding.

"The Masdar Initiative" i tal og overskrifter	
Bebyggelse	Blandet bolig, forskningsinstitutioner, uddannelse og erhverv. Planlagt for 50.000 beboere, 1500 forretninger og et ukendt antal institutioner og uddannelsessteder.
Areal	6 kvadratkilometer.
Opførelse	Opførelsen påbegyndt 2008, og de første bygninger færdigopføres i 2010.
Teknologier	Solceller, solvarme, vindmøller, brint, affaldsforbrænding, genanvendelse af vand og affald, elbiler og andet.
Byudviklingstype	Den Bæredygtige Glasklokke.

4.3.1 Overordnet koncept

Konceptet for bydelen er, at tiltrække forretninger, vidensinstitutioner, videnskabsfolk, studerende og andre med interesse i udvikling af bæredygtige teknologier, gennem massiv markedsføring af byen som den mest bæredygtige by i verden.

Det har ikke været muligt at finde informationer om selve det tekniske koncept for byen, men der er lagt op til, at der vil blive anvendt et bredt spektrum af både nuværende og fremtidige teknologier for opnåelse af den mest bæredygtige by i verden. Specielt synes der at være stort fokus på fremtidige teknologier, som samtidig kan være med til at "brande" byen.

4.3.2 Virkemidler

Virkemidlerne og ikke mindst de økonomiske ressourcer, som forventes anvendt i byområdet, er mange. Som udgangspunkt regnes der således med, at der anvendes blandt andet:

- Solceller (jf. teknologiark D-3)
- Solvarme (jf. teknologiark D-1 og D-2)
- Vindmøller (jf. teknologiark D-4 og D-5)
- Brint (jf. teknologiark B-8 og E-1)
- Affaldsforbrænding (jf. teknologiark B-10)
- Elbiler (jf. teknologiark E-2)
- Genanvendelse af vand (jf. kapitlet Vand i teknologikataloget Del 2)
- Genanvendelse af affald

4.3.3 Vurdering

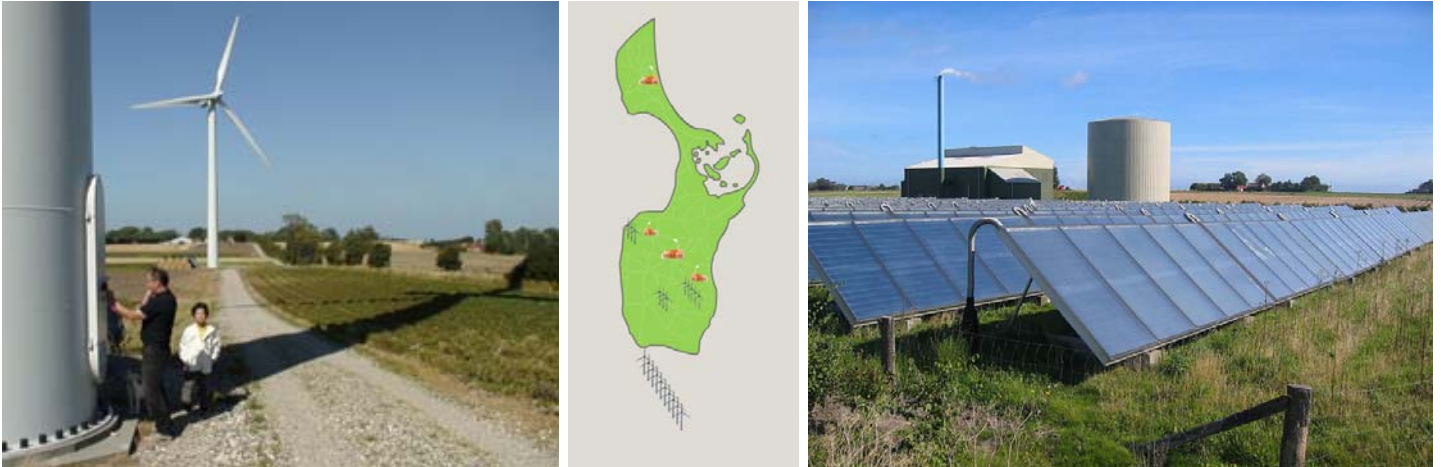
Masdar City kan blive et eksempel på, hvordan en bydel kan opføres så denne bliver selvforsynende ved hjælp af bæredygtige teknologier.

Masdar City vurderes at være af byudviklingstype "Den Bæredygtige Glasklokke", da det er målet, at byen skal være selvforsynende. Dog ses der også

træk fra typen "Det Bæredygtige Fyrtårn", da der fokuseres meget på branding og synlighed af bæredygtighed.

Byen er dog endnu ikke opført, og en vigtig forudsætning for at dette sker, er at der investeres store pengesummer i byen og i de bæredygtige teknologier.

4.4 Samsø – Danmarks Vedvarende Energi Ø



Efter at have vundet en konkurrence, udskrevet af Energiministeriet i 1997, om at blive Danmarks Vedvarende Energi Ø (VEØ), startede realisering af den 10 års plan, som skulle gøre Samsø 100 % selvforsynende med vedvarende energi i 2008.

Målsætningen er nået med en kombination af mange vedvarende energiforsyningsteknologier: Vindenergi, solenergi (varme + el), biomassefyret fjernvarme samt mange private anlæg for jordvarme, solvarme og pillefyr. Da teknologiudviklingen stadig ikke giver tilstrækkelig mulighed for vedvarende energi til transport, har man valgt at opføre yderligere vindmøller, som (mere end) kompenserer for forbruget af transportenergi, såvel til lands som til vands.

Altså kan Samsø VEØ tilnærmelsesvis karakteriseres som et eksempel på en global bæredygtig løsning.

Samsø i tal og overskrifter	
Bebyggelse	Eksisterende bebyggelse: Seks landsbyer og ca. 300 boliger i det åbne land. 4000 indbyggere og 2100 helårsarbejdspladser.
Areal	114 kvadratkilometer ø, åbent land og by.
Opførelse	Planlægningsperiode fra 1997 og fremefter. VE projekterne er opført i perioden 2000 og fremefter.
Teknologier	El: Vindenergi – 100 % forsyning. Varme: Biomassefyret fjernvarme og individuelle anlæg for jordvarme, solvarme og pillefyr – 70 % forsyning. Transport: Afventer teknologiske muligheder - kompenseres mere end 100 % af el-produktion fra havvindmøller.
Byudviklingstype	Den globale bæredygtige løsning, Områdeomdannelse.

4.4.1 Overordnet koncept

Samsø og fire andre danske øer fik i 1997 stillet midler til rådighed af Energiministeriet til at udarbejde forslag til at være Vedvarende Energi Ø. Samsø vandt og arbejdede videre på en plan om at blive 75 % forsynet med vedvarende energi fra landbaserede vindmøller, det resterende fra andre VE-kilder.

Det videre planlægningsarbejde har indebåret såvel tillæg til regionsplan, EU projektmidler og et stort lokalt formidlings- og dialogarbejde. De 11 landvindmøller stod færdige i 2001 og dækker 100 % af Samsøs elforbrug.

Det overordnede koncept har været at udnytte lokale ressourcer – primært vind og biomasse. Derudover har man spredt sig over en lang række teknologier og forsyningsprincipper, afhængigt af behov og muligheder. Landsbyerne er f.eks. primært forsynet med fjernvarme fra fire biomasseforsynede fjernvarmeværker, mens bebyggelser i det åbne land har individuelle anlæg. Der mangler stadig 30 % dækning af VE varmforsyning, som forventes at nås med både individuelle og kollektive forsyninger samt energibesparelser.

Projektet betegnes stadig som ”igangværende”, og fremtidsplanerne omfatter – ud over ovenstående – at fokusere på VE forsyning af transport på øen samt færgetrafikken.

4.4.2 Virkemidler

Varmeforsyning – halmfjernvarme og solfangere/flisfyr

Øen har to typer halmværker: Ét som fyrrer med hele halmballer og to med snittede halmballer (jf. teknologiark B-3). Samlet produktion for de tre værker dækker ca. 710 husstande og institutioners forbrug. Finansierings- og ejerformer er forskellige for de tre værker – hhv. ejet af et forsyningssselskab, af forbrugerne og af en privat entreprenør.

Det sidste varmeværk er baseret på 2.500 m² solfangere (jf. teknologiark D-2) og et flisfyr (jf. teknologiark B-3). Værket ejes af forsyningsselskabet.

I opstartsfasen af alle værkerne kunne forbrugerne tilslutte sig for kun 100 kr. pr. tilslutning. Dette skabte et stort kundeunderlag, og derved skabtes grundlaget for at starte opførelse af værkerne. Efterfølgende tilslutning sker på kommercielle vilkår.

Elforsyning – vindmøller på land

11 stk. 1MW vindmøller er opstillet i tre områder på Samsø og dækker lidt mere end øens samlede elforbrug – den gennemsnitlige årsproduktion er på 28.000 MWh. Møllerne er koblet på elnettet, så overskydende el sælges til fastlandet – tilsvarende købes fra nettet, når egenproduktionen er mindre end forbruget (jf. teknologiark D-5). Ni møller ejes af landmænd og de sidste to ejes af lokale vindmøllelaug med i alt 450 medlemmer.

Kompensation for transport – vindmøller til havs

10 stk. 2,3 MW havvindmøller er opstillet syd for Samsø. De producerer mere energi end der forbruges til transport på øen samt færgetrafikken. Møllerne er koblet på elnettet og genererer således et energimæssigt og økonomisk overskud. Kommunen ejer halvdelen af møllerne og anvender overskuddet til nye energiprojekter.

Individuelle løsninger

Der er ca. 1.200 individuelle boliger i det åbne land på Samsø, og heraf har ca. 300 udskiftet oliefyret med vedvarende energiløsninger – solfangere, pillefyr, massefyr eller andet biomassefyr (jf. teknologiark D-1, B-1, B-13). Desuden er der installeret varmepumper enten til jord eller luft – hvilket bliver mere miljøvenligt efterhånden som strømmen hertil produceres miljøvenligt (jf. teknologiark C-4, C-5 og C-6). Der gøres en fortsat indsats for at få boligejerne til at udskifte oliefyret med VE-løsninger. Varmepumperne anses for den mest brugervenlige løsning, mens biomasseløsningerne er den billigste.

Enkelte biler og traktorer er omstillet til bioethanol, men ellers er transportsektoren det område, som er mindst berørt af VEØ-projektet.

Husstandsvindmøller, individuelle solcelleanlæg, rapspresser mv. findes også på øen (jf. teknologiark D-4 og D-3).

Andre miljøtiltag

Der foregår en del økologisk fødevarerproduktion på øen, og mange landbrug er omstillet til økologisk drift.

I forbindelse med energitjek af ejendomme fokuseres der på såvel energi- som vandbesparelser.

4.4.3 Vurdering

Samsø har etableret Samsø Energiakademi⁸, som samler, bearbejder og formidler data og erfaringer fra alle dele af VEØ-projektet. Mere end 5.000 politikere, ambassadører, embedsfolk, journalister, forskere, skoleklasser og privatpersoner fra ind- og udland besøger hvert år Samsø for at studere vedvarende energi.

På mange måder er Samsøs VEØ på én gang både et fyrtårnsprojekt med kraftigt fokus på energi, et (meget stort) glasklokkeprojekt med kraftigt fokus på at være selvforsynende med energi, samt et globalt projekt i mindre skala. Det sidste i og med at elproduktionen er koblet på nettet og havvindmøllerne kompenserer for fossilt energiforbrug til transport.

Der har været lagt meget vægt på økonomisk rentabilitet, selvom der givetvis også er eksempler på anlæg, som er båret af holdninger og bevidste ønsker om at være miljøvenlig.

Der har været en bred opbakning til projektet, og der har været stort fokus på samspillet mellem parterne, hvilket er en af grundene til projektets åbenlyse succes.

⁸ Mere information kan bl.a. findes på: <http://www.energiakademiet.dk/>

DEL 2

Teknologikatalog

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion til teknologikataloget	42
1.1	Valg af teknologier	42
1.2	Forklaring af tabellerne	42
1.2.1	Tabeller - overblik over teknologier	46
2	Læsevejledning - teknologiark	68
2.1	Afgrænsning af bæredygtige teknologier	70
3	Forsyningsnet	71
4	Energiproduktion ved forbrænding	78
5	Varmepumper og kølemaskiner	92
6	Vedvarende energi	106
7	Energilagring og forbrugsstyring	114
8	Vand	119

1 Introduktion til teknologikataloget

Kataloget er udarbejdet for at understøtte, kvalificere og inspirere beslutningsprocessen omkring valg af forsyningsteknologier ved byudvikling.

Selve teknologikataloget skal ses som inspiration til den indledende vurderings- og analyseproces i forbindelse med udviklingen af en bæredygtig forsyningskoncept for et byudviklingsprojekt. Denne proces er ofte kompleks, og mål og midler er mange.

Teknologikataloget giver et overblik over en lang række teknologiers egenskaber. Teknologierne beskrives kort og præcist med angivelse af fakta, der vurderes væsentlige for beslutninger omkring valg af bæredygtige teknologier, mens øvrige tekniske detaljer og informationer er søgt udeladt.

1.1 Valg af teknologier

Ved udvikling af eksisterende og nye byområder skal der tages stilling til forsyningsteknologierne. Der kan ofte vælges mellem en række teknologier, som alle synes bæredygtige, som angivet i teknologiarkene. Oftest vil der dog for et konkret område være teknologier, som umiddelbart vil være mere egnede end andre. Da teknologierne som regel skal kombineres for at give den ønskede dækning, er det desuden vigtigt at sammensætte teknologierne på den rigtige måde, såvel økonomisk som miljømæssigt.

For i den indledende fase hurtigt at få et overblik over hvilke teknologier, der vurderes som mest egnede, er der lavet en række skemaer over alle teknologierne i det efterfølgende teknologikatalog. Her er det angivet i hvilke situationer den enkelte teknologi med fordel kan anvendes, hvornår den måske kan anvendes og hvornår den formentlig ikke kan anvendes.

For hver teknologi er der henvisning til det teknologiark, som beskriver teknologien mere detaljeret. Desuden er der refereret til teknologiark for teknologier, som det er relevant at kombinere den pågældende teknologi med.

1.2 Forklaring af tabellerne

Tabellerne i afsnit 1.2.1 giver overblik over energiteknologier, deres virkemåde, hvornår de kan anvendes og hvilke teknologier de med fordel kan kombineres med. Tabellerne er inddelt i følgende kategorier:

A. Forsyningsnet

Under forsyningsnet er opført netværk, der forbinder alle, eller de fleste, bygninger i det betragtede område. Det er de kendte el, gas og fjernvarme, men fjernkøling er også medtaget. Disse net er ofte forudsætning for de øvrige teknologier, som er beskrevet i de andre tabeller. I andre tilfælde distribuerer de den forsyning, som teknologierne har produceret, ud til forbrugsstederne.

B. Energiproduktion ved forbrænding

Her beskrives enheder, der omformer et brændsel (forsyning fra ovenstående forsyningsnet eller brændstoffer som olie, kul eller biomasse) til varme og/eller køling og/eller el. Det omfatter altså hovedsagelig kedler og kraftvarmeværker.

C. Varmepumper, køle-/varmemaskiner og kølemaskiner

Alle teknologier i dette afsnit producerer varme eller køling baseret på varmevekslere og varme-kølemaskiner. Teknologierne kræver el eller varme som drivkraft, og ressourcen i de enkelte teknologier er energiindholdet i luft, jord eller vand.

Køling er skrevet til som et særskilt punkt for at fremhæve visse aspekter, når der kun er tale om køleforbrug.

D. Vedvarende energi

Ved vedvarende energi er nævnt en række teknologier som producerer varme eller el, altså uden brug af brændsel eller større mængder el. Det drejer sig om solvarme, solceller, vindmøller, geotermi og bølgekraft.

E. Energilagring og forbrugsstyring

Under energilagring og forbrugsstyring er anført teknologier til lagring af varme, køling og el samt teknologier for styring af elforbrug hos slutbrugere.

F. Genanvendelse af vand

Under genanvendelse af vand er beskrevet metoder for opsamling, rensning og genanvendelse af regnvand og gråt spildevand. Teknologierne begrænser behovet for drikkevand fra grundvandsboringer, samt reducerer afløbsmængderne fra byområder.

Nedenfor er en oversigt over samtlige teknologiark i de syv kategorier med referencenummer.

Teknologiark – titel	Referencenr.
FORSYNINGSNET	
Elforsyning	A-1
Traditionel fjernvarme	A-2
Lavtemperaturfjernvarme	A-3
Kombineret fjernvarme	A-4
Fjernkøling (centralt produceret)	A-5
Naturgas til opvarmning	A-6
ENERGIPRODUKTION VED FORBRÆNDING	
Biobrændselskedler	B-1
Naturgaskedel	B-2
Kraftvarme på biomasse	B-3
Forgasning af biomasse	B-4
Kraftvarme på naturgas	B-5
Mikrokraftvarme på biomasse	B-6
Mikrokraftvarme på naturgas	B-7
Brændselsceller – brint	B-8
Brændselsceller – naturgas	B-9
Affaldsforbrænding	B-10
Medforbrænding af affald på kraftværker	B-11
Søsalat	B-12
Brændeovn og masseovn	B-13

VARMEPUMPER OG KØLEMASKINER	
Varmedrevet absorptionsvarmepumpe	C-1
Varmedrevet adsorptionsvarmepumpe	C-2
Decentral fjernkøling	C-3
Jordvarme – vandrette slanger	C-4
Jordvarme – borehuller	C-5
Luft/luft varmepumpe	C-6
Havvandsvarmepumpe	C-7
Ventilationsvarmepumpe	C-8
Traditionel køling med frikøling	C-9
Grundvandskøling	C-10
Havvandskøling	C-11
Borehulskøling	C-12
VEDVARENDE ENERGI	
Decentral solvarme	D-1
Central solvarme	D-2
Solceller	D-3
Husstandsvindmøller	D-4
Store vindmøller	D-5
Geotermisk jordvarme	D-6
Bølgekraft	D-7

ENERGILAGRING OG FORBRUGSSTYRING	
Brint eller methanol til brændselsceller	E-1
Elbiler som buffer for forbrug	E-2
Batterier (stor skala)	E-3
Elektronisk styring af elforbrug i byområder og industri	E-4
VAND	
Brug af regnvand i hushold	F-1
Membranfilter i hushold	F-2
Regnvandsseparator	F-3
ActiFlo renseenhed	F-4
Dobbeltporøst filter til rensning af regnvand	F-5
Grønne tage og facader	F-6

1.2.1 Tabeller - overblik over teknologier

Forsyningsnet

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Elforsyning	Elnettet dækker hele landet. Man kan købe og sælge el til nettet. Som regel er prisen uafhængig af tidspunkt, men dette forventes ændret. Prisforskelle på køb og salg afhænger af hvordan el produceres.	Kan altid anvendes.	Kan altid anvendes.		Elnettet kan betragtes som et "ellager". Aftager el fra vindmøller, solceller og kraftvarme. Leverer el til varmepumper samt hjælpeudstyr som pumper mv.	A-1
Traditionel fjernvarme -	Rør-net til bygninger med varme fra kraftvarme, affaldsforbrænding eller kedel på fossil brændsel eller biobrændsel.	I forbindelse med kraftvarmeproduktion. Hvis overskudsvarme (affaldsforbrænding, industri mv.). Hvis biobrændsler til rådighed.	Hvis der er biomateriale til rådighed. Hvis varme kan udnyttes til decentral varmedrevet køling	I færdige byområder, hvor etablering af nettet er vanskeligt. I områder med spredt bebyggelse / spredte behov. I områder primært med lavenergibyggeri, hvor man ikke kan sikre sig tilslutning fra næsten alle.	Kraftvarme (el + varme). Varmedrevet varmekølemaskine til varme og køling. Kollektiv solvarme. Fjernkøling.	A -2

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Kombineret fjernvarme	For eksempel system med tre strenge. Fremløb 35 / 65 °C og fælles retur 25 °C. 35 °C til opvarmning og 65 °C til brugsvand og decentrale varme-kølemaskiner.	Nyt byområde med køle- og varmebehov og lavtemperaturopvarmning. Hvis der er overskudsvarme (affaldsforbrænding, industri mv.) eller VE-kraftvarme.	Ved renovering, hvor nye/supplerende rør kan indpasses og behov er til stede.	Eksisterende byområde med krav til høj fremløbstemperatur Byområde med traditionel fjernvarme	Kraftvarme. Varme-køle-maskiner (central og decentral) også som drivenergi. Borehulslager. Solvarme (central og decentral)	A-4
Fjernkøling (centralt produceret)	Centralt produceret køling der distribueres i et netværk a la fjernvarme. Kølingen kan produceres i en kombination af varme- og eldrevne varme-kølemaskiner	Hvor der er store kølebehov tæt ved hinanden, f.eks. erhvervs- og industriområder, samt kuldereservoir (f.eks. havvand) eller billig overskudsvarme (til varmdrevet køleproduktion).	Ved store tætliggende kølebehov og i tæt bebyggede områder.	Central løsning ikke salgbar, hvis salgsprisen for fjernkøling er væsentlig dyrere end for egenproduktion af køling.	Kraftvarme, hvor overskud af el eller varme bruges til køleproduktion. Lavtemperaturfjernvarme. Varme-køle-maskiner. Borehulslager, havvandskøling mv.	A-5
Naturgas	Rørledning med naturgas, evt. helt hen til enkelte bygninger.	Hvis det er til rådighed. Ædelt produkt, mest miljøvenlige fossile brændsel. Ikke kun til afbrænding, kan anvendes i motorer og gasdrevne varmepumper.	Måske til afbrænding i gaskedler ved spidslast, da det har lave investeringsomkostninger.	Områder uden for naturgasforsyningen.	Kraftvarme	A-6

Energiproduktion ved forbrænding

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Biobrændselskedel, centralt anlæg	Kedel til afbrænding af halm, flis etc., centralt til fjernvarme eller større bygningskompleks.	Til varme og brugsvand i områder, hvor der er brændsel og fjernvarmenet til rådighed	Kan i områder med varme og kølebehov med fordel indgå som drivmiddel til central produktion af lavtemperaturvarme og køling til distribution. Evt. til kombineret fjernvarme og kombineret med eldrevet maskine.	Hvis brændsel er for dyrt og/eller for langt væk.	Fjernvarme. Varmedrevet varme-køle-maskiner. Eldrevet varme-køle-maskine som supplement. - Fjernkøling.	B-1
Naturgaskedel	Kedel der brænder naturgas til varme. Central eller decentral.	Direkte afbrænding af naturgas kun til opvarmning "bør" kun bruges til spidslast.	Som "Biobrændselskedel" Kan bruges til kun opvarmning, hvis der ikke er alternativer.	Hvis der ikke er naturgas i området. Fjernvarmeområder.	Fjernvarme. Varmedrevet varme-køle-maskiner. Eldrevet varme-køle-maskine som supplement. Fjernkøling.	B-2
Kraftvarme på biomasse	Biomasse producerer damp til dampturbine som trækker en generator. Varme fra røggas til fjernvarme, evt. lavtemperatur-varme fra kondensator til turbinen.	Områder med fjernvarmenet og biomasse til rådighed. Bedst økonomi ved store anlæg, gerne i forbindelse med eksisterende kraftvarmeanlæg.	Kan udbygges til "energicentral", hvor der indgår varme og eldrevne varme-køle-maskiner til levering af køling og lavtemperaturvarme, evt. med "kombineret fjernvarme" med flere temperaturniveauer.	I eksisterende byområder uden anden fjernvarmeproduktion og dermed uden distributionsnet.	Fjernvarme. Varme og eldrevne varme-køle-maskiner. Fjernkøling (Evt. solvarme)	B-3

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Forgasning af biomasse	Biomassen forgasses ved opvarmning i iltfattigt miljø, hvorefter gassen forbrændes i gasmotor til el og fjernvarme. Pt. kan træflis anvendes, metoden er under udvikling. Teknologien står overfor kommercielt gennembrud.	Høj virkningsgrad betyder at teknologi kan anvendes selv i mindre anlæg, f.eks. omstilling af fjernvarme på biomasse til kraftvarme.	Når andre typer biomasse kan udnyttes til forgasning, øges mulighederne for anvendelse.	I eksisterende byområder uden anden fjernvarmeproduktion og dermed uden distributionsnet.	Kraftvarme på biomasse. Fjernvarme.	B-4
Kraftvarme på naturgas, centralt anlæg	Gas forbrændes i turbine eller motor som trækker en generator. Kombineres med varme fra motorkøling og røggasser. God virkningsgrad, men ikke så bæredygtig som biomasse eller affald.	Byområder med fjernvarmenet kombineret med naturgas, der ikke går til de enkelte bygninger.	Kan udbygges til "energicentral", hvor der indgår varme og elproduktion eller uden fjernvarmenet. Ved etablering af nye byområder.	I byområder forsynet med anden fjernvarmeproduktion eller uden fjernvarmenet. Ved etablering af nye byområder.	Fjernvarme. Varme og elproduktion eller uden fjernvarmenet. Fjernkøling. (Evt. solvarme)	B-5
Mikrokraftvarme på biomasse	Bygningsbaseret kraftvarmeproduktion. Biodiesel brændes i en motor, der trækker en generator. Varme fra røggaskøling og motorkøling. Styres normalt efter varmemeforbrug.	Muliggør kraftvarme i områder uden naturgas til de enkelte boliger og uden fjernvarmenet. Uafhængig af bebyggelsestæthed.	Hvis biodiesel udvikles kommercielt, kan fremtidig udnyttelse af mikrokraftvarme på biodiesel blive attraktivt.	I områder med fjernvarme. I områder med naturgas.	Decentral varme, eller elproduktion eller uden fjernvarmenet. Fjernkøling. Vindmøller.	B-6

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Mikrokraftvarme på naturgas	Bygningsbaseret kraftvarmeproduktion. Gas forbrændes i turbine eller motor som trækker en generator. Varme fra motorkøling og røggasser. Styres normalt efter varmeforbrug. Vil kunne omstilles til biogas.	Muliggør kraftvarme i områder med naturgas til de enkelte boliger og uden fjernvarmenet. Giver bedre udnyttelse end ren varmeproduktion fra naturgas	Hvis biogas udvikles kommercielt, kan fremtidig udnyttelse af mikrokraftvarme på gas blive attraktivt.	I områder med fjernvarme og/eller uden forsyning af naturgas til de enkelte husstande.	Decentral varme eller eldrevet varmekølemaskine hvis der er kølebehov. Vindmøller.	B-7
Brændselsceller (brint eller naturgas)	Central eller decentral. Kemisk reaktion med brint, methanol, metan eller med naturgas/biogas, som giver el og varme. Højere elvirkningsgrad end motorer og turbiner. Alle størrelser, fortsat under teknisk og kommerciel udvikling.	Med naturgas som alternativ til mikrokraftvarme på naturgas med højere elvirkningsgrad. Ikke færdigudviklet. Mere relevant, når den kan baseres på biogas. Også anvendelig i biler.	Med brint eller methanol i kombination med vindmøller eller solceller, hvor lagring af overskud er påkrævet. Teknologien er under udvikling.	Hvor der ikke er behov for lagring af energi eller ikke er naturgas i området.	Som central kraftvarme og mikrokraftvarme. Med tiden også i kombination med sol- og vindenergi.	B-8 B-9

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Affaldsforbrænding	Forbrænding af husholdningsaffald samt store dele erhvervsaffald som substitution for kul i særlige forbrændingsanlæg, hvor slagge og emissioner kan behandles forsvarligt. CO ₂ -reducerende ift. kul.	Bedst egnet til kraftvarmeproduktion. Stort set alt husholdningsaffald forbrændes i DK.	-	Hvor affaldsfraktioner giver anledning til uønskede indholdsstoffer i slagge eller emissioner – her skal affald deponeres. Hvor affald kan genanvendes på et højere niveau. Hvor affaldsmængderne til forbrænding er for små eller hvis der er eksisterende affaldsforbrænding i området.	Kraftvarme og fjernvarme.	B-10
Medforbrænding af affald på kraftværker	Forbrænding af (tørt), neddelt affald i kul-kraftværker, primært visse typer storskrald samt erhvervsaffald. Teknikken er ikke gennemprøvet, men vurderet samfundsmæssigt og miljømæssigt OK.	I eksisterende kulfyrede kraftværker, hvor der ikke er behov for en væsentlig udvidelse (ren affaldsforbrænding). God tilgang til egnet affald, som ikke kan genanvendes på anden måde. Kræver effektiv sortering for at reducere forurening.	Fleksibelt energitilskud til kulfyring i områder med varierende behov for el og varme.	Hvor affaldsmængderne er svære at sortere og indeholder for meget vådt affald. Ren affaldsforbrænding er at foretrække i dette tilfælde, og hvor der skal bygges nyt forbrændingsanlæg.	Byområder med højt eller varierende varmebehov.	B-11

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Søsalat	Søsalat produceres i havvand, gerne med tilskud af CO ₂ fra røggas og spildevand eller næringsrigt overfladevand fra landbrug. Søsalaten forarbejdes og anvendes som anden biomasse til kraftvarme.	Havnære byområder, især hvor CO ₂ og næring kan tilføjes. Søsalat giver 4 gange tørstof sammenlignet med anden biomasse. Teknologien er under udvikling og findes endnu ikke på kommerciel basis.	Søsalaten kan dyrkes i bassiner på land, men nærhed til havvand er en fordel. Kan også danne biodiesel til transport.	Nærhed til havvand og væksthæmmende CO ₂ og næring er en forudsætning. Forarbejdning, herunder tørring, er en forudsætning for bæredygtig produktion	Kraftværker nær havmiljø, hvor CO ₂ kan blive en "råvare" frem for en miljøbelastning. Begrænsning af kvælstofudledning til vandmiljø	B-12
Brændeovn og masseovn	Biomasse, f.eks. brænde og træbriketter. afbrændes til varme. Enten direkte varmeafgivelse i rummet eller tilsluttet centralvarme. Er typisk supplement til primær opvarmning. Kræver god styring for at mindske forurenende emissioner.	I udkantsområder uden anden forsyning og med god adgang til god kvalitets biobrændsel. Effektiviteten øges ved tungt byggeri (varmeakkumulering) og lavenergibyggeri. En masseovn kan blive primær varmekilde.	Brændeovn kan være supplement til anden opvarmning med omtanke. Masseovn: Brugere skal være indstillet på drift og vedligehold af anlæg.	Tæt bebyggede områder. I områder med fjernvarme.	Masseovn: Udskiftning af ældre eksisterende opvarmning. Kombineres med solvarme. Se også teknologiarket om biobrændselskeder.	B-13

Varmepumper og køle-/varmemaskiner og kølemaskiner (med energitilskud)

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Varmedrevet absorptions-varmepumpe	<p>Produktion af lavtemperaturvarme (max 40 °C) eller køling.</p> <p>Kontinuert proces med et køle-middel og en absor-bant (f.eks. LiBr og vand), baseret på absorption (optagelse) og desorbition af LiBr i vand.</p> <p>Produktion af hhv. varme og køling på hver sin side af maskinen.</p>	<p>Hvis temperaturen på den drivende side er højere ca. 80 °C og drivvarmen er billigt til rådighed, f.eks. spildvarme. Ved endnu højere temperaturer (>110°C) kan der opnås højere effekt og effektivitet.</p>	<p>Hvis den kolde side ikke kommer under ca. 12°C, så kan den drivende side komme ned på 70°C.</p>	<p>Hvis temperaturen på den kolde side kommer under ca. 10°C.</p> <p>Hvis temperaturen på den varme side kommer over 35 °C.</p> <p>Ved lav kold temperatur og høj varm temperatur bliver COP lav og anlægget måske urentabelt.</p>	<p>Fjernvarme på affald.</p> <p>Kraftvarme eller mikro-kraftvarme.</p> <p>Kraftvarme med varmeoverskud.</p> <p>Anden overskudsvarme.</p> <p>Sæsonlagring af varme/kulde.</p> <p>Kombineret fjernvarme.</p> <p>Termoaktive dæk.</p>	C-1

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Varmedrevet adsorptions-varmepumpe	Diskontinueret proces (cyklusser af ca. 10 minutter) hvor en silicagel udtørres under brug af varme ved den drivende temperatur. Den tørre silicagel suger vanddamp til sig, hvorved tryk og temperatur falder til den kolde temperatur. Ved den efterfølgende udtørring af silicagelen kondenserer vanddampen ved den varme temperatur.	Hvis temperaturen på den drivende side er under ca. 80 °C, men over 65 °C og drivvarmen er billig til rådighed, f.eks. spildvarme.		Hvis temperaturen på den kolde side kommer under ca. 5 °C. Hvis temperaturen på den varme side kommer over 35 °C. Ved lav kold temp. og høj varme temp. bliver COP lav og anlægget måske urentabelt.	Fjernvarme på affald. Kraftvarme eller minikraftvarme. Kraftvarme med varmeoverskud. Anden overskudsvarme. Sæsonlagring af varme/kulde (f.eks. borehuller). Kombineret fjernvarme. Termoaktive dæk.	C-2
Decentral fjernkøling	Decentralt produceret køling vha. distribueret fjernvarme (fjernvarmedrevet køling med absorptions-/adsorptionsvarmepumpe).	I fjernvarmeområder med lav varmepris. Ved varmedrevet køling skal der helst være behov for samtidig køling og lavtemperaturvarme på brugs-/produktionsstederne.	Ved store tætliggende kølebehov, også i allerede bebyggede områder, hvor der er fjernvarme til rådighed.	Varmedrevet køling er ikke anvendelig, hvis besparelsen ved at anvende fjernvarme i stedet for el til køling, ikke kan betale for de større investeringer.	Fjernvarme (gerne baseret på bl.a. solvarme eller affaldsforbrænding). Kraftvarme, hvor overskud af el eller varme bruges til køleproduktion. Varme-køle-maskiner. Borehulslager mv.	C- 3

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Jordvarme – vandrette slanger	Slanger med væske nedgravet ca. 90 cm med ca. 1 m afstand. Jorden køles om vinteren og varmes op om sommeren af solen.	Til eldrevne varmepumpeanlæg, hvor køling ikke kan bruges, og hvor jordslanger kan lægges billigt, for eksempel nybyggeri. En yderligere fordel er hvis varmebehovet er lavtemperatur.	Den kolde jord kan fungere som korttidslager for kølebehov.	I fjernvarmeområder. Hvis man ønsker at bruge varmedrevet varmepumpe. Hvis man vil sæsonlagre varme/kulde. Hvis jorden ikke må køles.	Vindmøller.	C-4
Jordvarme – borehuller	Lodrette (eller skrå) op til 200 m dybe boringer med 3-5 m afstand. Væskefyldte U-rør der forbindes med hinanden. Oftest med vand-glycol. Virker som varmeoptager til varmepumper, helst igennem vandførende lag, som kan opvarme (regenerere) borehullet, der køles af varmepumpen.	Som alternativ til vandrette jordslanger (se ovenfor) hvis jordareal ikke til rådighed. Velegnet til større bygninger. En fordel, hvis der er grundvand i bevægelse omkring borehullerne, som regenererer temperaturen i jorden.	Kan måske anvendes til varmedrevne maskiner (kun adsorption hvor den kolde temperatur kan komme ned på 3-4 °C) hvis stor gennemstrømning, også uden at tilføre varme til jorden.	I fjernvarmeområder. Normalt ikke til varmedrevet varmepumpe, da jorden bliver for kold. Skal godkendes mht. beskyttelse af grundvand.	Vindmøller.	C-5

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Luft/luft var- mepumpe	Traditionelle kølean- læg køler indeluften og opvarmer udeluften i f.eks. en tørkøler. En luftvarmepumpe gør det modsatte: Opvar- mer indeluften og køler udeluften. De findes som units til både varme og køling.	Relevant som varme- pumpe til meget små anlæg, hvor installati- onsomkostninger til de mere effektive alternati- ver er for høj, eller andre muligheder ikke er til stede.	Luft som varmeoptager til varmepumper kan anvendes forår/efterår, når lufttemperaturen er høj, og hvis der i syste- met er en tørkøler til rådighed.	Kan ikke dække spids- last i kolde perioder med lav lufttemperatur. Normalt ikke til varme- drevne maskiner da luf- ten bliver for kold.	Vindmøller.	C-6
Havvands- varmepumpe	Der etableres en rør- ledning frem og retur til nærliggende hav/sø. En varmepumpe leve- rer varme til en byg- ning ved at køle hav- vandet. Om sommeren kan havvandsvarme- pumpen evt. levere køling.	Til "store" anlæg (dyr etablering). Skal være tæt ved hav/sø. Anven- des hvis billigere at etablere end alternati- ver, som er jordslanger og borehuller. Ikke til sæsonlagring. Dårligere end grund- vand mht. frikøling, da havvandet er varmere om sommeren.	I gunstigt fald (med lav vandtemperatur og med højtemperaturkøling) også til (delvis) frikøling om sommeren.	Normalt ikke til varme- drevet varmepumpe, da vandet er for koldt om vinteren. Hvis tempera- turen er lav om vinteren, kan der opstå frysning. Problem med algevækst etc. i og omkring rør.	Overskuds-el i elnettet. Termoaktive dæk. Vindmøller.	C-7

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Ventilationsvarmepumpe	Ventilationsvarmepumpe udnytter den varme afkastluft fra ventilationssystemet til opvarmning af ventilationsluft og evt. brugsvand. Fungerer teknisk som luft/luft varmepumpe (se evt. C-6).	Lavenergibyggeri med mekanisk ventilation. Især velegnet i områder uden kollektiv varmforsyning.	Hvis der er større behov for varme end afkastet kan levere, må andre varmekilder tages i brug, f.eks. solfangere. Det samlede systems effektivitet skal her vurderes.	I eksisterende byområder med kollektiv varmforsyning, da varmepumpen her bliver supplerende og derfor sjældent rentabel.	Lavenergibyggeri med ventilationsbehov. Vedvarende energi som solfanger (supplerende varme) og solceller eller vindmøller (el til at drive varmepumpe).	C-8
Traditionel køling med frikøling	Kompressorkøling der anvender el til at køle en bygning og afgive varmen til omgivelserne (f.eks. udeluften). Er der kølebehov om vinteren kan kompressorkøling kan suppleres med frikøling med udeluft. Frikølingen kræver næsten intet elforbrug og kun begrænset merinvestering.	I områder hvor de lokale forhold gør at andre kølemetoder ikke er anvendelige (f.eks. på grund af manglende havvand eller grundvand m.v.). I områder hvor kølebehovet er så spredt og begrænset at fjernkøling ikke er rentabel. Ved behov for meget lave temperaturer (industriprocesser).	Som spidslastforsyning eller backup hvis bygningen er tilsluttet fjernkøling. Ved udvidet brug af frikøling (ved højtemperaturkøling eller kølebehov om vinteren).	Hvis forholdene gør andre mere bæredygtige køleløsninger mulige at anvende.	Solceller Vindmøller Bølgekraft Varmedrevet køling (i spidslastsituationer) Evt. fjernkøling (i spidslastsituationer)	C-9
Grundvandskøling	Via lukkede borer hentes grundvand ind i varmeveksleren og køler bygningens kølevand, hvorefter det pumpes tilbage i undergrunden.	Ved store kølebehov. Ved grundvand med stor gennemstrømning (uden lagring i jord) eller uden gennemstrømning (med lagring og kombineret med varmepumpe).	Højtemperaturkøling øger anvendeligheden, men kræver større kanaler mv.	I områder med indvindning af drikkevand eller strenge krav til grundvandsstand og -temperatur mv.	Varmepumpe om vinteren kombineret med køling om sommeren. Højtemperaturkøling. Lavenergibyggeri.	C-10

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Havvandskøling	Via slanger/kanaler hentes havvand ind i varmeveksleren og køler bygningens kølevand, hvorefter det ledes tilbage til hav igen. I perioder, hvor havvandet ikke er koldt nok til at køle bygningen direkte (frikøling), anvendes en kølemaskine som køles med havvandet.	Ved store kølebehov og god adgang til havvand med god dybde og gennemstrømning, f.eks. i havneløb. Fra bygningsniveau til fjernkøling og industriel køling.	Anvendeligheden mindskes med afstand til havvand med tilstrækkelig lav temperatur. Højtemperaturkøling er en fordel.	Myndighedskrav til vandtemperatur i havneløb kan hindre havvandskøling.	Højtemperaturkøling. Lavenergibyggeri.	C-11
Borehulskøling	Kølevæske cirkuleres i lukkede U-rør og afgiver bygningens varme til undergrunden. Fungerer bedst ved strømmende grundvand eller med varmepumpedrift om vinteren.	Hvor der ikke er mulighed for at anlægge grundvandsanlæg eller anden effektiv køling samt ved strømmende grundvand i borehul.	Hvis det ikke er muligt at køle borehullet naturligt med grundvand, eller via varmepumpe til opvarmning om vinteren, er det nødvendigt at køle med udeluft i vinterperioden. Dette forringer økonomi og miljøgevinst	Hvis der ikke er mulighed for at regenerere borehullet. I områder med strenge krav til grundvandstemperatur.	Ikke dækket køling kan dækkes med varme eller eldrevet varmekølemaskine, se ovenfor. Fjernkøling.	C-12

Energiproduktion uden energitilskud (vedvarende energi)

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Decentral solvarme	Væskefyldte rør opvarmes af sol og afgiver varmen til en varmtvandsbeholder. Mindre solfangeranlæg på bygning, mest effektivt sydvendt med en hældning på 45° fra vandret. Er typisk dimensioneret til at dække varmebehovet til varmt vand om sommeren.	Til opvarmning af varmt brugsvand. Kan dimensioneres, så varmebruget dækkes om sommeren. Fungerer godt sammen med individuelle varmepumper og biomassefyr. Større anlæg til bebyggelser er mest rentable. Især uden for forsyningsnet er små anlæg fordelagtige.	Til supplerende af rumopvarmning. Til varmedrevet køling.	Ikke relevant i bygninger med miljøvenlig fjernvarme.	Varmedrevne varmepumper (som ikke kan levere varmt brugsvand). Eldrevne varmepumper (lav COP ved levering af varmt brugsvand). Varmedrevet køling.	D-1
Central solvarme	Større solfangerareal (>500 m ²) placeret på terræn eller bygninger. Virkemåde principielt som for decentral solvarme - også til supplement i fjernvarmenet.	Relevant ved for eksempel fjernvarme baseret på fossilt brændsel også om sommeren. Kan også bruges til decentral og central varmedrevet køling og til regenerering af borehulslagere. Lavtemperaturvarme er en fordel.	I forbindelse med varmedrevet fjernkøling, hvis der ikke er gratis varme om sommeren, for eksempel fra affaldsforbrænding mv.	Ikke relevant, hvis der findes anden billigere og CO ₂ fornuftig varme om sommeren (overskudsvarme/affaldsforbrænding el. lign.). Ikke relevant i spredt bebyggelse uden fjernvarme.	Fjernvarme. Fjernkøling. Centrale varmedrevne varme-køle-maskiner med borehulslagere.	D-2

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Solceller	Solceller omdanner sollys direkte til el (DC), som via en inverter kan kobles ind og bruges i bygningen eller sendes ud på nettet. Fortsat dyrere el end el fra nettet. Dette ventes at vende en dag.	Bruges i DK i dag mest til profilering. Også til at opfylde energiramme ved ambition om lavenergiklasser.	Ved små forbrug uden for bygninger (f.eks. parkeringsbilletautomater) kan det være den billigste forsyning. Ofte er et batteri så nødvendigt.	Hvor nogenlunde optimal orientering og hældning ikke kan opnås. Ud fra en streng økonomisk vurdering med dagens priser.	Eldrevne køleanlæg til komfortkøling. Kraftvarme således at varmeoverskud om sommeren undgås.	D-3
Husstands-vindmøller	En vindmølle, der er opstillet i tilknytning til fritliggende ejendomme, leverer først og fremmest energi til ejendommens eget forbrug – enten som elektricitet eller som varmt vand. Max effekt normalt 25 kW. Også nævnt som møller på bygninger i byområder.	Set i et økonomisk perspektiv er husstands-vindmøller ikke fordelagtige.	Bygningsintegrerede vindmøller kan anvendes i bymiljøer, hvor andre bæredygtige teknologier ikke kan indpasses – fortrinsvis som signalværdi, da effektiviteten er ringe sammenlignet med store møller i åbent land eller på havet.	Anvendelse på bygninger i byområder kræver særlige undersøgelser pga. risiko for lav ydelse, støj mv.	Eldrevet varme-køle-maskine.	D-4

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Store vindmøller	Vindmøller og vindmølleparker placeret i det åbne land og koblet på elnettet. Dækker i dag op imod 20 % af Danmarks elforbrug på årsbasis. Kan også etableres som en ikke nettilkoblet mølle til en energicentral.	Hvis der kan findes en placering og der er folkelig opbakning til placeringen.	Hvis der er muligheder mht. placering og vindforhold i nærheden, så kan møllen kobles direkte til en energicentral og udnyttes for eksempel i central eldrevet varmekøle-maskine. Usikkert om vindmøllen kan placeres langt væk og selskabsmæssigt tilhøre energicentralen.	Dårlige vindforhold, problem med placering mv.	Eldrebet varme-køle-maskine. Borehulslager. Fjernkøling. Fjernvarme.	D-5
Geotermisk jordvarme	Varmt geotermisk vand pumpes op fra op til flere kilometer dybe borer i undergrunden og gennem en varmeveksler, som afgiver varme til et fjernvarmesystem. Derefter pumpes vandet tilbage igen. Er temperaturen for lav hæves den med en varmepumpe.	Områder hvor der i undergrunden findes tilgængelig varme med høj temperatur, og hvor der er et fjernvarmenet med en afsætning på mindst 4-500 TJ/år. Det kan være svært at afgøre på forhånd, hvor tilgængelig varmen er, og derfor løber man en økonomisk risiko med den første boring.	Områder med fjernvarmenet, og hvor den geotermiske varme har en lavere temperatur, men så kan hæves med en varmepumpe, f.eks. drevet af miljøvenligt produceret damp.	Områder uden fjernvarmenet med tilstrækkelig afsætning. Områder med rigelig billig varme (f.eks. i form af affaldsforbrænding eller industriel overskudsvarme).	Fjernvarme. Fjernkøling. Varmdrebet varmepumpe.	D-6

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Bølgekraft	Bølgers energi udnyttes til elproduktion, f.eks. ved at bølger presser vandet op på et reservoir, hvorefter det løber ned igen gennem en turbine som genererer elektricitet. Placeres anlæget på åbent vand, skal el transporteres i land med søkabler.	Teknologien er ikke kommerciel og kan på nuværende tidspunkt ikke anvendes med fordel.	På længere sigt i forbindelse med havvindmølleparker eller i kystområder med de rette forhold.	Hvis teknologien ikke bliver kommerciel. Hvis der ønskes lokal bæredygtighed og området ikke omfatter hav- og/eller kystområder.	Ikke relevant eftersom teknologien ikke er kommerciel.	D-7

Energilagring og forbrugsstyring

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Brint eller metanol til brændselsceller	Overskydende el fra vindkraft eller kraftvarme kan lagres til senere brug. Brint produceres fra vand og el i en elektrolyseproces. Ved den omvendte proces i en brændselscelle frigives el og varme. Metanol (træsprit) dannes tilsvarende med tilsætning af CO ₂ fra kraftvarme og kan så omdannes i en brændselscelle.	Til lagring af el, når vindkraft eller solceller giver overskud af el. Metanol giver mindst tab og er lettest at håndtere. Transportsektoren kan i fremtiden blive oplagt aftager af begge former, efterhånden som de kan produceres kommercielt.	Begge former er endnu på udviklingsstade, distributionsnet for brint er ikke etableret. Vurderes perspektivrigt, ikke mindst efterhånden som VE-elproduktion øges.	Såfremt teknologierne ikke bliver udviklet til kommercielt niveau.	Bæredygtig elproduktion med varierende produktion i forhold til efterspørgsel, f.eks. vindkraft, solceller, bølgekraft mv.	E-1
Elbiler som buffer for elforbrug	Elbiler med batteri kan anvendes som lager eller buffer for overskydende el og derved aflaste elnettet ved spidslast samt aftage el ved overskydende produktion. Kræver at elbilen kobles til nettet, når den står stille samt programmeres til enten opladning eller afladning.	Elbiler i byområder, hvor spidslasten for forbrug ikke harmonerer med produktion, f.eks. fra vind, sol eller bølgekraft. Kræver ladestationer ved brugssteder. Elbiler erstatter benzin- og dieseldrevne biler og er CO ₂ besparende i intelligent sammenhæng med VE-elproduktion.	Anvendeligheden vil øges i takt med udvikling af elbilers rækkevidde og konkurrencedygtighed samt stigende behov for at indpasse fluktuerende VE-elproduktion fra f.eks. vindmøller.	Teknologien er på udviklingsstade, men vurderes at have et stort potentiale på lang sigt.	Bæredygtig elproduktion med varierende produktion i forhold til efterspørgsel, f.eks. vindkraft, solceller, bølgekraft mv.	E-2

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Batterier (stor skala)	Fungerer i princippet som elbiler som buffer men kan ske i større skala og uden at kunne anvende energien i elbiler. Der er et vist tab forbundet med lagring af el i batterier.	I byområder, hvor spidslasten for forbrug ikke harmonerer med elproduktion, f.eks. fra vind Især hvis der er behov en større buffer og det ikke er muligt at omsætte transporten til elbiler. Hvis markedspris for el tilpasses forbrug kan batterier give mere økonomisk forbrug.	Teknologien er relativt dyr men faldende i pris og forventes derfor at blive mere anvendelig over tid.	Er temmelig pladskrævende og endnu ikke færdigudviklet.	Bæredygtig elproduktion med varierende produktion i forhold til efterspørgsel, f.eks. vindkraft, solceller, bølgekraft mv.	E-3
Elektronisk styring af elforbrug i byområder og industri	Tilpasning mellem behov for og produktion af el. Ydelsen (elforbrug til varmepumper, vaskemaskiner og køleskab samt industriprocesser) og betingelser programmeres og kobles med prognoser for elproduktion fra f.eks. vindkraft. Kræver elektronik, som kan kommunikere mellem elmarked og forbruger og starte og stoppe elforbrug elektronisk. Teknologien er endnu ikke kommerciel.	Hvor forbruget kan indrettes fleksibelt inden for visse betingelser samtidig med at elproduktion (og evt. pris) varierer.	Bliver mere anvendelig, når elprisen bruges som styringsmiddel for forbrug. Kræver en vis mængde forbrug for at blive rentabelt.	Effektiviteten nedsættes, hvis mulighederne for variation i elforbruget er begrænsede.	Elbiler og batterier. Fluktuerende VE-elproduktion, fra f.eks. vindkraft og solceller	E-4

Genanvendelse af vand

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
Hvirvelfilter	Et hvirvelfilter sammen med opsamlingstank renses og opbevarer regnvand, som kan erstatte drikkevand til forbrug. Der stilles krav til tagfladen og til anvendelse af vandet.	Erhverv og boliger i områder med sparsomme drikkevandsressourcer og/eller høje vandpriser	Kravene til, hvor regnvand må anvendes, lempes, så anvendelighed øges. Større erfaringer i udlandet.	Bygninger med offentlig adgang må pt. ikke anvende regnvand til f.eks. toiletskyl. Visse krav til tagflader.	Vandbesparende toiletter	F-1
Membranfilter i hushold	Et membranfilter installeres mellem håndvask og toilet, så afløbsvand fra håndvask kan anvendes til toiletskyl. Suppleres med opsamlingstank og tilkobling til drikkevand.	Ingen erfaringer i DK, men anvendes i Australien og Japan. Udvikling af filtre og lettere vedligeholdelse vurderes at øge anvendeligheden	Tager plads til vandtank og filtre, kræver vedligeholdelse, som bruger skal være indstillet på.		Vandbesparende toiletter	F-2
Regnvandsseparator	Regnvandsseparatoren renses regnvand fra vejene med filtre og separatorer, så regnvand kan ledes uden om rensningsanlæg til vandmiljø. Derved mindskes belastning af rensningsanlæg ved kraftige regnskyl.	I byområder, hvor der ikke kan stilles krav til overflader og trafik og hvor regnvandet derfor indeholder uønskede affaldsstoffer.	Forsøg gennemføres pt. af Københavns Energi, begrænsede erfaringer. Kræver en del lokal vedligeholdelse			F-3

Teknologi	Virkemåde	Anvendes med fordel	Måske anvendelig	Ikke anvendelig	Kan kombineres med	Referencer
ActiFlo rensenhed	Renseenheden renser regnvand decentralt for organisk stof og muliggør derfor at lede regnvand fra direkte til recipient.	Større områder og vandmængder, f.eks. kanalvand, overløbevand og vejvand. Mindsker belastning på overløbesystemer og rensningsanlæg.		Mindre bebyggelser og enkelte hushold.	Separat udledning af tagvand til genanvendelse	F-4
Dobbeltporøst filter til rensning af vejvand	Filteranlægget renser afstrømningsvand fra veje, typisk tungmetaller og miljøfremmede stoffer. Vandet ledes derfor uden om rensningsanlægget.	Vejanlæg, hvor filteranlægget kan nedgraves i f.eks. park (vil lette filterskift, som skal ske hvert 20 – 50 år). God renseevne og lave driftsomkostninger	Kan evt. nedgraves under vejen, som så skal brydes op ved filterskift.	Begrænsede erfaringer med teknologien.	Separat håndtering af tagvand. Anvendelse af det rensede vand til rekreative formål i kanaler mv.	F-5
Begrønning i byområder	Beplantning af tage, facader og arealer omkring byggeri i byområder. Primært for rekreative formål, forsinkelse samt nedsivning af regnvand.	Hvor der i byområder er småt med beplantning og rekreative arealer. På ældre bebyggelser kan begrønning øge isoleringsevnen. Giver skygge.	Fordampning og temperaturnedsættelse (nedsættelse af "heat island effekt" i byen) er tvivlsom – ligeledes mærkbar CO ₂ optagelse.	Hvor muligheder eller lyst/evne til vedligeholdelse er nedsat. Kan ikke kombineres med regnvandsopsamling.	Fortætning og byfornyelse i eksisterende områder.	F-6

2 Læsevejledning - teknologiark

For at beskrive de relevante bæredygtige teknologier for by og arealudvikling er der lavet teknologiark, der beskriver relevante forsynings- og infrastrukturteknologier.

Teknologierne omfatter både eksisterende som kommende løsninger og er udvalgt ud fra kriterier om, at de generelt betragtes eller bliver omtalt som bæredygtige.

TRADITIONEL FJERNVARME		A-2	
<p>Traditionel fjernvarme (70 °C/40 °C) er relevant at vurdere i de fleste danske byudviklingsprojekter. Fjernvarmen kan leveres fra eksisterende kraftvarmeproduktion (kombineret varme og el), fra affaldsforbrænding og/eller kedel på bio-brændsel og distribueres til bygningerne gennem frem- og returledninger. I bygningerne veksles fjernvarmen via lokale vekslere. Fjernvarmeforsyning kombineret med kraftvarmeproduktion er en miljøvenlig energiforsyningsteknologi. Dog kan ændringer i retning mod mere el fra vindkraft og f.eks. solceller på sigt reducere varmeressourcen fra kraftvarme og dermed potentialet for reduktion af miljøpåvirkninger med fjernvarme.</p> <p>Etablering af fjernvarme er relativt dyrt, men anlægsudgiften dækkes oftest af energiforsyningselskabet, mod at der er tilslutningspligt og betaling af fast årlig afgift for tilsluttede bygninger i området. For den enkelte bygning eller byggeprojekt er anlægsomkostningerne derfor lave.</p> <p>Generelt er energiprisen på fjernvarme lav og for bygninger med højt varmeforbrug vil det ofte være en attraktiv løsning. På grund af den faste afgift kan det være mindre attraktivt for bygninger med lavt energiforbrug (lavenergibyggeri), især hvis den faste afgift afregnes efter bygningsareal.</p> <p>I eksisterende byområder med fjernvarme vurderes det, at kraftvarme langt ud i fremtiden vil have et potentiale. I eksisterende byområder uden fjernvarme er potentialet for etablering af fjernvarme mindre. I nye byområder vil traditionel fjernvarme være en potentiel mulighed - specielt hvis der ikke stilles krav, om at bygningerne ikke er lavenergi eller lignende. I nye byområder, hvor der er krav om lavenergibyggeri eller lignende, vurderes traditionel fjernvarme at være mindre interessant.</p>			
Fakta:			
Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	Levetid for forsyningsnet	50 år
Faste driftsomkostninger	0,3 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	1500 kr./kW _{varme}
Produktionspris	0,4-1,5 kr./kWh _{varme}	Typisk ydre dimension af rør i vej:	2 x 400 mm
CO2 udledning	0-260 g/kWh _{varme}		
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
<ul style="list-style-type: none"> + Lav CO₂ belastning pr. energienhed + Fleksibel i forhold til elproduktion + Teknikken er kendt og udbredt 		<ul style="list-style-type: none"> - Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser - Kræver at alle eller de fleste bygninger i området tilsluttes 	
Kombineres med:		Kombineres helst ikke med:	
<ul style="list-style-type: none"> + Byggerier med højt eller varierende opvarmningsbehov + Varmedrevne varme-/køle maskiner + Varme fra kraftvarmeproduktion, affaldsforbrænding og overskudsvarme (fra f.eks. industri) + Decentral fjernkøling 		<ul style="list-style-type: none"> - Eksisterende byområde uden fjernvarmenet - Lavenergi byområder og byområder med meget lavt opvarmningsbehov eller meget spredt bebyggelse - Decentral solvarme, med mindre man vil afbryde fjernvarmen om sommeren 	
Referencer:			
CTR- Centalkommunernes Transmissionsselskab (www.ctr.dk)		Fjernvarme Fyn (www.fjernvarmefyn.dk)	

Alle teknologier er beskrevet på en A4 side, som vist her.

Den første del indeholder en kort beskrivelse af teknologien med omtale af de væsentligste forhold. Beskrivelsen er suppleret med en figur/piktogram der viser princippet.

Der næst følger oprensning af væsentligste typiske fakta og nøgletal, samt positive og negative egenskaber ved teknologien. Desuden beskrives hvilke andre teknologier, den med fordel kan kombineres med, og hvad den ikke bør kombineres med. Nøgletal afspejler så vidt muligt dagens situation, og tager således ikke højde for en evt. forventelig gunstig udvikling af teknologien. Økonomiske nøgletal er angivet i 2010-kr. ekskl. moms.

Størsteparten af teknologiarkene dækker teknologier, som har med produktion, forsyning eller lagring af energi at gøre (undergruppe A til E - se nedenfor). For disse teknologiark indgår de følgende nøgletal således at teknologiernes kan sammenlignes.

I den "variable energipris" indgår brændselsomkostningerne. Hvis en enhed kun producerer varme, køling eller elektricitet, vil den variable energipris være pr. kWh af den respektive produktion. Hvis el og varme produceres i kombination, vil den variable energipris være pr. kWh varme. Denne energipris indeholder også elproduktion, som sælges og giver en indtægt - og dermed en lavere varmepris.

I de "faste driftsomkostninger" indgår omkostninger i forbindelse med drift og vedligeholdelse af enheden. Herunder er blandt andet omkostninger til vand og kemikalier, der i nogle tilfælde er en nødvendig del af produktionsprocessen. Ud fra en fast årlig produktion fås omkostningen per enhed el, varme eller køling.

"Produktionsprisen" er den endelige omkostning ved at producere en enhed el, varme eller køling. Den indeholder udgifter i form af en variabel energipris, faste driftsomkostninger, investeringsannuitet (6 % p.a.) og evt. CO₂-afgift. Ved kombineret el- og varmeproduktion afskrives elproduktionen som enten elsalg eller fortrængning af eget elforbrug.

"CO₂-emissionen" er bestemt ud fra energistyrelsens notat om "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" fra maj 2009. For enheder der kun producerer el, varme eller køling pålægges hele emissionen naturligt produktet. Ved kombineret el- og varmeproduktion bestemmes CO₂-emissionen fra varmeproduktionen ud fra 200 %'s-metoden. Metoden anvendes også af Energistyrelsen.

"Levetiden" af en enhed er et udtryk for den forventede periode, hvori en enhed er i drift. Levetiden bruges som løbetid for lån og bestemmer derfor investeringsannuiteten.

"Investeringen" af en enhed betegner omkostningen for en enhed per installeret effekt-enhed. Hvis enheden producerer el og varme i kombination vil enheden være kr./kW varme.

Til sidst er der henvisning til referencer, hvor teknologien er anvendt. Ved valg af reference er der så vidt muligt søgt den mest repræsentative danske installation.

Arkene er grupperet i følgende undergrupper:

- A. Forsyningsnet
- B. Energiproduktion ved forbrænding
- C. Varmepumper og kølemaskiner
- D. Vedvarende energi
- E. Energilagring
- F. Vand

Information og data i teknologiarkene er fremkommet ved litteratursøgning, informationsøgning på nettet samt erfaringsdata fra planlæggere, entreprenører og rådgivere. Der er så vidt muligt anvendt officielle kilder som f.eks. kataloget for teknologidata fra Energistyrelsen¹.

2.1 Afgrænsning af bæredygtige teknologier

De teknologier som gennemgås, søger at være bæredygtige i forhold til at minimere påvirkninger på miljø og klima. I den forbindelse ses på energi, affald, vand og transport.

Der er fokus på teknologier, som beslutningstagerne med ansvar for byområdets udvikling kan have indflydelse på. Således er der en afgrænsning i forhold til ressourcer, som byområdet ikke har direkte indflydelse på, såsom produktion af råstoffer, vandindvinding, produktion af køretøjer, deponering af affald mm.

Derudover er det valgt at have fokus på forsyning og mindre på selve forbruget, f.eks. størrelsen af energiforbrug i bygninger, størrelsen af transportbehov mm.

Dog bør man være opmærksom på, at forsyning og forbrug hænger sammen, og at beslutningstagere inden for bæredygtig byudvikling må agere, både i forhold til forbrug og forsyning. Et eksempel er, at det ikke giver mening at udforme en forsyning med f.eks. fjernvarme uden først at have set på varmebehovet og muligheden for at påvirke og minimere dette. Forbrug er således en vigtig parameter inden for bæredygtig byudvikling, men også et relativt velbelyst område, som desuden er reguleret via lovgivning. Afgrænsningen af teknologierne er derfor ikke et udtryk for negligering af forbrugsminimering, men et bidrag til helhedstænkning inden for planlægning af bæredygtige byområder.

Teknologierne omfatter såvel eksisterende som kommende løsninger og er udvalgt ud fra kriterier om, at de generelt betragtes eller bliver omtalt som bæredygtige. I beskrivelsen af teknologierne er det søgt at beskrive den kontekst teknologien indgår i, således at læseren kan forholde sig til, om teknologien er relevant i et konkret tilfælde af byudvikling.

¹ Technology Data for Energy Plants, juni 2010 (Energistyrelsen og energinet.dk)

3 Forsyningsnet

Forsyningsnet i et byområde kan anvendes til at forsyne områdets brugere med el, varme og køling. Forsyningen er kollektiv og forsyner flere brugere fra samme produktionskilde, f.eks. et kraftvarmeværk, hvor nettet anvendes til at transportere energien fra produktionen til brugeren. Dette er modsat individuel forsyning, der ikke anvender forsyningsnettet, men forsyner hver bruger fra separate, lokale produktionskilder.

Forsyningsnet er kendetegnet ved store investeringer, når de skal anlægges, men de muliggør en billig og effektiv udnyttelse af produktionskilderne, som samlet gør forsyningsnet økonomisk rentable på lang sigt. De store investeringer betyder, at eksisterende forsyningsnet ikke skiftes ud, men ofte anvendes levetiden ud. I teknologiarkene er der udelukkende set på de investeringer, som foretages i bydelen i forbindelse med etablering af forsyningsnettet. For eksempel omfatter beskrivelsen af fjernvarmeforsyning en fjernvarmeveksler og fjernvarmerør i vejen, men ikke bygningens varmefordelingssystem, radiatorer m.m.

Typen af forsyningsnet, som er relevante i et byområde, afhænger af de energibehov, området skal have dækket. Både i dag, men også i den nære fremtid, vil der alle steder være behov for et elnet. Men er der et ringe kølebehov (f.eks. få erhvervsvirksomheder) i et byområde, vil et centralt fjernkølenet ikke være relevant. Er der allerede etableret fjernkøling i et område, vil det omvendt ikke være relevant at udvikle området til et byområde hovedsageligt med boliger uden kølebehov.

Prisen og graden af bæredygtighed for den energi, som leveres af forsyningsnettet, afhænger i høj grad af produktionskilden, som leverer energien. Således kan fjernvarme være billig og bæredygtig, hvis den leveres af et halm-baseret kraftvarmeværk, men være dyr og CO₂-belastende, hvis den stammer fra et naturgasfjernvarmeværk. I teknologiarkene er der set på et bredt udsnit af produktionskilder.

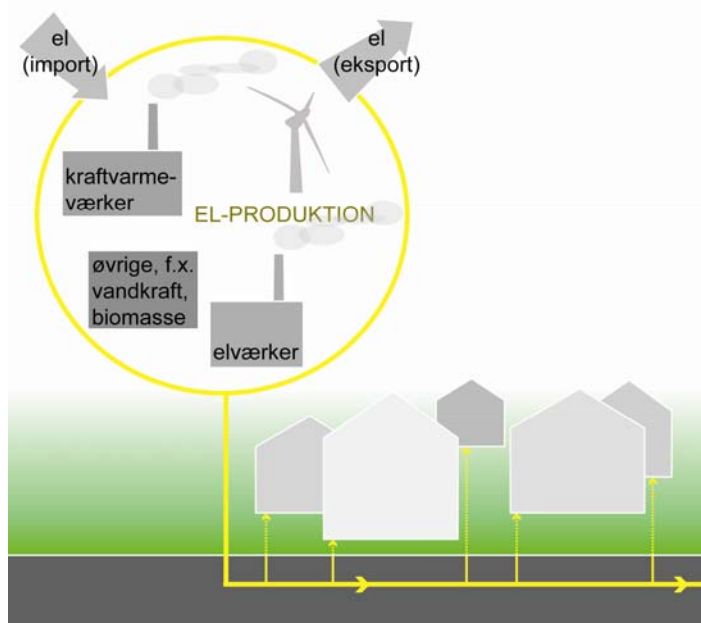
Der kan være tab af energi i forsyningsnettet (f.eks. varmetab fra fjernvarmerør), men dette opvejes ofte af den mere effektive udnyttelse af produktionskilderne. I teknologiarkene er alle angivne nøgletal opgjort ved forbrugeren og dermed er f.eks. tab i forsyningsnet (f.eks. varmetab fra fjernvarmerør) medregnet i nøgletallene.

ELFORSYNING

A-1

Alle bygninger har et elforbrug og dermed behov for en elforsyning. Selv om der vil komme mere decentral elproduktion fra f.eks. solceller på bygningerne, vil det forsat være hensigtsmæssigt at bygningerne og deres elsystemer er tilkøbt et fælles elnet.

Elforsyningen går fra produktionsenhederne (kraftværker, kraftvarmeværker og vindmøller) gennem eltransmissionsnettet til distributionsnettet, som forsyner hver bygning. Der importeres og eksporteres også el fra nabolande via transmissionsnettet.



El produceres på en lang række forskellige produktionsenheder, som, afhængigt af type og brændsel, har forskellig miljøpåvirkning – i mindre grad lokal luftforurening (produktionen foregår dog hovedsageligt uden for byområderne) Elproduktion spiller en stor rolle i forhold til klimapåvirkning. Forbrug af el er samlet årsag til ca. 40 % af Danmarks CO₂-udledning. Der er to måder at reducere miljøpåvirkningen fra el på:

1. Ved at investere i bæredygtige elproduktionsanlæg (se senere teknologiark)
2. Ved at anvende el på en effektiv måde

El anvendes til en lang række formål fra opvarmning, køling og belysning over elektriske motorer (i f.eks. pumper) til husholdningsmaskiner, computere og fjernsyn. Man kan til en vis grad styre behovet, men vi har en klar forventning om, at der er tilgængelig el, når vi ønsker det. El anvendt direkte til opvarmning af boliger giver et stort elforbrug. Hvis der i stedet opvarmes via en eldrevet jordvarmepumpe vil elforbruget og dermed klimapåvirkningen være langt mindre. Mange maskiner energioptimeres til stadighed, så den samme ydelse fås med et mindre forbrug.

I Danmark afregnes el i de fleste tilfælde som en kWh pris uafhængig af tidspunkt. Det må forventes at der kommer differentierede elpriser, således at el bliver billigere, for eksempel når der er rigelig vindenergi. Distributionsnet ejes og drives af netselskaber, hvis økonomi er underlagt indtægtsrammer fastsat af Energitilsynet.

Fakta:

Variabel energipris	1,4 kr./kWh _{el}	CO ₂ udledning	500-600 g/kWh _{el}
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{el}		
Produktionspris	1,4-1,7 kr./kWh _{el}		

Positive egenskaber:

- + Kan anvende mange forskellige kilder (elproduktionsenheder)
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Eksisterende byområder har allerede elforsyning
- + Forudsætning for store vedvarende energianlæg

Negative egenskaber:

- Danmarks gennemsnitlige elforsyning er delvist baseret på fossilt brændsel med dertilhørende klimapåvirkning

Kombineres med:

- + Alt

Kombineres helst ikke med:

Referencer:

TRADITIONEL FJERNVARME

A-2

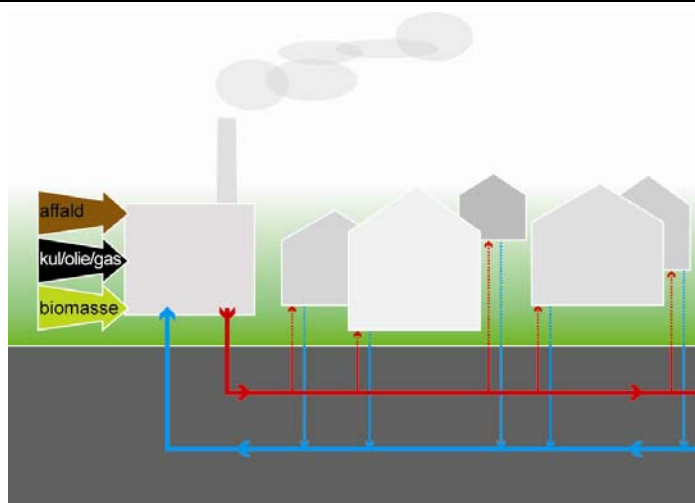
Traditionel fjernvarme (70 °C/40 °C) er relevant at vurdere i de fleste danske byudviklingsprojekter. Fjernvarmen kan leveres fra eksisterende kraftvarmeproduktion (kombineret varme og el), fra affaldsforbrænding og/eller kedel på biobrændsel og distribueres til bygningerne gennem frem- og returledninger. I bygningerne veksles fjernvarmen via lokale vekslere.

Fjernvarmeforsyning kombineret med kraftvarmeproduktion er en miljøvenlig energiforsynings-teknologi. Dog kan ændringer i retning mod mere el fra vindkraft og f.eks. solceller på sigt reducere varmeressourcen fra kraftvarme og dermed potentialet for reduktion af miljø-påvirkning-er med fjernvarme.

Etablering af fjernvarme er relativt dyrt, men anlægsudgiften dækkes oftest af energiforsynings-selskabet, mod at der er tilslutningspligt og betaling af fast årlig afgift for tilsluttede bygninger i området. For den enkelte bygning eller byggeprojekt er anlægsomkostningerne derfor lave.

Generelt er energiprisen på fjernvarme lav og for bygninger med højt varmeforbrug vil det ofte være en attraktiv løsning. På grund af den faste afgift kan det være mindre attraktivt for bygninger med lavt energiforbrug (lavenergibyggeri), især hvis den faste afgift afregnes efter bygningsareal.

I eksisterende byområder med fjernvarme vurderes det, at kraftvarme langt ud i fremtiden vil have et potentiale. I eksisterende byområder uden fjernvarme er potentialet for etablering af fjernvarme mindre. I nye byområder vil traditionel fjernvarme være en potentiel mulighed - specielt hvis der ikke stilles krav, om at bygningerne ikke er lavenergi eller lignende. I nye byområder, hvor der er krav om lavenergibyggeri eller lignende, vurderes traditionel fjernvarme at være mindre interessant.

**Fakta:**

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	Levetid for forsyningsnet	50 år
Faste driftsomkostninger	0,3 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	1500 kr./kW _{varme}
Produktionspris	0,4-1,5 kr./kWh _{varme}	Typisk ydre dimension af rør i vej:	2 x 400 mm
CO2 udledning	0-260 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber:

- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser
- Kræver at alle eller de fleste bygninger i området tilsluttes

Kombineres med:

- + Byggerier med højt eller varierende opvarmningsbehov
- + Varmedrevne varme-/køle maskiner
- + Varme fra kraftvarmeproduktion, affaldsforbrænding og overskudsvarme (fra f.eks. industri)
- + Decentral fjernkøling

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde uden fjernvarmenet
- Lavenergi byområder og byområder med meget lavt opvarmningsbehov eller meget spredt bebyggelse
- Decentral solvarme, med mindre man vil afbryde fjernvarmen om sommeren

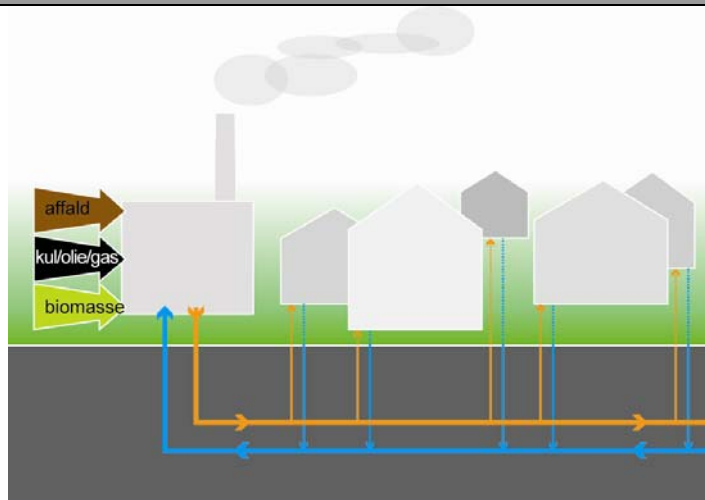
Referencer:

CTR- Centalkommunernes Transmissionsselskab (www.ctr.dk)	Fjernvarme Fyn (www.fjernvarmefyn.dk)
--	---------------------------------------

LAVTEMPERATURFJERNVARME

A-3

Lavtemperaturfjernvarme er tilpasset lavenergi-byggeriets lave varme- og temperaturbehov, og har sammenlignet med traditionel fjernvarme lavere temperatursæt (ca. 50 °C/20 °C) og dermed lavere varmetab fra fjernvarmerørene. Fjernvarmen kan leveres fra eksisterende kraftvarmeproduktion, fra affaldsforbrænding og/eller kedel på biobrændsel, og distribueres til bygningerne gennem frem- og returledninger. I bygningerne veksles fjernvarmen via lokale vekslere.



Lavenergi-byggeri kan designes med så store varme-flader (f.eks. gulvvarme), at de blot skal forsynes med en temperatur lidt højere end rumtemperaturen.

Dermed bestemmes fremløbstemperaturen i fjernvarmenettet af temperaturen af det varme brugsvand, som skal være minimum 50-55 °C. Etableres separat brugsvandsopvarmning (f.eks. med solvarme) i bygningerne forsynet med lavtemperaturfjernvarme kan der opnås en endnu lavere fremløbstemperatur med lavere varmetab til følge. En mulighed er også at hæve fremløbstemperaturen et par gange om dagen, så lokale varmtvandsbeholdere opvarmes (pulsdrift).

Fjernvarmeforsyning kombineret med kraftvarmeproduktion er en miljøvenlig energiforsyningsteknologi. Dog kan fremtidige ændringer i energiforsyning i retning mod mere vindkraft og el fra f.eks. solceller på sigt reducere varmeressourcen fra kraftvarme og dermed potentialet for reduktion af miljøpåvirkninger. Modsat giver den lave fremløbstemperatur i lavtemperaturfjernvarme mulighed for at udnytte flere kilder som f.eks. overskudsvarme fra industri, eller varme fra centrale varmepumper. Dette giver mere fleksibilitet i forhold til forsyningskilder, samtidig med at fjernvarmen bliver mere miljøvenlig.

Lavtemperaturfjernvarme er tilpasset lavenergi-byggeri, og det vurderes, at det ikke har et potentiale i eksisterende eller nye byområder uden krav om lavenergi-byggeri. Modsat vurderes teknologien at være meget brugbar, og potentialet at være stort, i nye byområder med krav om lavenergi-byggeri. Med de forventede stramminger til energirammen i Bygningsreglementet, vil potentialet øges. I visse tilfælde kan lavenergi-byggeri i ældre bydele med eksisterende fjernvarmenet anvende returvandet som lavtemperaturfjernvarme.

Fakta:

Der findes ikke fakta for denne teknologi, men data forventes at være i samme størrelsesorden som for traditionel fjernvarme (se teknologiark A-3)

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion

Negative egenskaber:

- Kun relevant i byområder med lavenergi-byggeri
- Kræver at alle/næsten alle bygninger i området tilsluttes
- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser

Kombineres med:

- + Lavenergi-byområder
- + Infill af lavenergi-byggeri i traditionelle byområder med fjernvarme, koblet på returledning
- + Varme fra kraftvarmeproduktion, affaldsforbrænding og overskudsvarme (fra f.eks. industri)
- + Decentral solvarme (til varmt brugsvand)

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde med traditionelle bygninger med krav om høj fremløbstemperatur
- Decentral fjernkøling

Referencer:

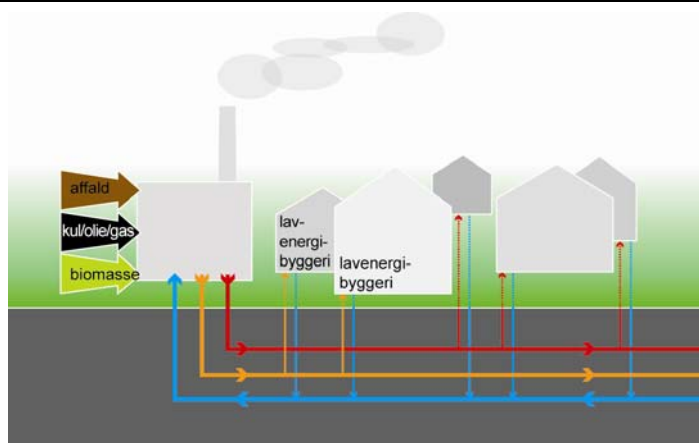
Demonstration af lavtemperatur fjernvarme til 40 lavenergiklasse 1 boliger i Lystrup ved Århus (Energistyrelsen 2009-2010)

KOMBINERET FJERNVARME

A-4

Kombineret fjernvarme er en kombination af lavtemperaturfjernvarme og traditionel fjernvarme. Det er tilpasset lavenergibyggeri og forsyner med ca. 35 °C til rumopvarmning og ca. 60 °C til brugsvandsopvarmning i hver sin streng. De to strenge har en fælles returledning og systemet har dermed i alt tre strenge.

Fjernvarmen kan produceres i en "energicentral" hvor alternative varmeløsninger som f.eks. geotermisk energi, solvarme eller en varme- eller eldrevet varme-køle-maskine kan leverer varme og køling. Se også under varmpumper. Køling kan leveres til kølekunder nærved.



Den lave temperatur i returledningen gør det desuden muligt at udnytte overskudsvarme fra f.eks. køleanlæg i de enkelte bygninger, idet denne varme kan afsættes i returledningen, som har en temperatur på omkring 25 °C, og via varmekøret bidrage til opvarmning af fremløbsvandet.

Kombineret fjernvarme resulterer pga. de lave nettemperaturer i lave tab fra nettet i sammenlignet med andre typer fjernvarme. Dette er sammen med anvendelsen af miljøvenlige energikilder med til at give en meget effektiv og bæredygtig varmforsyningsteknologi. De lave temperaturer giver mulighed for at anvende mange forskellige energikilder i systemet og teknologien er derfor fleksibel i forhold til ændrede forsyninger.

Kombineret fjernvarme er tilpasset lavenergibyggeri, og potentialet vurderes at være stort i nye byområder med krav om lavenergibyggeri. I eksisterende byområder med fjernvarme og ældre byggerier kan lavenergibyggeri forsynes med lavtemperaturfjernvarme taget fra returledningen på vej tilbage til fjernvarmekøret. Derved fås en bedre afkøling af returvandet og bedre udnyttelse af energien. Ældre byggerier vil til gengæld ofte have for stort energibehov og uegnede bygningsinstallationer til de lave fremløbstemperaturer.

Fakta:

Teknologien er ikke testet eller kommercialiseret og der findes derfor ikke fakta for denne teknologi

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Fleksibel i forhold til varmekilder og kan udnytte varmekilder med relativt lav temperatur

Negative egenskaber:

- Kun relevant i byområder med lavenergibyggeri
- Kræver at alle eller næsten alle bygninger i området tilsluttes
- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser

Kombineres med:

- + Lavenergibyområder
- + Infill af lavenergibyggeri i traditionelle byområder med fjernvarme, koblet på returledning
- + Varme fra kraftvarmeproduktion, affaldsforbrænding og overskudsvarme (fra f.eks. industri)
- + Varme-køle-maskiner, el eller varmedrevet, med borehuslager eller grundvandsanlæg.
- + Solvarme.

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde med traditionelle bygninger med krav om høj fremløbstemperatur

Referencer:

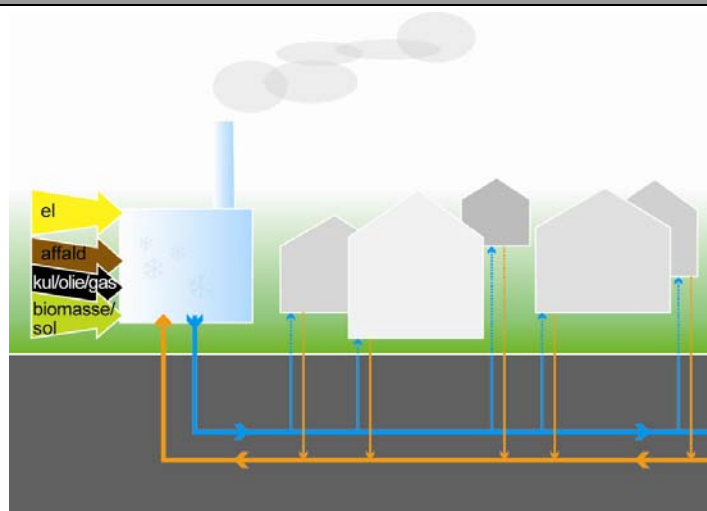
Eftersom teknologien ikke er testet er det ikke muligt at angive referencer.

FJERNKØLING (CENTRALT PRODUCERET)

A-5

Central fjernkøling er baseret på central produktion af koldt vand, som distribueres i et ledningsnet til forbrugere, der har et kølebehov.

Ved central fjernkøling etableres således en kølecentral og et ledningsnet til distribution. Etablering af central fjernkøling er relativt dyrt og kræver leverancer til flere bygninger med store kølebehov ikke for langt fra hinanden. Det er derfor kun relevant i byområder med industri- erhvervsvirksomheder, som har en interesse i en fornuftig kølepris kombineret med fordelene ved ikke selv at skulle drive og bruge plads til et køleanlæg, herunder plads til luftkølere på taget. Arkitektonisk og støjmæssigt er fjernkøling også en stor fordel for et byområde.



Ved at producere kølingen centralt opnås der, udover stordriftsfordelen, også muligheden for at kombinere flere forskellige teknologier på den mest optimale måde. Etableres f.eks. varmedrevne varme-køle-maskiner i kombination med eldrevne, kan driften optimeres i forhold til varme-/elpris samt lastvariationer. Kombineres dette med f.eks. frikøling og kondensatorkøling med havvand kan der opnås en væsentlig højere COP og bedre økonomi for fjernkølingen sammenlignet med en konventionel decentral kølecentral. Bedst er det, hvis der samtidig kan leveres lavtemperaturfjernvarme (se teknologiark A-3 for dette).

I eksisterende eller nye byområder med stor tæthed af bygninger med højt kølebehov vurderes det at fjernkøling har et potentiale langt ud i fremtiden. Det er dog en teknologi, som der kun er ringe erfaringer med i Danmark og som vil kræve flere projekter, før den kan tilskrives som kendt og udbredt herhjemme. Ligeledes er de juridiske forhold fortsat uklare, når et selskab både leverer varme og køling, idet man eksempelvis lovgivningsmæssigt skal sikre at adskille disse.

Fakta:

Variabel energipris	Ikke kendt	Levetid for forsyningsnet	50 år
Faste driftsomkostninger	Ikke kendt	Investering i bygninger	1.500 kr/kW _{køl}
Produktionspris	1-2 kr./kWh _{køl}		
CO ₂ udledning	50-150 g/kWh _{køl}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan udnytte overskudsvarme om sommeren
- + Minimale investeringer i bygninger

Negative egenskaber:

- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser
- Kræver flere store kølebehov tæt ved hinanden
- Teknikken ikke udbredt og velkendt i Danmark

Kombineres med:

- + Byggerier med højt kølebehov og kølebehov om vinteren eller samtidige køle- og varmebehov tæt ved hinanden
- + Fjernvarme baseret på kraftvarme, affaldsforbrænding, overskudsvarme eller solvarmecertraler
- + El og varmedrevne varme-køle-maskiner evt. med borehulslager
- + Kombineret fjernvarme

Kombineres helst ikke med:

- Byområder med meget lavt kølebehov

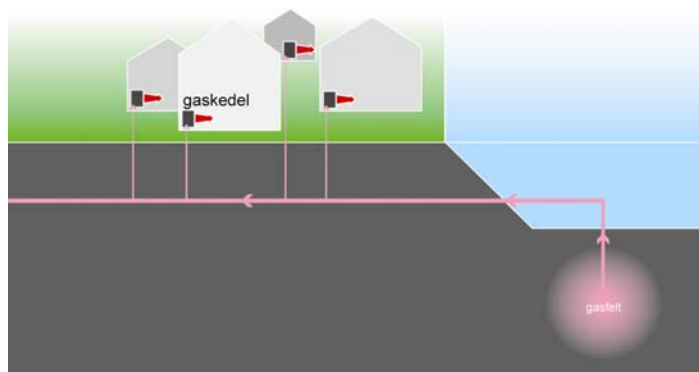
Referencer:

KE, fjernkøling ved Kgs. Nytorv, København

NATURGAS (jf. B2)

A-6

Naturgas til individuel opvarmning af bygninger leveres via transmissions- og distributionsnet fra gasfelterne i Nordsøen frem til slutbrugerens gas-kedel, der forsyner bygningen med varme og varmt vand. Naturgas er det rene af de fossile brændsler (kul, olie og naturgas) og bidrager dermed mindst til den globale opvarmning. Sammenlignet med kraftvarmebaseret fjernvarme er teknologien dog væsentlig mindre miljøvenlig.



Mere end 400.000 husstande forsynes med varme fra lokale gaskedler i Danmark. Den mest effektive type kedel har en årsnyttevirkning på 98-100 %.

De danske naturgasreserver vurderes at række til ca. 20 år, mens naturgasreserverne internationalt vurderes til at række ca. 70 år ud i fremtiden. En del naturgasfyrede områder vil muligvis overgå til fjernvarme, hovedsagelig på affaldsforbrændingsanlæg. Dog kan ændringer i energiforsyningen mod anvendelse af biogas, produceret på husdyrgødning m.m., i stedet for naturgas i et vist omfang være med til at fastholde denne teknologi og tilmed gøre den miljøvenlig og bæredygtig. Politisk er det bestemt, at naturgasprisen følger olieprisen, og for begge bændsler forventes der på længere sigt prisstigninger grundet øget efterspørgsel og manglende ressourcer samt stigende afgifter.

I eksisterende byområder med naturgasnet vurderes naturgas til opvarmning at have et potentiale i nærmere fremtid, både i sig selv og som grundlag for overgang til biogas. I eksisterende byområder uden naturgasnet samt i nye byområder vurderes naturgas til opvarmning ikke at have potentiale.

Naturgas kan også anvendes i gasdrevne varmepumper og i brændselsceller (se under disse teknologiark) og dette må betragtes som en mere bæredygtig anvendes af naturgas.

Fakta: (gælder for naturgasfyr installeret i en bolig)

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,05 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	3700 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,8-0,9 kr./kWh _{varme}		
CO2 udledning	200-230 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lave investeringer
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber:

- Baseret på fossilt brændsel
- Tvivlsom fremtid i energiforsyningen og stigende energipris
- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser

Kombineres med:

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde uden naturgasnet
- Nye byområder med mulighed for anden mere miljøvenlig opvarmningsform

Referencer:

Omkring 400.000 husholdninger i Danmark i 2009 ("Energistatistik 2009", Energistyrelsen 2010)

4 Energiproduktion ved forbrænding

Teknologiarkene for energiproduktion ved forbrænding omfatter bæredygtige anlæg, som producerer energi enten til kollektiv forsyning (via forsyningsnet, se kapitel xx) eller til individuel forsyning af varme eller kraftvarme (samproduktion af varme og el) eller el. Der er i hvert teknologiark angivet, hvorvidt fakta er angivet for en kollektiv eller individuel installation af teknologien.

For kollektiv forsyning dækker de angivne fakta over selve produktionsanlægget, og ikke forsyningsnet og installationer i bygningen, eftersom disse er behandlet i foregående kapitel. Fakta gælder dog stadig ved energi forbrugt ved forbrugeren og dermed er tab i forsyningsnet medregnet.

For fakta angivet for individuel forsyning omfatter disse selve produktionsanlægget og ikke evt. energifordelingsanlæg (f.eks. varmfordelingsanlæg inde i bygningen). Som det fremgår af teknologiarkene er nogle af teknologierne ikke beregnet til at dække det fulde energibehov hos forbrugeren.

Flere teknologier omhandler samproduktion af el og varme. Det er valgt at beregne CO₂-udledning ud fra ”200 % -metoden”. Dette er en gængs metode til fordeling af emissioner mellem den producerede varme og el. Der gøres opmærksom på, at andre tilgange muligvis ville resultere i væsentlig anderledes fordeling af CO₂-emissionen. Anvendelse af andre metoder kunne således få elforbrugende teknologier til at fremstå mere eller mindre bæredygtigt end i teknologiarkene i dette katalog.

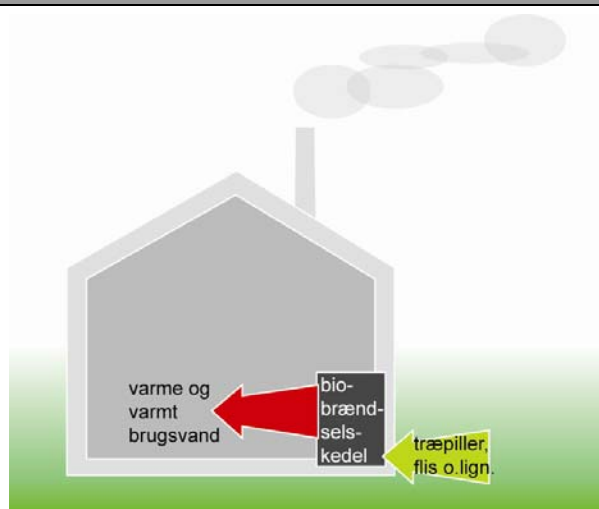
I teknologiarkene er alle angivne nøgletal opgjort ved forbrugeren og dermed er eventuelle tab i forsyningsnet (f.eks. varmetab fra fjernvarmerør) medregnet i nøgletallene. Der er ikke medtaget drift af og investering i forsyningsnet i energipriser og investeringer angivet for kollektiv energiproduktion. Derfor er økonomiske nøgletal for kollektive produktionsanlæg ikke direkte sammenlignelige med nøgletal for individuel energiproduktion. Energipriser for kollektive energiproduktionsanlæg inkl. drift af og investering i forsyningsnet (dvs. den pris som forbrugeren skal betale) er angivet i teknologiark i afsnittet forsyningsnet.

BIOBRÆNDSSELSKEDLER**B-1**

Biobrændselskedler (eller -fyr) kan benyttes til forsyning af varme og varmt vand til boliger og andre bygninger. Varme-produktionen kobles til et centralvarmeanlæg.

Biobrændselskedler fås i størrelser helt ned til husstandsni-veau, men dog ikke i størrelser, som er små nok til individu- el forsyning af boliger i lavenergibyggeri. Omvendt kan de også fås i store størrelser, der kan dække varmebehovet i en større bebyggelse.

Som brændsel anvendes typisk træpiller, træflis, halm, korn eller brænde. Flest anlæg anvender dog træpiller, da disse ofte er lettere at håndtere og derfor kræver enklere anlæg. Anlæg med andre typer brændsler end træpiller er ofte mere besværlige at drive og fås ikke i så små og kompakte størrel- ser som træpillefyr.



Virkningsgrader for træpillefyr er op mod 90 % ved nominel drift. Når der om sommeren kun er behov for en lille effekt til opvarmning af brugsvand, er fyret mindre effektivt, og en kombination med solvarme er derfor en fordel.

Selv om biobrændsel og træpiller ikke belaster med CO₂, medfører de dog andre emissioner som f.eks. SO₂-NO_x- og CO-emissioner. Disse emissioner er lidt højere end tilsvarende fra olie og gaskedler.

Individuelt installerede biobrændselskedler vurderes som værende brugbare i områder, som ikke er kollektivt forsynede og som ikke består af lavenergibyggeri. Biobrændselskedler kan både anvendes til individuelle anlæg og centrale anlæg for større bebyggelser. Der er ikke afgifter på biobrændsler til biobrændselskedler, hvil- ket er med til at gøre biobrændsler til et økonomisk alternativ til anden individuel opvarmning som f.eks. gas eller oliefyr. Som bruger skal man til gengæld indstille sig på et lidt større arbejde i det daglige med påfyldning og rengøring af et træpillefyr, sammenlignet med f.eks. en naturgaskedel. Adgang til biobrændsel samt gode lagringsmuligheder er vigtige.

Fakta: (gælder for en individuel installation af et træpillefyr i en bolig)

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	6200 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,7 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber

- Husstands anlæg passer ikke til lavenergibyggeri
- Ineffektiv ved lav dellast

Kombineres med:

- + Udskiftning af eksisterende ældre individuel op- varmning (f.eks. oliefyr)
- + Individuel solvarme

Kombineres helst ikke med:

- Områder med fjernvarme

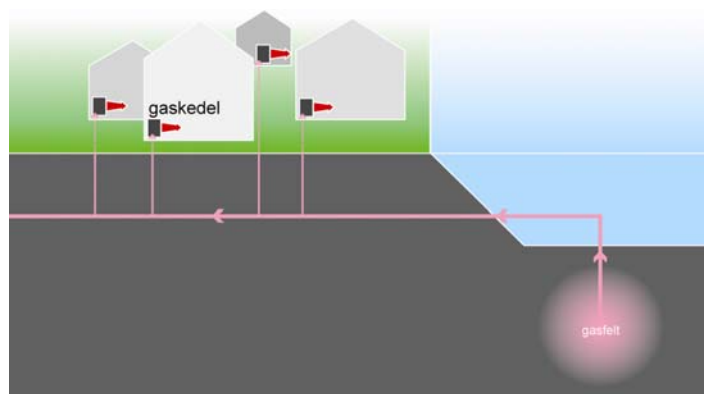
Referencer:

Over 20.000 husholdninger i Danmark i 2002 (Ingeniøren, februar 2002)

NATURGASKEDEL (jf. A-6)**B-2**

Naturgas til individuel opvarmning af bygninger leveres via transmissions- og distributionsnet fra gasfelterne i Nordsøen frem til slutbrugerens gas-kedel der forsyner bygningen med varme og varmt vand. Naturgas er det rene af de fossile brændsler (kul, olie og naturgas) og bidrager dermed mindst til den globale opvarmning, sammenlignet med fjernvarme baseret på kraftvarme er teknologien dog væsentlig mindre miljøvenlig.

Mere end 400.000 husstande forsynes med varme fra lokale gaskedler i Danmark. Den mest effektive type kedel har en årsnyttevirkning på 98-100 %.



De danske naturgasreserver vurderes at række til ca. 20 år, mens naturgasreserverne internationalt vurderes til at række ca. 70 år ud i fremtiden. En del naturgasfyrede områder vil muligvis overgå til fjernvarme, hovedsagelig på affaldsforbrændingsanlæg. Dog kan fremtidige ændringer i energiforsyningen med anvendelse af biogas, produceret på husdyrgødning m.m., i stedet for naturgas i et vist omfang være med til at fastholde denne teknologi og tilmed gøre den miljøvenlig og bæredygtig. Politisk er det bestemt at naturgasprisen følger olieprisen, og for begge brændsler forventes der på længere sigt stigninger i prisen grundet øget efterspørgsel og manglende ressourcer samt stigende afgifter.

I eksisterende byområder med naturgasnet vurderes det at naturgas til opvarmning vil have et potentiale i nærmere fremtid. I eksisterende byområder uden naturgasnet samt i nye byområder vurderes naturgas til opvarmning ikke at have potentiale.

Naturgas kan også anvendes i gasdrevne varmepumper og i brændselsceller (se under disse teknologiark) og dette må betragtes som en mere bæredygtig anvendelse af naturgas.

Fakta: (gælder for naturgasfyr installeret i en bolig)

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,05 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	3700 kr/kWh _{varme}
Produktionspris	0,8-0,9 kr./kWh _{varme}		
CO2 udledning	200-230 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lave investeringer
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber:

- Baseret på fossilt brændsel
- Tvivlsom fremtid i energiforsyningen og stigende energipris
- Vanskeligt at nedgrave rør i eksisterende bebyggelser

Kombineres med:**Kombineres helst ikke med:**

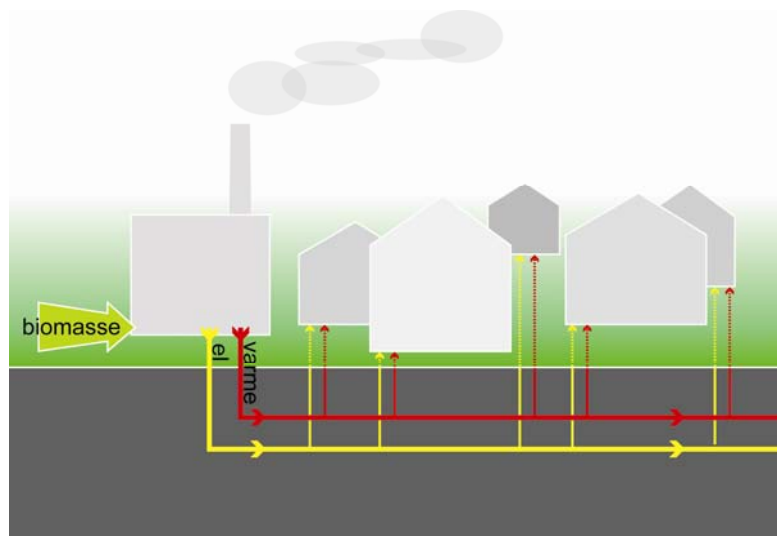
- Eksisterende byområde uden naturgasnet
- Nye byområder med mulighed for anden mere miljøvenlig opvarmningsform

Referencer:

Omkring 400.000 husholdninger i Danmark i 2009 ("Energistatistik 2009", Energistyrelsen 2010)

KRAFTVARME PÅ BIOMASSE**B-3**

Biomassebaseret kraftvarme til forsyning af hele byområder, eller dele deraf, kan foregå ved at forbrænding af biomasse opvarmer damp, som driver en dampturbine. Dampturbinen driver en generator, som producerer el og varmen fra røggassen anvendes til fjernvarmeproduktion. I større anlæg er forholdet mellem varme/el typisk ca. 60/40.



Biomasse dækker over en række forskellige brændsler som træflis, træpiller, halm, energipil og andre brændsler. Brændslerne har forskellige egenskaber i forhold til håndtering, forbrænding og økonomi. Biomasse er CO₂-neutrale brændsler og leverer vedvarende energi. Kombineret med anvendelsen af biomasse til kraftvarmeproduktion, som giver en høj udnyttelse af brændslet og dermed en effektiv teknologi til reduktion af CO₂-emission, er biomassebaseret kraftvarme særdeles bæredygtig.

Kraftvarmeproduktion, som giver en høj udnyttelse af brændslet og dermed en effektiv teknologi til reduktion af CO₂-emission, er biomassebaseret kraftvarme særdeles bæredygtig.

Kraftvarmeverker baseret på biomasse kan forsyne hele eller dele af byområder med fjernvarme. Generelt opnås den bedste økonomi, jo større anlæggene er, hvis de samtidig kan udnyttes en stor del af tiden. Oftest placeres anlæggene uden for byudviklingsområderne og typisk i forbindelse med eksisterende kraftvarmeverker.

I større biomassefyrede kraftvarmeverker er det muligt at lave en effektiv røggasrensning, så emissionen af miljøskadelige partikler minimeres.

Kraftvarme baseret på biomasse vurderes at være en absolut brugbar og kommercielt tilgængelig teknologi, som forventes yderligere udbredt de nærmeste år. Sammen med fjernvarme (traditionel, lavtemperatur eller en kombination heraf) er det en yderst effektiv og bæredygtig måde at sikre energiforsyningen af et byområde.

Fakta: (Udgangspunkt i kollektiv varmeforsyning fra et halmfyret kraftvarmeverk.)

Variabel energipris	0,2 kr./kWh _{varme}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i anlæg	16.000-20.000 kr./kW _{varme}
Produktionspris	0,1 - 0,2 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Effektiv udnyttelse af brændslet sammenlignet med ren fjernvarme eller individuelle fyr

Negative egenskaber

- Biomasse er en begrænset ressource
- Høj investering

Kombineres med:

- + Fjernvarme

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde uden fjernvarmenet

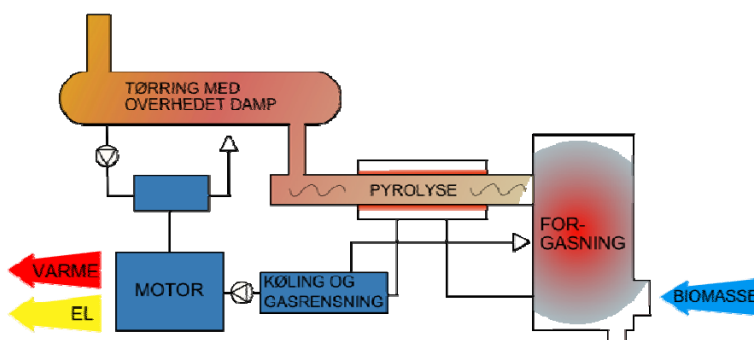
Referencer:

Slagelse Kraftvarmeverk, Masnedø Kraftvarmeverk, Herningværket
(<http://www.dongenergy.com/DA/Pages/index.aspx>)

FORGASNING AF BIOMASSE

B-4

Forgasning af biomasse anvendes ved kraftvarmeproduktion baseret på biomasse. Modsat direkte forbrænding (beskrevet i separat teknologiark om kraftvarme baseret på biomasse) omdannes det faste brændsel ved forgasning til en gas, som efterfølgende kan forbrændes i en gasmotor eller gasturbine. Dette giver en højere elproduktion end ved direkte forbrænding til kraftvarme og derved en bedre udnyttelse af brændslet. Til gengæld er drift af forgasningsanlæg mere kompliceret end afbrænding.



Forgasning af biomasse foregår ved at biomassen opvarmes i et iltfattigt miljø, hvorved gas frigives. Den forholdsvis rene gas kan efterfølgende forbrændes i en gasmotor med produktion af el og fjernvarme. Fordi gasmotorer har en relativt høj virkningsgrad selv ned i mindre størrelser, giver forgasning mulighed for at mindre fjernvarmeverker baseret på biomasse kan omstilles til at producere både el og fjernvarme og dermed få en bedre udnyttelse af brændslet.

Biomasse dækker over flere forskellige brændsler (f.eks. træaffald, energipil og halm), men med den nuværende forgasningsteknologi er kun træflis anvendeligt i processen. Forgasning af biomasse er på et udviklingsstade lige før kommercielt gennembrud. Der mangler primært installerede anlæg med mange driftstimer, som kan bevise teknologiens værd. Der er på nuværende tidspunkt flere anlæg i drift i Danmark.

Kraftvarmeverker baseret på forgasning af biomasse kan bygges med kapacitet til at forsyne fra større bygnin-ger til hele byområder med fjernvarme. Når elproduktionen overstiger elforbruget i det forsynede område sæl-ges den ekstra el til det centrale elnet. Ved forgasningen baseret på biomasse er der tale om produktion af ved-varende energi, som med kraftvarmeproduktion giver en høj udnyttelse af brændslet og dermed en effektiv re-dukation af CO₂-emission.

Forgasning af biomasse vurderes som værende en absolut attraktiv teknologi, når den får sit kommercielle gennembrud. Sammen med fjernvarme er det en yderst effektiv og bæredygtig måde at sikre energiforsyningen af et byområde.

Fakta: (Udgangspunkt i kollektiv forsyning, hvor varmen leveres til et fjernvarmenet.)

Variabel energipris	0,2 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 - 20 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i anlæg	14.000-15.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,1-0,2 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:	Negative egenskaber
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed	- Biomasse er en begrænset ressource
+ Teknikken er kendt og udbredt	- Høj investering
+ Effektiv udnyttelse af brændslet	- Kompliceret drift

Kombineres med:	Kombineres helst ikke med:
+ Fjernvarme	- Eksisterende byområde uden fjernvarmenet
	- Store transportafstande for biomassen

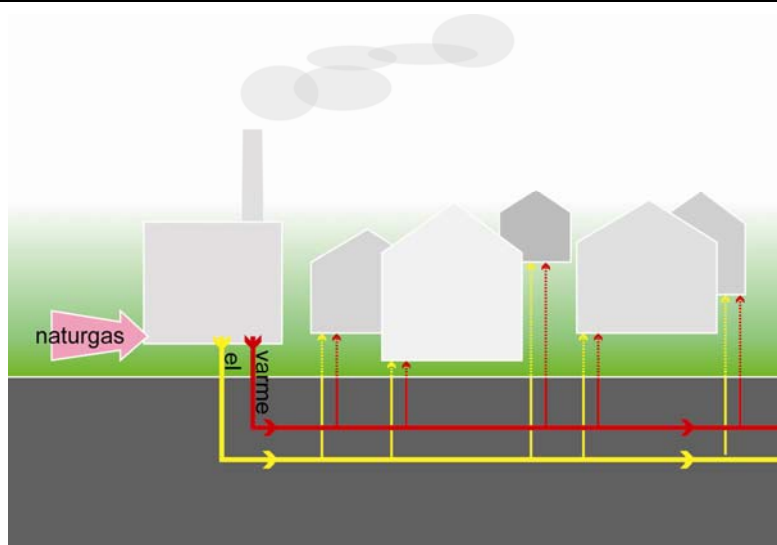
Referencer:
 Pilot-forgasningsanlæg i drift hos Weiss i Hadsund (200 kW el)

KRAFTVARME PÅ NATURGAS

B-5

Ved forsyning af hele byområder, eller dele deraf, med naturgasbaseret kraftvarme vil gasen forbrændes i en turbine eller gasmotor. Anvendes en gasturbine, bør det være i kombination med en dampturbine (Combined Cycle Gas Turbine) for at opnå den højeste elvirkningsgrad for kraftvarmeværket. Både gasturbine og dampturbine driver generatorer, som producerer el, mens varmen produceres fra de varme røggasser fra anlægget.

Alternativt kan en gasmotor drive en generator, som producerer el, mens varmen produceres ved motorkøling samt fra de varme røggasser fra anlægget. Kraftvarme på naturgas fås i anlægsstørrelser, der kan forsyne både få hundrede husstande og op til hele byområder med varme og el.



Naturgas er det rene af de fossile brændsler (kul, olie og naturgas) og bidrager mindre til den globale opvarmning end kraftvarmeproduktion med kul og olie. Sammenlignet med kraftvarme baseret på biomasse eller affaldsforbrænding må teknologien dog betragtes som mindre miljøvenlig og bæredygtig. Sammenlignet med andre brændsler har naturgasbaseret kraftvarme en høj elvirkningsgrad, og dermed en god udnyttelse af brændslet.

Naturgasreserverne vurderes til at række ca. 70 år ud i fremtiden, så på længere sigt kan teknologien ikke kaldes bæredygtig. Dog kan ændringer i energiforsyningen mod anvendelse af biogas (produceret på husdyrgødning mm.) i stedet for naturgas i et vist omfang være med til at fastholde denne teknologi, og tilmed gøre den mere miljøvenlig og bæredygtig.

I eksisterende byområder med fjernvarmenet vurderes naturgasbaseret kraftvarme at have potentiale på kortere sigt. I eksisterende byområder uden fjernvarmenet samt i nye byområder, vurderes naturgasbaseret kraftvarme at have begrænset potentiale.

Fakta: (Udgangspunkt i kollektiv forsyning baseret på en gasmotor, hvor varmen leveres til et fjernvarmenet.)

Variabel energipris	0,7 kr./kWh _{varme}	Levetid	25 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i anlæg	7.600-8.400 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,4-0,5 kr./kWh _{varme}		
CO2 udledning	130 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Effektiv udnyttelse af brændslet sammenlignet med individuel opvarmning med naturgas
- + Rummer potentiale for omstilling til mere miljøvenlig forsyning - biogas

Kombineres med:

- + Fjernvarme

Negative Egenskaber

- Baseret på fossilt brændsel med dertilhørende klimapåvirkning
- Svindende gasressourcer
- Kræver gasforsyning
- Kræver fjernvarmenet

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde uden fjernvarmenet

Referencer:

Skærbækværket, Svanemølleværket, DTU Kraftvarmeværk, www.dongenergy.dk

Dansk gasteknisk center (www.dgc.dk)

MIKROKRAFTVARME PÅ BIOMASSE**B-6**

Mikrokraftvarme baseret på biomasse producerer el og varme lokalt i hver enkelt bolig eller bygning. Dette kan typisk foregå ved forbrænding af biodiesel i en motor med en el-effekt på omkring 5 kW og en varmeeffekt som passer til boligens behov. Gasturbinen eller gasmotoren driver en generator, som producerer el. De varme røggasser fra motoren (ved brug af en gasmotor) leverer varme til opvarmning og varmt brugsvand i bygningen. Når elforbruget i bygningen er lavere end produktionen, sælges den overskydende el til el-nettet.

Biodiesel kan produceres fra landbrugsafgrøder og slagteri-affald. Den mest kendte form er rapsolie. Selvom biodiesel stammer fra afgrøder, som normalt betragtes som CO₂-neutrale, kan der – afhængigt af transportafstande og produktionsmetoder – forekomme klimapåvirkninger ved produktionen af brændslet. Generelt set er biodiesel dog et meget bæredygtigt brændsel, og set i forhold til f.eks. naturgas er der store miljømæssige fordele. Når biodiesel tilmed udnyttes til effektiv kraftvarmeproduktion, er der tale om en meget bæredygtig form for energiproduktion.

Mikrokraftvarme på biomasse er baseret på kendt teknologi, men er ikke særlig udbredt. Det vurderes, at teknologien vil nå et kommercielt stade inden for en kortere årrække, og må derfor betragtes som interessant i en forsyningsammenhæng. I et fremtidigt energisystem, med en høj andel af el fra vindmøller, vil biomassebaseret mikrokraftvarme være en positiv teknologi, som i kraft af sin fleksibilitet kan levere el når vinden ikke blæser, og ellers levere varme til opvarmning.

I byområder uden kollektiv varmforsyning og med krav om bæredygtig energiforsyning, vurderes mikrokraftvarme på biomasse at have et vist potentiale. Som det traditionelle oliefyr vil mikrokraftvarme medføre støj- og røggener lokalt.

Fakta: (gælder for biodiesel forbrændt i en motor for en individuel villainstallation)

Variabel energipris	1,2 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	9.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,8 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt
- + Effektiv udnyttelse af brændslet
- + Ingen tab i fjernvarmenet og mindre i elnet sammenlignet med kraftvarme på biomasse

Kombineres med:

- + Erstatning af individuelle oliefyr til opvarmning

Negative egenskaber

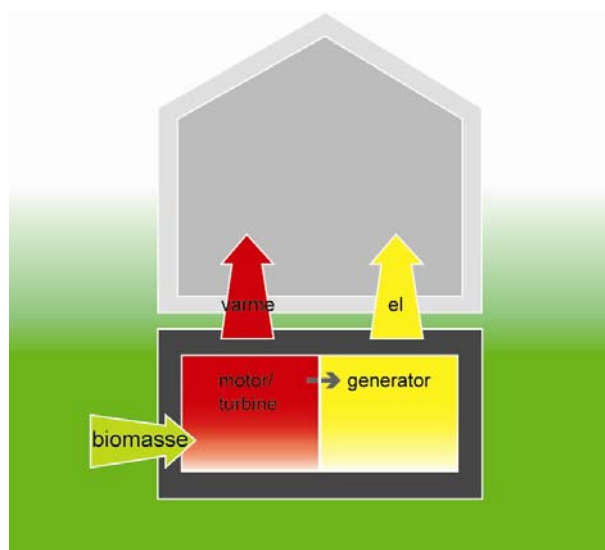
- Fremstilling og transport kræver energi
- Kræver olietank
- Lagret olie kan blive harsk og korrodere motoren
- Drift kan medføre lokale støj- og røggener

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde med fjernvarmenet

Referencer:

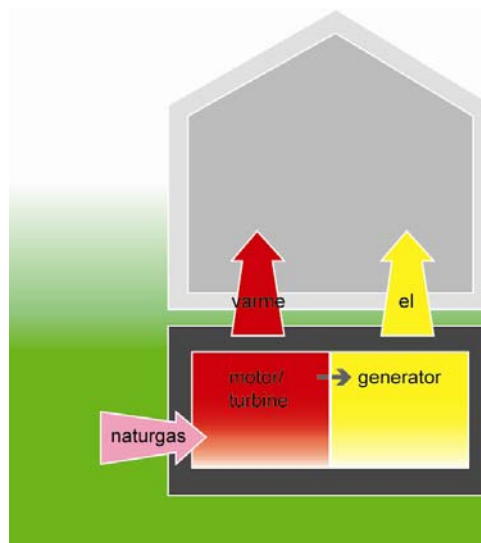
Teknologien er ikke på et kommercielt stade i Danmark



MIKROKRAFTVARME PÅ NATURGAS**B-7**

Med mikrokraftvarme baseret på naturgas produceres kraftvarmen lokalt i hver enkelt bolig eller bygning. Dette foregår ved forbrænding af naturgas i en turbine eller en gasmotor med eleffekt på ned til omkring 5 kW, og en varmeeffekt som passer til boligens behov. Gasturbinen eller gasmotoren driver en generator som producerer el. De varme røggasser (ved brug af en gasmotor) leverer varme til opvarmning og varmt brugsvand i bygningen. Mikrokraftvarme baseret på naturgas kan også tilvejebringes i en brændselscelle (brændselsceller er behandlet i et særskilt teknologiark).

Anvendelse af naturgasbaseret kraftvarme kræver et distributionsnet til naturgas ud til den enkelte forbruger. Et stort antal husstande er allerede forsynet med naturgas til opvarmning, og har dermed forudsætningen for installation af mikrokraftvarme på naturgas.



Naturgas er det reneste af de fossile brændsler (kul, olie og naturgas) og bidrager dermed mindre til den globale opvarmning sammenlignet med kraftvarmeproduktion med kul og olie. Sammenlignet med kraftvarme baseret på biomasse eller affaldsforbrænding, kan teknologien dog ikke betragtes som miljøvenlig eller bæredygtig. Sammenlignet med anvendelse af naturgas til opvarmning alene har naturgasbaseret kraftvarme en god udnyttelse af brændslet, eftersom der ved mikrokraftvarme også produceres el. Naturgasreserverne vurderes til at række ca. 70 år ud i fremtiden, så på længere sigt kan teknologien ikke kaldes bæredygtig. Dog kan ændringer i energiforsyningen mod anvendelse af biogas (produceret på husdyrgødning m.m.) i stedet for naturgas i et vist omfang være med til at fastholde denne teknologi, og tilmed gøre den mere miljøvenlig og bæredygtig.

Mikrokraftvarme på naturgas er baseret på kendt teknologi, men er ikke udbredt. I Tyskland er udvikling og udbredelse i gang, og det vurderes, at teknologien vil nå et kommercielt stade inden for en kortere årrække og derfor må betragtes som interessant i en forsyningsammenhæng. I et fremtidigt energisystem med en høj andel af el fra vindmøller, vil naturgasbaseret mikrokraftvarme være en positiv teknologi, som i kraft af sin fleksibilitet kan levere el, når vinden ikke blæser og ellers levere varme til opvarmning.

I eksisterende byområder med naturgasnet vurderes naturgasbaseret mikrokraftvarme at have potentiale. I eksisterende byområder uden naturgasnet, samt i nye byområder, vurderes naturgasbaseret mikrokraftvarme at have begrænset potentiale. Som andre fyr vil mikrokraftvarme medføre støjgener lokalt, men ikke røggener.

Fakta: (Baseret på naturgas forbrændt i en motor for en individuel villainstallation)

Variabel energipris	0,8 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,02 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	9.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,5 kr./kWh _{varme}		
CO2 udledning	~100 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Effektiv udnyttelse af brændslet sammenlignet med individuel opvarmning med naturgas
- + Ingen tab i fjernvarmenet

Kombineres med:

- + Erstatning af individuelle oliefyr til opvarmning
- + Gasnet

Referencer:

Teknologien er ikke på et kommercielt stade i Danmark

Negative Egenskaber

- Baseret på fossilt brændsel
- Svindende gasressourcer
- Kræver gasnet ud til bygningen
- Drift kan medføre lokale støjgener

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområde uden gasnet
- Eksisterende byområde med fjernvarmenet

BRÆNDELSCELLER - BRINT**B-8**

En brændselscelle drevet af brint er en enhed, som laver elektricitet ved en kemisk reaktion af brint med ilt (til vand). Den kemiske reaktionsmetode i brændselsceller betyder, at den teoretiske, og i mange tilfælde også praktiske, virkningsgrad af omsætning fra kemisk energi til elektrisk energi er højere end i motorer og lignende. Virkningsgraden bliver endnu højere, hvis den termiske energi også udnyttes til at producere varme. Brint fungerer samtidig som "lager" for el, da det fremstilles ved den omvendte proces af ovenstående.

Brændselsceller er skalerbare og kan således fås i størrelser fra nogle få kW el til flere hundrede kW el, på sigt endda op til MW størrelsen. Brændselsceller kan derfor indgå i en central løsning i forbindelse med fjernvarme eller en decentral løsning med en lille brændselscelleenhed i hver bolig (mikrokraftvarme) eller til transport. Brændselsceller er i dag meget dyre som følge af, at teknologien endnu ikke er kommercielt udviklet. En lille enhed blot til "husstandsniveau" koster flere hundrede tusinde kroner.

Et demonstrationsanlæg er i drift på Lolland, ligesom et stort dansk brændselscelleprojekt "Dansk mikrokraftvarme" er i gang med at udvikle og demonstrere mikrokraftvarmeanlæg baseret på danske brændselsceller, dels på Lolland og dels i Sønderborg Kommune. I alt opsættes ca. 70 anlæg. I udlandet er man nogle steder langt fremme på brændselscelleområdet, bl.a. i Japan. En række vestjyske kommuner har investeret i brintbiler, baseret på brændselsceller.

Brint er et relativt dyrt brændsel, som tilmed er kompliceret at håndtere og lagre. Brint kan produceres i et elektrolyseanlæg, der drives af elektricitet. En fordel ved at bruge elektrolyseanlægget er, at det kan bruge elektricitet produceret fra CO₂-neutrale energikilder. En anden fordel er, at da brinten lagres, vil det være muligt at elektrolyseanlægget kan bruges til at udjævne fluktuationer i elproduktionen ved at producere og lagre brint, eksempelvis ved en høj elproduktion fra vindmøller. Derudover kan anlægget producere elektriciteten på tidspunkter, når der er mangel på strøm i nettet, hvis der samtidig er et varmebehov eller der er plads i varmtvandsbeholderen (lagring af el i form af brint er nærmere beskrevet i afsnittet Energilagring).

Umiddelbart vurderes brændselsceller dog ikke på nuværende tidspunkt at være nogen oplagt teknologi, da den stadig er på et eksperimentelt stadie. Brændselsceller bør dog overvejes som et seriøst alternativ til andre forsyningsteknologier, når teknologien er fuldt kommercielt udviklet.

Fakta: (Baseret på en individuel villainstallation, er inkl. elektrolyseanlæg (el fra nettet) og dækker kun en andel af boligens samlede varmebehov – estimerede data eftersom teknologien ikke er færdigudviklet)

Variabel energipris	5,3 kr./kWh _{varme}	Levetid	10 år
Faste driftsomkostninger	0,4 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	20.000-23.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	4,2-5,5 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	430-520 g/kWh _{varme}		
(CO ₂ -udledningen er afhængig af CO ₂ -emissionen fra elproduktionen)			

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan anvendes både som individuel og central løsning
- + Effektiv udnyttelse af brændsel, lagring af el

Negative Egenskaber:

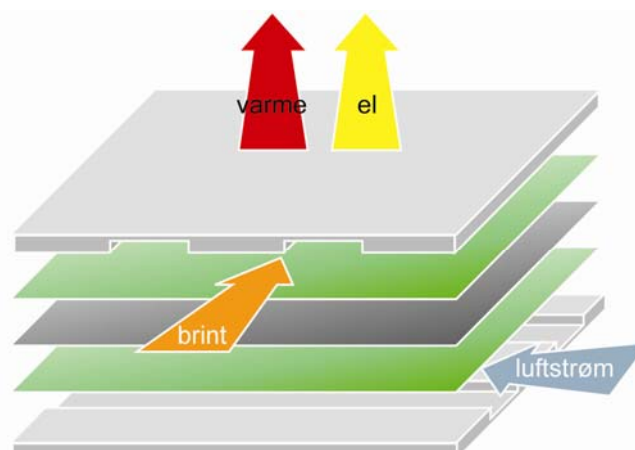
- Ikke kommercielt udviklet

Kombineres med:

- + Overskudsel fra vindmøller/solceller

Referencer:

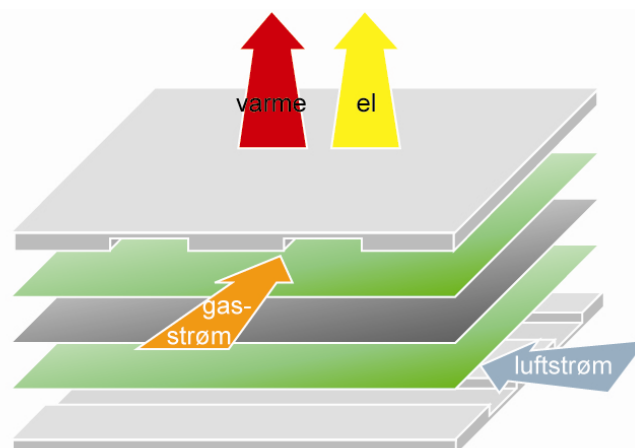
Lolland og Sønderborg (Dansk Mikrokraftvarme udvikler, tester og demonstrerer brændselsceller, www.dmkv.dk)



BRÆNDELSCELLER - NATURGAS

B-9

En brændselscelle er en enhed, som laver elektricitet ved en kemisk reaktion af f.eks. brint, metan eller metanol med ilt. Gennem en omdannelsesproces er det muligt at anvende naturgassens brintindhold i processen. Den kemiske reaktionsmetode i brændselsceller betyder, at den teoretiske og ofte også praktiske virkningsgrad af omsætning fra kemisk energi til elektrisk energi er væsentligt højere end i motorer og lignende. Virkningsgraden bliver endnu højere, hvis den termiske energi også benyttes, dvs. hvis enheden også anvendes til at producere varme.



Brændselsceller er skalerbare og kan således fås i størrelser fra nogle få kW el til flere hundrede kW el, på sigt endda op til MW størrelsen. Brændselsceller kan derfor indgå i en central løsning i forbindelse med fjernvarme eller en decentral løsning med en lille brændselscelleenhed i hver bolig (mikrokraftvarme). Brændselsceller er i dag meget dyrt som følge af, at teknologien endnu ikke er kommercielt udviklet. En lille enhed blot til "husstands-niveau" koster i dag flere hundrede tusinde kroner.

Når naturgas bruges som brændsel i en brændselscelle vil der ved reaktionen blive udledt CO₂. Udledningen vil dog pga. den høje virkningsgrad stadig være lav sammenlignet med mange andre opvarmningsformer. Brændselsceller på naturgas vil let kunne indpasses i den danske energiinfrastruktur idet nettet til gasforsyning er udbredt og mange husstande er tilsluttet naturgasnettet og dermed har let adgang til naturgas. Langsigtet er der mulighed for at naturgassen bliver fortrængt af biogas, hvilket vil gøre energiproduktionen CO₂-neutral.

Et demonstrationsanlæg er i drift på Lolland, ligesom et stort dansk brændselscelleprojekt "Dansk mikrokraftvarme" er i gang med at udvikle og demonstrere mikrokraftvarmeanlæg baseret på danske brændselsceller, som demonstreres dels på Lolland og dels i Sønderborg Kommune. I alt opsættes ca. 70 anlæg. I udlandet er man nogle steder langt fremme på brændselscelleområdet, bl.a. i Japan.

Umiddelbart vurderes brændselsceller dog ikke at være nogen oplagt teknologi på nuværende tidspunkt, da teknologien stadig er på et eksperimentelt stadie. Brændselsceller bør dog overvejes som et seriøst alternativ til andre forsyningsteknologier, når teknologien er fuldt kommercielt udviklet.

Fakta: (gælder for en individuel villainstallation, der dækker en del af boligens samlede varmebehov - der er tale om forventede tal, eftersom teknologien ikke er færdigudviklet)

Variabel energipris	1,2 kr./kWh _{varme}	Levetid	10 år
Faste driftsomkostninger	0,5 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	33.000-37.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	1,3-1,6 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	100 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan anvendes både som individuel og central løsning
- + Effektiv udnyttelse af naturgas

Negative egenskaber:

- Ikke kommercielt udviklet

Kombineres med:

- + Gasnet (naturgas mv.)

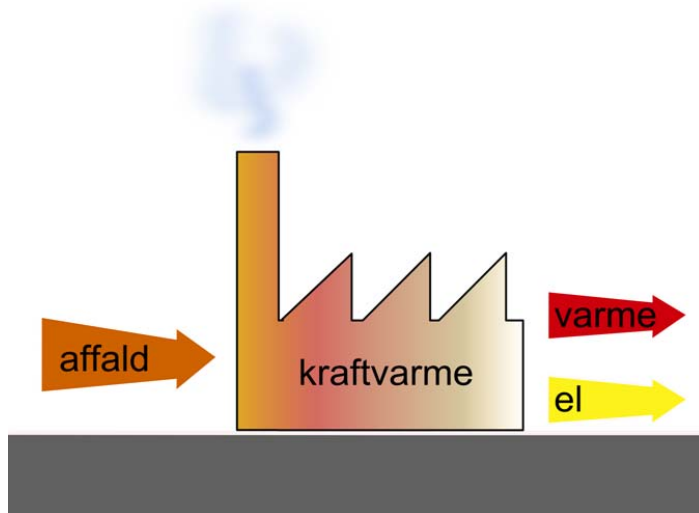
Referencer:

Lolland og Sønderborg (Dansk Mikrokraftvarme udvikler, tester og demonstrerer brændselsceller, www.dmkv.dk)

AFFALDSFORBRÆNDING

B-10

Stort set alt husholdningsaffald og en meget stor del af erhvervsaffaldet, som ikke er egnet til genbrug eller genanvendelse, forbrændes i Danmark. Ved forbrændingen produceres varme, og for langt de fleste anlægs vedkommende også elektricitet. Affaldsbehandling udføres i Danmark primært af kommunale aktører via kommunale fællesskaber, der dog er selskabsgjort. Kommunerne har pligt til at anvise affaldsproducenterne, hvor affald af forskellig type skal behandles. Regeringen overvejer at fritstille de genanvendelige dele af erhvervsaffaldet, herunder overvejes det, om den mest brændbare fraktion skal henregnes hertil som et muligt brændsel i kraftværker.



Kravene til affaldsforbrænding (sortering af affaldet samt selve forbrændingsprocessen) er meget skrappe i EU, og emissionerne til luft er dermed blevet reduceret. Som restprodukter fra forbrændingen findes dels slagge, som genanvendes i vejbyggeri, og røggasrensingsprodukter, som p.t. deponeres i et specialdeponi i Oslofjorden. Ved at anvende affald som energikilde, især til elproduktion, substitueres kul, som har en højere CO₂-ækvivalent påvirkning end affald. Ikke genanvendeligt affald regnes CO₂ neutralt ved energiproduktion, og ved forbrændingen løses samtidig et deponeringsproblem. Så længe dette er tilfældet, vil affaldsforbrænding være en meget CO₂-reducerende og miljøvenlig teknologi.

Generelt er det hensigtsmæssigt at udnytte muligheder for levering af fjernvarme (og på sigt også fjernkøling) fra affaldsforbrænding pga. substitutionseffekten. Hvor det i øvrigt er relevant at koble til et fjernvarmenet med en sådan energikilde, vil det således ofte være den mest hensigtsmæssige løsning. Nye byområder skal også af denne grund indtænkes i de kommunale varmeplaner. Har man planer om et nyt byområde, bør kommunen således kontaktes vedrørende varmeplanforholdene. Sortering og lagring af affald er pladskrævende, og kræver forholdsregler for at hindre lugt- og støjgener fra såvel transport som sortering og opbevaring.

Der er ikke angivet nøgletal, eftersom omkostninger er bestemt af lokale forhold, og fordeling af omkostninger mellem affaldsbehandling og kraftvarmeproduktion er kompliceret. Derudover kan en lav varmepris i nogle tilfælde betyde en høj affaldsafgift, og det giver dermed ikke nødvendigvis en lavere udgift for beboerne i området.

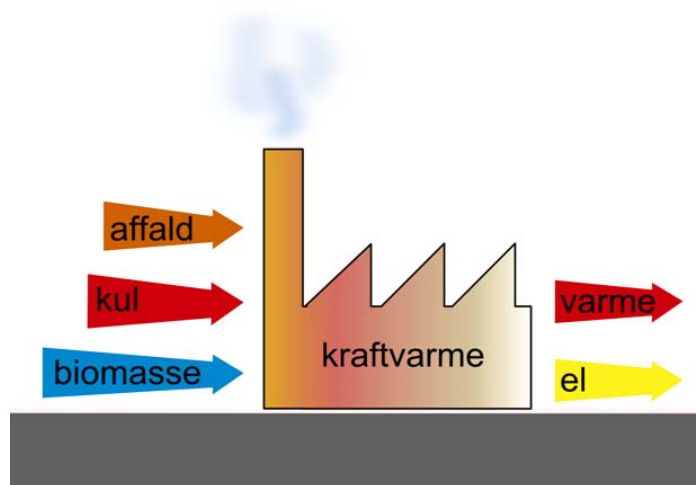
Positive egenskaber:	Negative egenskaber:
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed + Teknologien er velkendt i Danmark.	- Pladskrævende - Potentielle støj- og lugtgener - Ikke egnet som enkeltstående teknologi i byområde
Kombineres med:	Kombineres helst ikke med:
+ Kraftvarmeproduktion + Fjernvarme (bedst som grundlast) + Nye byområder kan levere brændsel til eksisterende affaldsforbrændingsanlæg	- Lavenergi byområder og byområder med meget lavt opvarmningsbehov (der skal i givet fald sikres anden håndtering af affaldet)
Referencer:	
Amagerforbrænding (www.amfor.dk), Vestforbrænding (www.vestfor.dk)	Nordforbrænding (www.nordf.dk), REFA (www.refa.dk)

MEDFORBRÆNDING AF AFFALD PÅ KRAFTVÆRKER**B-11**

Medforbrænding af affald på kulfyrede kraftværker har været undersøgt både miljømæssigt og samfundsøkonomisk i Danmark, men er endnu kun afprøvet forsøgmæssigt. Det er nødvendigt at foretage en sortering og neddeling af affaldet, for at det kan indfyres på kraftværket sammen med kul. Dette kræver, at affaldet er tørt, hvorfor det kun er fundet relevant at anvende erhvervsaffald og visse typer stor-skrald til formålet.

En miljømæssig sammenligning af medforbrænding og dedikeret affaldsforbrænding (affald som eneste ressource) viste, at med optimal udnyttelse af varmen fra dedikeret forbrænding, er dedikeret affaldsforbrænding og medforbrænding i store træk miljømæssigt ligeværdige alternativer. Effektiv udsortering af tungmetaller fra den fraktion, der skal anvendes til medforbrænding, er vigtig for at reducere forurening fra forbrændingen.

Den tilsvarende samfundsøkonomiske sammenligning af medforbrænding og dedikeret affaldsforbrænding viste, at det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at medforbrænde affald på kulfyrede KV-anlæg i forhold til at bygge helt nye ovnlinjer på dedikerede affaldsforbrændingsanlæg. Hvis det i disse områder er muligt at bygge nye affaldsforbrændingsanlæg marginalt større, er det dog samfundsøkonomisk mest fordelagtigt at gøre dette.

**Fakta:**

Teknologien er endnu kun afprøvet forsøgmæssigt og nøgletal er ikke tilgængelige. Ligeledes gælder de samme forhold for dedikeret affaldsforbrænding (se ark B-10), hvor det er vanskeligt at opgøre de egentlige omkostninger.

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion

Negative egenskaber:

- Teknikken er ikke gennemprøvet
- Primært relevant for erhvervsaffald
- Teknologien er ikke egnet som enkeltstående teknologi et særskilt byområde

Kombineres med:

- +Byggerier med højt eller varierende opvarmningsbehov
- +Varme fra kraftvarmeproduktion

Kombineres helst ikke med:

- Lavenergi byområder og byområder med meget lavt opvarmningsbehov (der skal i givet fald sikres anden håndtering af affaldet)

Referencer:

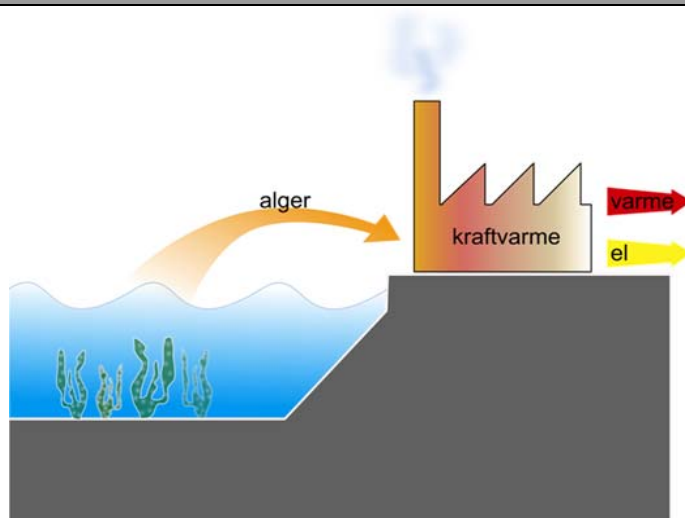
Eftersom teknologien kun er testet, er det ikke muligt at angive referencer.

SØSALAT

B-12

Søsalat er en makroalge, som findes naturligt i de danske farvande. Ved at dyrke og høste søsalat kan der udvindes fast biomasse, som har potentiale til at blive anvendt til energiformål. Ligesom anden biomasse er søsalat en bæredygtig og vedvarende energiressource.

Biomassen fra søsalat kan anvendes til forbrænding og dermed bæredygtig kraftvarmeproduktion. Der er også mulighed for dannelse af biobrændstof, som kan erstatte fossilt benzin og diesel. Endelig kan biomassen fra søsalat ved en styret forrådnelsesproces danne biogas, som kan anvendes til erstatning af naturgas f.eks. på kraftvarmeanlæg. Alle disse anvendelser er dog fortsat på forskningsstadiet, og det er usikkert hvilke anvendelser, der i fremtiden bliver relevante.



Søsalat kan f.eks. dyrkes i bassiner med saltvand placeret på land eller på lavt vand, evt. inddæmmet. Fordelen sammenlignet med at dyrke konventionel biomasse er, at områder der ikke er egent til dyrkning af biomasse kan udnyttes, samtidig med at søsalat giver fire gange mere tørstof pr. hektar sammenlignet med andre energi-afgrøder. Denne mængde har potentiale til at blive mere end dobbelt så stor såfremt vandet tilsættes CO₂, f.eks. fra røgen fra et nærliggende kraftvarmeværk. Søsalat har også potentiale til at spille sammen med andre teknologier som f.eks. rensning af spildevand eller optagelse af næringsstoffer, som ellers ville være udledt i landbruget, ligesom rester fra bearbejdningen af søsalat kan anvendes som foder og i fødevarerindustrien.

Dyrkning og forarbejdning af søsalat til energiformål befinder sig på et stade, hvor der venter et stort forskningsarbejde, før teknologien kan nå et kommercielt niveau. Høstmetoder og tørring/forarbejdning er under udvikling. Det er derfor ikke muligt at vurdere potentialet for anvendelse af søsalat til energiformål. Teknologien er dog på længere sigt så lovende, at den ved fremtidig udvikling af kystnære byområder bør overvejes, såfremt den er nået et kommercielt stade på det pågældende tidspunkt. Afhængig af, hvordan søsalaten anvendes, kan den medvirke til at gøre et byområdes energiforsyning mere bæredygtig.

Fakta: (Regnet for biodiesel produceret på søsalat og forbrændt i dieselmotor. Teknologien er ikke økonomisk bæredygtig og ikke commercialiseret og angivet data er derfor behæftet med stor usikkerhed)

Variabel energipris	2,5 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	9.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	1,9-2,2 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh		

Positive egenskaber:	Negative egenskaber:
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed	- Langt fra teknologisk og kommercielt udviklet
+ Ingen konflikt med begrænsede arealer og anvendelse af disse til fødevarerproduktion	- Kræver placering ved havet

Kombineres med:	Kombineres helst ikke med:
+ Kraftvarme	
+ Fjernvarme	

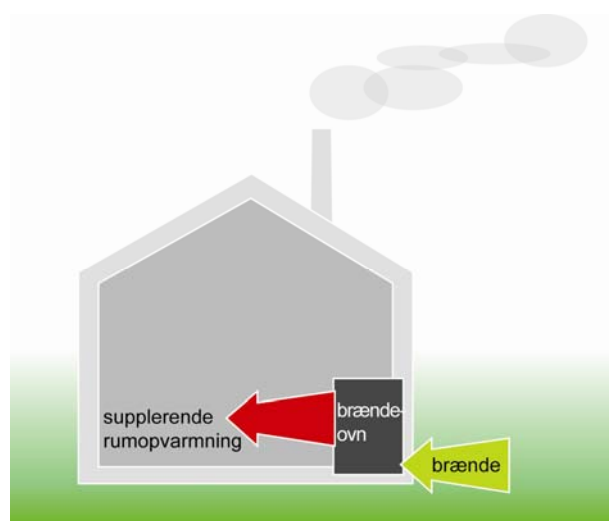
Referencer:
Forskningsprojekt mellem DMU, Risø DTU, Teknologisk Institut og DONG Energy (start: April 2008)

BRÆNDEOVN OG MASSEOVN**B-13**

Brændeovne kan anvendes til at supplere den eksisterende rumopvarmning. Masseovne kan opvarme en bolig på omkring 100 m².

Brændeovne anvender typisk brænde, træbriketter eller koks som brændsel. Brændeovne kræver korrekt dimensionering af ovn og skorsten, korrekt fyring med brændsel og en tung bygning for at opnå en god udnyttelse af brændslet.

Brændeovne afgiver typisk varmen i det rum, hvori de er placeret. Dette giver en ringe fordeling af varmen til øvrige rum uden for det rum hvor varmen afgives. Placering i bygningen har også betydning for udnyttelse af varmen fra brændeovnen. Ikke mindst ved placering af masseovnen, hvor princippet netop er at opvarme en stor masse (typisk muret skorsten og vægge). Det er dog også en mulighed at etablere mekanisk ventilation, hvor varmen fordeles bedre gennem ventilationskanaler i bygningen.



Selvom brænde og træbriketter ikke belaster med CO₂, medfører de dog andre emissioner som f.eks. SO₂-NO_x- og CO-emissioner og anden partikelforurening. Disse emissioner afhænger meget af ovnen, brændets kvalitet og hvordan der fyres. Men generelt er niveauet væsentligt højere end tilsvarende fra olie og gaskedler. Der arbejdes p.t. med udvikling af partikelfiltre til brændeovne, men de findes ikke endnu på markedet. På grund af forurening anbefales brændeovne generelt ikke i byer og tæt bebyggede områder.

Brændeovne vurderes at have ringe potentiale i og med krav til fyring og fordeling af varme ofte resulterer i ringe udnyttelse af brændsel og øget luftforurening. Den høje luftforurening kan muligvis inden for de næste år medføre forbud eller begrænsninger i, hvor brændeovne må anvendes, eller at brændeovne bliver afgiftsbelagte. Masseovne har et potentiale i områder uden fjernvarme og med god adgang til brændsel samt lagerplads. Arbejdet med påfyldning og vedligeholdelse af ovnen skal tages med i betragtning. En supplerende varmekilde er nødvendig, da masseovnen er et par dage om at opstarte, hvis den har været ude af drift.

Fakta: (Gælder for en individuel brændeovn (træ) i en bolig, installationen dækker kun en andel af boligens samlede varmebehov)

Variabel energipris	0,4 kr./kWh _{varme}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	2.200-4.600 kr/kWh _{varme}
Produktionspris	0,5-0,7 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative Egenskaber

- Høj luft- og partikelforurening
- Kræver arbejdsindsats i drift
- Husstands anlæg passer ikke til lavenergi byggeri
- Ineffektiv ved lav dellast

Kombineres med:

- + Udskiftning af eksisterende ældre individuel opvarmning (f.eks. oliefyr)

Kombineres helst ikke med:

- Områder med fjernvarme

Referencer:

Mere end 400.000 brændeovne, pejse, masseovne mm. i husholdninger i Danmark i 2005 (Biomass Statistics: Firewood, Energistyrelsen 2006)

5 Varmepumper og kølemaskiner

Her behandles en række forsyningsteknologier, som via varmepumper udnytter energiindhold i vores omgivelser – jord, luft og vand. Alle teknologierne forbruger energi for at virke. Men udbyttet bliver større, end hvis man anvendte energien direkte.

Flere teknologier indebærer et forbrug af el (f.eks. eldrevne varmepumper til varmeproduktion eller køleproduktion med eldrevne kølemaskiner). Det er valgt at tildele elforbrug en standard CO₂-udledning, svarende til den gennemsnitlige CO₂-udledning for elektricitet i 2009 opgjort ud fra 200 % -metoden. Dette er en gængs metode til tildeling af emissioner til elforbrug, men der gøres opmærksom på at andre tilgange muligvis ville resultere i væsentlig anderledes CO₂-emission. Andre beregnings- og vurderingsmetoder kunne således få elforbrugende teknologier til at fremstå mere eller mindre bæredygtigt end i teknologiarkene i dette katalog.

Visse teknologier kræver bestemte omgivelser. For eksempel kræver grundvandskøling bestemte geologiske forhold, ligesom en havvandsvarmepumpe kræver adgang til havvand. Dette er nærmere beskrevet i hvert teknologiark.

Større virksomheder har ofte et kølebehov til f.eks. kontorer eller som en del af deres produktion. Traditionel køling forsynes med et lokalt eldrevne kølesystem, som afgiver den bortkølede varme til luften. Ud over traditionel køling beskriver dette afsnit 3 former for bæredygtig køleproduktion som udnytter de lokale ressourcer i form af jorden, grundvandet eller havvand. Teknologierne kan anvendes til individuel forsyning med køling eller via et forsyningsnet (se teknologiark om central fjernkøling under forsyning) til kollektiv forsyning med køling.

Varmepumpen henter varme ved en lav temperatur (den kolde side) og leverer varme ved en højere temperatur (den varme side). Der bruges energi i form af enten varme eller el til denne proces. I varmepumpen til opvarmning bruger man varmeindholdet i luft, jord eller vand og køler derved omgivelserne. Varmepumpen kan med fordel anvendes, når varmebehovet ikke er ved for høj temperatur og der er adgang til at optage varme fra luft, vand eller jord mv., eller der er spildvarme ved lav temperatur (20 °C) til rådighed.

Kølemaskinen fjerner varme fra det, der ønskes kølet (den kolde side) og afleverer varmen til ressourcen ved en højere temperatur (den varme side). Dertil bruges energi, enten varme eller el. I kølemaskinen trækkes varme fra den kolde side og varmen afleveres til omgivelserne. Kølemaskiner dækker alt fra den

traditionelle kompressorkøler til en række mere bæredygtige teknologier, der øger udbyttet af den forbrugte energi og anvendes når der er et kølebehov (komfortkøling), der ikke kan dækkes med passive metoder herunder frikøling.

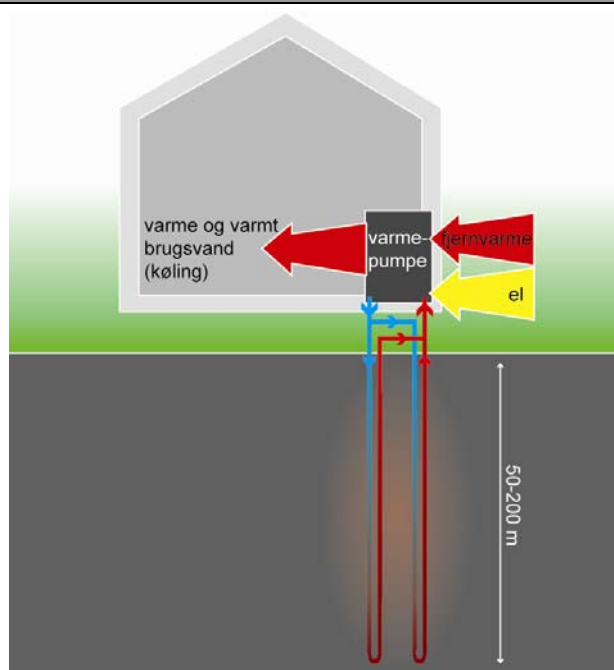
Varme-kølemaskinen er fysisk det samme som en varmepumpe eller kølemaskine, hvor man udnytter både den varme og den kolde side. Maskinen styres enten efter varmebehov eller kølebehov, og kan skifte derimellem. Kombinerede varme-kølemaskiner kan med fordel anvendes ved samtidige behov for varme, ved en ikke for høj temperatur, og komfortkøling eller serverkøling. Varme eller kulde kan lagres enten over døgnet i bygning eller vandlager eller sæsonlagres i store lagre.

VARMEDREVET ABSORPTIONSVARMEPUMPE**C-1**

Varme og køling kan produceres med varmedrevne varmepumper. Ofte skelnes der her mellem absorptionsvarmepumper og adsorptionsvarmepumper. Absorptionsprocessen, hvor fjernvarmen omdannes til varme og køling, er en kontinuert proces. Processen består af et kølemiddel og en absorbant, der i dette tilfælde er en væske. Flere stofpar kan anvendes i absorptionsprocessen. Absorptionskølemaskiner har været brugt i mange år. Langt hovedparten bruger enten LiBr + vand eller vand + ammoniak. Heraf er den førstnævnte den mest effektive og mest udbredte, og den vil danne grundlag for den efterfølgende gennemgang. Maskinen drives af varme (for eksempel 80 °C som drivende temperatur). Den har en varm side (for eksempel 35 °C) og en kold side (for eksempel 10 °C), og begge sider kan udnyttes. Dette ark handler om maskinen som varmepumpe, hvor den varme side udnyttes.

Den varme side udgøres af bygningens varmesystem, og da den varme side vanskeligt kommer over 40 °C er den kun til lavtemperaturvarme. Da endvidere den kolde side vanskeligt kan komme under 7 °C, kan den som varmepumpe ikke køre på jordslanger, hvor temperaturen kan blive lavere. Bedst er grundvand eller evt. et borehulslager, hvor temperaturen f.eks. kan hæves med solvarme. Absorptionsvarmepumpe har kun et beskedent elforbrug til pumper mv., men til gengæld et forbrug af drivvarme fra f.eks. fjernvarme, gas eller lignende. Absorptionsvarmepumper er afhængig af en drivvarme på mindst 80 °C. Ved lavere temperaturer er det mere effektivt at anvende en adsorptionsvarmepumpe. Absorptionsvarmepumper kan både anvendes centralt og decentralt. Centralt kan teknologien bruges til at udnytte varme fra f.eks. geotermi eller røggasser og levere lavtemperaturvarme til fjernvarmenettet. Drives varmepumpen af damp kan den levere varme ved højere temperaturer end 40 °C, og kan derved levere varme til et traditionelt fjernvarmesystem. Decentralt kan anlægget bruges til opvarmning af enkelte bygninger og drives af gas, fjernvarme eller af solvarme.

COP-værdien er et mål for effektiviteten af en varmepumpe i en typisk driftssituation. Denne siger hvor mange kWh varme, man får ud af én kWh drivenergi. COP-værdi for absorptionsvarmepumper varierer mellem 1,5 og 2.



Fakta: Beregningen omfatter et større anlæg installeret i en virksomhed, hvor der er overskudsvarme som reservoir.

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{varme}	CO2 udledning	0-160 g/kWh _{varme}
Faste driftsomkostninger	0,03 kr./kWh _{varme}	Levetid	25 år
Produktionspris	0,-1,0 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	2.000 kr/kWh _{varme}

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan bruges i både stor og lille skala
- + Teknikken er kendt
- + God løsning i områder med traditionel fjernvarme kombineret med lavenergibyggeri

Negative egenskaber:

- Kræver drivende varme på mindst 80 °C
- Som varmepumpe kan den kolde side ikke komme under ca. 7 C.
- Kræver billig drivvarme (overskudsvarme)

Kombineres med:

- + Traditionel fjernvarme som drivvarme
- + Geotermi som varme reservoir
- + Sæsonlagring af varme/kulde

Kombineres helst ikke med:

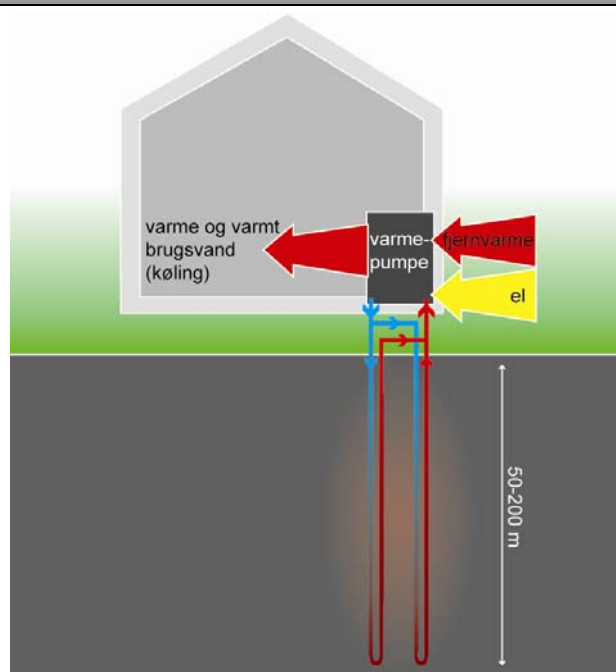
- Udelukkende behov for høj temperatur (til radiatorer) og opvarmning af brugsvand

Referencer:

Bjerringbro Varmeværk (<http://www.bjerringbro-varme.dk/>)

VARMEDREVET ADSORPTIONSVARMEPUMPE**C-2**

Varme og køling kan produceres med varmedrevne varmepumper. Ofte skelnes der her mellem absorptionsvarmepumper og adsorptionsvarmepumper. Adsorptionsmaskinen drives ved en lav fjernvarmetemperatur, ned til 60 °C, mod ca. 80 °C for absorptionsmaskinen. Adsorptionsvarmepumpen kan levere varme op til ca. 40 °C (ved lav effektivitet) og køling ned til 3-4 °C. Princippet i adsorptionsmaskinen er baseret på adsorption af vanddamp i silicagel eller tilsvarende materiale. Når silicaen suger vand til sig, falder trykket og nyt vand fordampes, hvorved der bruges varme og temperaturen falder. Silicaen skal så udtørres, og her bruges der varme. Processen er ikke kontinuert, men kører i perioder på ca. 10 min. mellem to kamre og derfor svinger temperaturene en hel del. Da den varme side vanskeligt kommer over 40 °C er maskinen kun til lavtemperaturvarme. Da endvidere den kolde side vanskeligt kan komme under 3-4 °C, kan den som varmepumpe ikke køre på traditionelle jordslanger. Bedst egnet er grundvand eller et borehulslager der regenereres. Adsorptionsvarmepumpe har kun et beskedent elforbrug til pumper mv., men til gengæld et forbrug af drivvarme fra f.eks. fjernvarme, gas eller lignende. Adsorptionsvarmepumper kan både anvendes centralt og decentralt. Centralt kan teknologien bruges til at udnytte varme fra f.eks. geotermi eller røggasser som drivenergi og levere lavtemperaturvarme til fjernvarmenettet. Decentralt kan anlægget bruges til opvarmning (og køling) af enkelte bygninger og drives af gas eller fjernvarme eller af solvarme.



COP-værdien er et mål for effektiviteten af en varmepumpe i en typisk driftssituation. Denne siger hvor mange kWh varme man får ud af én kWh drivenergi. COP-værdi for adsorptionsvarmepumper varierer mellem 1,4 og 1,6, og er således lavere end for absorptionsmaskiner. Adsorptionsmaskiner er, pga. relativt høje anlægspriser, bedst egnet, hvis den kan anvendes både til varme og køling (helst på samme tid), hvis kravet til fremløbstemperatur er lav (30 C) og hvis der er grundvand som kilde eller et borehulslager med sæsonlagring. Teknologien kan ses som en forbedret udnyttelse af fjernvarme, hvor der hentes ca. 40-50 % gratis varme om vinteren og hvor "overskudsvarme" om sommeren anvendes til køling og erstatter el.

Fakta: (Gælder for en samlet installation med borehulslager som kan forsyne en større bygning. Fakta gælder kun for opvarmning og anlægget, dækker ikke hele bygningens varmebehov)

Variabel energipris	0,7 kr./kWh _{varme}	CO ₂ udledning	0-190 g/kWh _{varme}
Faste driftsomkostninger	0,01 kr./kWh _{varme}	Levetid	25 år
Produktionspris	0,6-1,4 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	18.000 kr/kW _{varme}
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed		- Kræver billig drivvarme (overskudsvarme)	
+ Kan bruges i både stor og lille skala		- Som varmepumpe kan den kolde side ikke komme under ca. 3-4 °C.	
+ God løsning i områder med traditionel fjernvarme kombineret med lavenergibyggeri			
Kombineres med:		Kombineres helst ikke med:	
+ Traditionel fjernvarme som drivvarme		- Udelukkende behov for høj temperatur (til radiatorer) og opvarmning af brugsvand	
+ Kombineret fjernvarme til distribution		- Ingen mulighed for at hente varme i omgivelser	
+ Sæsonlagring af varme/kulde (borehuller)			
Referencer:			
Green Lighthouse, Københavns Universitet			

DECENTRAL FJERNKØLING

C-3

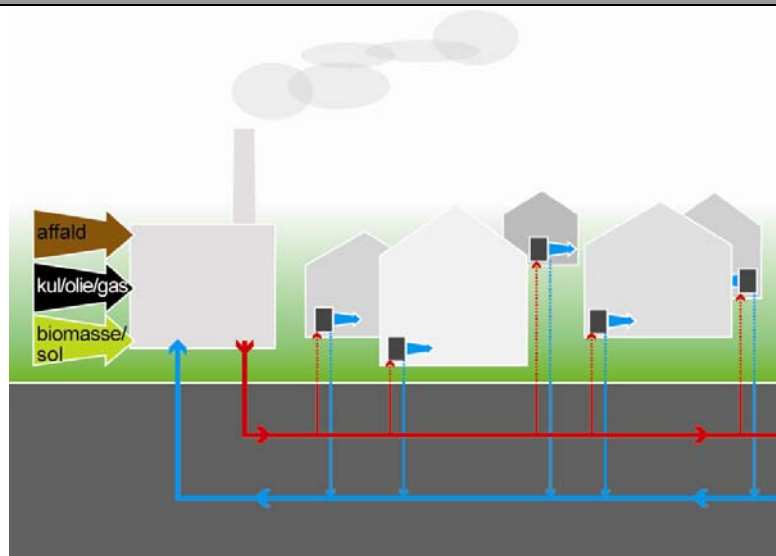
Decentral fjernkøling er baseret på fjernvarme, som distribueres ud til slutbrugeren, hvor et anlæg kan udnytte varmen til køling ved hjælp af en varmedrevet varmepumpe.

Kølebehovet i bygninger er typisk størst om sommeren, og her er der ofte miljøvenlig og billig fjernvarme til rådighed, f.eks. fra affaldsforbrænding og kraftvarme. Fjernvarmen til decentral køling kan også produceres (delvist) med en solvarmecentral, hvor produktionen passer godt til behovet.

Ved decentral fjernkøling omsættes fjernvarmen hos slutbrugeren i en adsorption varmekøle-maskine (som kan virke ned til 65 °C på fjernvarmen) til køling, som dækker slutbrugers kølebehov. Denne har typisk en COP (effektivitetsfaktor) på omkring 0,6 for køling. Det betyder, at der for hver kWh fjernvarme, der bruges, leveres 0,6 enheder køling og at der skal bortkøles 1,6 kWh varme (ved lav temperatur) fra den varme side af maskinen hos slutbrugeren. Bedst er det hvis denne varme kan bruges til opvarmning (hvad den ofte ikke kan). Hvis ikke, stiller decentral fjernkøling store krav til bortkøling af varme til luft, havvand eller andet medie ved slutbrugeren. Alternativt kan varmen (hos større kunder) lagres i f.eks. et borehulslager (sæsonlagring), og varmekøle-maskinen anvendes om vinteren til varmeproduktion, hvor så lageret køles. Herved udnyttes fjernvarme bedre om vinteren.

Decentral fjernkøling vurderes at have stort potentiale i fjernvarmeområder med varmeoverskud om sommeren (affaldsforbrænding mv.), og hvor kølebehov er så spredt, at der ikke kan etableres en ledning til fjernkøling, eller i bymæssige bebyggelse hvor det er bekosteligt at etablere en ekstra ledning til kølevand. Hvis varmen fra kølemaskinen (lav temperatur) ikke kan udnyttes (sæsonlager, svømmebad mv.) så skal den brugte fjernvarme være billig overskudsvarme for at det økonomisk kan hænge sammen.

Anlæg til produktion kan være ejet af slutbrugeren, som så køber fjernvarme, eller af et energiselskab, som så sælger køling og lavtemperaturvarme produceret hos kunden.



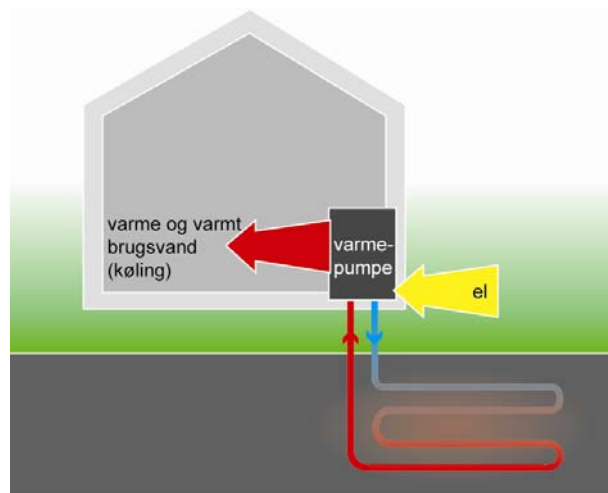
Fakta: (Gælder for virksomhed/indkøbscenter på ca. 30.000 m² og dækker hele køleanlægget som også består af traditionelle kølemaskiner. Hvis fjernvarmen kan fås billigt, kan der muligvis opnås en lavere energipris)

Variabel energipris	1,1 kr./kWh _{køl}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{køl}	Investering i bygninger	7.500 kr/kW _{køl}
Produktionspris	1,5-2,4 kr./kWh _{køl}		
CO2 udledning	80-360 g/kWh _{køl}		
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
+ Lav CO2 belastning pr. energienhed		- Kræver at der er fjernvarme	
+ Kan udnytte overskudsvarme om sommeren		- Teknikken ikke udbredt og velkendt i Danmark	
Kombineres med:		Kombineres helst ikke med:	
+ Byggerier med højt kølebehov og kølebehov om vinteren eller samtidige køle- og varmebehov tæt ved hinanden		- Byområder uden fjernvarme eller fjernvarme uden overskudsvarme om sommeren.	
+ Fjernvarme baseret på kraftvarme, affaldsforbrænding, overskudsvarme eller solvarmecentraler		- Byområder, hvor etablering af ekstra ledning til kølevand er besværligt/kostbart	
+ Sæsonlagring af termisk energi			
Referencer:			
Viborg Rådhus		Green Lighthouse, København	

JORDVARME – VANDRETTE SLANGER**C-4**

Vandrette jordslanger, kan sammen med en eldrevet varmepumpe, bruges som varmekilde til forsyning af varme og varmt brugsvand til en bygning. En jordvarmepumpe fungerer populært sagt som et omvendt køleskab, som flytter varme fra jorden til den varme side, der udgøres af bygningens varmesystem.

Der er et vist pladskrav til en jordvarmeslange for et varmepumpeanlæg. Normalt antages, at der skal 1-2 m slange pr m² opvarmet bygning. Slangerne skal lægges med en afstand på omkring en meter i en dybde af ca. 1 m. For etagebyggerier og karrébygninger kan det betyde et væsentligt arealkrav. Hvis der ikke er tilstrækkelig plads, kan der i stedet overvejes jordvarme med borehuller som beskrevet i teknologiark C-5.



COP-værdien er et mål for effektiviteten af en eldrevne varmepumpe i en typisk driftssituation. Denne angiver hvor mange kWh varme, man får ud af én kWh el. En typisk praktisk COP-værdi for en eldrevne jordvarmepumpe til både varme og varmt brugsvand er omkring 3 til 4.

Jordvarme kombineret med eldrevne varmepumper vurderes som teknologi at være brugbar på nuværende tidspunkt, da den, både økonomisk og teknologisk, er udviklet nok til at være et realistisk alternativ til fjernvarme. Samtidig er det en teknologi, som også i de kommende år vil udvikle sig yderligere, og dermed kan der drages nytte af dette ved senere udskiftning og renovering af anlæggene.

Jordvarme er velegnet til bygninger med lavt energiforbrug og bygninger uden mulighed for fjernvarmetilslutning. Jordvarmens effektivitet øges, hvis bygningen kan opvarmes med lavtemperatur varme f.eks. som gulvarme.

Fakta: (Gælder for en individuel installation i en bolig)

Variabel energipris	0,4 kr./kWh _{varme}
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}
Produktionspris	0,8-1,1 kr./kWh _{varme}
CO2 udledning	125-200 g/kWh _{varme}

Levetid	20 år
Investering i bygninger	10.000 kr/kW _{varme}

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan bruges i både stor og lille skala
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + God løsning væk fra fjernvarmeområder

Negative egenskaber:

- Problematisk at nedgrave vandrette slanger i eksisterende bebyggelser
- Kræver el, som ikke nødvendigvis er miljøvenlig
- Lav COP ved varmtvandsproduktion, kan have svært ved at opnå tilstrækkeligt høje temperaturer

Kombineres med:

- + Overskudsel fra vindmøller
- + Solfanger til varmt brugsvand

Kombineres helst ikke med:

- Udelukkende behov for høj temperatur (til radiatorer) og opvarmning af brugsvand

Referencer:

Omkring 25.000 jordvarmeanlæg i Danmark (Miljøstyrelsen, 2008)

JORDVARME - BOREHULLER**C-5**

Lodrette borehuller kan sammen med en eldrevet varmepumpe producere varme og køling til forsyning af en bygning. Om vinteren, når bygningen har et opvarmningsbehov, køles borehullet og om sommeren vendes processen og bruges til køling af bygningen, hvorved borehullet opvarmes (regenereres). Varmepumpen kan være eldrevet eller varmestrevet med f.eks. en adsorptionsvarmepumpe.

Borehuller kan, uden regenerering, anvendes til almindelige eldrevne varmepumper som alternativ til vandrette jordslanger for at spare plads. Regenerering sker da fra omgivelserne eller fra gennemstrømning af grundvand.

Borehullslageret består af en række borehuller med et U-rør af plast eller metal, hvori der cirkulerer en væske (vand eller brine). Afstanden mellem borehullerne er fra et par m og op til 5 m, og dybden er fra 20 til 200 m dybe.

Hvis man vil lagre kulde fra vinter til sommer, skal der ikke være for meget strømning af vand i lageret. Det er bedst med kridt eller ler, mens tørt sand ikke er så egnet. Vådt sand gennemstrømmet af vand, som holder en (næsten) konstant temperatur på ca. 10 grader, er dog fint både som kilde til varmepumpe og kølemaskine, men der er ingen lagring.

COP-værdien er et mål for effektiviteten af en eldrevne varmepumpe i en typisk driftssituation. Denne angiver hvor mange kWh varme man får ud af én kWh el. Den opnåede COP-værdi i varmepumpedrift (udnyttet varmeenergi divideret med brugt energi), afhænger af hvilken varmepumpe der anvendes og af om der regenereres. Hvis der ikke regenereres (ved at lageret bruges til køling om sommeren, eller ved at der tilføres varme på anden måde), kan der kun anvendes eldrevne varmepumper.

Borehuller kombineret med eldrevne varmepumper vurderes som teknologi at være brugbar på nuværende tidspunkt, da den både økonomisk og teknologisk er udviklet nok, til at være et realistisk alternativ til fjernvarme. Samtidig er det en teknologi, som også i de kommende år vil udvikle sig yderligere, og dermed kan der drages nytte af dette ved senere udskiftning og reovering af anlæggene.

Fakta: (Gælder for en individuel installation i en bolig)

Variabel energipris	0,4 kr./kWh _{varme}	CO ₂ udledning	130-200 g/kWh _{varme}
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Levetid	20 år
Produktionspris	1,3-1,5 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	20.000 kr./kW _{varme}

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan bruges i både stor og lille skala
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + God løsning uden for fjernvarmeområder

Negative egenskaber:

- Kræver bestemte geologiske/grundvandsmæssige forhold ved dybe boringer
- Ikke mulig hvis vandindvinding i nærheden
- Kræver el, som ikke nødvendigvis er miljøvenlig
- Lav COP-værdi ved varmtvandsproduktion

Kombineres med:

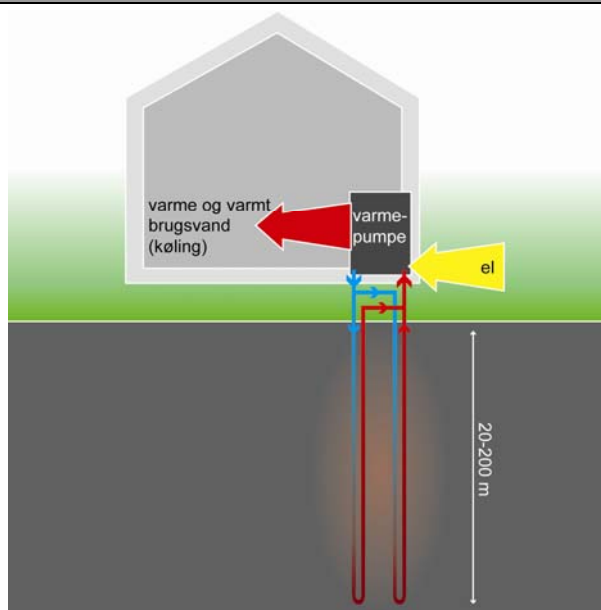
- + Eldreven varmepumpe
- + Overskudsel fra vindmøller
- + Solvarme (+ el) til varmt brugsvand

Kombineres helst ikke med:

- Udelukkende behov for høj temperatur (til radiatorer) og opvarmning af brugsvand

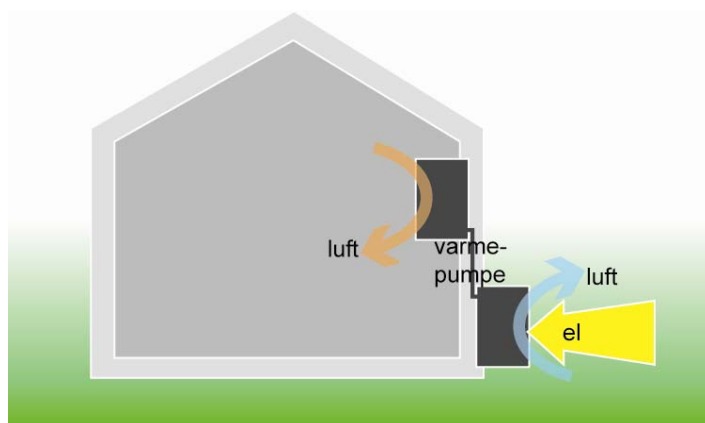
Referencer:

Green Lighthouse, København



LUFT/LUFT VARMEPUMPE**C-6**

Luft/luft varmepumper fungerer populært sagt som et omvendt køleskab, hvor den kolde side udgøres af udeluften, og den varme side afgiver varme til bygningens indeluft. Ofte er der for luft/luft varmepumper tale om små eldrevne enheder, som afgiver varmen til en enkelt blæser monteret på væggen i bygningen. Dette giver en ringe fordeling af varmen til øvrige rum uden for det rum, hvor varmen afgives. Det er dog også en mulighed at etablere mekanisk ventilation hvor varmen fordeles bedre gennem ventilationskanaler i bygningen. (Se teknologiark C-8)



Mindre luft/luft varmepumper til opvarmning af bygninger udmærker sig ved at være nemme at installere, de kan placeres mange steder og kræver ikke et varmfordelingssystem (radiatoranlæg). Luft/luft varmepumper har også en fordel i og med at de kan anvendes til komfortkøling om sommeren. Der kan dog være støj- og trækgener fra driften af varmepumpen, som det er vigtigt at være opmærksom på.

COP-værdien er et mål for effektiviteten af en eldrevne varmepumpe i en typisk driftssituation. Denne angiver hvor mange kWh varme, man får ud af én kWh el. Den årlige gennemsnitlige COP-værdi for en luft/luft varmepumpe er omkring 3-4. Dette svarer stort set til effektiviteten for eldrevne jordvarmpumper. På grund af risikoen for støj og ringere termisk indeklima (træk og ringe varmfordeling) er luft/luft varmepumpen mest relevant i situationer, hvor elvarme skal erstattes på en nem og billig måde. Sammenlignet med andre opvarmningsformer forsyner luft/luft varmepumpen desuden kun bygningen med rumvarme og ikke med varmt brugsvand.

Luft/luft varmepumper vurderes at have ringe potentiale som teknologi for opvarmning af bygninger i såvel nybyggeri som eksisterende byggeri. Dette skyldes at teknologien sammenlignet med andre bæredygtige varmforsyningsteknologier medfører lavere komfort.

De små varmepumper findes også i en variant, hvor indeluftdelen er udskiftet med en væskevarmeveksler. Denne variant bliver så til en luft/vand varmepumpe der typisk tilkøbes husets centralvarmeanlæg.

Fakta: (Gælder for en individuel installation i en bolig, hvor kun en andel af opvarmningsbehovet dækkes)

Variabel energipris	0,5 kr./kWh _{varme}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	5.500 kr./kW _{varme}
Produktionspris	0,7-1,1 kr./kWh _{varme} 140-240		

Positive egenskaber:

- + Relativt lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Billig og nem installation også i eksisterende bygninger

Negative egenskaber:

- Ringe fordeling af varmen uden ventilationssystem
- Kræver el, som ikke nødvendigvis er miljøvenlig
- Producerer ikke varmt brugsvand

Kombineres med:

- + Overskudsel fra vindmøller
- + Nem konvertering fra elvarme

Kombineres helst ikke med:

- Områder med fjernvarmforsyning
- Nybyggeri (eftersom bedre løsninger kan findes)

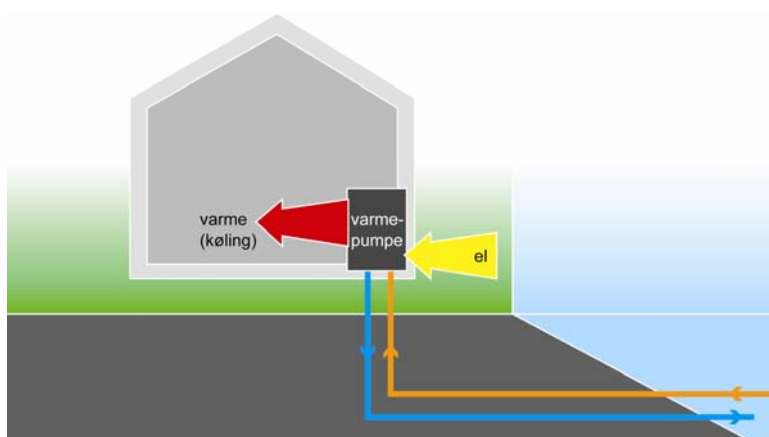
Referencer:

Der findes et stort antal luft/luft varmepumper i husholdninger og sommerhuse i Danmark

HAVVANDSVARMEPUMPE

C-7

En havvandsvarmepumpe anvendes til at dække et varmebehov ved at bruge havvand som varmereservoir. Havvandsvarmepumpen fungerer populært sagt et omvendt køleskab, som flytter varme fra havvandet til den varme side, som udgøres af bygningens varmesystem. Typisk pumpes havvand fra et indtag igennem en varmeveksler, som optager varmen fra havvandet, som derefter returnerer til havet eller havnen gennem et udtag. Selve varmepumpen kan drives med f.eks. elektricitet.



Havvandsvarmepumper kan både anvendes i lille skala til opvarmning af enkelte boliger, i stor skala til opvarmning af større byggerier eller flere bygninger, samt som tilskud til kollektiv forsyning (fjernvarme). Varmepumpeløsningen fungerer bedst med gulvvarme eller anden lavtemperaturopvarmning i bygningen, da det vil give en mere effektiv drift af havvandsvarmepumpen.

Hvis der er et kølebehov i bygningen er der mulighed for, at havvandsvarmepumpen anvendes til både at opvarme og køle bygningen. Havvandet kan i dette tilfælde anvendes som varmereservoir om vinteren til opvarmning af bygningen, samt som kuldereservoir om sommeren til køling af bygningen. I dette tilfælde skal der dog tages hensyn til opvarmning af havvandet, hvis udledningen sker i f.eks. et havneløb med begrænset gennemstrømning.

Havvandsvarmepumper drevet med el vurderes som teknologi at være brugbar på nuværende tidspunkt, da den, både økonomisk og teknologisk, er udviklet nok til at være et realistisk alternativ til fjernvarme. Samtidig er det en teknologi, som også i de kommende år vil udvikle sig yderligere og dermed kan der drages nytte af dette ved senere udskiftning og reovering af anlæggene.

Fakta: (Gælder for kollektiv forsyning via fjernvarmenet og hvor varmepumpen har mange driftstimer)

Variabel energipris	0,7 kr./kWh _{varme}	Levetid	10-15 år
Faste driftsomkostninger	0,02 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	5.500 kr./kW _{varme}
Produktionspris	0,7-1,0 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	250-380 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Kan bruges i både stor og lille skala
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Kan fungere i og uden for fjernvarmeområder

Negative egenskaber:

- Det kan være problematisk at anlægge ind- og udtag
- Kræver el, som ikke nødvendigvis er miljøvenlig
- Lav COP ved varmtvandsproduktion

Kombineres med:

- + Overskudsel fra vindmøller
- + Fjernvarme

Kombineres helst ikke med:

- Udelukkende behov for høj temperatur (til radiatorer) og opvarmning af brugsvand

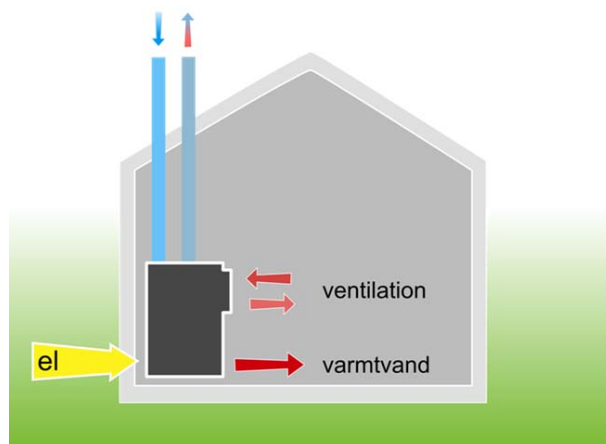
Referencer:

Skuespilhuset, København

VENTILATIONSVARMEPUMPE**C-8**

Ventilationsvarmepumper installeres i forbindelse med et ventilationsanlæg og udnytter den varme afkastluft fra ventilationssystemet. Ventilationsvarmepumpen fungerer populært sagt som et omvendt køleskab, hvor den kolde side udgøres af afkastluften fra ventilationen, og den varme side afgiver varme til opvarmning af bygningen samt evt. brugsvandsopvarmning. Varmen fordeles oftest i bygningen via ventilationssystemet.

Ventilationsvarmepumper fungerer i princippet lige som luft/luft varmepumper (luft/luft varmepumper er beskrevet i teknologiark C-6). Ventilationsvarmepumpen adskiller sig ved at sikre effektiv anvendelse af ventilationsluften, hvilket giver en mere effektiv drift sammenlignet med luft/luft varmepumpen (bedre fordeling, mindre risiko for støj og træk). Derudover fås ventilationsvarmepumpen som indbygget komponent i ventilationssystemet, hvilket giver en installationsmæssig fordel.



Den varmemængde, som leveres af ventilationsvarmepumpen, afhænger bl.a. af hvor meget ventilationsluft, der er til rådighed. Derfor er lavenergibyggeri med lavt opvarmningsbehov, samt et vist behov for mekanisk ventilation på grund af en meget tæt klimaskærm, oplagte at kombinere med teknologien. Ventilationsvarmepumpen kan kombineres med solvarme til brugsvandsopvarmning eller solceller/vindmøller, som kan dække hele eller dele af varmepumpens elbehov.

Ventilationsvarmepumper vurderes at have et stort potentiale i områder med lavenergibyggeri uden kollektiv varmforsyning. I denne sammenhæng er teknologien et både økonomisk og miljømæssigt bæredygtigt alternativ til anden bygningsopvarmning. I eksisterende byområder vurderes ventilationsvarmepumpen at have ringe potentiale, eftersom den her skal virke i samspil med en anden opvarmningskilde og derfor vil være en ekstra investering og dermed mindre økonomisk fornuftig.

Fakta: (gælder for en individuel installation i en bolig)

Variabel energipris	0,4 kr./kWh _{varme}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	10.000 kr./kW _{varme}
Produktionspris	1,1-1,3 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	140-170 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Relativt lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt

Negative egenskaber:

- Kræver el, som ikke nødvendigvis er miljøvenlig
- Lavere effektivitet ved produktion af varmt brugsvand
- Producerer ikke el

Kombineres med:

- + Lavenergibyggeri
- + Solvarme
- + Solceller
- + Vindmøller

Kombineres helst ikke med:

- Eksisterende byområder
- Nye byområder med kollektiv forsyning

Referencer:

Forskellige typehuse, bl.a. fra firmaerne: Hornsherredshus/Comvol, Sisa 2000, Skare Byg, PassivhusDesign

TRADITIONEL KØLING MED FRIKØLING

C-9

Traditionel køling anvendes til at dække et kølebehov ved at bruge udeluften som kuldereservoir. Traditionel køling fungerer populært sagt som et køleskab, som flytter varme fra bygningen til den varmeside som afgiver varmen til udeluften.

Varmeafgivelsen sker enten ved at blæse udeluften henover rør med varm kølevæske i eller ved at fordampe vand til udeluften, hvorved den resterende vandmængde afkøles. Varmeafgivelsen kræver i begge tilfælde en høj temperatur på køleprocessens varme side. Denne højere temperatur skabes af eldrevne kølemaskiner hvis kolde side sørger for at optage varmen fra bygningen.

Når udeluften, f.eks. om vinteren, er tilstrækkelig kold kan den anvendes til frikøling. Ved frikøling køles der direkte gennem en varmeveksler, således at kompressoren ikke anvendes og derved er der næsten intet elforbrug. Suppleres den traditionelle køling med en høj andel af frikøling bliver teknologien væsentlig mere bæredygtig.

Traditionel køling er meget følsomt over for de temperaturforhold der opereres under. Jo lavere temperatur på den varme side og jo højere temperatur på den kolde side, jo højere er teknologiens virkningsgrad. Det betyder at i tilfælde hvor kølingen dækker f.eks. aircondition, vil det største kølebehov forekomme om sommeren hvor der samtidig er en høj udetemperatur og dermed en lav virkningsgrad. Køleteknologier som havvandskøling og grundvandskøling har ikke denne ulempe i samme grad. Generelt kan siges at traditionel køling har det største elforbrug og dermed den største miljøbelastning sammenlignet med andre køleteknologier.

Traditionel køling kræver et vist udendørsareal til opstilling af aggregater til varmeafgivelse. Afhængigt af udformningen kan støjgener gøre det problematisk at opstille større traditionelle køleanlæg i tæt bebyggelse. Eldrevne kølemaskiner indeholdt tidligere miljøfarlige kølemidler, men det er nu muligt at installere anlæg med minimal påvirkning af klima og miljø ved udslip af kølemidler.

I byområder hvor de lokale forhold gør at andre kølemetoder ikke er anvendelige (f.eks. på grund af manglende tilgængelighed til havvand eller ugunstige geologiske forhold m.v.) samt hvor kølebehovet er så spredt og begrænset således at fjernkøling ikke er rentabelt vurderes traditionel køling at have stort potentiale.

Fakta: (Gælder for virksomhed/indkøbscenter på ca. 30.000 m² hvor frikøling ikke er indregnet)

Variabel energipris	0,6 kr./kWh _{køl}	CO2 udledning	170-240 g/kWh _{køl}
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{køl}	Levetid	20 år
Produktionspris	1,3-1,4 kr./kWh _{køl}	Investering i bygninger	6.200 kr./kW _{køl}

Positive Egenskaber:

- + Kan bruges i både lille og stor skala
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber

- Kræver udendørs areal til varmeafgivelse
- Kræver el til driften, som ikke nødvendigvis er miljøvenligt produceret
- Lav virkningsgrad når kølebehov er størst

Kombineres med

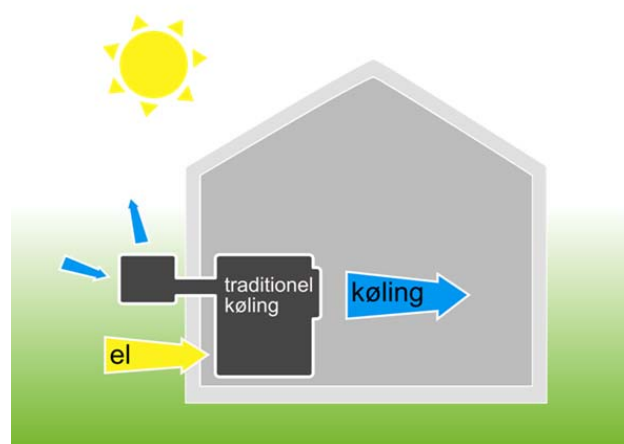
- + Byggerier som har kølebehov om vinteren
- + Solceller
- + Vindmøller
- + Bølgekraft

Kombineres helst ikke med:

- Områder hvor der ikke kølebehov (f.eks. boligområder)
- Områder med fjernkøling

Referencer:

Der findes et stort antal traditionelle køleanlæg i kontor- og industrierhverv i Danmark



GRUNDSVANDSKØLING**C-10**

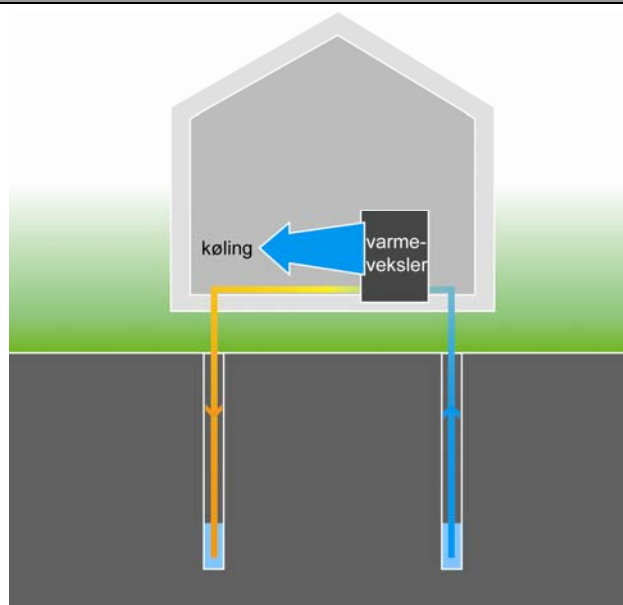
Ved grundvandskøling pumpes grundvand fra en eller flere indvindingsboringer via et lukket rørsystem gennem en varmeveksler, og derefter tilbage til en eller flere returledningsboringer. Varmeveksleren køler vandet i koldtandskreds, som overfører køleeffekten til bygningen via en køleflade.

Grundvandstemperaturen ligger uden for byområder på 8-9 °C og varierer ikke over året. Grundvandskøling kan derfor, i tilfælde hvor der anvendes højtemperaturkøling (16-20 °C), anvendes til at køle direkte via kølefladen hos slutbrugeren (frikøling), hvilket erstatter kølemaskiner m.m. og giver en meget bæredygtig form for køling. Grundvandskøling kan også anvendes sammen med et konventionelt køleanlæg til forkøling af det kolde vand.

Ved grundvandskøling ledes normalt hele den indvundne grundvandsmængde tilbage i samme grundvandsmagasin, hvorfra det blev indvundet. Grundvandet tilsættes ikke

stoffer og kommer ikke i kontakt med kølevandet, da det pumpes i et selvstændigt lukket rørsystem. På trods af dette tillades det sjældent i områder med drikkevandsindvinding. Et problem i forbindelse med grundvandskøling kan i nogle tilfælde være termisk forurening, idet der kan være myndighedskrav om, at temperaturen i grundvandsreservoiret ikke må hæves mere end f.eks. 1 °C. Typisk opvarmes grundvandet i varmeveksleren med ca. 5-15 °C. Såfremt grundvandet pumpes op igen om vinteren og køles ved hjælp af en varmepumpe (som anvendes til at opvarme bygningen) kan termisk forurening minimeres og grundvandet udnyttes bedre, da det er yderligere kølet ned.

En anden begrænsning ligger i behovet for, at de geologiske forhold omkring grundvandsboringerne er optimale. Såfremt vandføringsevnen i jorden er lav, vil det være begrænset hvor meget grundvand, der kan indvindes, og dermed begrænset, hvor meget køling et anlæg vil kunne levere. Grundvandskøling er ikke særlig udbredt i Danmark. Teknologien vurderes dog som brugbar og har et vist potentiale.



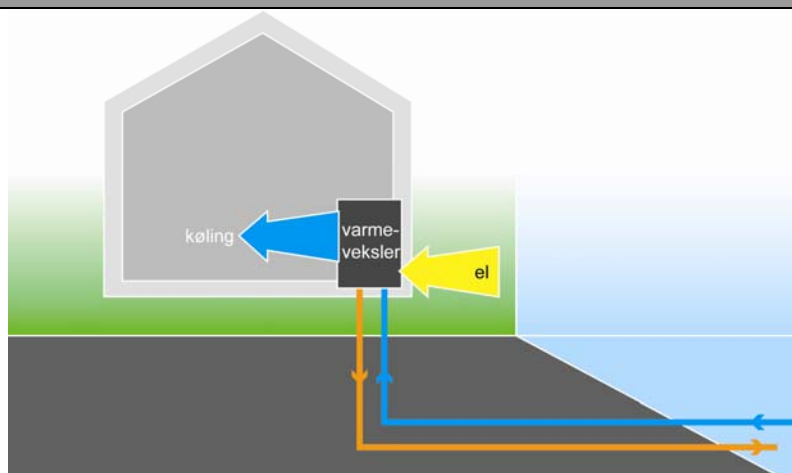
Fakta: (Gælder for en større virksomhed (<100.000 m²) og dækker hele køleanlægget, som også består af traditionel køling)

Variabel energipris	0,2 kr./kWh _{køl}	Levetid	25 - 50 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{køl}	Investering	33.000 kr./kW
Produktionspris	0,8-1,2 kr./kWh _{køl}		
CO2 udledning	40-100 g/kWh _{køl}		
Positive egenskaber		Negative egenskaber	
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed		- Kræver overholdelse af myndighedskrav	
+ Teknikken er kendt		- Kræver bestemte geologiske forhold	
+ Kan anvendes til køling og varme samt sæsonlagring		- Ikke mulig i vandindvindingsområder	
Kombineres med:		Kombineres helst ikke med:	
+ Lavenergibyggeri		- Områder hvor der primært er boliger uden kølebehov	
+ Fjernkøling			
+ Varmepumpe			
+ Byggerier med stort kølebehov			
Referencer:			
DR-byen, København			

HAVVANDSKØLING

C-11

Havvandskøling anvendes til at dække et kølebehov ved at bruge havvand som kuldere-servoir. Havvand pumpes fra et indtag igennem en varmeveksler og tilbage i havet. Varmevexleren køler vandet i en koldtandskreds som overfører køleeffekten til bygningen via en køleflade.



Havvandstemperaturen varierer typisk fra 0°C om vinteren til 25 °C om sommeren. Havvandskølingen kan derfor om vinteren bruges direkte til at køle (frikøling), hvilket giver en meget bæredygtig form for køling. Den resterende del af året anvendes havvandskølingen sammen med en kølemaskine.

Er der tale om et lavenergibyggeri med højtemperaturkøling (16-20 °C) vil perioden, hvor havvandskølingen kan anvendes til frikøling øges, og dermed vil økonomien for anlægget forbedres.

Ved lavenergibyggeri er der mulighed for at en varmepumpe anvendes til både at opvarme og køle bygningen. Havvandet kan her anvendes som varmereservoir om vinteren til opvarmning af bygningen samt som kulde-reservoir om sommeren til køling af bygningen.

I mange havneområder er der myndighedskrav til, hvor meget havnevandet må opvarmes. Dette kan sætte grænser for kapaciteten af et havvandskøleanlæg, idet en stor opvarmning af havvandet er ønskværdig.

Havvandskøling er i dag vidt udbredt og anvendes fra mindre skala (f.eks. kontorbyggeri) til stor skala (kraftværkskøling og fjernkøling). Såfremt der er tale om en placering, hvor havvand er en tilgængelig ressource, vurderes teknologien som absolut brugbar og kommercielt tilgængelig.

Fakta: (Gælder for en større bygning og dækker hele køleanlægget, som også består af traditionelle kølemaskiner)

Variabel energipris	0,2 kr./kWh _{køl}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{køl}	Investering i bygninger	7.200 kr./kW
Produktionspris	0,9-1,3 kr./kWh _{køl}		
CO2 udledning	50-120 g/kWh		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber

- Kræver at havvand er tilgængeligt
- Kræver hensyntagen til myndighedskrav

Kombineres med

- + Lavenergibyggeri
- + Fjernkøling
- + Varmepumper
- + Byggerier som har kølebehov om vinteren

Kombineres helst ikke med:

- Områder hvor der primært er boliger uden kølebehov

Referencer:

Skuespilhuset, København

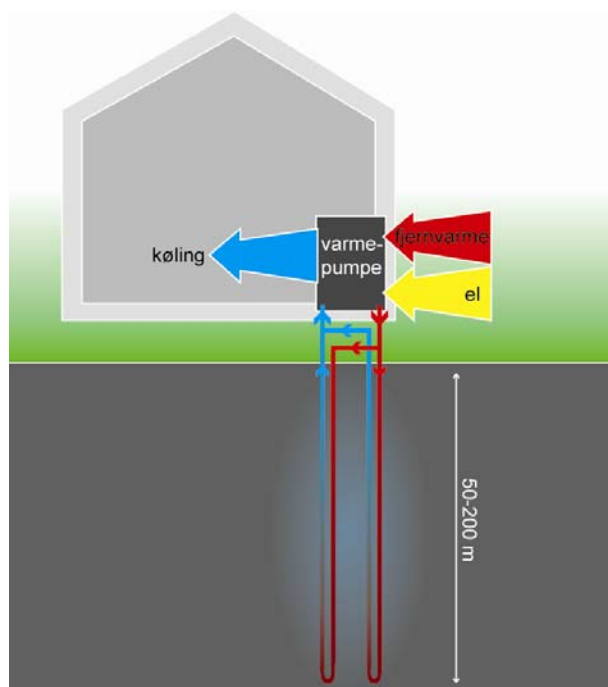
BOREHULSKØLING**C-12**

Lodrette borehuller kan alene, eller sammen med en kølemaskine, bruges til at dække en bygnings kølebehov. Borehullerne fungerer ved at U-rør bores mellem 50-200 m ned i jorden med en afstand på nogle få meter mellem hvert borehul. Bygningen, som skal køles, afgiver varme til væske som cirkulerer i U-røret, og varme overføres fra væsken til jorden. Borehullernes virkningsgrad afhænger af geologiske forhold, grundvandsforhold og dybden, som der bores i. Eftersom disse forhold kan variere lokalt, er det vigtigt, at de undersøges inden det besluttes at anvende borehuller.

Temperaturen af jorden omkring borehullet varierer afhængigt af brugen af borehullet til borehulskøling. Anvendes et lille antal borehuller til meget køling vil jorden blive varmet op. Dette betyder at borehullets temperatur afhængigt af brugen, varierer henover året. Er temperaturen af borehullet meget lav (f.eks. 3-6 °C), eller der anvendes højtemperaturkøling i bygningen (16-20 °C), er der mulighed for at køle direkte med borehulskølingen, hvilket giver en meget bæredygtig form for køling.

Er temperaturen i borehullet højere, anvendes kølemaskiner, hvis varme side køles af borehullet. Stiger temperaturen for meget i borehullet i løbet af kølesæsonen, kan det være nødvendigt at køle borehullet (f.eks. med kold udeluft), inden kølesæsonen starter igen. Anvendes borehullet til køling om sommeren og opvarmning om vinteren (med varmepumpe), bliver borehullet ofte kølet tilstrækkeligt i løbet af opvarmningssæsonen.

Selvom borehulskøling ikke er særligt udbredt i Danmark, vurderes det som en absolut brugbar teknologi. Sammenlignet med konventionel køling, hvor kondensatorvarme afgives via køletårne eller tørkølere, er der tale om en væsentlig mere bæredygtig køleløsning.



Fakta: (Gælder for en samlet installation med borehulslager, varmedrevne kølemaskiner, traditionelle kølemaskiner mm., som kan forsyne en større bygning. Fakta gælder kun for køling, men anlægget kan også levere varme, og medtages dette bliver de økonomiske forhold bedre)

Variabel energipris	0,2 kr./kWh _{køl}	CO2 udledning	10-60 g/kWh _{køl}
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{køl}	Levetid	20 år
Produktionspris	1,1-1,5 kr./kWh _{køl}	Investering i bygninger	8.400 kr./kW _{køl}

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Kan bruges i både stor og lille skala
- + Kræver relativt lille areal

Negative egenskaber:

- Kræver bestemte geologiske og grundvandsmæssige forhold ved dybe boringer
- Kræver køling af borehuller uden for kølesæson
- Kræver el til driften, som ikke nødvendigvis er miljøvenligt produceret

Kombineres med:

- + Eldreven eller varmedreven varmepumpe
- + Overskudsel fra vindmøller
- + Højtemperaturkøling
- + Borehulslager

Kombineres helst ikke med:

- Områder uden kølebehov

Referencer:

Green Lighthouse, København

6 Vedvarende energi

Vedvarende energi, eller alternativ energi, er en fællesbetegnelse for energiformer, der ikke har begrænsede reserver, men dog kan være begrænsede i deres øjeblikkelige forekomst, men kan gendannes. De fleste vedvarende energiformer kræver dog et (større eller mindre) energitilskud for at kunne udnyttes.

De fleste vedvarende energiformer stammer fra solen. Eksempelvis er vind og bølger et resultat af solstråling, der opvarmer jord og luft og skaber bevægelse i luft og vand. Al energi opsparet i liv, f.eks. planter, som benyttes som energikilde, stammer fra solen.

I dette afsnit beskrives energiforsyninger baseret på solenergi, vindenergi, bølgeenergi og geotermisk energi. Øvrige vedvarende energiformer, som jordvarme, beskrives under varmepumper og kølesystemer. Biobrændsel og biobrændstof, som også regnes som vedvarende energi, beskrives under energiproduktion ved afbrænding.

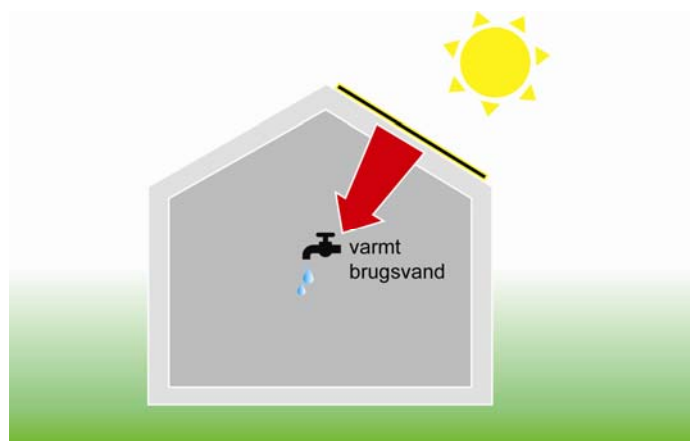
DECENTRAL SOLVARME**D-1**

Individuel solvarme kan benyttes som supplement til forsyning af primært varmt vand, samt i mindre grad til opvarmning i både nybyggeri og eksisterende bygninger. Uanset anlæggets størrelse er det ikke tilsluttet fjernvarmenettet.

Normalt dimensioneres anlægget således, at det om sommeren kan dække hele varmtvandsforbruget, mens det om vinteren kun dækker en mindre del. I overgangsperioderne, om foråret og efteråret, kan solvarme også dække en del af opvarmningsbehovet.

Samlet set kan individuelt installerede solfangere dække op mod halvdelen af det samlede behov for

varmt vand i almindelige boliger og en mindre del af opvarmningsbehovet. En forøgelse af dækningsgraden vil forøge investeringen og nedsætte økonomien i solvarme betragteligt.



Solfangerydelsen er meget afhængig af placeringen. En hældning på 45° fra vandret, orienteret direkte mod syd (f.eks. på et hustag), er den optimale placering og giver maksimal udnyttelse af solen. Solvarmepaneller kan også placeres på ydervægge, specielt placeret mod syd. Dette vil dog give en væsentlig reduktion i ydelser, især hvis panelerne placeres væk fra den sydlige orientering. For at få solfangere ned i pris skal de helst installeres på store tagarealer, som man kan finde på industrielle bygninger og lejlighedskomplekser, men også på énfamiliehuse kan installeres solfangere. Efter at der i mange år har været fokuseret på teknisk optimering af solfangeranlægget, er også arkitektonisk tilpasning/integration i byggeriet blevet et fokusområde.

Individuel solvarme vurderes som værende absolut brugbar og kommercielt tilgængelig teknologi. Specielt sammen med varmepumper er det en yderst anvendelig teknologi, da den især har sin styrke til levering af varmt brugsvand, hvor varmepumpen har sin svaghed - nemlig ved temperaturer over 45 °C til 50 °C. Derudover har solvarme også en række andre anvendelsesområder, f.eks. til forsyning af varme til svømmebade og hvor mange personer går i bad.

Da solvarme yder mest om sommeren, er den bedst egnet i områder uden fjernvarme, hvor der i sommerperioden er overskudsvarme fra f.eks. affaldsafbrænding – samtidig med at solfangeren producerer optimalt.

Fakta: (Gælder for et 4 m² anlæg placeret på taget af den boligblok, som det forsyner med varme til brugsvandsopvarmning)

Variabel energipris	0 kr./kWh _{varme}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	16.000-17.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	1,7-1,8 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Fleksibel i forhold til elproduktion
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative Egenskaber

- Kræver placering vendt mod syd
- Kræver supplement af anden energiforsyning om vinteren

Kombineres med:

- + Byggerier, hvor rumopvarmning sker ved ventilationsluften eller luft/luft varmepumper.
- + Byggerier med varmedrevet køling

Kombineres helst ikke med:

- Byggerier som kan forsynes med miljøvenlig fjernvarme eller med biomassekedel

Referencer:

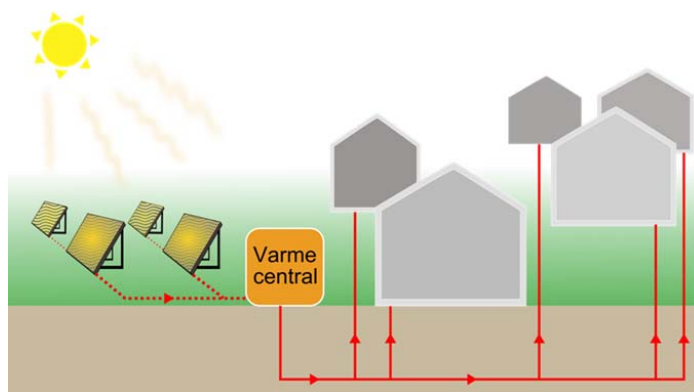
Omkring 40.000 solvarmeanlæg i Danmark i 2005 (Solvarme - status og strategi, Energistyrelsen, 2007)

CENTRAL SOLVARME**D-2**

Central solvarme kan benyttes til forsyning af varmt vand og varme til både nybyggeri og eksisterende bygninger. Den årlige ydelse af en solfanger vurderes normalt til at være på omkring 400 - 550 kWh/m².

Solvarmepaneller installeres på større tag- eller jordarealer og tilsluttes et fjernvarmenet, som distribuerer varmen til brugerne. Solvarmen supplerer hermed andre forsyninger til fjernvarmen.

Solfangerydelsen er meget afhængig af placeringen. En hældning på 45° fra vandret, orienteret direkte mod syd, er den optimale placering og giver maksimal udnyttelse af solen. Placering af solvarmeanlægget på tagareal i et byområde kan betyde, at der kun er et begrænset areal til rådighed. Eftersom investeringen i kollektive solvarmeanlæg falder kraftigt med størrelsen, kan dette have betydning for økonomien i anlægget.



Varmeproduktionen fra kollektiv solvarme er størst om sommeren, hvor varmebehovet samtidig er lavt. Solvarme dimensioneres derfor typisk til at dække det lave varmebehov om sommeren (primært varmt brugsvand), og set over året dækker kollektiv solvarme derfor kun en mindre andel af det samlede varmebehov. Ved at etablere sæsonlagring af varmen kan dækningsgraden øges, men dette kræver store investeringer og fravælges ofte.

Solvarme er en meget bæredygtig form for varmeproduktion, idet der ikke udledes CO₂ eller anden forurening. Kollektiv solvarme vurderes som værende en absolut brugbar og kommercielt tilgængelig teknologi i områder med fjernvarme, og hvor der ikke er anden overskudsvarme om sommeren (f.eks. i form af affaldsforbrænding).

Fakta: (Gælder for et større kollektivt anlæg placeret på jorden og som leverer varme til et fjernvarmenet)

Variabel energipris	0 kr./kWh _{varme}	Levetid	30 år
Faste driftsomkostninger	0,01 kr./kWh _{varme}	Investering i bygninger	2.800-2.900 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,3-0,4 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt og udbredt

Negative egenskaber

- Kræver stort areal
- Leverer varme om sommeren, hvor varmebehovet er begrænset

Kombineres med:

- + Fjernvarme og/eller central fjernkøling
- + Byggerier med varmedrevet køling
- + Varmebehov om sommeren (f.eks. svømmebade eller brugsvand)

Kombineres helst ikke med:

- + Anden bæredygtig overskudsvarme (f.eks. affaldsforbrænding)

Referencer:

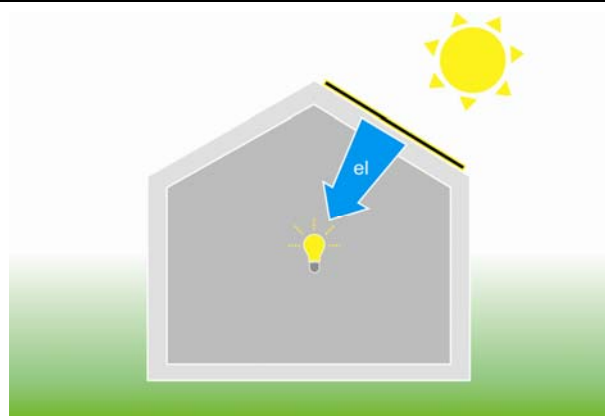
Marstal Fjernvarme Jægerspris Kraftvarme	Overblik over anlæg: www.solvarmedata.dk
---	---

SOLCELLER**D-3**

En solcelle er en enhed, som kan omdanne energi fra solen til elektricitet. Solcellerne kan enten være "stand-alone" anlæg, eller de kan kobles til et fælles elnet. De fleste anlæg i Danmark er nettilsluttede, da dette øger mulighederne for anvendelse af strømmen fra større solcelle paneler.

Den årlige ydelse af el fra nettilsluttede solceller i Danmark vurderes normalt til at være op til 90 - 120 kWh/m².

Elproduktion fra solceller er meget afhængig af placeringen. En hældning på 45° fra vandret, orienteret direkte mod syd, er den optimale placering og giver maksimal udnyttelse af solen. Solceller ses dog også placeret på lodrette facader, specielt placeret mod syd. Dette vil dog give en væsentlig reduktion i ydelsen, især hvis panelerne placeres væk fra den sydlige orientering.



I byområder er det ofte mest oplagt at placere solceller på bygninger. I de kommende år forventes det, at der vil blive udviklet solcelleløsninger, som totalt kan erstatte tagkonstruktioner, således at solceller ikke er noget som skal påklistres en bygning, men i stedet er en fuldt ud integreret del af bygningen.

Nettilsluttede solceller er en dyr teknologi til produktion af VE-strøm, f.eks. sammenlignet med vindmøller. Elproduktion fra solceller, som integreres direkte i byggeri, kan modregnes direkte i energirammen og dermed åbne for flere arkitektoniske løsninger i byggeriet. Derudover kan solceller, med deres typiske placering på facader og tage, være med til at brande et byggeri eller en virksomhed som bæredygtig. I de senere år er der kommet et velkomment fokus på arkitektonisk vellykket integration af solcellerne i byggeriet. Den bedste økonomi opnås ofte ved med mindre anlæg at dække det lokale elforbrug, eftersom salg af el til elnettet fra større anlæg ikke giver den samme økonomiske gevinst.

I Danmark er udbredelsen af solceller beskeden med en installeret kapacitet svarende til 0,5 W per person. Gennemsnittet i EU er 7 W per person, mens man i Tyskland er helt oppe på 100 W per person.

Teknologiudviklingen går i øjeblikket hurtigt indenfor solceller. Produktionskapaciteten i verden øges med ca. 40 % om året, og anlæggene kommer gradvist ned i pris samtidig med at effektiviteten øges. Gennem en længere årrække er gennemsnitsprisen pr. m² solcellemodul blevet halveret hvert 7. år. På lang sigt forventes det derfor, at solcelleteknologi har et stort potentiale.

Fakta: (Gælder for et større anlæg, hvor el sælges til nettet)

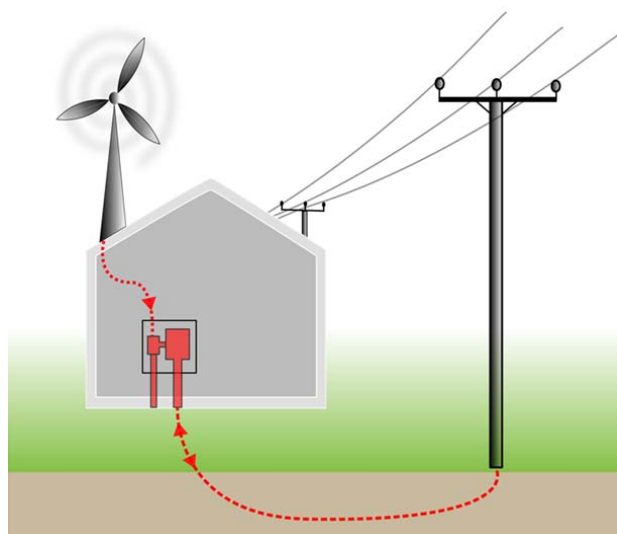
Variabel energipris	0 kr./kWh _{el}	Levetid	30 år
Faste driftsomkostninger	0,4 kr./kWh _{el}		27.000
Produktionspris	3,1-3,5 kr./kWh _{el}		
CO2 udledning	~0 g/kWh _{el}		
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed		- Dyr produktion af el	
+ Teknikken er kendt		- Leverer el afhængigt af solen	
+ Har visuelt udtryk der signalerer bæredygtighed		- Kræver et stort areal	
Kombineres med:			
+ Byggerier som har behov for fleksibilitet i forhold til energirammen		+ Plusenergibyggeri	
Referencer:			
Solar City Horsens (http://www.solarcitycopenhagen.dk/Solar+City+Horsens.173.aspx)			

HUSSTANDSVINDMØLLER

D-4

Vindmøller omsætter vindens energi til elektricitet. Typisk består en vindmølle af et tårn, hvorpå en rotor er placeret. Rotoren, som trækkes af vinden, trækker en generator, som producerer elektricitet. Eftersom der ikke anvendes fossile brændsler ved elproduktion fra vindmøller, er der tale om en meget bæredygtig teknologi.

Der er overordnet to typer husstandsmøller: bygningsintegrerede og fritstående. Fritstående husstandsmøller må i Danmark højst have en effekt på 25 kW. Disse møller er ofte små udgaver af den klassiske vindmølle med to-fire vinger på et tårn. De skal placeres i en vis afstand fra både huse og nabogrunde og det kan være vanskelige at finde plads i byområder. Bygningsintegrerede husstandsmøller findes i mere kreative former og opstilles på husets tag eller op ad husmuren.



Sammenlignet med store vindmøller i det åbne land eller på havet, giver husstandsvindmøller normalt en ringe elproduktion, som yderligere forringes af deres placering i et bebygget område med dertilhørende mindre vind. Det betyder, at den producerede elektricitet er dyrere, men til gengæld kan teknologien integreres i et byområde, og dermed bidrage til lokal bæredygtighed.

Vind er en fluktuerende energikilde, som ikke kan reguleres. Dette betyder, at elproduktion fra vindmøller kan være stor på tidspunkt, hvor behovet for el er begrænset og omvendt give en lille produktion, hvor behovet er meget stort. For husstandsvindmøller er det tilladt at aftage elektriciteten direkte fra møllen til lokalt brug. Det betyder, at elektriciteten kan anvendes til at fortrænge en del af den elektricitet man ellers ville have købt af forsyningselskabet, i stedet for at sælge den billigt. På den måde værdisættes elektriciteten meget højere end ved udelukkende at sælge til nettet. For at sikre at elektriciteten forbruges lokalt, kan den lagres på batterier (f.eks. i elbiler) eller anvendes til varmeproduktion i varmepumper, når der er overskydende strøm.

Det vurderes, at husstandsvindmøller placeret i eksisterende eller nye byområder er en dyr måde at producere bæredygtig elektricitet på, men at teknologien har et stort potentiale bl.a. på grund af signalværdien ved at placere dem lokalt i byen.

Fakta: (Gælder for en bygningsintegreret vindmølle placeret på en større bygning, og dækker kun en andel af bygningens elforbrug)

Variabel energipris	0 kr./kWh _{el}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,2 kr./kWh _{el}	Investering i anlæg	7.600-23.000 kr/kW _{el}
Produktionspris	0,6-1,8 kr./kWh		
CO2 udledning	~0 g/kWh _{el}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt
- + Fleksibel i forhold til varmeproduktion

Negative egenskaber:

- Kræver passende placering
- Energiproduktionen fluktuerer med vejret
- Støjgener og lysgener

Kombineres med:

- + Varmepumper
- + Elbiler
- + Lagring i batterier

Kombineres helst ikke med:

- Tæt bebyggelse og høj beplantning, som giver læ

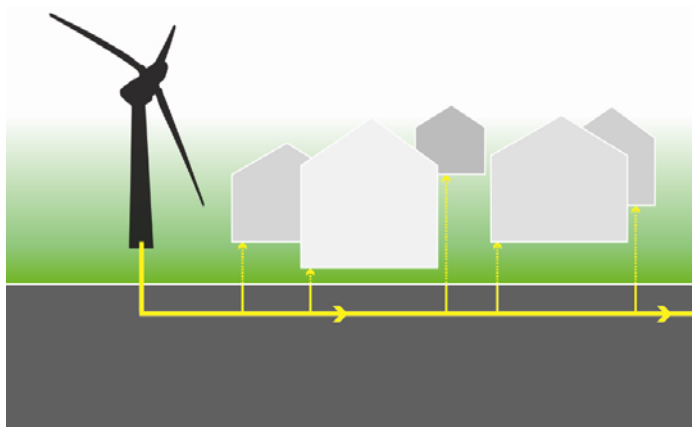
Referencer:

Omkring 200 husstandsvindmøller i Danmark i 2010 (Nordisk Folkecenter for Vedvarende Energi, www.folkecenter.net)

STORE VINDMØLLER**D-5**

Vindmøller omsætter vindens energi til elektricitet. Typisk består en vindmølle af et tårn, hvorpå en tre-bladet rotor er placeret. Rotoren, som trækkes af vinden, trækker en generator som producerer elektricitet til elnettet. Eftersom der ikke anvendes fossile brændsler ved elproduktion fra vindmøller er der tale om en meget bæredygtig teknologi.

Med sin placering udenfor byområdet indgår større vindmøller ikke som en del af den lokale bæredygtighed, men kan anvendes til kollektiv bæredygtig elforsyning. Store vindmøller producerer væsentlig billigere el end husstandsvindmøller placeret i byområder. Placeringen kan være i det åbne land eller på havet. Naturbeskyttelse og hensyn til naboer er meget afgørende for den endelige placering af store vindmøller, som ofte samles i vindmølleparker.



Havvindmøller placeres ved kysten eller længere ude på havet på betonfundamenter. Elproduktionen overføres til land via søkabler som placeres på havbunden. Havvindmøller producerer mere end vindmøller placeret på land, men der er knyttet større opstillingsomkostninger bl.a. til fundamenter og søkabler samt en mere kompleks anlægsfase. Samlet set er el produceret på havvindmøller dyrere end tilsvarende produktion på land. Mange af de vindmøller, der kan forventes at blive idriftsat på landjorden fremover vil være i form af *repowering*. Repowering er et udtryk for at erstatte udtjente vindmøller med nye. Der står mange vindmøller på landjorden i dag, som er udtjente eller ved at være det. Ved udgangen af året stod mere end 1.500 vindmøller på landjorden i Danmark, der blev idriftsat inden 1995. Levetiden af vindmøller er omkring 20 år, hvilket betyder at de inden for fem års tid forventes at blive afmeldt. Ved repowering gives et ekstra tilskud oveni det sædvanlige tilskud ved salg af el fra vindmøller til elnettet. Selv uden tilskud er repowering attraktivt. Dels fordi kabling mv. er etableret, dels fordi placeringen ofte er valgt pga. gode vindforhold, god afstand til naboer og følsom natur, og fordi opstilling af nye vindmøller lettere godkendes.

Vind er en fluktuerende energikilde, som ikke kan reguleres. Dette betyder, at elproduktion fra vindmøller kan være stor på tidspunkter, hvor behovet for el er begrænset, og omvendt give en lille produktion, hvor behovet er stort. Blandt andet derfor er omsætning af vindmøllestrøm i varmepumper og elbiler på sådanne tidspunkter attraktivt.

Fakta: (gælder for kollektiv forsyning fra store vindmøller placeret på land hvor elektricitet leveres til elnettet)

Variabel energipris	0 kr./kWh _{el}	Levetid	20 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{el}	Investering i anlæg	10.000-11.000 kr/kW _{el}
Produktionspris	0,4-0,5		
kr./kWh _{el}			
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{el}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt og udbredt
- + Fleksibel i forhold til varmeproduktion

Negative Egenskaber:

- Kræver placering i det åbne land med god afstand til bebyggelse og følsom natur
- Energiforbruget fluktuerer med vindstyrke

Kombineres med:

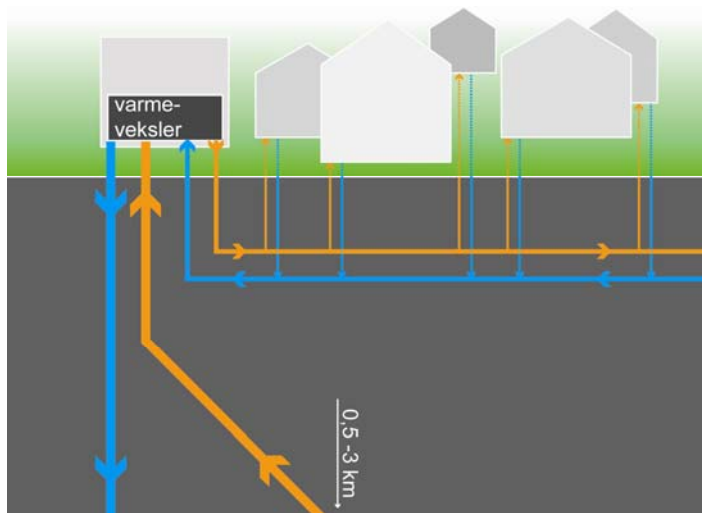
- + Varmepumper
- + Vindmøller
- + Elbiler

Kombineres helst ikke med:**Referencer:**

Horns Rev Havmøllepark, Rødsand Havmøllepark, Middelgrundens Vindmøllelaug

GEOTERMISK JORDVARME**D-6**

Geotermisk jordvarme er udnyttelse af varme fra jordens indre. Varmt vand oppumpes fra 0,5 - 3 km dybde via en boring, og varmen overføres via varmevekslere til et fjernvarmesystem. Det geotermiske vand returneres gennem en injektionsboring for at opretholde trykket i reservoiret. Temperaturen af den geotermiske jordvarme stiger ca. 3 °C pr. 100 m i dybden, og ved 3 km dybde er den ca. 100 °C. I Danmark kan det dog bedre betale sig at anvende højere liggende lag, som er mere vandførende. Typiske temperaturer af det geotermiske vand i Danmark, som kan udnyttes, er 40 - 70 °C. Mulighederne for at udnytte geotermisk jordvarme afhænger af, om undergrunden indeholder vandførende lag med tilstrækkeligt høj temperatur, da der ellers ikke kan indvindes nok varme. Derudover kræves et fjernvarmenet til afsætning af den geotermiske jordvarme, da geotermianlægget skal have en vis størrelse og dermed en vis afsætning for at sikre driftsøkonomien.



Anlæg til udnyttelse af geotermisk jordvarme kræver høje startomkostninger. Testboringer er kostbare, men nødvendige for at sikre en gunstig placering af borerne. Geotermisk jordvarme er en meget bæredygtig form for varmereproduktion og betragtes som en vedvarende energiform. Geotermisk jordvarme kombineret med lavtemperaturvarme er gunstigt, eftersom varme kan anvendes direkte gennem en varmeveksler til fjernvarmereproduktion. Kombineres teknologien med traditionel fjernvarme skal temperaturen fra teknologien hæves for at kunne indgå i fjernvarmesystemet. Til dette anvendes der ofte en varmepumpe. Varmepumperne kan enten være eldrevne eller varmedrevne. Kombineres geotermisk jordvarme således med varmepumper, drevet af varme fra kraftvarmereproduktion eller affaldsforbrænding, kan der i nogle tilfælde opnås økonomiske fordele og en høj grad af bæredygtighed.

Der er foretaget et større kortlægningsarbejde i Danmark og fundet en række mulige placeringer af geotermisk jordvarme. P.t. findes to anlæg i Danmark. I byområder med fjernvarme eller i nye byområder vurderes teknologien meget brugbar og har stort potentiale, såfremt de korrekte jordlag er tilgængelige.

Fakta: (Gælder for kollektiv forsyning, hvor varmen leveres til fjernvarmenet via en absorptionsvarmepumpe)

Variabel energipris	Kendes ikke	Levetid	30 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{varme}	Investering i anlæg	6.500 kr/kW _{varme}
Produktionspris	0,2-0,4 kr./kWh _{varme}		
CO ₂ udledning	30-140 g/kWh _{varme}		

Positive egenskaber:

- + Lav CO₂ belastning pr. energienhed
- + Teknikken er kendt

Negative egenskaber:

- Høj anlægsomkostning
- Kræver passende jordlag

Kombineres med:

- + Lavtemperaturfjernvarme
- + Barmarkskraftvarme på biomasse

Kombineres helst ikke med:

- Områder med anden varmereforsyning end fjernvarme

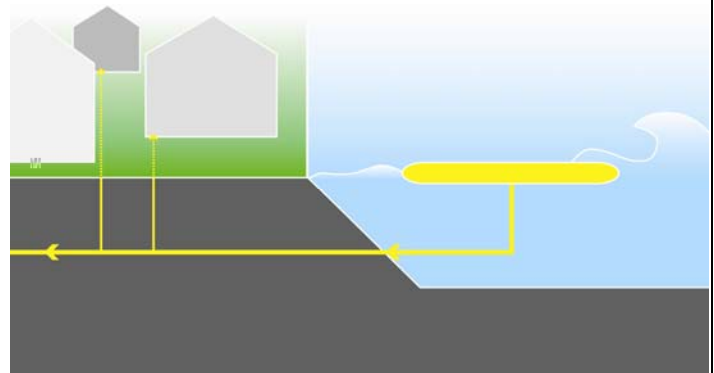
Referencer:

Pilotanlæg i Thisted (www.dongenergy.dk)

Demonstrationsanlæg i København (www.dongenergy.dk)

BØLGEKRAFT**D-7**

Bølgekraft omsætter havbølgers energi til elektricitet. Et bølgekraftanlæg placeres på åbent hav, ved kysten eller på kysten og elektriciteten føres til elnettet via kabler fra anlægget. Der findes mange forskellige typer af bølgekraftanlæg, som alle udnytter bølgenes bevægelser til at generere elektricitet. Et eksempel er overskylningsanlæg, hvor bølgerne presser havvandet op til et højt reservoir og leder det tilbage til havet gennem en turbine.



I Danmark findes mulighederne for elproduktion med bølgekraft i farvandene vest for Jylland. Udnyttes dette område optimalt til bølgekraft, er den potentielle elproduktion vurderet til en størrelsesorden svarende til mellem 15 og 40 % af danskernes elforbrug.

Teknologien for bølgekraft findes stort set kun på et eksperimentelt stade, hvor mange forskellige teknologier afprøves. Der vurderes at skulle gå en årrække før bølgekraft er færdigudviklet til at operere på kommercielle vilkår. De forventelige størrelser på kommercielt udviklede bølgekraftanlæg er 1-10 MW pr. enhed. Bølgekraft er elproduktion uden brug af fossile brændsler og er derfor en meget bæredygtig teknologi. Med sin placering på eller ved havet, kan teknologien ikke indgå direkte som en del af et byområde, men anvendes til ekstern bæredygtig forsyning.

Ligesom for vindmøller fluktuerer produktion fra bølgekraft afhængig af vejret, dog i mindre grad, eftersom bølgerne er mere konstante. Sammenlignet med vindkraft er elproduktion fra bølgekraft nemmere at forudsige og dermed indpasse i elforsyningen. Derudover supplerer bølgekraft og vindkraft hinanden, fordi bølgekraften tidsmæssigt starter noget efter, at det er begyndt at blæse og fortsætter noget efter, at det er holdt op med at blæse. Ligesom vindkraft kan elproduktionen fra bølgekraft udnyttes effektivt til varmeproduktion i varmepumper. På tidspunkter med meget bølgekraft og et lavt elforbrug kan varmepumper således udnytte bølgekraften. Se teknologiark om varmepumper.

Bølgekraft er ikke en oplagt teknologi eftersom teknologien stadig er på et eksperimentelt stadie. Når teknologien er færdigudviklet og kommercielt tilgængelig bør den dog overvejes som teknologien pga. den høje grad af bæredygtighed.

Fakta: (Gælder for kollektiv forsyning til elnettet. Data er eksklusive omkostninger til søkabler)

Variabel energipris	0 kr./kWh _{el}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,1 kr./kWh _{el}	Investering i anlæg	39.000-91.000 kr/kW _{el}
Produktionspris	0,9-2,1 kr./kWh _{el}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{el}		
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
+ Lav CO ₂ belastning pr. energienhed		- Ikke teknologisk og kommercielt udviklet	
		- Energiproduktionen fluktuerer med vejret	
Kombineres med:			
+ Varmepumper			
+ Vindmøller			
Referencer:			
Aguçadoura, Portugal (Pelamis Wave Power, www.pelamiswave.com)			

7 Energilagring og forbrugsstyring

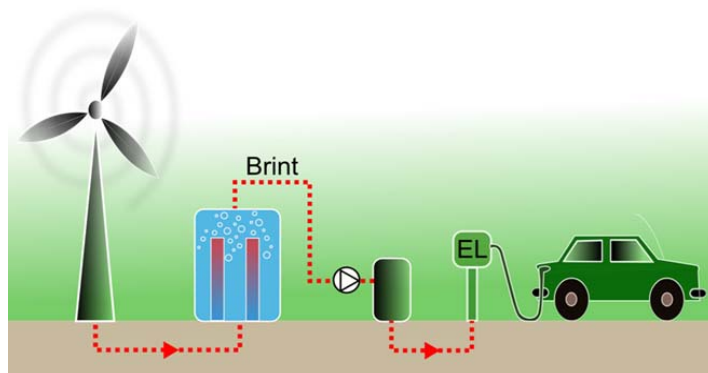
Med stigende elforbrug og krav om øget bæredygtighed, bliver bæredygtige forsyningsteknologier og vedvarende energiproduktion mere og mere relevante. Disse teknologier er ofte baseret på fluktuerende energikilder (sol, vind og hav), og f.eks. elproduktionen stemmer derfor ikke nødvendigvis tidsmæssigt overens med behovet for el. For at kunne indpasse så store mængder bæredygtig elproduktion som muligt, skal el enten kunne lagres, så det kan anvendes på tidspunkter med høj efterspørgsel (energilagring), eller forbruget styres, således at dette forekommer på tidspunkter med høj produktion af bæredygtig el (forbrugsstyring).

Dette afsnit beskæftiger sig med teknologier til at lagre energi og styre forbrug. Det er teknologier på vej frem, og ingen af dem anvendes i stort omfang endnu. Der er i teknologiarkene kun angivet få nøgletal, eftersom teknologiernes værdi er i form af øget indpasning af bæredygtig elproduktion, og denne værdi kan ikke umiddelbart beregnes. Lagring af energi kan så at sige være kittet, som får bæredygtig elforsyning til at hænge sammen.

BRINT ELLER METHANOL TIL BRÆNDELSCELLER**E-1**

Med den stigende mængde vindkraft og kraftvarme i elsystemet, vil elproduktionen i højere grad styres af f.eks. vejrforhold og varmebehov end af behovet for el. Der vil derfor være et stigende ønske om at lagre el fra periode med stor produktion, til levering når efterspørgslen på et andet tidspunkt overstiger produktion.

Når der er overskud af strøm i nettet, f.eks. grundet høj vindkraftproduktion, kan strømmen gennem en elektrolyseproces spalte vand i ilt og brint, som kan lagres. Når der er mangel på strøm, kan den lagrede brint føres igennem en brændselcelle og derved producere el (og varme) med høj virkningsgrad. Denne anvendelse af brint i brændselceller betyder, at fluktuerende elproduktion i højere grad kan udnyttes og f.eks. mere vindkraft kan indpasses i elsystemet.



Processen med at lagre el med brint er imidlertid forbundet med store tab, samtidig med at en række problemer med lagring endnu ikke er løst. I en anden variant af processen tilsættes CO₂ (f.eks. fra røgen fra et kraftvarmeanlæg) sammen med vandet, og med restprodukterne kan der dannes methanol (træsprit), som også kan anvendes i en brændselcelle til elproduktion. Her skal methanol omdannes til brint inden anvendelse, men processen er samlet set forbundet med mindre tab end spaltning af vand, og methanol er nemmere at håndtere og lagre. Desuden kan methanol anvendes som brændstof til transportsektoren og indføres i den eksisterende infrastruktur (tankstationer mv.) Dermed kan det nemt implementeres, hvis brændselcelledrevne biler introduceres som transportteknologi (brændselceller i transportsektoren er beskrevet i et separat teknologiark).

Anvendelse af brint eller methanol i brændselceller befinder sig på et forsknings-/udviklingsmæssigt stade og er derfor ikke en kommercielt tilgængelig teknologi. På længere sigt, når teknologien er færdigudviklet, vurderes den at have stort potentiale i byområder med egen bæredygtig energiforsyning med fluktuerende elproduktion fra f.eks. vindmøller. Ved at implementere teknologien sikres, at en større andel af den bæredygtige elproduktion kan udnyttes inden for byområdet. På længere sigt kan teknologien også blive interessant i større sammenhænge, såfremt markedsstrukturen for el tilpasses fleksibelt elforbrug, og at der dermed kommer en økonomisk gevinst ved at lagre el.

Fakta (Gælder for lagring af el produceret på lokale bygningsintegrerede vindmøller. Selvom elprisen er høj, har teknologien stadig relevans, fordi en større andel af VE-el kan indpasses):

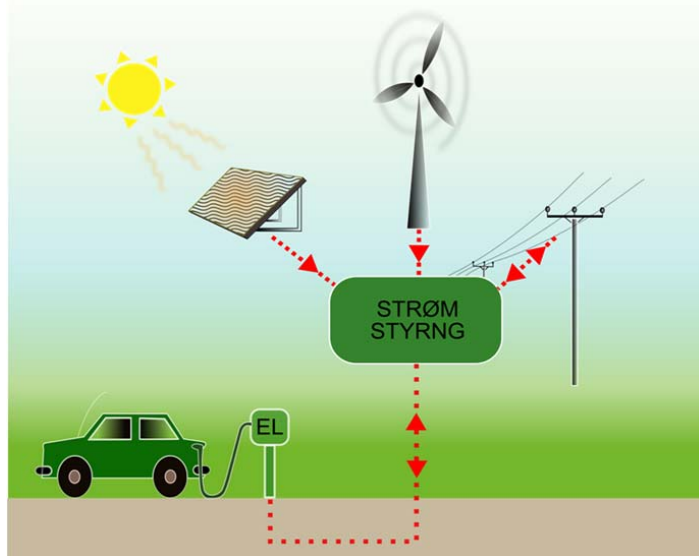
Variabel energipris	2,2-6,3 kr./kWh _{varme}	Levetid	10 år
Faste driftsomkostninger	0,3 kr./kWh _{varme}	Investering i anlæg	20.000-21.000 kr/kW _{varme}
Produktionspris	3,3-7,3		
kr/kWh _{varme} CO ₂ udledning	~0 g/kWh _{varme}		
Positive egenskaber:		Negative egenskaber:	
+ Øger muligheden for indpasning af bæredygtig elproduktion		- Teknologien er ikke færdigudviklet	
+ Mulighed for samspil med transportsektoren			
Kombineres med:			
+ Vindmøller		+ Bølgekraft	
+ Solceller		+ Kraftvarme (CO ₂ fra røg anvendes)	
Referencer:			
Forskningsprojekt på Risø DTU			

ELBILER SOM BUFFER FOR FORBRUG

E-2

Med den stigende mængde vindkraft og kraftvarme i elsystemet vil elproduktionen i højere grad styres efter f.eks. vejr og varmebehov end elbehov. Ved at placere elforbrug, når der er rigelig elproduktion, kan effektive og bæredygtige elproduktionsteknologier (f.eks. vindmøller og biomassebaseret kraftvarme) udnyttes bedre, og deres andel af elproduktionen kan øges.

Ved at introducere elbiler som persontransportmiddel introduceres et elforbrug til opladning af batterier, som inden for visse rammer er fleksibelt og dermed kan placeres på tidspunkter med rigelig elproduktion. Dette sker ved at elbilen ud fra information om brugerens behov og prognoser for elproduktionen lader op på det optimale tidspunkt. Det kan f.eks. være en bruger, som stiller sin elbil til opladning kl. 17 og indstiller, at den først skal bruges næste morgen kl. 8. Elbilens styring sørger nu for, at bilen lader op på det tidspunkt, hvor der er størst elproduktion og/eller mindst forbrug, f.eks. når vindmøllerne i elsystemet producerer mest eller om natten. Modsat vil elbilens batteri også kunne levere effekt til nettet på tidspunkter, hvor der er mangel på elproduktion og dermed hindre opstart af konventionelle kraftværker baseret på fossile brændsler. I sidste ende kan det sænke behovet for spidslastproduktion af el og dermed optimere dimensionerne af hele elforsyningssystemet.



Elbiler er kommercielt tilgængelige, selvom deres rækkevidde ikke matcher konventionelle bilers. Batteriteknologien for elbiler og teknologien til at styre opladning af elbiler er endnu ikke færdigudviklet, men forventes tilgængelig inden for kort tid. Udover at elbiler kan medvirke til, at bæredygtig elproduktion dækker en højere andel af elforbruget, vil elbiler samtidig være en bæredygtig erstatning for konventionel benzin- og dieseldrevet transport.

For byområder med egen bæredygtig energiforsyning af fluktuerende elproduktion fra f.eks. vindmøller vurderes elbiler, som buffer for forbrug, at have stort potentiale for at udnytte elproduktionen inden for byområdet. På længere sigt kan teknologien også blive interessant i andre byområder såfremt elmarkedsstrukturen tilpasses fleksibelt elforbrug, så der dermed kommer en økonomisk gevinst ved at placere elforbrug, når elproduktionen er stor, og elprisen dermed er lav.

Fakta: *Teknologien leverer ikke varme eller el, og derfor angives ingen fakta. Teknologien er relevant fordi en større andel af VE-el kan indpasses i forsyningen.*

Positive egenskaber:	Negative Egenskaber:
+ Øger muligheden for indpasning af bæredygtig elproduktion + Samspil med elbiler som bæredygtigt transportmiddel	- Teknologien er ikke færdigudviklet - Påvirker brugerens adfærd (kortere rækkevidde) og kan derfor være vanskelig at implementere i stort omfang
Kombineres med:	
+ Vindmøller + Solceller + Bølgekraft	
Referencer:	
Better Place (www.danmark.betterplace.com)	EDISON (www.edison-net.dk)

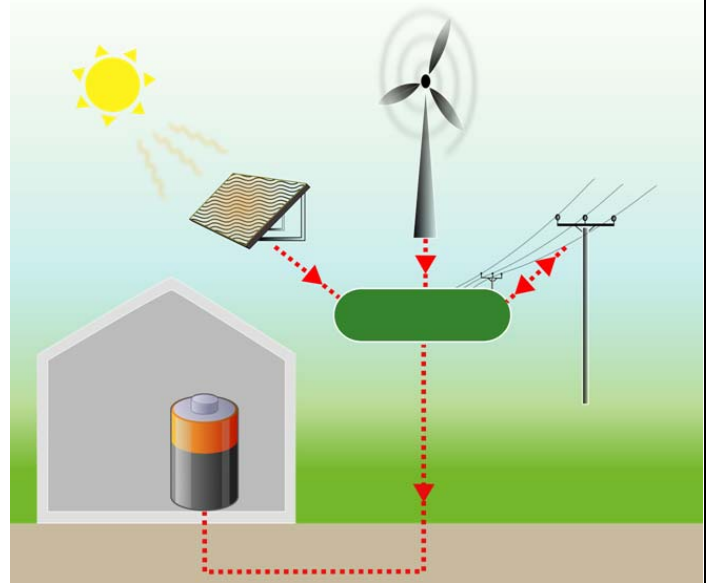
BATTERIER (STOR SKALA)

E-3

Med den stigende mængde vindkraft og kraftvarme i elsystemet vil elproduktionen i højere grad styres efter f.eks. vejr og varmebehov end elbehov. Der vil derfor være et stigende behov for at lagre el som så kan leveres, når efterspørgslen på et andet tidspunkt overstiger produktion.

Når der er overskud af strøm i nettet (f.eks. grundet høj vindkraftproduktion), kan strømmen lagres i batterier, som så kan forsyne med strøm på andre tidspunkter med mangel på strøm. Denne anvendelse af batterier betyder, at fluktuerende elproduktion i højere grad kan udnyttes og indpasses i elsystemet.

El lagres i batterier med et tab på 15-30 %, således at en del af den lagrede strøm går tabt. Den lagrede el gemmes typisk i nogle timer og der er således tale om udjævning af elproduktionen henover døgnet. En opladning og afladning af batteriet betegnes en cyklus. Levetiden for et batteri afhænger bl.a. af typen af batteri, samt hvor mange cykler batteriet gennemgår.



Ellagring i batterier i stor skala er en relativt dyr måde at lagre el på og samtidig rimeligt pladskrævende. Alligevel har flere lande, herunder USA og Japan, etableret større lagringsprojekter bl.a. for vindmølleparker. I Danmark er der endnu ikke testet større batterier med henblik på storskala ellagring. Prisen på store batterier har været støt faldende gennem lang tid, og den store interesse for batterier peger i retning af, at prisen vil falde yderligere i de kommende år. Lagres el i batterier i elbiler fås yderligere en gevinst, i og med at introduktion af elbiler fortrænger transport baseret på fossile brændsler. Lagring af el i elbiler er beskrevet i teknologiarket E-1.

Ellagring i batterier vurderes at have et vist potentiale i byområder med egen bæredygtig energiforsyning med fluktuerende elproduktion fra f.eks. vindmøller og solceller eller fluktuerende elforbrug. Ved at implementere teknologien sikres, at en større andel af den bæredygtige elproduktion kan udnyttes inden for byområdet. På længere sigt kan teknologien også blive interessant i andre byområder, såfremt markedsstrukturen for el tilpasses, så der er en økonomisk gevinst ved at placere elforbrug, når elforbruget er stort, og elprisen dermed er lav.

Fakta: (Gælder for et større batteri til lagring el produceret lokalt på bygningsintegrerede vindmøller. Selvom elprisen er høj, har teknologien stadig relevans, fordi en større andel af VE-el kan indpasses i forsyningen.)

Variabel energipris	0,7-2,1 kr./kWh _{el}	Levetid	15 år
Faste driftsomkostninger	0,3 kr./kWh _{el}	Investering i anlæg	16.000 kr./kW _{el}
Produktionspris	2,0-3,8kr./kWh _{el}		
CO ₂ udledning	~0 g/kWh		

Positive egenskaber:

+ Øger muligheden for indpasning af bæredygtig elproduktion

Negative egenskaber:

- Teknologien er relativt dyr og pladskrævende

Kombineres med:

- + Vindmøller
- + Solceller
- + Bølgekraft

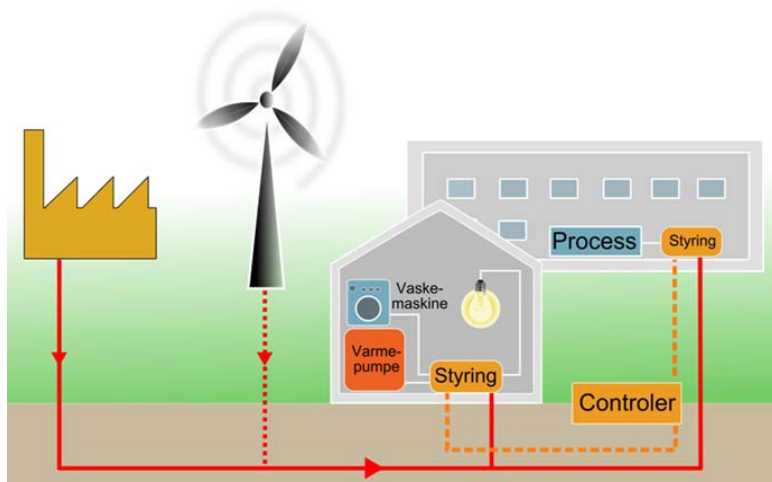
Kombineres helst ikke med:

Referencer:

I bl.a. Japan og USA findes en række eksempler på anvendelse af batterier i stor skala i elforsyningen (Ingeniøren, april 2008)

ELEKTRONISK STYRING AF ELFORBRUG I BYOMRÅDER OG INDUSTRI**E-4**

Med den stigende mængde vindkraft og kraftvarme i elsystemet vil elproduktionen i højere grad styres efter f.eks. vejr og varmebehov end elbehov. Ved at øge fleksibiliteten i elforbruget kan forbruget i højere grad placeres når der er rigelig produktion, og dermed kan effektive og bæredygtige elproduktionsteknologier (f.eks. vindmøller og biomassebaseret kraftvarme) udnyttes bedre, og deres andel af elproduktionen kan øges.



Ved elektronisk at styre hvornår boliger og industri i et byområde skal lægge en del af deres elforbrug, kan dette forbrug gøres fleksibelt. For boliger er der tale om at eldrevne

varmepumper, vaskemaskiner og køleskabe startes, når der er en stor elproduktion fra f.eks. vindmøller. For industri er der tale om automatiserede elforbrugende processer (f.eks. frysebehov, kompression af gasser, ekstrudering af plastik m.fl.), som ligeledes kan startes når der er elproduktion. Brugeren angiver betingelser (vasken skal være færdig næste morgen), og elmarkedet angiver, hvornår der er behov for et elforbrug (vindprognosen siger mellem kl. 03 og 05). Ud fra dette styres start og stop af elforbrug elektronisk og sikrer et fleksibelt elforbrug, som ikke går ud over brugerens komfort eller behov.

Fordi der i den nuværende afregning af el ikke er økonomiske incitamenter for brugerne for at gøre deres elforbrug fleksibelt, er elektronisk styring af elforbrug ikke udbredt. Derudover kræver teknologien installation af elektronik, som kan kommunikere mellem elmarkedet og brugeren og starte og stoppe elforbrug elektronisk. Denne elektronik er stadig på udviklingsstadiet.

For byområder med egen bæredygtig energiforsyning med fluktuerende elproduktion fra f.eks. vindmøller, vurderes elektronisk styring af elforbrug som interessant, fordi elproduktionen bedre kan udnyttes. Det kræver dog, at der er større elforbrug (varmepumper eller energitunge erhverv), som kan gøres fleksible, da virkningen ellers bliver marginal og investeringen dermed forringet.

For byområder primært med boliger, som ikke opvarmes med eldrevne varmepumper, vurderes teknologien ikke som en mulighed. På længere sigt kan teknologien dog blive mere interessant, hvis markedsstrukturen for el tilpasses fleksibelt elforbrug, og elektronikken dertil bliver billigere.

Fakta: Teknologien leverer ikke varme eller el, og derfor angives ingen fakta. Teknologien er relevant, fordi en større andel af VE-el kan indpasses i forsyningen.

Positive egenskaber:

+ Øger muligheden for indpasning af bæredygtig elproduktion

Negative egenskaber:

- Teknologien er på et udviklingsstadium
- Kræver en vis mængde af elforbrug, som kan gøres fleksibelt

Kombineres med:

+ Varmepumper
+ Elbiler
+ Variable afregningspriser for køb af el

+ Vindmøller
+ Solceller
+ Bølgekraft

Referencer:

EcoGrid.dk (Energinet.dk)

8 Vand

Alt vand, der kommer ud af vandhanerne i Danmark, er så rent, at det kan drikkes. Hver dansker bruger over 200 liter vand hver dag, inklusiv forbrug i institutioner, hospitaler mv. I husholdningen er det noget mindre – I København bruges f.eks. i gennemsnit 110 l/døgn/person.

I Danmark kommer næsten alt drikkevand fra grundvandet, hvor det hentes op via borerer meget dybt nede i jorden.

Grundvandet kan dog forurenes af sprøjtegifte og nedgravet affald, der gør, at grundvandet bliver uegnet som drikkevand. Det er svært og dyrt at rense grundvandet for giftrester og urenheder på vandværket, inden vandet kommer ud i hanen som rent drikkevand.

Når man pumper vand op fra grundvandet, bliver der mindre grundvand. Men når det regner, dannes der til gengæld mere grundvand. Hvis vi bruger for meget grundvand, kan regnvandet ikke fylde grundvandmagasinerne op. I mange egne af landet er forbruget større end indvindingspotentialet, så drikkevandet hentes længere væk. I København er det f.eks. nødvendigt at hente drikkevand fra forskellige steder på Sjælland

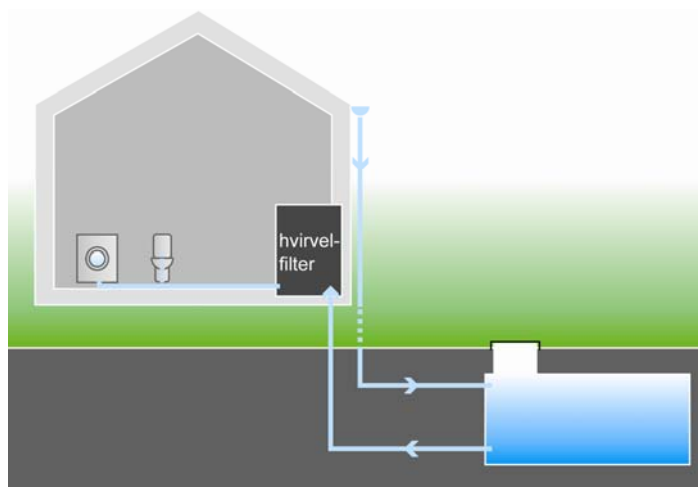
Med hensyn til afledning af regnvand kan der i fremtiden forventes kraftigere regnskyl, som vil belaste vore afløbssystemer og rensningsanlæg, når regnvandet ledes til det almindelige afløbssystem. Allerede i dag opleves der oversvømmelser i nogle byområder og overløb på rensningsanlæg ved kraftige regnskyl. På grund af klimaforandringerne vil dette kunne forventes at forekomme oftere i fremtiden.

Ved at opsamle regnvand, genanvende vand eller forsinke afstrømning reduceres således både problemerne omkring sikring af rent drikkevand, samtidig med at presset på afløbssystemer og rensningsanlæg mindskes.

Metoder, for hvordan dette kan gøres, er vist på de næste sider.

BRUG AF REGNVAND I HUSHOLD**F-1**

I almindelig hushold bruges op til 50 liter til toiletskyl og tøjvask per person i døgnet. Frem for at bruge drikkevand til disse formål kan man bruge regnvand fra tagflader, som samles i en tank, hvorfra det pumpes frem til brugsstedet. Det rensede tagvand kan erstatte drikkevand til bl.a. toiletskyl, tøjvask, bilvask, vanding af planter samt til vandlegemer mellem huse. Driftsresultater fra kontorbygninger viser, at regnvand kan stå for 60 % af bygningens samlede vandforbrug.



Anlæg til brug af regnvand skal overholde nogle miljøkrav for at regnvandsopsamling kan tillades:

- Typisk tillades ikke at tagbelægningen indeholder kobber, zink, tagpap eller asbest. Grønne tage kan give problemer med misfarvning, som gør det uegnet til tøjvask, men anvendes hyppigt i udlandet.
- Et hvirvelfilter installeres på røret inden opsamlingstanken for at rense regnvand, der falder på taget. Filteret fanger urenheder i vandet. Det bundfældede slam skal ledes til spildevandssystemet.
- Tilsætning af drikkevand til tanken ("spædevand") i tørre perioder skal ske uden risiko for at regnvand kan løbe tilbage i drikkevandsforsyningen.

Der er strenge krav til adskillelse af regnvandet og drikkevand, også i selve bygningen. Der kræves derfor ekstra installationer i byggeriet for at føre regnvandet frem til brugsstedet. Fordelt over en 10-årig periode koster dette 25 - 40 kr/m³. Hertil skal regnes udgifter til drift og vedligehold, herunder rensning af filtre 2 gange årligt. Der er et driftsenergiforbrug til pumpning af vandet til fjerneste toilet. Ved et hus på 5 etager kan energiforbruget nå op på 0,1 kWh/m³. Vand leveres fra hanen i København med et energiforbrug på 0,3 kWh/m³.

Tidligere er der ikke givet tilladelse til brug af tagvand i toiletter med offentlig adgang (f.eks. DR's koncert-hus). Nu er der givet tilladelse til institutioner med børn over 6 år, f.eks. Frederiksberg gymnasium. Teknologien har stort potentiale især i kontorbyggerier, hvor toiletskyl står for det dominerende vandforbrug. Men også i boliger er teknologien relevant. Den lokale vandpris, tagfladens areal og prisen på bygningsinstallationerne (længde af rørføringer mv.) er afgørende for tilskyndelsen til at bruge regnvandet i hushold.

Fakta: (Regnvandsopsamling med hvirvelfilter type WFF 300, Nyrup plast, 400 m³ opsamlingstank. Der opsamles 8.500 m³/år som bruges til toiletskyl.)

Levetid	10-20 år	Investering i infrastruktur:	25 - 40 kr./m ³
Energiforbrug	ca. 4 W/m løft/m ³	Vedligeholdelseskostninger:	Udgifter til el og rensning af filtre (2 gange årligt)

Positive egenskaber:

- + Kræver lidt plads
- + Mange års erfaringer i Japan og Australien med denne teknologi

Negative egenskaber:

- Kræver lokal vedligeholdelse
- Det bundfældede slam ledes til spildevandssystemet
- Danske myndigheder meget tilbageholdende

Kombineres med:

- + Lavskyls toiletter

Kombineres helst ikke med:

- Byggerier med offentlig adgang

Referencer:

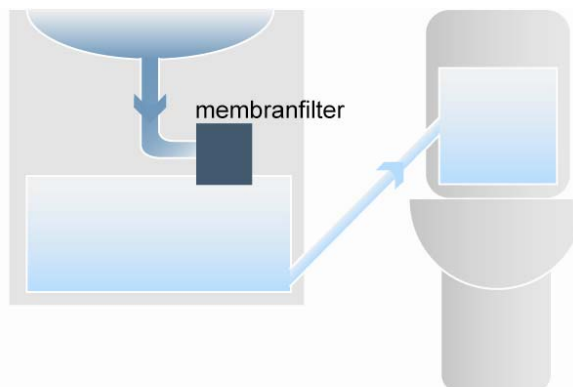
DR Byen
Mercedes administrationsbygning, Frederikskaj, Kbh.
KL, HK og LO's administrationsbygninger, Kbh.

Frederiksberg Gymnasium
Diverse boligkarreer, f.eks. Stenløse Syd

MEMBRANFILTER I HUSHOLDNING**F-2**

Membranfiltre i husholdningen kan rense vand fra f.eks. håndvask, så det kan bruges til toiletskyl.

Der bruges typisk 45 liter vand /person/døgn til bad og håndvask, og med et lavskyls-toilet vil afløbsvandet fra en håndvask kunne fylde en toilet-cisterner. Denne type genbrug vil både spare drikkevand og mindske belastningen på spildevandssystemet.



For at kunne bruge vandet fra håndvasken skal det imidlertid renses først. Desuden kan der være behov for at opmagasinere ekstra vand, så cisternen så vidt muligt kan fyldes efter hver tømning. Der installeres en ca. 20 l tank under håndvasken med en membranfilterplade og en lille pumpe, der løfter vandet over i toilet-cisternen. Yderligere kan der etableres tilslutning til vandforsyning, så der automatisk toppes op med drikkevand, hvis cisternen ikke kan fyldes. Evt. kan installeres desinfektion.

Membranfiltre vil fremover udstyres med brug-og-smid-væk filterdugge (som kaffefiltre), der skal udskiftes et par gange om året. Alternativt installeres filtertyper som i emhætter, der skal rengøres ca. en gang om året.

Membranfiltre anvendes i dag i Japan og Australien, men teknologien er endnu ikke helt robust (mht. renseevne og stabilitet i drift). Udvikles og kommerialiseres teknologien, vurderes den meget relevant, idet den let kan installeres som enkeltinstallationer uden at påvirke resten af vandforsyningen eller afløbssystemet. Man vil derfor kunne vurdere behovet fra det ene brugssted til det andet, selv inden for samme bolig.

Filtertechnologien er under hastig udvikling, og da det samlede koncept er meget simpelt og i princippet nemt at installere mange steder (også delvist i en bygning, hvor toiletterne har forskellig belastning), ses et stort potentiale i teknologien, når sikkerhed og effektivitet er på plads. Ikke mindst steder, hvor drikkevandsressourcerne er under pres.

Fakta:

Levetid:	10-12 år	Investering i infrastruktur:	1.000-1.500 kr.
Energiforbrug:	ca. 4 W/m løft/m ³	Vedligeholdelse:	Rensning/udskiftning af filter, el til pumpe

Positive egenskaber:

- + Sparer drikkevand og pres på afløbssystem
- + Er let at installere
- + Individuel installation, som ikke påvirker det samlede system

Negative egenskaber:

- tager plads i skab under håndvask
- kræver lokal vedligeholdelse
- den faktiske renseevne endnu ikke fastlagt
- begrænset erfaring med løsningen

Kombineres med:**Kombineres helst ikke med:****Referencer:**

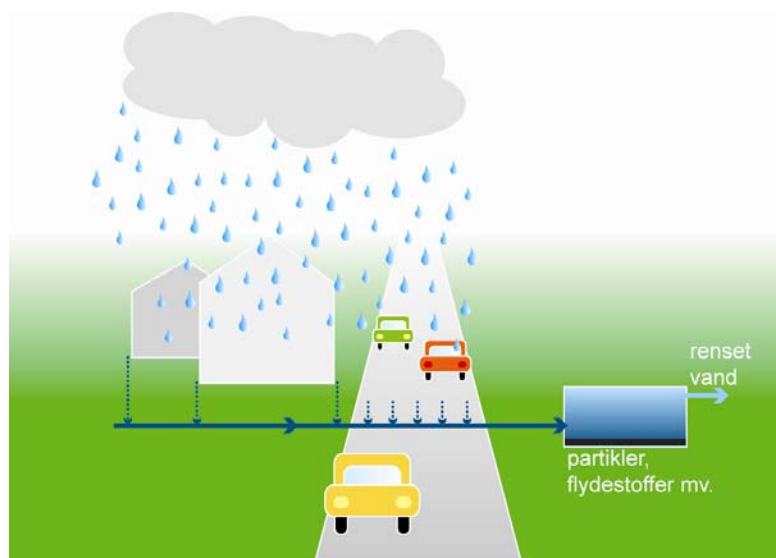
Ingen i DK

REGNVANDSSEPARATOR

F-3

I forbindelse med udvikling af nye byområder, ønskes ofte en separat håndtering af den regn, der falder på tage, veje, mm. for at mindske belastningen af kloaksystemer og rensningsanlæg ved især kraftige regnskyl. Overbelastes sidstnævnte af for store vandmængder, kan man blive nødt til at lukke vandet (blanding af spildevand og regnvand) urensset ud i recipienten.

Udvaskning af miljøfremmede stoffer som bly, zink, kobber, tjærestoffer osv. fra nybyggeri kan undgås gennem lovregulering. Den samme mulighed er der ikke for arealer, hvor der er motoriseret trafik, veje og åbne parkeringsarealer.



Et køretøj efterlader på vejen stoffer fra udstødningen, bremsebelægninger og motoren, og desuden slides (pulveriseres) dæk og asfaltbelægninger. Disse stoffer vaskes af overfladen ved regnskyl. Tilsluttes afstrømningsvandet på vejarealer til spildevandssystemet, medfører dette en ekstra hydraulisk belastning. Derfor er der et generelt ønske om at friholde spildevandssystemet for regnvand.

Regnvandet fra vejene kan dog ikke ledes direkte til recipient, idet det vil skade det lokale vandmiljø, herunder føre til algedød, hormonpåvirkning af f.eks. fisk samt resultere i ophobning af tungmetaller i fiskenes kød. Firmaer har i samarbejde med Københavns Energi udviklet en separator, der er installeret 7 steder i Københavns havn i forbindelse med byfornyelsesprojekter i havnen. Regnvandsseparatoren består dels af et kammer med lamelseparatorer, der separerer suspenderede stoffer i vandet. Desuden har separatoren et filter og en hydraulisk indretning, så finere partikler og flydestoffer (f.eks. olie) fjernes fra vandet. Separatorerne idriftsættes inklusiv måleprogram i april 09. Metoden er endnu ikke kommercialiseret, og hverken anlægs- eller driftsomkostninger er derfor kendte.

Opnås der positive driftsresultater (renhed, sikkerhed og vedligehold), vil teknologien være brugbar og kunne erstatte udvidelse af spildevandssystem og renseanlæg.

Fakta:

Levetid	30 år	Investering i infrastruktur:	Ikke kendte
Energiforbrug	Meget begrænset	Vedligeholdelseskostninger for 7 anlæg i Københavns havn	150.000 kr./år

Positive egenskaber:

- + Aflaster spildevandssystem for store vandmængder og hindrer overløb af urensset vand
- + kræver begrænset plads

Negative egenskaber:

- kræver lokal vedligeholdelse
- den faktiske renssevne endnu ikke fastlagt
- det bundfældede slam skal ledes til spildevandssystemet
- Begrænset erfaring med løsningen

Kombineres med:

- + Separat udledning af tagvand

Kombineres helst ikke med:

Referencer:

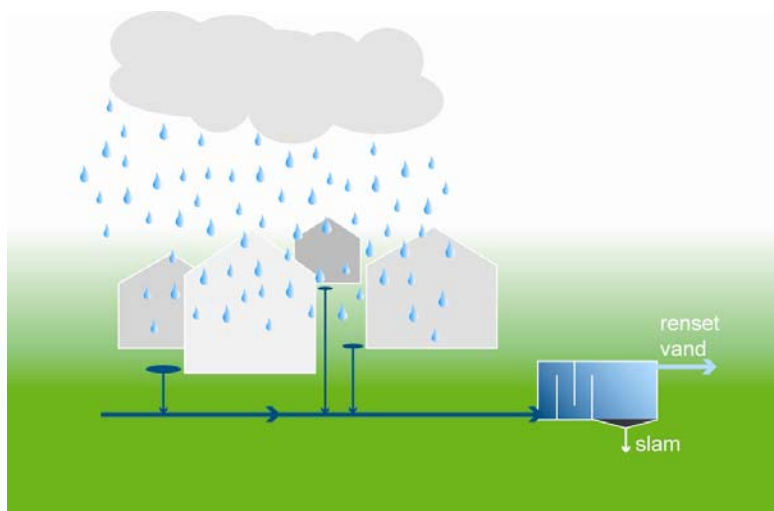
Københavns E	Anlæg på Sluseholmen, Tegholmen, Havneholmen og Holmen.
--------------	---

ACTIFLO RENSENHED**F-4**

Vandmiljøet belastes fra en række kilder, der tilfører vandet stoffer, som forskubber/ødelægger balancen i vandet: Organiske stoffer medfører iltsvind, næringssalte fører til algevækst og miljøfremmede stoffer er giftige for organismer i vandet.

Kilderne er tilløb fra spildevandssystemernes overløbsbygværker, afstrømning fra vejoverflader, oplagspladser mv. Desuden kan der være en tilledning fra slam, der er ophobet over årene.

Som et alternativ til at føre regnvand i byområder til centralt renseanlæg kan man rense vandet decentralt, før det ledes til nærmeste recipient - sø, vandløb eller have. Et eksempel på en teknologi, der nu tilbydes på det danske marked, er ActiFlo, som er en mekanisk kemisk rensning af det forurenede vand.



ActiFlo fjerner suspenderet stof og fosfor ved hjælp af en kombination af mikrosand, polymer, omrøring og lamelseparator. ActiFlo anvendes herhjemme til rensning af kanalvand og rensning af overløbsvand (blanding af spildevand og regnvand). I mindre omfang til rensning af vejvand, hvor regnvandsseparatoren er mere relevant. Anlægget fjerner ca. 90 % suspenderet stof.

ActiFlo fjerner suspenderet stof og fosfor ved hjælp af en kombination af mikrosand, polymer, omrøring og lamelseparator. ActiFlo anvendes herhjemme til rensning af kanalvand og rensning af overløbsvand (blanding af spildevand og regnvand). I mindre omfang til rensning af vejvand, hvor regnvandsseparatoren er mere relevant. Anlægget fjerner ca. 90 % suspenderet stof.

ActiFlo er især velegnet til hurtig rensning af fortyndet spildevand og eventuel ekstra rensning af rensset spildevand, hvor særlig god vandkvalitet er ønsket af hensyn til recipienten

Anvendes for større områder, ikke til karréer eller enkelte hushold.

Fakta: (For et anlæg med en kapacitet på 23.000 m³/h)

Levetid	30 år	Investering i infrastruktur:	23 mio. kr.
Energiforbrug	> 0.1 kWh/m ³	Drift- og vedligeholdelseskostninger:	125.000 kr./år

Positive egenskaber:

- + Aflaster spildevandssystem for store vandmængder og hindrer overløb af urensset vand
- + Kloaksystem og rensningsanlæg kan dimensioneres efter spildevandsmængder, ikke regnvand

Negative egenskaber:

- Kræver lokal vedligeholdelse
- Det bundfældede slam skal ledes til spildevandssystemet
- Kræver plads

Kombineres med:

- + Separat udledning af tagvand
- + Supplerende behandling af rensset spildevand

Kombineres helst ikke med:**Referencer:**

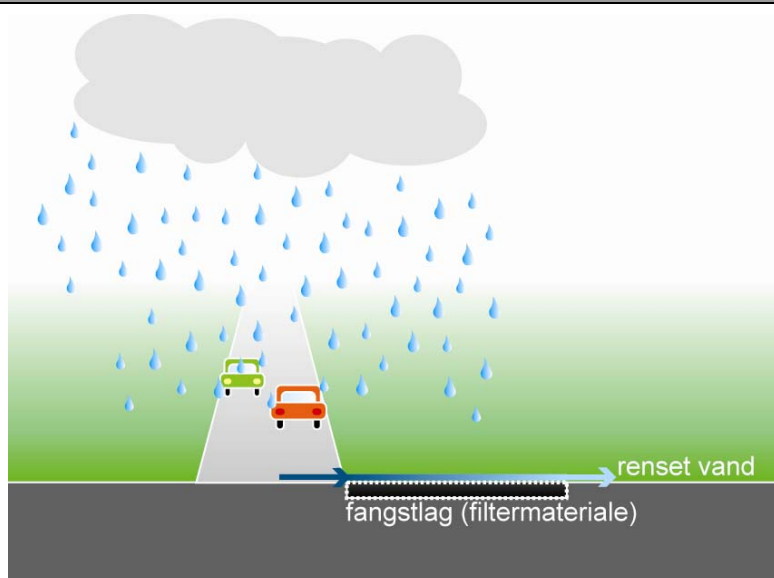
- Københavns Energi: Rensning af kanalvand i Ørestaden
- Københavns Energi: Rensning af kanalvand i Søborghusrenden, Emdrup Sø
- Damhusåens renseanlæg: Rensning af overløbsvand på renseanlægget

DOBBELTPORØST FILTER TIL RENSNING AF REGNVAND**F-5**

Et dobbeltporøst filter er udviklet til at rense afstrømningsvand fra veje, der typisk indeholder tungmetaller og miljøfremmede stoffer til skade for vandmiljøet.

Systemet er et alternativ til regnvandsseparatoren. Det består af vandrette lag af henholdsvis strømningskamre, hvor vandet strømmer, og fangstkamre, hvor det filtrerede materiale opkobes. Derved undgås, at filteret stopper til og der skal bruges energi til at presse vandet igennem. Levetiden afhænger af, hvornår fangstkamrene er fyldt op – forventet mere end 20 år.

Anlægget kan typisk anlægges under et græsareal i en lokal park og optager derfor ikke plads eller medfører risici for mennesker, flora eller fauna i området. Metoden kræver ikke energitilskud eller tilsætning af kemi. Pladskravet afhænger af vandets forureningsgrad, krav til rensning samt ønsket levetid af anlægget - som kræver opgravning, når filtrene til sin tid skal udskiftes. Anlægget kunne også anlægges under en belægning, f.eks. en vej, eller en sportsplads, der så må brydes op, når filtrene skal skiftes.



Det første dobbeltporøse filteranlæg herhjemme har været i drift i over et år i Ørestad. Installationen er nedgravet i en stor græsplæne og renser vejvand. Forsøg med anlægget pågår, og et uafklaret punkt er, hvor ofte filtermateriale og dug skal udskiftes (skønnes til hvert 20-50 år). Renseresultaterne har været meget fine med høj grad af fjernelse af suspenderet stof, tungmetaller og fosfor. Anlægget i Ørestad fylder 200 m².

Metoden udmærker sig med et højt niveau af renseevne og meget lave driftsomkostninger. Anlægsstørrelsen forventes at kunne variere efter behov. I U-lande har teknologien potentiale til at rense vandet til rent drikkevand, mens man i I-lande først og fremmest ser teknologien som led i at mindske belastning af spildevandssystem kombineret med at rense regnvandet, så det kan bruges til rekreative formål.

Fakta:

Levetid	20-50 år	Vedligeholdelse: rensning/udskiftning af filter, el til pumpe
Energiforbrug	ca. 4 W/m løft/m ³	
Areal behov	10 m ² / m ³ /h vejvand	
- eller	120 m ² / ha vejareal.	

Positive egenskaber:

- + Arealet over anlægget kan bruges som park, parkering, m.v.
- + God renseevne
- + Lave driftsomkostninger

Negative egenskaber:

- Pladskrævende under jord
- Kræver opgravning ved skiftning af filtre
- Begrænset erfaring med løsningen

Kombineres med:

- Separat håndtering af tagvand.
- Anvendelse af regnvand til kanaler og spejlsøer

Kombineres helst ikke med:

- Fælles afløbssystem

Referencer:

Ørestad, http://www.life.ku.dk/Nyheder/2009/976_rentregnvand.aspx

GRØNNE TAGE OG FACADER**F-6**

Grønne tage dækker beplantning på tage, typisk med sedum mos eller græs på et tyndt vækstlag. Et grønt tag kan også være et fladt tag med græs, blomster og buske.

Et grønt tag kan medvirke til at reducere afløb af regnvand, da det holder på regn - forbruger, fordamper og nedsiver. Grønne tage holder på ca. 50 % af regnvandsafløbet. De er især gode til at tilbageholde stille eller normal regn, hvorimod kraftig regn kun reduceres i mindre grad.



Grønne tage og facader fjerner eller reducerer en lang række stoffer som tungmetaller, oliestoffer og pesticider som stammer fra luftforureningen.

For grønne tage og facader siges der ofte, at disse reducerer varme- og kølebehovet i bygningen. Dette er dog kun gældende, hvis bygningen er dårligt isoleret, mens effekten i nye bygninger, isoleret efter nutidens energikrav, kun er marginal. Begrønning af facader kan dog indgå som solafskærmning - blot skal man sikre, at afskærmningen (som jo er relativt permanent) ikke medfører øget behov for belysning i bygningen, samt at fugtforhold kontrolleres.

Ligeledes vil begrønningens optag af CO₂ oftest være forsvindende lille i forhold til øvrige CO₂ belastninger i byområder.

Fakta:

Pris: ~500 kr./m² (grønne tage)

Positive egenskaber:

- + Reducere afløb fra arealer med 50 %
- + Virker naturligt og giver luft

Negative egenskaber:

- En ekstra omkostning.
- Øget vedligehold ved større tagflader
- Kræver speciel opbygning for at kunne anvendes på tage med hældning over 20 grader

Kombineres med:

Regnvandsopsamling

Kombineres helst ikke med:**Referencer:**

8-tallet, Ørestad
Augustenborg, Malmø

Potzdammer Platz, Berlin

Bilag

1 Beregningsforudsætninger

1.1 Fire generiske eksempler på bæredygtig byudvikling

De generiske eksempler beskrevet i katalogets Del 1 på bæredygtig byudvikling er sammensat så de afspejler forhold gældende for virkelige eksisterende byområder eller planlagte byområder – men forsimplede, så de illustrerer vigtige pointer gennem deres nøgledata.

Formålet med at opstille simplificerede overslag på økonomi og energi for de fire generiske eksempler er, at illustrere forskelle i nøgletal for CO₂-reduktion, investeringsomkostninger, tilbagebetalingstider og forskelle i hvor stor CO₂ reduktion der opnås pr. investeret krone.

Sammenholder man disse nøgletal for de fire eksempler, giver de anledning til diskussion, idet specielt tilbagebetalingstider og investering i energi- og CO₂ besparelser er meget forskellige i de fire eksempler.

1.2 Beregningsforudsætninger

Opstillingen af de økonomiske beregninger er stærkt forenklede, og der ses ikke på f.eks. levetider, driftsudgifter, tab og investeringer i distributionssystemer, udvikling i brændsels og energipriser, CO₂-udledning i anlægsfasen og drift af energisparetiltag vindmølle, fremtidig lovgivning og mange andre faktorer, som kunne have indflydelse på, hvordan økonomien vil være i en virkelig situation.

For de generiske eksempler er der anvendt følgende nøgletal:

	Nuværende	Fremtidig
Boliger	500.000 m ²	500.000 m ²
Erhverv og institutioner	200.000 m ²	200.000 m ²

Referenceenergiforbrug

	Nuværende	Fremtidig
Boliger - varme (Be06/BR10)	42 kWh/m ²	42 kWh/m ²
Boliger - el til bygningsdrift (Be06/BR10)	4 kWh/m ²	4 kWh/m ²
Boliger - primær energi bygninger (Be06/BR10)	52 kWh/m ²	52 kWh/m ²
Boliger - øvrigt elforbrug	37 kWh/m ²	37 kWh/m ²
Erhverv og institutioner - varme (Be06/BR10)	33 kWh/m ²	33 kWh/m ²
Erhverv og institutioner - el til bygningsdrift (Be06/BR10)	15 kWh/m ²	15 kWh/m ²
Erhverv og institutioner - primær energi bygninger (Be06/BR10)	71 kWh/m ²	71 kWh/m ²
Erhverv og institutioner - øvrigt elforbrug	45 kWh/m ²	45 kWh/m ²

Investeringer

	Nuværende	Fremtidig
Solceller monteret på bygninger (1)	4000 kr/m ²	3000 kr/m ²
Årlig produktion fra solceller	100 kWh/m ²	110 kWh/m ²
Boliger - meromkostninger for lavenergi-klasse 2015 (3)	300 kr/m ²	250 kr/m ²
Boliger - meromkostninger for lavenergi-klasse 2020 (3)	700 kr/m ²	450 kr/m ²
Erhverv - meromkostninger for lavenergi-klasse 2015 (3)	450 kr/m ²	350 kr/m ²
Erhverv - meromkostninger for lavenergi-klasse 2020 (3)	950 kr/m ²	650 kr/m ²

	Investering	Antal fuldlasttimer (2)
Vindmøller - land (2) (nuværende)	10.000 kr./kW(land)	2000 h/year(land)
Vindmøller - hav (2) (fremtidig)	23.000 kr./kW (hav)	4000 h/year(hav)

Energipriser

	Nuværende (4)	Fremtidig
Fjernvarme	0,60 kr./kWh	0,5 kr./kWh
El - forbrug eller solceller	1,60 kr./ kWh	2,00kr./kWh
El - produktion vindmøller	0,60 kr./kWh	1,00kr/kWh

Vedligeholdelse og levetider

	Levetid	Vedligeholdelse
Isolering	>50 år	0 %
Vinduer	20 år	1 %
Solceller	25 år	1 %
Øvrige byg. inst.	20 år	3 %
Vindmøller	25 år	3 %

CO₂-udledning

	Nuværende (4)	Fremtidig
Fjernvarmeforbrug - traditionel (an forbrugere)	175 kg CO ₂ /MWh	140 kg CO ₂ /MWh
Elforbrug (an forbrugere), baseret på marginal elproduktion (se forklaring i Bilag 2)	860 kg CO ₂ /MWh	830 kg CO ₂ /MWh

Referencer

(1) For solcellerne er der regnet med en pris på 4.000 kr/m² (2010 priser - priser oplyst af 2 forskellige store leverandører for anlæg på omkring 1.000-1.500 m²) Den fremtidige pris og effektivitet for solceller er anslået i overensstemmelse med SBI rapporten "Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse"

(2) For vindmøllerne er der generelt regnet med landmøller, og pris og produktion er vurderet ud fra "Stamdataregister for vindmøller" - Energistyrelsen, februar 2009. Der er desuden indhentet information fra Dansk Vindmølleforening.

(3) Meromkostningerne ved opførelse af nybyggeri som lavenergiklasse 2015 henholdsvis lavenergiklasse 2020 er udtaget fra SBI rapporten "Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse". Priser dækker traditionelle løsninger for energibesparelse og er baseret på 2008 priser. Vi antager at ekstraomkostningerne til f.eks. etablering af lavenergiklasse 2015 ift. BR10 standard svarer til forskellen i meromkostninger mellem lavenergiklasse 2 og 1 ift. BR08, som er udgangspunktet for SBI rapporten.

COWI har i 2010 foretaget en analyse af tilsvarende omkostninger på faktiske byggerier eller planlagte byggerier. Analysen viser omkostninger i samme størrelsesorden, omend der er en vis variation projekterne imellem.

(4) Energipriser og tal for CO₂ udledning er udtaget fra Energistyrelsens "Technology Data for Energy Plants" fra juni 2010.

1.3 Simplificeret økonomisk opstilling for fire generiske eksempler

I det følgende sammenlignes og diskuteres nøgledata for de fire eksempler.

I **Det Bæredygtige Fyrtårn** er det eneste fysiske tiltag, at der etableres solceller svarende til 2 % af etagearealet for opnåelse af energibesparelser. Med de ovennævnte forudsætninger beregnes der en investering for scenariet på ca. 47 kr./kg sparet CO₂ og en simpel tilbagebetalingstid på 27 år.

Indbyggere:	10.000	Personer
Boliger	5.000	stk.
Boliger	500.000	m ²
Erhverv + institutioner	200.000	m ²
Varmeforbrug Boliger (42 kWh/år/m ²)	21.000	MWH
Varmeforbrug erhverv+ institutioner (33 kWh/år/m ²)	6.600	MWH
Samlet varmekonsumtion	27.600	MWH
Elforbrug bygningsdrift boliger (4 kWh/år/m ²)	2.000	MWH
Øvrigt elforbrug i boliger (37 kWh/m ² /år)	18.500	
Elforbrug bygningsdrift erhverv + institutioner (15 kWh/år/m ²)	3.000	
Øvrigt elforbrug erhverv + institutioner (45 kWh/år/m ²)	9.000	
Samlet elforbrug	32.500	
Samlet energiforbrug	60.100	MWH
Samlet primært energiforbrug	108.850	MWH
Solceller (2 m ² pr. bolig + 2 m ² pr 100 m ² erhverv)	14.000	m ²
El fra solceller (faktisk)	1400	MWH
El fra solceller (primær energi)	3500	MWH
Investering (4000 kr/m ²)	56	mil.kr.
Samlet el (faktisk)	31.100	MWH
Samlet varme (faktisk)	27.600	MWH
Samlet primært energibehov	105.350	MWH
CO2 belastning (175 kg/MWh varme, 860 kg/MWh el)	31.576	tons
Årlig besparelse i primær energi	3.500	MWH
Årlig CO2 besparelse	1.190	tons
Besparelse (1,6 kr. pr. kWh el)	2	mil.kr.
Investering	56	mil.kr.
Investering/CO2 besparelse	47	Kr./kg.
Tilbagebetalingstid	25	år

I **Den Moderat Bæredygtige Bydel** opføres bygningerne som lavenergiklasse 2015 og opvarmes med varmepumper. Energiforbrug dækkes med vindmøller, så området over året er energineutralt målt på primær energi. Med de ovenfor angivne forudsætninger beregnes der en investering på 13 kr./kg sparet CO₂ og en simpel tilbagebetalingstid på 12 år.

Indbyggere:	10.000	Personer
Boliger	5.000	stk.
Boliger	500.000	m²
Erhverv + institutioner	200.000	m²
Varmeforbrug Boliger (0 kWh/år/m²)	0	MWH
Varmeforbrug erhverv + institutioner (0 kWh/år/m²)	0	MWH
Samlet varmekonsumtion	0	MWH
Elforbrug bygningsdrift boliger (12 kWh/år/m²)	6.000	MWH
Øvrigt elforbrug i boliger (37 kWh/m²/år)	18.500	MWH
Elforbrug bygningsdrift erhverv + institutioner (16 kWh/år/m²)	3.200	MWH
Øvrigt elforbrug erhverv + institutioner (45 kWh/år/m²)	9.000	MWH
Samlet elforbrug	36.700	MWH
Samlet energiforbrug	36.700	MWH
Samlet primært energiforbrug	91.750	MWH
Investering i lavenergiklasse 2015 boliger (+300 kr/m²)	150	mio. kr.
Investering i lavenergiklasse 2015 erhverv (+450 kr/m²)	90	mio. kr.
Samlet investering i bygninger	240	mio. kr.
Vindmøller (Landmøller)	18	MW
El fra vindmøller (faktisk)	36.700	MWH
El fra vindmøller (primær energi)	91.750	MWH
Investering i vindmøller (10 mio. kr./MW)	184	mil.kr.
Samlet el (faktisk)	0	MWH
Samlet varme (faktisk)	0	MWH
Samlet primært energibehov	0	MWH
CO2 belastning (860 kg/MWh el)	0	tons

Årlig besparelse i primær energi	108.850	MWH
Årlig CO2 besparelse	32.766	tons
Besparelse (1,6 kr./kWh el + 0,75 kr./kWh varme + 0,6 kr./kWh vind)	36	mio. kr.
Investering	424	mio. kr.
Investering/CO2 besparelse	13	kr./kg
Tilbagebetalingstid	12	år

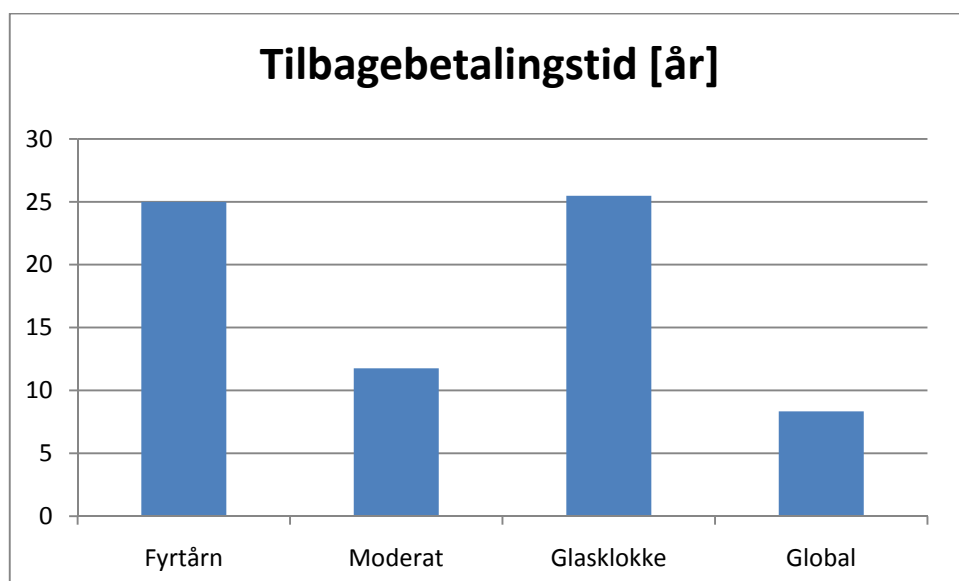
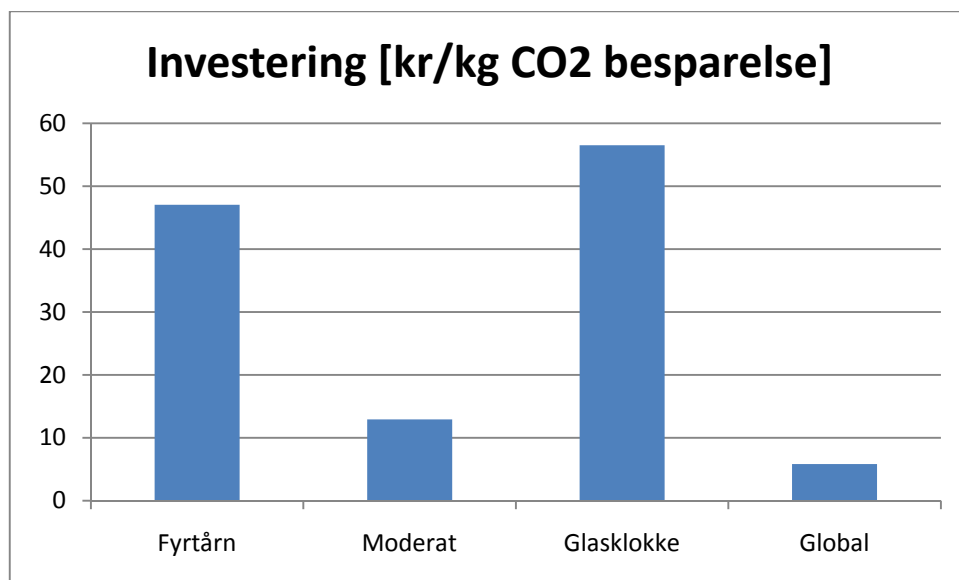
I **Den Bæredygtige Glasklokke** opføres bygningerne som lavenergiklasse 2020 med varmepumper. Energiforbrug dækkes med solceller, så området over året er energineutral målt på primær energi. Med de ovenfor angivne forudsætninger beregnes der en investering på 57 kr./kg sparet CO₂ og en simpel tilbagebetalingstid på 25 år.

Indbyggere:	10.000	Personer
Boliger	5.000	stk.
Boliger	500.000	m²
Erhverv + institutioner	200.000	m²
Varmeforbrug Boliger (0 kWh/år/m²)	0	MWH
Varmeforbrug erhverv+ institutioner (0 kWh/år/m²)	0	MWH
Samlet varmekorbrug	0	MWH
Elforbrug bygningsdrift boliger (7 kWh/år/m²)	3.500	MWH
Øvrigt elforbrug i boliger (37 kWh/m²/år)	18.500	MWH
Elforbrug bygningsdrift erhverv + institutioner (9 kWh/år/m²)	1.800	MWH
Øvrigt elforbrug erhverv + institutioner (45 kWh/år/m²)	9.000	MWH
Samlet elforbrug	32.800	MWH
Samlet energiforbrug	32.800	MWH
Samlet primært energiforbrug	82.000	MWH
Investering i lavenergiklasse 2020 boliger (+700 kr/m²)	350	mio. kr.
Investering i lavenergiklasse 2020 erhverv (+950 kr/m²)	190	mio. kr.
Samlet investering i bygninger	540	mio. kr.
Solceller	328.000	m²
El fra solceller (faktisk)	32.800	MWH
El fra solceller (primær energi)	82.000	MWH
Investering i solceller (4000 kr/m²)	1.312	mil.kr.
Samlet el (faktisk)	0	MWH
Samlet varme (faktisk)	0	MWH
Samlet primært energibehov	0	MWH
CO2 belastning (860 kg/MWh el)	0	tons
Årlig besparelse i primær energi	108.850	MWH
Årlig CO2 besparelse	32.766	tons

Besparelse (1,6 kr. pr. kWh el + 0,75 kr. pr. kWh varme)	73	mio. kr.
Investering	1.852	mio. kr.
Investering/CO2 besparelse	57	kr./kg
Tilbagebetalingstid	25	år

I **Den Globale Bæredygtige Bydel** foretages der ikke energibesparende tiltag i området, men til gengæld opstilles (land-)vindmøller, som modsvarer områdets energiforbrug over året målt på primær energi. Med de ovenfor angivne forudsætninger beregnes der en investering på 6 kr./kg sparet CO₂ og en simpel tilbagebetalingstid på 8 år.

Indbyggere:	10.000	Personer
Boliger	5.000	stk.
Boliger	500.000	m²
Erhverv + institutioner	200.000	m²
Varmeforbrug Boliger (42 kWh/år/m²)	21.000	MWH
Varmeforbrug erhverv+ institutioner (33 kWh/år/m²)	6.600	MWH
Samlet varmekorbrug	27.600	MWH
Elforbrug bygningsdrift boliger (4 kWh/år/m²)	2.000	MWH
Øvrigt elforbrug i boliger (37 kWh/m²/år)	18.500	
Elforbrug bygningsdrift erhverv + institutioner (15 kWh/år/m²)	3.000	
Øvrigt elforbrug erhverv + institutioner (45 kWh/år/m²)	9.000	
Samlet elforbrug	32.500	
Samlet energiforbrug	60.100	MWH
Samlet primært energiforbrug	108850	MWH
Vindmølle	21,77	MW
El fra vindmøller (2000 fuldlasttimer)	43.540	MWH
El fra vindmøller (primær energi)	108.850	MWH
Investering (10 mkr/mW)	217,7	mil.kr.
Samlet el (faktisk)	-11.040	MWH
Samlet varme (faktisk)	27.600	MWH
Samlet primært energibehov	0	MWH
CO2 belastning (175 kg/MWh varme, 860 kg/MWh el)	-4.664	tons
Årlig besparelse i primær energi	108.850	MWH
Årlig CO2 besparelse	37.430	tons
Besparelse (0,6 kr. pr. kWh el)	26,1	mil.kr.
Investering	217,7	mil.kr.
Investering/CO2 besparelse	6	kr./kg
Tilbagebetalingstid	8	år



Forudsætningerne for ovenstående beregninger er som nævnt stærkt forenklede. Det forventes dog, at selv om forenklingerne vil kunne have væsentligt indflydelse på den samlede investering og pris pr. kg reduceret CO₂ for alle fire eksempler, at det under alle omstændigheder vil være væsentligt billigere at opnå CO₂ reduktion ved investering i vedvarende forsyningsteknologier uden for byudviklingsområder, end ved investering i lavenergibyggeri og vedvarende energiteknologier placeret på bygninger og i byudviklingsområder.

Generelt opnås der større CO₂ reduktion pr. investeret krone ved investering i større vedvarende energianlæg uden for nye byområder, end ved investering i tiltag for opnåelse af lavenergibyggeri og investering i vedvarende energianlæg (solceller) i nye byområder.

2 Følsomhedsanalyse

2.1 Baggrund

Dette afsnit beskriver forhold, som kan have indvirkning på de økonomiske beregninger opstillet for de fire eksempler for bæredygtighed i katalogets første del.

Eksemplerne i kataloget illustrerer principper for bæredygtig byudvikling med fokus på energi. Fremtidige ændringer i priser, ydelser, CO₂ emissioner og andre forhold, vil dog kunne ændre på de beregnede resultater, og måske dermed konklusionerne.

Det er derfor formålet med dette afsnit at vurdere betydningen af ændringer i forudsætninger, og om sådanne ændringer kan give anledning til ændrede konklusioner.

2.2 Sammenfatning

Generelt forventes ændringer og medregning af de undersøgt parametre ikke at ændre ved de konklusioner, der er draget i kataloget.

Udvikling i priser og ydelser vil kunne reducere de økonomiske forskelle mellem eksemplerne, men forskellene vil stadig være så store, at det ikke ændrer ved hovedkonklusionerne.

Udgifterne til vedligehold og udskiftninger vurderes at være højere for energibesparende tiltag i byområdet end ved f.eks. store vindmøller, så dette ændrer heller ikke ved konklusionerne.

Medregning af nettab og anlægsomkostninger for backup kapacitet medfører også større omkostninger for alle eksempler, men mest for den globale løsning. Ændringerne er dog ikke store nok til at ændre på de oprindelige konklusioner.

Beregning af CO₂ besparelser ud fra gennemsnitsværdier i stedet for marginalværdier, reducerer generelt de beregnede CO₂ besparelser, men ændrer ikke forholdet mellem de forskellige eksempler og dermed heller ikke konklusionerne.

2.3 Fremtidige priser og ydelser

Fremtidige ændringer i priser og ydelser for energibesparende og energiproducerende teknologier kan ændre væsentligt på økonomien i de opstillede eksempler.

For at vurdere hvor store disse ændringer kan være, er der foretaget estimater på fremtidige priser og ydelser.

Som udgangspunkt er anvendt 2010 priser, så kun prisændringer ud over den almindelige prisudvikling i samfundet giver anledning til ændringer.

For vurdering af fremtidige priser og ydelser er der anvendt følgende forudsætninger:

Bygninger:

Energibesparende tiltag i bygninger er estimeret til at kunne udføres ca. en tredjedel billigere i fremtiden, som følge af udvikling af nye produkter. Vurderingen er foretaget med udgangspunkt i SBI-rapporten "*Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse*".

Solceller:

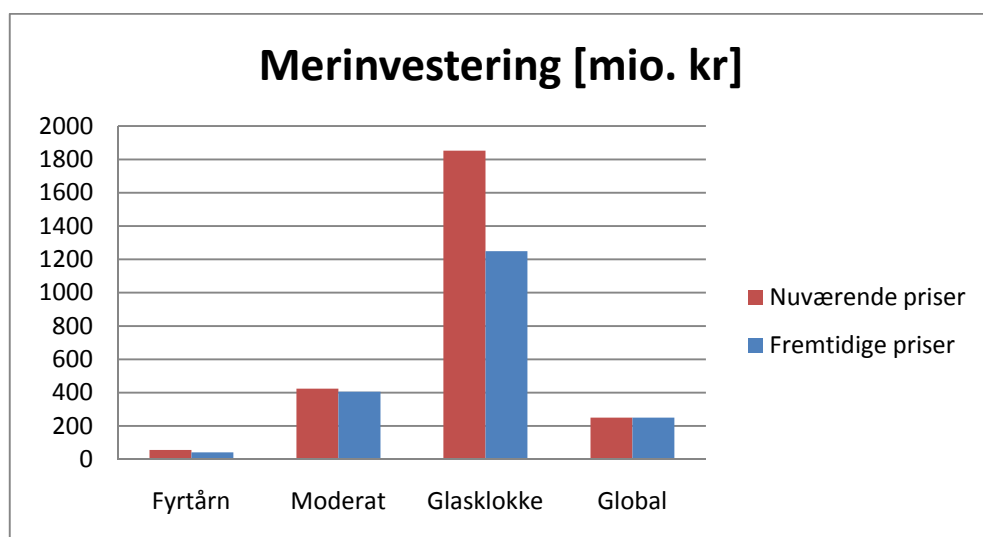
Solceller forventes at falde væsentligt i pris indenfor de nærmeste år. Med baggrund i SBI-rapporten "*Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse*" er det således vurderet, at prisen kan forventes at falde til 3.000 kr./m² om nogle år, og at ydelsen samtidig stiger 10 %.

Vindmøller:

I de oprindelige eksempler er der regnet med landvindmøller. Da det forventes, at udbygningen med vindmøller i Danmark primært vil ske offshore, er der i de fremtidige eksempler regnet med offshore møller. Der er her anvendt nøgletal for Anholt projektet, der er det nyeste danske offshore projekt, og et projekt med relativt høje anlægsomkostninger. Oplysninger om omkostninger og produktion for dette projekt er hentet i redegørelsen "*Energi- og Klimaministeriets tredje parts vurdering af Anholt projektet*".

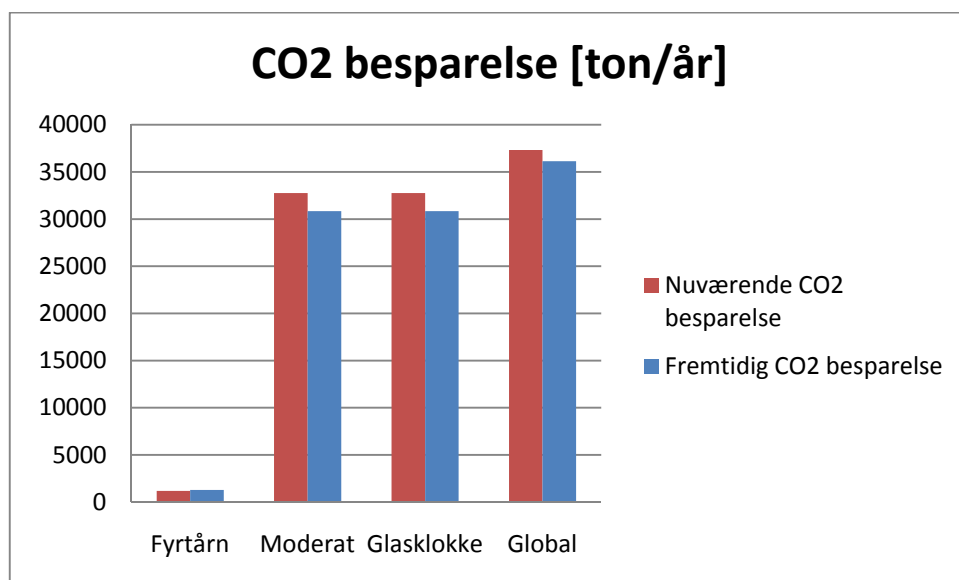
Energi og CO₂:

Muligvis vil energipriserne stige mere end den almindelige prisudvikling, hvilket vil bedre økonomien for alle tiltagene. Der er således estimeret, at elprisen stiger fra 1,6 kr./kWh til 2,- kr./kWh, og at fjernvarmeprisen stiger fra 0,75 kr./kWh til 0,85 kr./kWh. Øvrige data kan findes i det foregående afsnit: Beregningsforudsætninger.

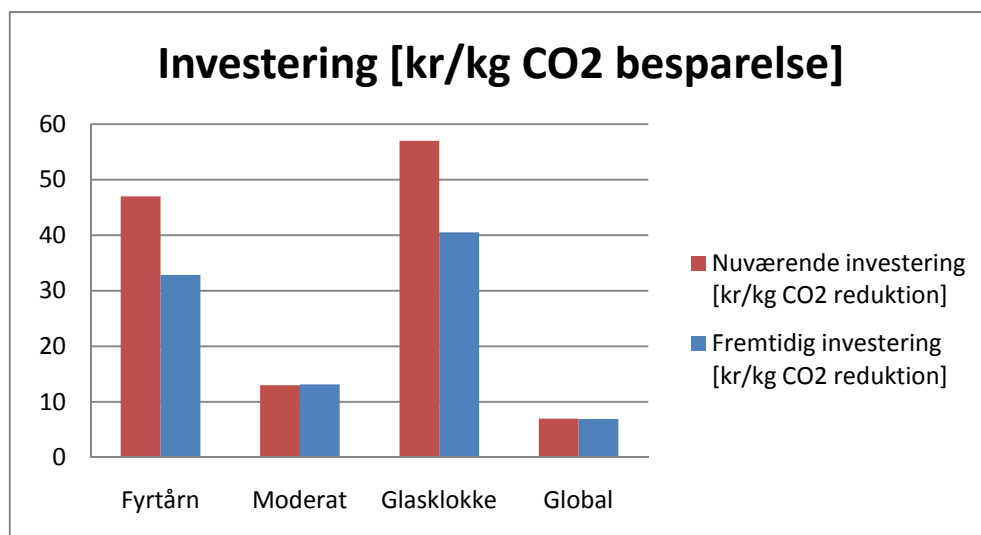


Som det ses af ovenstående reduceres merinvesteringen væsentligt i specielt Den Bæredygtige Glasklokke, mens prisen er stort set uændret i den globale og

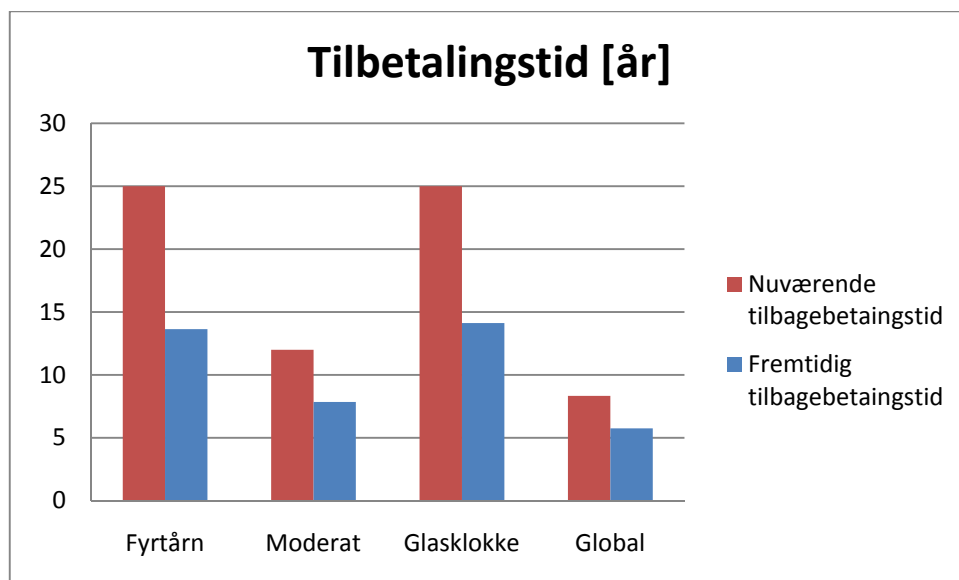
den moderate løsning. På trods af dette, er investeringen stadig ca. 5 gange større for Glasklokken end for Den Globale Løsning.



Fremtidige ændringer i energisammensætning forventes kun at ville betyde marginale ændringer i CO₂ besparelserne for de fire eksempler, som det også illustreres i ovenstående figur.



På trods af reducerede investeringer i Glasklokke løsningen er denne løsning stadig ca. 6 gang dyrere pr. kg. sparet CO₂ end Den Globale Løsning.



De ændrede priser forventes at reducere tilbagebetalingstiden for alle løsninger, dog ikke lige meget. Samlet forventes forskellen i de fremtidige tilbagebetalingstider således at blive lidt mindre, således at der er lidt over en faktor 2,5 til forskel.

2.3.1 Samlet vurdering af ændrede priser

Samlet vurderes de ændrede priser at ville reducere de økonomiske forskelle mellem de fire eksempler. Dog vil der stadig være krævet ca. 6 gange så store investeringer for opnåelse af CO2 besparelser i området som ved vedvarende energiproduktion med vindmøller uden for området. De ændrede priser ændrer således ikke ved konklusionerne.

I det følgende vil de fremtidige priser blive anvendt ved sammenligninger.

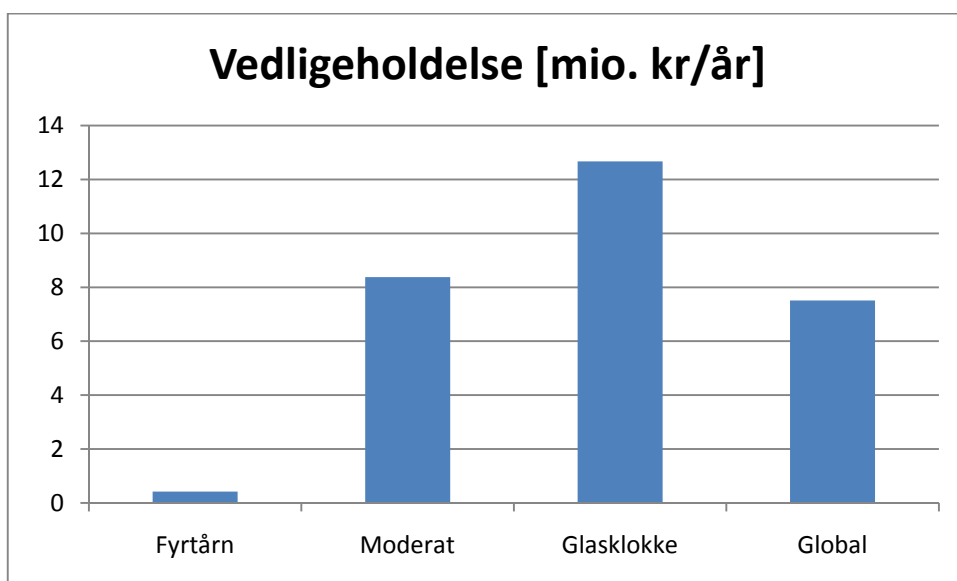
2.4 Medregning af vedligeholdelsesudgifter og udgifter til udskiftninger

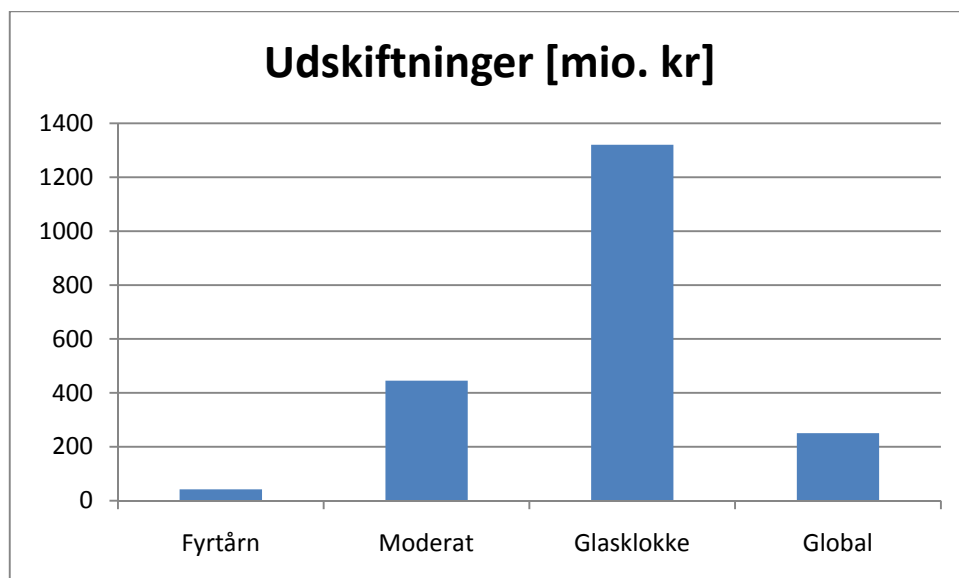
I eksemplerne er der kun regnet på anlægsinvesteringer og den simple tilbagebetalingstid, hvor udgifter til vedligeholdelse og udskiftninger ikke er medregnet.

For at vurdere hvilken indflydelse det vil have, hvis disse medregnes, er der opstillet følgende forudsætninger:

	Levetid	Vedligeholdelse
Isolering	>50 år	0 %
Vinduer	20 år	1 %
Solceller	25 år	1 %
Øvrige bygningsinstallationer	20 år	3 %
Vindmøller	25 år	3 %

Med ovenstående forudsætninger fås følgende resultater:





Som det ses af figurerne er både vedligeholdelses- og udskiftningsudgifterne mindre for Den Globale Løsning end for Den Moderate og Glasklokken.

2.4.1 Vurdering af betydning af vedligeholdelse og udskiftninger

Som det ses af figurerne er de samlede udgifter til vedligehold og udskiftninger større ved Glasklokke løsningen end ved Den Globale Løsning. Dette skyldes primært, at der i Glasklokke løsningen er investeret mere, hvilket også ved drift og udskiftninger medfører højere omkostninger. Dette også selv om en del af investeringerne i Glasklokke løsningen er gjort ift. isolering, som ikke kræver udskiftning og vedligehold.

Hvis vedligehold og udskiftninger medregnes, bliver Den Globale Løsning således økonomisk mere attraktiv.

2.5 Medregning af nettab og backup kapacitet

I eksemplerne er der som udgangspunkt ikke medregnet nettab i elnettet. Nettabet vil have indflydelse på den effektive ydelse af vedvarende energianlæg, men ikke på energibesparelser i bygninger (tab i fjernvarmeforsyning er indregnet i tallene).

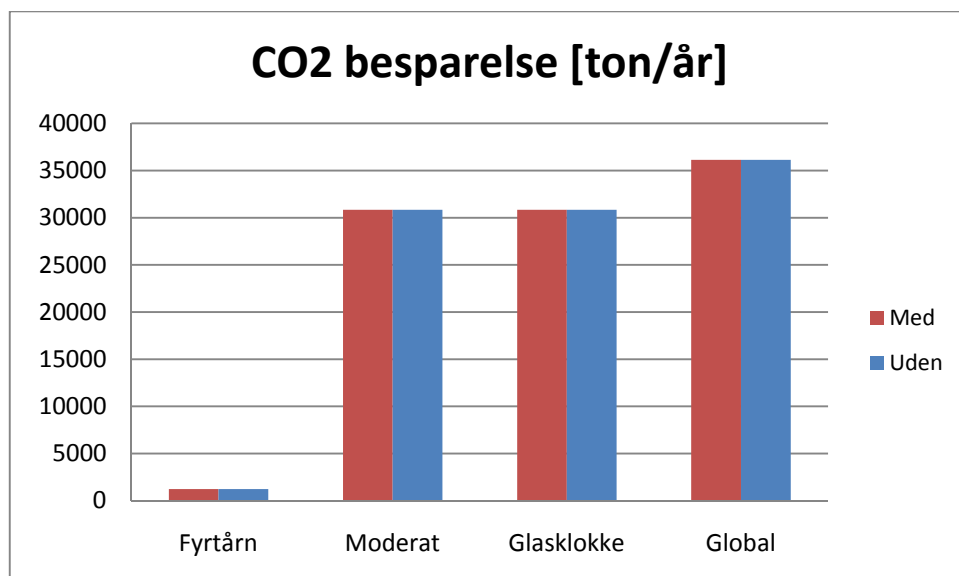
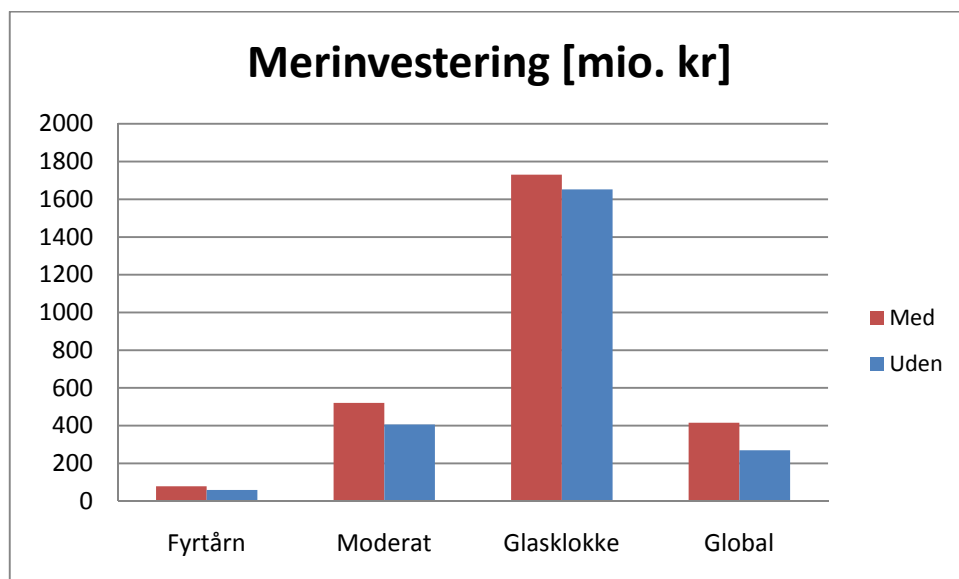
Det vurderes at nettab vil udgøre 7 % af vindmøllernes produktion samt ca. 3,5 % af solcellernes produktion.

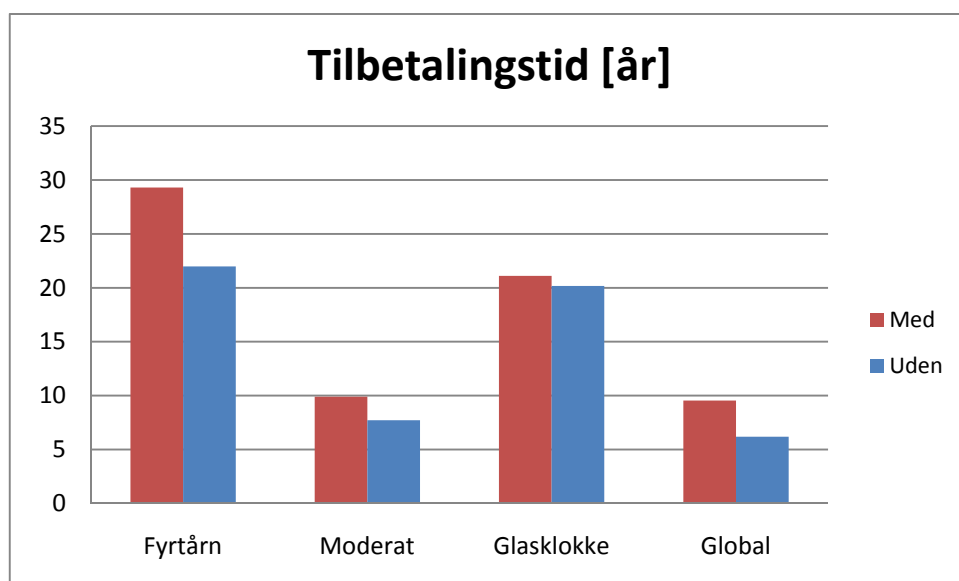
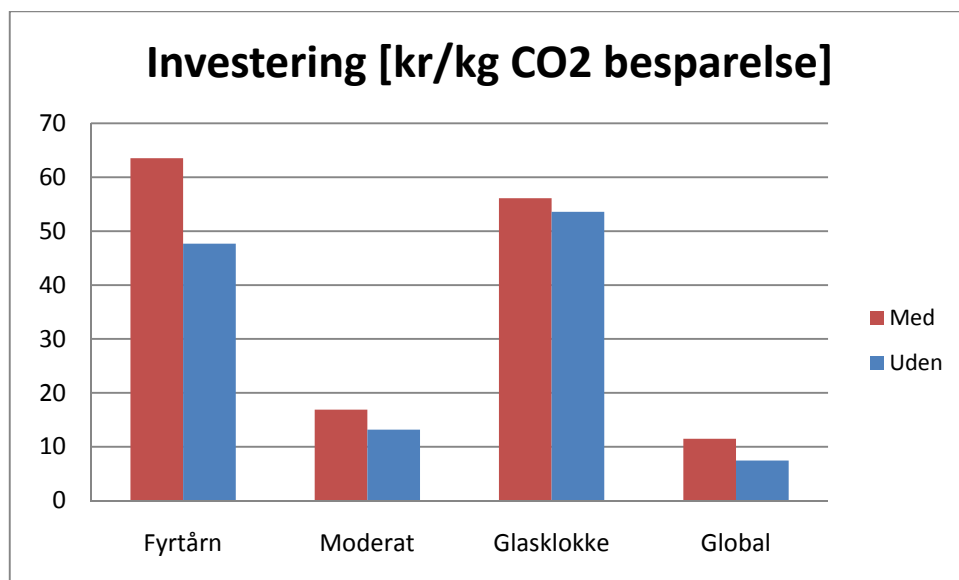
Vedvarende energikilder i elnettet, som solceller og vindmøller, kan ikke stå alene, idet solen ikke altid skinner, og vinden ikke altid blæser.

Der er derfor behov for backup kapacitet, og dette er som udgangspunkt ikke medregnet i eksemplerne.

For at undersøge betydningen af dette, er der set på, hvad det ville koste, hvis der for eksemplerne skulle etableres backup kapacitet svarende til den installerede effekt af solceller/vindmøller. Som backup er der regnet med moderne kulkraftværker med en pris på 10 mio. kr./MWh.

Figureerne nedfor viser resultaterne med og uden nettab og backup for de fire eksempler.





2.5.1 Vurdering af nettab og backup kapacitet

Generelt stiger omkostningerne, når nettab og backup kapacitet medregnes. Procentvis stiger omkostningerne mest ved Den Globale Løsning. På trods af dette, er denne løsning dog stadig ca. 4 gange billigere end Glasklokken og prisen pr. sparet kg CO₂ er mere end 5 gange lavere.

2.6 Gennemsnitlige CO₂ emissioner i stedet for marginal CO₂ emissioner

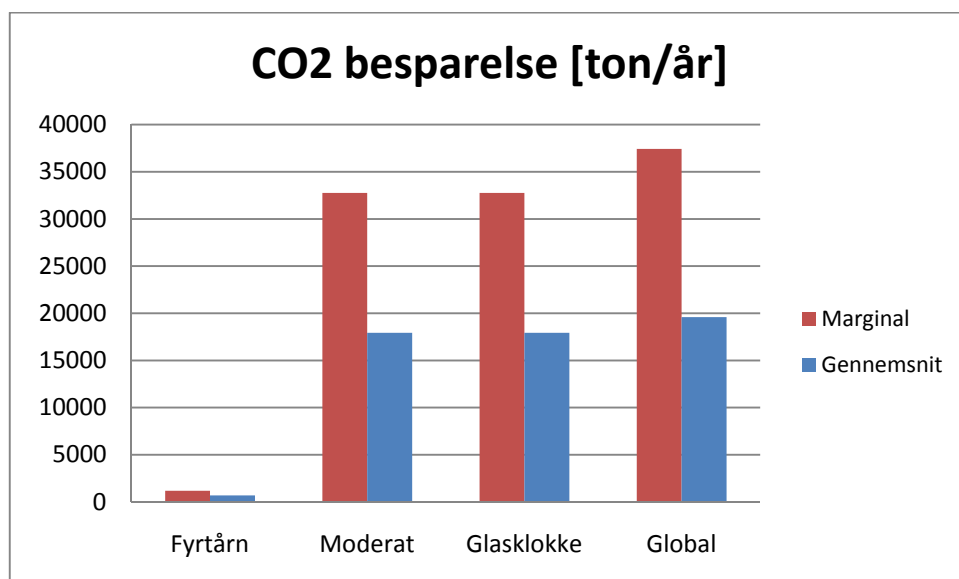
Der er to umiddelbare metoder til at definere CO₂-emissionerne ved elproduktion: Den gennemsnitlige CO₂-emission og den marginale CO₂-emission. Den gennemsnitlige CO₂-emission findes som forholdet mellem den samlede årlige CO₂-emission fra kollektive elproducerende anlæg (vindmøller, kraftvarmeverker, kondensværker osv. inkl. handel med nabolande) og den samlede producerede mængde elektricitet fra samme anlæg. Dette er definitionen på den CO₂-emission, man som elforbruger har belastet klimaet med.

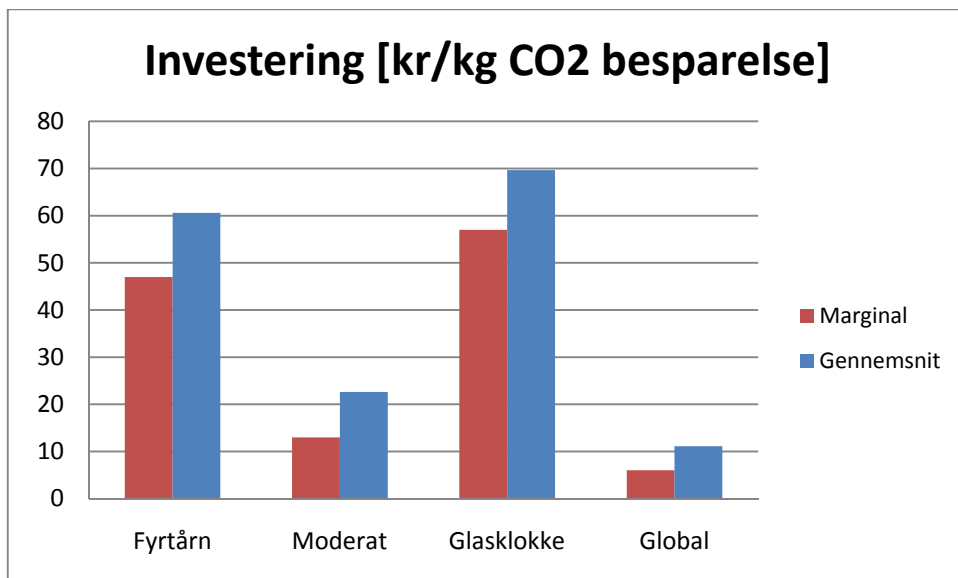
Når man skal undersøge, hvordan nye tiltag vil påvirke CO₂-emissionen i forbindelse med elproduktion, skal tiltaget sammenlignes med den marginale CO₂-emission og ikke den gennemsnitlige. Den danske elforsyning er bygget op af en række forskellige teknologier med forskellige CO₂-emissionsfaktorer og forskellige produktionsomkostninger. Den marginale produktionsenhed er den næste enhed i rækken, der tages i drift, hvis elbehovet stiger. Hvis man laver et tiltag, der reducerer elforbruget eller producerer elektricitet, vil tiltaget fortrænge elproduktion fra den marginale produktionsenhed, som er den dyreste enhed. CO₂-reduktionen ved et nyt tiltag vil være lig differencen mellem tiltagets CO₂-emission og CO₂-emission fra den marginale produktionsenhed. Energistyrelsen har opgjort den marginale CO₂-emissionsfaktor til 802 kg CO₂/produceret MWh el og 862 i Danmark i 2010 (Energistyrelsen "Technology Data for Energy Plants", juni 2010)

I eksemplerne er der regnet med marginale CO₂ emissionsfaktorer, der er sat til i fremtidsscenariet at være 140 kg CO₂ / MWh varme og 830 kg CO₂ / MWh el ca. svarende til forventede CO₂-emissionsfaktorer i 2020 på forbrug.

Hvis der i stedet var regnet med gennemsnitlige CO₂-emissionsfaktorer vil dette udelukkende ændre på CO₂ reduktionerne og prisen på CO₂ reduktion. De forventede gennemsnitlige CO₂-emissionsfaktorer forventes her at være ca. 110 kg CO₂ / MWh varme og 450 kg CO₂ / MWh el.

Med gennemsnitlige CO₂ emissioner fås følgende:





Som det ses af figurene reduceres den beregnede CO₂ besparelse væsentligt for alle eksemplerne, når man regner med den gennemsnitlige CO₂ emission, og dermed stiger prisen pr. kg CO₂ besparelse. Dog ændres forholdet mellem prisen pr. kg CO₂ besparelse for de forskellige eksempler ikke væsentligt, og dermed ændres heller ikke ved konklusionerne.

Litteraturliste

Klimakommissionen, september 2010	Grøn Energi - vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler
Erhvervs- og Byggestyrelsen	Bygningsreglement 2010
Statens Byggeforskningsinstitut (2009)	Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover - Økonomisk analyse
Energistyrelsen, februar 2009	Stamdataregister for vindmøller
Energi- og Klimaministeriet	Energi- og Klimaministeriets tredje parts vurdering af Anholt projektet
Dansk Vindmølleforening	
Affald Danmark (2009)	Samfundsøkonomisk vurdering af forbrænding, medforbrænding og biologisk behandling
DTU Miljø (2008)	Miljøvurdering af affaldsforbrænding og alternativer
Miljøministeriet og Realdania - Plan 09	Bæredygtig byomdannelse - Europæiske perspektiver
City of Helsinki & Ministry of the environment (2005)	Eco-Viikki - Aims, Implementation and Results
Eco Viikki	HP 2010: http://cic.vtt.fi
Hafen City	HP 2010: http://www.hafencity.com
Samsø VEØ	HP 2010: http://www.energiakademiet.dk/
Verdens første CO₂-frie by: Et mekka for hippier og jakkesæt	HP 2010: Artikel af Andreas Antoni Lund, 13. marts 2008
Energitilsynet	Prisstatistik fra 12. juli 2010
1 ton mindre	HP, 2008

Dansk Fjernvarme	Varmeplan Danmark 2010 Bilagsrapport
Elselskaber	HP's: DONG Energy, EnergiSyd, Forsyning Helsingør, TRE-FOR (2010)
Energinet.dk	Miljørapport 2010, Baggrundsrapport
Brændeovnsshoppen	HP 2010: http://www.braendeovns-shoppen.dk/category.275
Dansk Fjernvarme	Varmeplan Danmark (2008) Bilagsrapport
Energistyrelsen og energinet.dk	Technology Data for Energy Plants, juni 2010
Energistyrelsen (EFP)	Fjernvarmedrevne adsorptionsvarmepumper med jordlager til etageboliger, kontor- og institutionsbyggeri - fase 1, august 2009
Ingeniøren	Artikel: Robot på larvefødder borer jordvarme skråt ned under haven, juni 2009
KE, VEKS, CTR (Udført af EA Energianalyse)	Data for teknologier til produktion af varme, Baggrundsrapport til Varmeplan Hovedstaden, november 2009
DONG Energy	HP 2010: http://www.dongenergy.com/Geotermi/Fjernvarmeproduktion/varmepriser/Pages/Varmepriser.aspx
DONG Energy	HP 2010: http://www.dongenergy.com/geotermi/geotermi/teknologi/pages/boringer.aspx
EU Commission SAVE Programme & Nordic Energy Research (DR-byen)	Ground Source Cooling, Soil Cool/Rekyl project, Working Paper on Country Cases
COWI	Energisystemer i det nye Skuespilhus (præsentation/slides), 2005
Senertec	The Dachs (datablad for motor), datering ukendt (ikke ældre end 2008)
Dansk Gasteknisk Center	Mini- og mikrokraftvarme, Teknologi, potentiale og barrierer, Projekt rapport, oktober 2006
Energistyrelsen	Perspektiver for den danske varmeforsyning frem mod 2025, Teknisk baggrundsrapport til Energistrategi 2025, juni 2005
Gaia Solar	Parkvænget 25, Solcelle entreprise, Tilbud 451209 - 594, december 2009
PA Energy Ltd.	Notat om solcelleteknologi, Vers. 05, datering ukendt (ikke ældre end 2009)

Yusuf Chisti	Biodiesel from microalgae, paper, 2007
Yusuf Chisti	Response to reijinders: Do biofuels from microalgae beat biofuel from terrestrial plants? artikel i Trends in Biotechnology vol. 26 No. 7, 2008
DONG Energy	HP 2010: http://www.dongenergy.dk/privat/Naturgas/vaelgprisaf tale/fastpris/ Pages/fastpris.aspx
Fyr og spar	HP 2010: http://fyrogsp ar.dk/shop/braende-salg-billig-pejsebraende-180p.html
Dansk Fjernvarme	Brændselsstatistik nr. 160 for 2. kvartal 2010 - september 2010 (DFF)
Energistyrelsen	Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, april 2010
Energistyrelsen, m.fl.	www.altomsolvarme.dk
Dansk Solvarmeforening	...God økonomi i solvarme ved udskiftning af kedel eller beholder, pjece, september 2007
Teknologisk Institut	HP 2010: www.teknologisk.dk/varmepumpeinfo/
Teknologisk Institut	HP 2010: www.solenergi.dk
Dansk Gasteknisk Center	HP 2010: www.dgc.dk
HMN Naturgas	HP 2010: www.hng.dk
Energistyrelsen	HP 2010: www.ens.dk
Energinet.dk, m.fl.	Pas på gasledningerne, 6. udgave, 2007

Energistyrelsen	Energiteknologier – tekniske og øko-nomiske udviklingsperspektiver, Teknisk baggrundsrapport til Energistrategi 2025, juni 2005
Energistyrelsen (EFP)	Udvikling og demonstration af lavtemperaturfjernvarme til lavenergibyggeri, december 2008
Center for energibesparelser	HP 2010: www.elsparefonden.dk
Dansk Energi	Dansk Elforsyning '08, Statistik, april 2009
Trafikstyrelsen	HP 2010: http://www.hvorlangtpaaliteren.dk/sw101250.asp
Energicenter Danmark	Fakta om bølgeenergi, 2002
Vindmølleindustrien	HP 2010: http://guidedtour.windpower.org/da/tour/econ/offshore.htm
Peter Daugbjerg Jensen & Annette Bruhn	Den blå Biomasse, artikel i Aktuel naturvidenskab nr. 6, 2008
Ingeniøren	Artikel: Søsalat tegner lovende som ny energikilde, oktober 2009
Ingeniøren	Artikel: Better Place: Danskernes elbiler skal styres af Windows, september 2009
DR	Udsendelse: Elbiler skal selv levere strøm, januar 2009
Jesper Lebæk Jespersen	Træsprit i tanken, artikel i Aktuel naturvidenskab nr. 6, 2008
Søren Knudsen Kær	Methanol som energibærer, præsentation ved Klimadag på Aalborg Universitet, september 2009
Ingeniøren	Artikel: Omvendt brændselscelle kan lagre vindmøllestrømmen, august 2008
Ingeniøren	Artikel: Aalborg-professor: Vi kommer ikke uden om brændselsceller i elbiler, august 2008
Ingeniøren	Artikel: Kedelfabrikant prøver kræfter med krævende forgasningsteknologi, februar 2009
Ingeniøren	Artikel: Danmark i verdenseliten med forgasningsteknologi, maj 2008
Ingeniøren	Artikel: Skive bygger Europas største forgasningsanlæg, oktober 2007

Illustrationsliste

s. 11:

<http://www.tu.no/energi/article163462.ece> (*solceller*)

<http://www.karsten-lund.dk/Referencer.htm> (*fjernvarme*)

www.cowi.dk (*bygninger*)

<http://bahrainwtc.com/> (*Bahrain World Trade Center*)

s. 13:

<http://www.dongenergy.dk/privat/cleantech/loesningermedcleantech/varmepumper/Pages/varmepumper.aspx> (*varmepumpe*)

<http://www.nhh.dk/referencer/referenceliste.html> (*bygning*)

s. 15:

<http://www.dongenergy.dk/privat/cleantech/loesningermedcleantech/varmepumper/Pages/varmepumper.aspx> (*varmepumpe*)

<http://www.tu.no/energi/article163462.ece> (*solceller*)

Green Lighthouse: Foto af Adam Mørk

Masdar: Norman Foster & Partners

s. 27:

smarterbuilding.com/2008/12/

<http://mokkikunta.blogspot.com/2009/05/record-number-of-new-student-housing-in.html>

s. 30:

<http://www.theworldedition.com/news/hafencity-hamburg.php>

http://www.hamburg-fotografie.de/neues/093_neues/index.htm

http://www.hamburg-fotografie.de/hamburg_bilder_neues/08_hafencity_speicherstadt_hamburg/luftaufnahme_speicherstadt_hafencity.html

s. 33:

Norman Foster & Partners

<http://www.menainfra.com/news/masdar-city-carbon-neutral/>

<http://www.masdar.ae/en/home/index.aspx>

s. 35:

<http://www.regionmidtjylland.dk/om+regionen/aktuelt/nyheder?docid=25191>

<http://www.energiakademiet.dk/flashkort.asp>

<http://s-dialog.dk/default.aspx?site=gl/samsoe&>

Øvrige illustrationer er udgiverens egne fotos/diagrammer.

