



# UBST-Energivejledning

Planlægning af energieffektivt byggeri

Januar 2008



**Universitets- og  
Bygningsstyrelsen**

Ministeriet for Videnskab  
Teknologi og Udvikling

---

---

**UBST-Energivejledning**  
**Planlægning af energieffektivt byggeri**

Udgivet af:  
Universitets- og Bygningsstyrelsen  
Bredgade 43  
1260 København K  
Telefon +45 3395 1200  
Telefax +45 3395 1300

Publikationen kan hentes på [www.ubst.dk](http://www.ubst.dk)

---

---

# UBST-Energivejledning

## Planlægning af energieffektivt byggeri



---

Universitets- og Bygningsstyrelsen har i forbindelse med udviklingen af bygherrerollen som statslig bygherre udarbejdet denne Energievejledning som grundlag for planlægning af energieffektivt undervisningsbyggeri, med henblik på at sætte focus på et vigtigt element i etablering af gode fysiske forhold i eget undervisningsbyggeri der opføres som ny- og tilbygning samt i videst muligt omfang ombygning.

Arbejdet med Energievejledningen sker i en epoke hvor energi- og indeklimateforholdene i byggeriet får en stigende bevågenhed dels set i relation til klimaudviklingen dels i forhold til indretning af byggeriet som led i at skabe moderne og sunde forhold for at styrke studiemiljøet for de studerende, samt tilsikre fremtidssikrede gode forsknings-, undervisnings- og arbejdsforhold for de ansatte.

Energievejledningen er udarbejdet i et samarbejde med SBI og Esbensen Rådgivende Ingeniører med det formål at fremme energieffektiviseringen af byggeriet og sikre dette som led i den politiske målsætning om at staten skal gå foran i disse bestræbelser, under hensyntagen til optimering af energiøkonomien og uden negativ virkning for de brugsmæssige og indeklimatiske forhold i byggeriet.

Vejledningen anviser hvordan disse formål skal sikres via planlægnings- og byggeprocessen frem til kontrol med det færdige byggeri i drift, og vejledningen beskriver således ikke selve de byggetekniske løsninger ellers disse løsningers udførelse.

Kravene i vejledningen er udformet, så der opnås en totaløkonomisk optimering af energiøkonomien, under hensyn til både bygge- og driftomkostninger ved at anbefale gode byggetekniske løsninger og god udførelse som medvirker til målet om at opnå et energieffektivt byggeri med godt indeklima.

Det er UBST's ambition at denne vejledning kan tjene som inspiration for dialogen mellem bygherre/rådgivere/slutbrugere for at højne energieffektiviteten i det danske universitetsbyggeri til gavn for samfundet - samt ikke mindst brugerne af byggeriet.

Med venlig hilsen  
Connie Barfod  
Vicedirektør

---

Kontaktperson: Chefkonsulent Jacob Højbjerg - Universitets- og Bygningsstyrelsen

---



**Statens Byggeforskningsinstitut**  
**AALBORG UNIVERSITET**

Energi og Miljø  
Søren Aggerholm

Journal nr. 731-001

 **Esbensen**  
Rådgivende Ingeniører A/S F.R.I.

Carl Jacobsens Vej 25 D  
2500 Valby  
Telefon: 33 26 73 00  
Telefax: 33 26 73 01

Per Haugaard & N.U Kofoed  
E-mail: [n.u.kofoed@esbensen.dk](mailto:n.u.kofoed@esbensen.dk)

Sags.nr.: 07012

# **UBST-Energivejledning: Planlægning af energieffektivt byggeri**

**Januar 2008**



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET

Energi og Miljø  
Søren Aggerholm

Journal nr. 731-001



Rådgivende Ingeniører A/S F.R.I.

Carl Jacobsens Vej 25 D  
2500 Valby  
Telefon: 33 26 73 00  
Telefax: 33 26 73 01

Per Haugaard & N.U Kofoed  
E-mail: n.u.kofoed@esbensen.dk

Sags.nr.: 07012

## Indholdsfortegnelse

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Forord.....  | 4  |
| 2     | Målsætning for energieffektivitet.....                   | 5  |
| 2.1   | Rentabilitetsfaktor.....                                 | 5  |
| 2.2   | Udspecificering af krav.....                             | 6  |
| 2.2.1 | Nybyggeri og større tilbygninger.....                    | 6  |
| 2.2.2 | Større ombygninger og renoveringer.....                  | 7  |
| 2.2.3 | Mindre tilbygninger, ombygninger eller renoveringer..... | 7  |
| 2.2.4 | Andre installationer og apparatur.....                   | 8  |
| 2.3   | Bestemmelse af energibehov.....                          | 8  |
| 3     | Processen.....   | 9  |
| 3.1   | Programfasen.....  | 10 |
| 3.2   | Forslagsfasen og projekteringsfasen.....                 | 10 |
| 3.2.1 | Forslagsfasen.....                                       | 10 |
| 3.2.2 | Projekteringsfasen.....                                  | 11 |
| 3.3   | Udførelsesfasen.....                                     | 12 |
| 3.4   | Brugsfasen.....  | 12 |
| 3.4.1 | Aflevering.....  | 12 |
| 3.4.2 | Ibrugtagning.....  | 12 |
| 3.4.3 | Driftskontrol.....                                       | 13 |
| 4     | Pejlemærker for bygningsdele og systemer.....            | 14 |
| 4.1   | Klimaskærm.....  | 14 |
| 4.1.1 | Ydervægge, tage og terrændæk.....                        | 14 |
| 4.1.2 | Vinduer og yderdøre.....                                 | 15 |
| 4.1.3 | Tæthed.....  | 16 |
| 4.2   | Systemer.....  | 16 |
| 4.2.1 | Dagslys og belysning.....                                | 16 |
| 4.2.2 | Ventilation.....   | 17 |
| 4.2.3 | Varmeforsyning.....                                      | 18 |
| 4.2.4 | Varmefordelingsanlæg.....                                | 19 |
| 4.2.5 | Varmt brugsvand.....                                     | 19 |
| 4.2.6 | Vedvarende energi.....                                   | 20 |
| 4.2.7 | Køling.....  | 20 |
| 4.2.8 | Etablering af målepunkter.....                           | 20 |
| 4.3   | Andet udstyr.....  | 21 |
| 4.3.1 | Elevatorer.....  | 21 |
| 4.3.2 | Edb-servere.....   | 21 |
| 4.3.3 | Apparatur.....   | 22 |
| 5     | Bilag 1 Overordnet energidesign.....                     | 23 |
| 5.1   | Prioriteret beslutningsrækkefølge.....                   | 23 |
| 5.2   | Minimer bygningens energibehov.....                      | 23 |



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET

Energi og Miljø  
Søren Aggerholm

Journal nr. 731-001

 **Esbensen**  
Rådgivende Ingeniører A/S F.R.I.

Carl Jacobsens Vej 25 D  
2500 Valby  
Telefon: 33 26 73 00  
Telefax: 33 26 73 01

Per Haugaard & N.U Kofoed  
E-mail: n.u.kofoed@esbensen.dk

Sags.nr.: 07012

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.3   | Benyt vedvarende energi.....                             | 26 |
| 5.3.1 | Varme.....   | 26 |
| 5.3.2 | Elektricitet.....  | 27 |
| 5.4   | Anvend energieffektiv konventionel energiforsyning ..... | 28 |

## 1 Forord

UBST ønsker at fremme udviklingen indenfor energieffektivisering af byggeri. Det sker ved at stille skærpede energikrav til alt byggeri i UBST's regi allerede nu, svarende til de energikrav der forventes at komme til at gælde for alt byggeri fra 2010. UBST ønsker dermed at medvirke til opfyldelse af de politiske mål om energieffektivisering af byggeriet og til ønsket om at staten går foran i energieffektiviseringen. Kravene er udformet, så der opnås en totaløkonomisk optimering af energiøkonomien, under hensyn til både bygge- og driftsomkostninger.

Formålet med UBST-Energivejledning er, at beskrive UBST's krav til ekstra energieffektivt byggeri. Energievejledningen skal benyttes ved alt byggeri udført i UBST's regi herunder fx både nybyggeri og reovering. Ved ekstra energieffektivt byggeri forstås byggeri, som har et markant lavere energibehov uden at gå på kompromis med indeklimaet.

UBST-Energivejledning stiller både krav til energiforbruget i det færdige byggeri og til planlægningsprocessen, som skal føre frem til det ekstra energieffektive byggeri. Planlægningsprocessen omfatter i den sammenhæng hele processen fra de første skitser og ideer i programfasen, over forslag og projektering til ibrugtagning og drift af det færdige byggeri. Energievejledningen beskriver ikke selve de byggetekniske løsninger eller udførelsen af dem, men alene hvordan planlægning og projektering skal tilrettelægges, så der anvendes gode byggetekniske løsninger og god udførsel af byggeriet, som medvirker til at nå målet om i praksis at opnå et energieffektivt byggeri med godt indeklime.

For at sikre et godt indeklime også i energieffektivt byggeri, skal UBST-Energivejledningen normalt anvendes sammen med den tilsvarende UBST-vejledning om indeklime.

UBST-Energivejledning er udarbejdet af Esbensen og Statens Byggeforskningsinstitut, SBI for Universitets- og Bygningsstyrelsen, UBST.

Ved udarbejdelsen har medvirket:

Niels-Ulrik Kofoed, Esbensen  
Per Haugaard, Esbensen  
Søren Aggerholm, SBI

Vejledningen er blevet drøftet i en arbejdsgruppe under UBST med deltagelse fra:

- UBST
- KUA
- COWI
- Esbensen
- SBI

Udkastet til UBST-Energivejledningen planlægges afprøvet i forbindelse med om- og udbygningsprojektet på Københavns Universitet Amager, KUA etape 2 og 3.

## 2 Målsætning for energieffektivitet

UBST krav er at opnå byggerier, som er mindst 25 % mere energieffektive end tilsvarende byggeri opført eller renoveret efter de nugældende mindstekrav i Bygningsreglementet. Byggerierne skal således som minimum opfylde energikravene, der forventes at komme til at gælde for alt byggeri fra 2010. For nybyggeri svarer det til Lavenergibyggeri klasse 2 i de nuværende energibestemmelser i Bygningsreglementet.

Kravet om mindst 25 % bedre energieffektivitet gælder for alt byggeri - det vil sige både ved nybyggeri og større tilbygninger, ved større ombygninger og renoveringer samt ved mindre tilbygninger, ombygninger eller renoveringer. Kravet om mindst 25 % bedre energieffektivitet gælder også for de installationer, der er i bygningen og for det apparatur, der anvendes i bygningen, også selv om det ikke er omfattet af Bygningsreglementets energibestemmelser.

Kravet om *mindst* 25 % bedre energieffektivitet er ensbetydende med at UBST's krav til energieffektivitet skærpes, hvis det kan eftervises at være totaløkonomisk neutralt at opnå en bedre energieffektivitet i det konkrete byggeri under hensyn til både bygge- og driftsomkostninger. Ved vurdering af totaløkonomi benyttes en forenklet metode baseret på rentabilitetsfaktoren, se næste afsnit.

Det energieffektive byggeri skal primært opnås ved integreret projektering, hvor energieffektiv design af bygning, klimatiserings- og forsyningssystemer kombineres med energieffektive løsninger for de enkelte bygningsdele og installationer samt valg af energieffektivt apparatur.

Ved energieffektiv design af bygninger og systemer kan der ofte opnås markant reduktion af energibehovet uden ekstra byggeomkostninger eller i visse tilfælde endda med reducerede byggeomkostninger til følge. Eksempler på løsninger, hvor der både opnås en reduktion af energibehov og byggeomkostninger, er:

- optimering af bygningens og klimaskærmens udformning under hensyn til eksponeret overflade, dagslysadgang, solvarme, ventilationsmuligheder og udluftningsbehov
- samling af installationskrævende rum for at begrænse rør- og kanaltræk.

De enkelte bygningsdele og installationer skal opnå størst mulig energieffektivitet under hensyn til opnåelse af god totaløkonomi eller ultimativt neutral totaløkonomi. I den forbindelse er det væsentligt at vælge løsninger, hvor høj energieffektivitet kan opnås med mindst mulige omkostninger.

I kapitel 3 er det nærmere beskrevet, hvad der indgår i god integreret projektering af energieffektivt byggeri.

I kapitel 4 er der angivet pejlemærker for energieffektive løsninger. Pejlemærkerne er udgangspunktet ved valg af energieffektive løsninger for de enkelte bygningsdele og installationer samt ved valg af energieffektivt apparatur.

Uanset hvad der måtte stå i denne vejledning forudsættes Bygningsreglementets krav altid opfyldt. Det er således ikke tilladt at gå på kompromis med andre krav i bygningsreglementet fx vedrørende indeklima, sundhed, styrke, holdbarhed eller fugtforhold.

### 2.1 Rentabilitetsfaktor

Ved bestemmelse af totaløkonomien anvendes rentabilitetsfaktoren svarende til den forenkede metode beskrevet i Bygningsreglementet og Energimærkningsordningen. Metoden anvendes som beskrevet i Bygningsreglementet og Energimærkningsordningen inklusive de der definerede levetider



for forskellige kategorier af energibesparende tiltag. Tiltagene på de enkelte bygningsdele og installationer prioriteres ud fra rentabilitetsfaktoren. Tiltag med en rentabilitetsfaktor på 1,0 anses for at være totaløkonomisk neutrale, og tiltag med en rentabilitetsfaktor højere end 1,0 anses for at være totaløkonomisk gunstige. Tiltag med en rentabilitetsfaktor på 1,0 eller højere skal gennemføres. Tiltag med lavere rentabilitetsfaktor end 1,0 skal kun gennemføres i den udstrækning, det er nødvendigt for at opnå mindst 25 % bedre energieffektivitet end for tilsvarende byggeri opført eller renoveret efter de gældende mindstekrav i Bygningsreglementet.

Ved beregning af rentabilitetsfaktoren anvendes aktuelle energipriser og anerkendte byggeomkostninger fra prisbøger, andet tilsvarende UBST byggeri og lignende. Det er kun marginal omkostningerne ved at gennemføre tiltaget, som indgår i beregningen af rentabilitetsfaktoren. Hvis tiltaget fx består af mere isolering på en ydervæg, er det således kun omkostningerne ved den mere isolering, som skal indgå i beregningen af rentabilitetsfaktoren - ikke omkostningerne til selve klimaskærmen.

I konkrete byggerier kan der anvendes lavere rentabilitetsfaktorer, fx hvis der er forventning om stigende energipriser eller ekstra lang levetid for byggeriet og løsningerne i det. Kravet til rentabilitetsfaktor kan fx sættes til 0,8 i stedet for 1,0 i relation til totaløkonomisk neutrale løsninger. Eventuelle beslutninger om skærpelse af kravene til rentabilitetsfaktor skal foretages af bygherren, se afsnit 3.1: Programfasen.

Rentabilitetsfaktoren skal dokumenteres for alle løsningsvarianter både dem der anvendes i byggeriet slutligt, for pejlemærkerne og for alle relevante alternativer.

## **2.2 Udspecificering af krav**

I det følgende udspecificeres UBST's krav om mindst 25 % bedre energieffektivitet end tilsvarende byggeri opført eller renoveret efter de nugældende mindstekrav i Bygningsreglementet i forhold til anvendelse af kravet i forskellige situationer.

### **2.2.1 Nybyggeri og større tilbygninger**

UBST's krav ved nybyggeri og ved større tilbygninger er de samme. Ved større tilbygninger forstås tilbygninger på 100 m<sup>2</sup> eller mere. Større tilbygninger opføres altid i henhold til Bygningsreglementets energirammekrav. Der skal således altid udføres energibehovsberegning i henhold til SBI-anvisning 213 - også selv om Bygningsreglementet åbner for andre muligheder.

For nybyggeri og større tilbygninger gælder følgende krav fra UBST:

- Byggeriet skal mindst opnå 25 % reduktion af energibehovet i forhold til Bygningsreglementets energiramme for kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger (Kapitel 8.2.3 i BR95). Referencen for energibehovet er eksklusive eventuelle tillæg til energirammen på grund af fx høj ventilationsrate, højt belysningsniveau eller lang brugstid. Kravet svarer således til opfyldelse af kravene til lavenergi-byggeri klasse 2 i Bygningsreglementet.
- De enkelte bygningsdele skal mindst varmeisoleres svarende til de direkte isoleringskrav til tilbygninger i Bygningsreglementet (Kapitel 8.3.2 i BR95 og kapitel 7.3.2 i BR08). Dette er en skærpelse i forhold til de sædvanlige mindstekrav til isolering af bygningsdele i bygningsreglementet.
- Bygningsdele, installationer og apparatur skal opfylde pejlemærkerne i denne energivejledning, med mindre det kan dokumenteres, at det er urentabelt at opfylde dem i det specifikke tilfælde, og de ikke er nødvendige for at opnå 25 % mere energieffektivt byggeri. Totaløkonomien opgør-

res individuelt for hvert enkelt tiltag og bygningsdel, installation eller apparat for sig ved at beregne rentabilitetsfaktoren for hvert enkelt tiltag.

Kravene til nybyggeri gælder også ved ændret anvendelse af en bygning, helt svarende til Bygningsreglementets krav til nybyggeri også gælder ved ændret anvendelse af en bygning, fx hvor en fabriksbygning indrettes til undervisning. Kravet til varmeisolering kan dog fraviges for bygningsdele, som ikke ændres, eller som kun kan ændres i begrænset omfang, fx hvor en facade skal bevares.

### 2.2.2 Større ombygninger og renoveringer

Ved større ombygninger og renoveringer forstås ombygninger og renoveringer, som er omfattet af reglen i Bygningsreglementet (Kapitel 8.4, stk. 1. i BR95 og kapitel 7.4.2 i BR 08) om ændring af 25 % af klimaskærmens areal eller 25 % omkostning i forhold til bygningens værdi. Omfanget af relevante tiltag udvides dog til at omfatte alle energisparetiltag, der er totaløkonomisk neutrale eller har gunstig totaløkonomi. Ved vurdering af totaløkonomien anvendes rentabilitetsfaktoren, som tidligere beskrevet. Der skal altid udføres energibehovsberegning i henhold til SBI-anvisning 213 for større ombygninger og renoveringer - også selv om Bygningsreglementet åbner for andre muligheder.

For større ombygninger og renoveringer gælder følgende krav fra UBST:

- Byggeriet skal mindst opnå 25 % reduktion af energibehovet i forhold til det energibehov, der ville have været i bygningen efterfølgende, hvis ombygningen og renoveringen kun netop havde opfyldt Bygningsreglementets krav (Kapitel 8.4 i BR95 og kapitel 7.4.2 i BR 08). Som reference anvendes en beregning af energibehovet med forudsætningen, at BR's krav kun netop er opfyldt.
- Bygningsdele, installationer og apparatur skal opfylde pejlemærkerne i denne vejledning, med mindre det kan dokumenteres, at det er urentabelt at opfylde dem i det specifikke tilfælde, og de ikke er nødvendige for at opnå 25 % mere energieffektivt byggeri.

Hvor større ombygninger og renoveringer kombineres med større tilbygninger skal de enkelte områder hver for sig opfylde de stillede krav.

### 2.2.3 Mindre tilbygninger, ombygninger eller renoveringer

Ved mindre tilbygninger, ombygninger eller renoveringer forstås tilbygninger, ombygninger eller renoveringer, som ikke falder ind under kravene til større tilbygninger, ombygninger og renoveringer i den vejlednings afsnit 2.2.1 og 2.2.2.

Ved start af mindre ombygninger eller renoveringer skal det altid analyseres, om det vil være mere hensigtsmæssigt at gennemføre en større renovering frem for fx at gennemføre flere mindre ombygninger og renoveringer over en periode. Hvis analysen viser, at det er mere energieffektivt at gennemføre en større renovering, bør en sådanne i stedet igangsættes.

For mindre tilbygninger, ombygninger eller renoveringer gælder følgende krav fra UBST:

- De enkelte bygningsdele skal mindst varmeisoleres svarende til de direkte isoleringskrav i Bygningsreglementet til tilbygninger (Kapitel 8.3.2 i BR95 og kapitel 7.3.2 i BR08).

- Bygningsdele, installationer og apparatur skal opfylde pejlemærkerne i denne vejledning, med mindre det kan dokumenteres, at det er urentabelt at opfylde dem i det specifikke tilfælde. Ved urentable foranstaltninger forstås foranstaltninger med en rentabilitetsfaktor mindre end 1,0. Hvis en foranstaltning viser sig at være urentabel, skal det undersøges, om der alternativt er en mindre omfattende foranstaltning, som er rentabel.

#### **2.2.4 Andre installationer og apparatur**

For installationer og apparatur, som Bygningsreglementet ikke stiller energikrav til, gælder kravet om mindst 25 % bedre energieffektivitet i forhold til typisk, gennemsnitlige installationer og apparatur af tilsvarende type. Energifkravene fremgår under pejlemærkerne for den pågældende installation eller det pågældende apparatur. Installationer og apparatur, som Bygningsreglementet ikke stiller energikrav til, er fx elevatorer, udebelysning, servere og pc'er.

Reglerne om rentabilitet gælder også for installationer og apparatur.

### **2.3 Bestemmelse af energibehov**

Energibehovet bestemmes i alle tilfælde i henhold til SBI-anvisning 213: Bygningers energibehov.

Ved bestemmelse af energibehovet forudsættes anvendelse af energieffektive installationer og apparatur også på områder, hvor Bygningsreglementet ikke stiller energikrav.

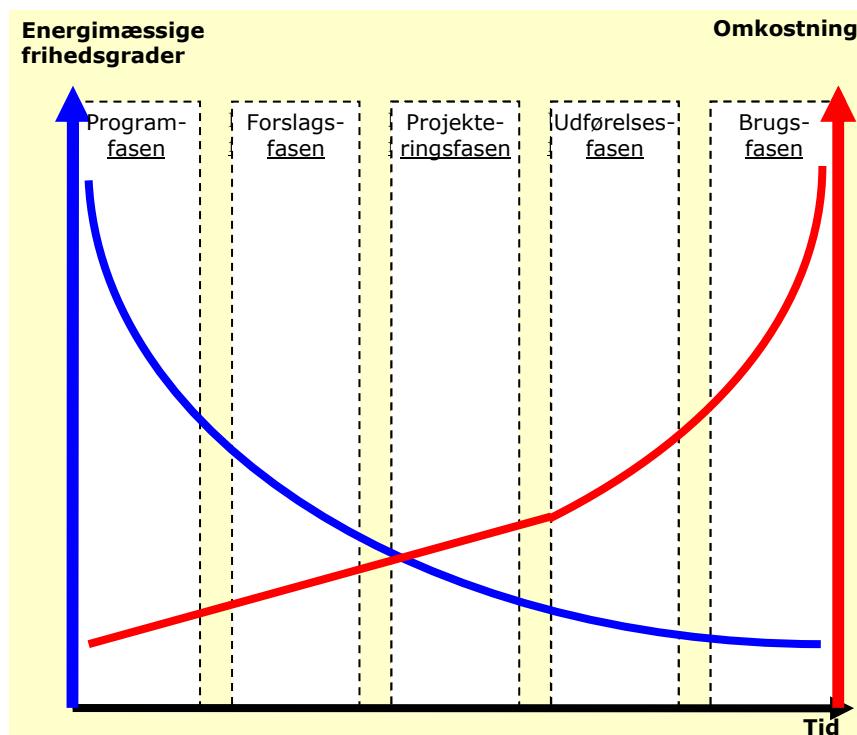
### 3 Processen

Hele processen fra de første skitser og ideer i programfasen til ibrugtagning og drift af det færdige byggeri i brugsfasen skal tilrettelægges, så der opnås størst mulig energieffektivitet i det færdige byggeri.

Energieffektivitet skal derfor inddrages i planlægningen af byggeriet allerede fra de tidligste faser i byggeriet. Dette fordi frihedsgraderne i forhold til de energimæssige løsningsmuligheder falder drastisk i løbet af byggeriets fremdrift ligesom omkostningerne ved at gøre byggeriet energieffektivt forøges kraftigt. Figur 1 illustrerer denne tendens. Bemærk, at der sker en gradvis stigning i omkostningerne frem til udførselsfasen som primært dækker udgifter i forbindelse med omprojektering og evt. forsinkelser. Herefter stiger omkostningerne markant, hvilket afspejler, at der i tilgift til nævnte skal foretages re-investeringer i teknologi.

Det skal bemærkes at selvom omkostningerne ved at gøre bygningen energieffektiv stiger i løbet af byggeriets faser, så er det ikke muligt at opnå den samme potentielle høje energieffektivitet når processen startes senere end i programfasen.

I det følgende gennemgås de særlige krav til processen som knytter sig til denne vejledning. Kravene er opdelt på de forskellige faser i byggeriet - Programfasen, Forslagsfasen, Projekteringsfasen, Udførselsfasen og Brugsfasen svarende til rådgivningens faser som beskrevet i ABR 89.



Figur 1: Energimæssige frihedsgrader og omkostninger ved at opnå energieffektivitet afhængigt af byggeriets faser.

### **3.1 Programfasen**

I programfasen skal **bygherren** i samarbejde med rådgiveren og andre interessenter opstille en klar målsætning for byggeriet herunder for energieffektiviteten.

Målsætningen skal være entydig, konkret og målbar således at denne på ethvert tidspunkt kan sammenlignes med byggeprojektets aktuelle status.

Målsætningen kan bestå af flere delmål ligesom der kan opstilles prioriteringer i forhold til forskellige energitiltag.

Udgangspunktet for målsætningen for energieffektiviteten er minimumskravene som beskrevet i afsnit 2 i nærværende vejledning.

I særlige tilfælde kan disse dog afviges, men dette skal i så fald ske på baggrund af en begrundet beslutning taget i samarbejde imellem brugeren og Universitets- og Byggestyrelsen. Begrundelsen kan baseres på såvel tekniske som økonomiske og fredningsmæssige argumenter og skal underbygges af kvalificerede analyser herunder analyser af alternative forslag.

Kravene kan ligeledes skærpes i forhold til minimumskravene i afsnit 2. Dette kan besluttes af UBST og brugeren.

Målsætningen skal opstilles på baggrund af en dialog imellem bygherre og brugerrepræsentanter samt eventuelle fageksperter indenfor energieffektivitet. Målsætningen skal i nødvendigt omfang understøttes af for-analyser som kan kvalificere beslutningsgrundlaget.

Målsætningen for energieffektiviteten indføres som et selvstændigt punkt i byggeprogrammet og danner dermed grundlag for de projekterendes planlægning af byggeriet.

Byggeprogrammet skal indeholde en oversigt som beskriver omfanget af arbejder som skal udføres i brugsfasen for at dokumentere at det realiserede byggeri lever op til målsætningerne.

### **3.2 Forslagsfasen og projekteringsfasen**

For at sikre at målsætningen for energieffektiviteten følges i løbet af forslagsfasen og projekteringsfasen skal emnet behandles som et selvstændigt punkt på bygherremøder og projekteringsmøder.

De projekterende skal derfor løbende udarbejde energibehovsberegning for byggeriet i henhold til SBI-anvisning 213: Bygningers Energibehov. Energibehovsberegningen skal løbende ajourføres ved ændringer i projektet, som har energimæssige konsekvenser. Ved aflevering af byggeriet ved start af brugsfasen skal energibehovsberegningen svare til forholdene i det faktiske byggeri.

#### **3.2.1 Forslagsfasen**

Ved opstart af forslagsfasen skal bygherren tage initiativ til et møde hvor de projekterende informeres i detaljer om målsætningen for energieffektiviteten samt fremgangsmåder i forbindelse med analyser.

Herefter udarbejder rådgiverne mindst 2-3 relevante alternativer på skitseniveau, som skal afdække de samlede energimæssige muligheder i byggeriet. Alternativerne analyseres, justeres og optimeres separat og ligeværdigt. For hvert alternativ bestemmes de økonomiske konsekvenser og rentabiliteten for de enkelte tiltag.

Inden der tages endelig beslutning om hvilket alternativ, der skal arbejdes videre med, afholdes der en workshop, hvor alternativerne fremlægges for bygherre, brugerrepræsentanter og inviterede eksterne fageksperter. Formålet med workshopen er, at få det bedst mulige beslutningsgrundlag for at vælge det mest energieffektive alternativ at arbejde videre med. De projekterende skal på workshopen fremlægge fordele og ulemper ved de enkelte alternativer, og pege på det alternativ de synes, er det bedste at arbejde videre med. I forbindelse med workshopen er det de eksterne fageksperters opgave at stille kritiske spørgsmål til alternativer og beslutninger.

Efter workshopen træffer bygherren og de projekterende beslutning om hvilket alternativ, der konkret skal arbejdes videre med. Om nødvendigt kan det være nødvendigt at udarbejde nye alternativer og gentage workshopen.

Efter at det bedste alternativ for det videre arbejde er valgt udarbejdes dispositionsforslaget. Dette skal følge Danske Ark og FRI: Ydelsesbeskrivelser - Byggeri og Planlægning fra April 2006 samt i tilgift indeholde:

- Skitseberegning af energibehov i henhold til SBI-anvisning 213 inkl. understøttende beregninger og beskrivelse af forudsætninger.
- Skitseberegning af energibehov til andre systemer og apparatur som ikke er medtaget i ovenstående og som er omfattet af krav i afsnit 2. inkl. beskrivelse af forudsætninger.
- Nødvendige økonomiske beregninger (overslag) i henhold til krav i afsnit 2.

Som opstart til projektforslaget vurderes det afleverede dispositionsforslag af bygherre og dennes rådgivere og der afholdes i forlængelse heraf en evalueringsworkshop hvor bygherre, rådgiver, brugerrepræsentanter og inviterede eksterne fageksperter deltager. På denne baggrund beslutter bygherren grundlaget for det videre arbejde med projektforslaget.

Herefter udføres projektforslaget i henhold til Danske Ark og FRI: Ydelsesbeskrivelser - Byggeri og Planlægning fra April 2006 inkl. ekstra beregninger og som beskrevet under dispositionsforslag.

### **3.2.2 Projekteringsfasen**

I projekteringsfasen detailprojekteres byggeriet. I forbindelse med detailprojektering fastlægges det endelige valg af løsninger.

Fasen startes med at projektforslaget vurderes efter samme model som dispositionsforslaget således, at grundlaget for forprojekt og hovedprojekt kan besluttes.

Før endelig aflevering af hovedprojekt gennemgås og vurderes projektet igen efter samme model som ovenfor.

Herefter færdiggøres hovedprojektet. Der afleveres herunder endelig energibehovsberegning for byggeriet og beregning af rentabiliteten for de valgte løsninger og for relevante alternative løsninger inklusive løsninger, som opfylder pejlemærkerne i denne vejledning.

Hovedprojektet skal indeholde en oversigt som beskriver det nødvendige omfang af arbejder som skal udføres i brugsfasen for at dokumentere at det realiserede byggeri lever op til målsætningerne.

### **3.3 Udførelsesfasen**

Ved opstart af udførelsesfasen skal de projekterende rådgivere i samarbejde med bygherren tage initiativ til et møde hvor de udførende informeres i detaljer om målsætningen for energieffektiviteten samt de energimæssige tiltag som skal sikre målsætningen.

For at sikre at målsætningen for energieffektiviteten følges i løbet af udførelsesfasen skal emnet behandles som et selvstændigt punkt på byggemøder.

Udførelsen af byggeriet må ikke påbegyndes, før den endelige design af bygning og systemer er fastlagt, og løsningerne er optimeret med hensyn til energieffektivitet.

Under udførelsen af byggeriet må der ikke laves ændringer, som kan påvirke energieffektiviteten for byggeriet, uden at det samtidig dokumenteres at de nye løsninger mindst giver samme energieffektivitet for byggeriet som det oprindelige projekt.

De udførende skal have tilstrækkelig og dokumenteret viden om udførelsen af energieffektivt byggeri.

Der skal være omhyggelig kvalitetssikring af alle løsninger under udførelsen. De udførende skal løbende aflevere dokumentation for kvalitetssikringen under byggeriets udførelse.

### **3.4 Brugsfasen**

#### **3.4.1 Aflevering**

Ved afleveringen skal det kontrolleres, at byggeriet har den aftalte energieffektivitet.

Kontrollen ved afleveringen skal mindst omfatte:

- Kontrol af bygningsdelenes varmeisolering og kuldebroer om nødvendigt ved brug af termovision.
- Kontrol af bygningens lufttæthed.
- Kontrol af rør- og kanalisering herunder isolering af fx armaturer, aggregater, beholdere og pumper.
- Kontrol af ventilationsanlæg fx luftstrøm, elforbrug og varmegenvinding.
- Kontrol af belysningsanlæg fx elforbrug og belysningsniveau.
- Kontrol af solafskærmning.
- Kontrol af særlige installationer fx kølemaskiner.
- Kontrol af automatik fx følere, manøvreorganer, indstillingsværdier og indregulering.

#### **3.4.2 Ibrugtagning**

I forbindelse med indflytning tager bygherre i samarbejde med de projekterende rådgivere initiativ til et informationsmøde hvor brugerne informeres om projektets historie, om målsætningen for energieffektiviteten samt om eventuelle specielle forhold som gælder for bygningen som kræver medvirken eller forståelse fra brugerne.

I den første periode efter ibrugtagningen foretages der omhyggelig registrering af alle anlægs funktion. For at acceptere et anlægs funktion skal det fungere fejlfrit i 30 på hinanden følgende døgn. Ved kontrol af et anlægs funktion kan det være nødvendigt at etablere ekstra målepunkter ud over dem, der måtte være indbygget i et eventuelt CTS-anlæg. Det er de projekterendes ansvar at beskrive omfanget af alle målepunkter i hovedprojektet.

Kontrollen af et anlægs funktion skal ske under relevante udeklimaforhold. Om nødvendigt må kontrollen udføres eller gentages på et andet tidspunkt på året.

### **3.4.3 Driftskontrol**

For at sikre bygningens energieffektivitet under almindelig brug skal der udføres omhyggelig og vedvarende driftskontrol. God driftskontrol forudsætter, at der er etableret de nødvendige målepunkter. Se pejlemærke om etablering af målepunkter.

Senest efter et års normal drift sammenlignes det målte energiforbrug med det forventede energibehov. Inden sammenligningen foretages justeres det forventede energibehov til de faktiske driftsforhold i bygningen fx vedrørende brugstid og rumtemperatur.

Som en del af driftskontrollen indsamles viden om brugernes tilfredshed med indeklimaet.



## 4 Pejlemærker for bygningsdele og systemer

I indeværende afsnit beskrives pejlemærker for de enkelte konstruktioner og systemer. Ved bestemmelse af energitiltagene i bygningen skal pejlemærkerne betragtes som udgangspunkt for optimeringen. Se nærmere beskrivelse af hvordan energitiltag prioriteres ved hjælp af rentabilitetsfaktoren i afsnit 2.1. Sædvanligvis skal der stræbes efter:

- Lav U-værdi for konstruktioner, vinduer, døre og porte
- Høj lystransmittans for vinduer og
- Høj effektivitet for systemer.
- Lavt elforbrug for apparatur, servere og andet udstyr

### 4.1 Klimaskærm

Som udgangspunkt for optimeringen af klimaskærmen er der i afsnit 4.1.1, 4.1.2 og 4.1.3 opstillet en række pejlemærker for de forskellige konstruktioners og samlingers termiske egenskaber. Pejlemærkerne for klimaskærmen skal betragtes som et udgangspunkt for reducere af bygningens energibehov med 25 % ift. BR95 samtidigt med, at bygningen sikres god tilgang af dagslys. Bygningsdelene skal i renoveringen optimeres med hensyn til de økonomisk **mest** rentable forbedringer. Således skal optimeringen af de termiske egenskaber for de berørte bygningsdele dokumenteres ud fra rentabilitetskriteriet givet i afsnit 2.1.

#### 4.1.1 Ydervægge, tage og terrændæk

Isoleringen af bygningen skal ske under hensyn til byggeteknik og økonomi. Ved valg og udformning af konstruktioner og samlinger skal det sikres, at der kan opnås god isoleringsevne. Ved udformning af detaljer skal det desuden sikres, at risikoen for kuldebroer minimeres.

Nedenstående pejlemærker gælder for de forskellige konstruktioner. Bemærk, at der ved angivelse af omtrentlig isoleringstykkelse er taget udgangspunkt i typiske isoleringsmaterialer (kl. 37) for de beskrevne konstruktioner.

##### Ydervægge og skillevægge

Hulmur:  $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 190 mm isolering.

Tungbagmur:  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 275 mm isolering.

Lette ydervægge:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 350 mm isolering.

Kældervægge:  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 240 mm isolering.

Skillevægge (mod rum der er uopvarmet eller opvarmet til en temperatur der er 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum):  $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ca. 115 mm isolering

##### Tage

Loft og tagkonstruktioner mm:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 300 mm isolering.

##### Terrændæk og gulve

Terrændæk (uden gulvvarme):  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 270 mm isolering.

Terrændæk (med gulvvarme):  $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; ca. 310 mm isolering.

### Linietaf

|   |            |
|---|------------|
| Fundamenter, hulmur eller tung bagmur, uden gulvvarme:          | 0,15 W/mK. |
| Fundamenter, hulmur eller tung bagmur, m. gulvvarme:            | 0,12 W/mK. |
| Fundamenter, lette ydervægge, uden gulvvarme:                   | 0,12 W/mK. |
| Fundamenter, lette ydervægge, m. gulvvarme:                     | 0,10 W/mK. |
| Samling imellem ydervæg, vinduer eller yderdøre porte og lemme: | 0,00 W/mK. |
| Samling imellem tagkonstruktion og vinduer i tag eller ovenlys: | 0,08 W/mK. |

### 4.1.2 Vinduer og yderdøre

Ved gennemgribende reovering af klimaskærmen, herunder udskiftning af vinduer og yderdøre, skal det sikres, at bygningen tilføres tilstrækkelig dagslys dybt inde i lokalerne. Samtidig skal varmetabet gennem klimaskærmen reduceres. Der skal være fokus på anvendelse af en optimeret vinduesløsning, hvor de enkelte dele i vindueskonstruktionen har en høj isoleringsevne samtidigt med, at der anvendes glasløsninger, som tager hensyn til solvarmetilskud og dagslysadgang. Optimeringen af vinduessystemerne skal ske under hensyn til bygningens varmebalance og risiko for overtemperaturer i sommerhalvåret.

Ved udformning af samlingsdetaljer mellem vinduer og klimaskærmen skal det sikres, at risikoen for kuldebroer reduceres og om muligt elimineres.

I nedenstående tabeller er pejlemærker for vinduer, yderdøre, porte mm. oplyst. Pejlemærker vedr. linietaf ses i afsnit 4.1.1.

|              |          | U<br>[W/m <sup>2</sup> K] | g<br>[-] | LT<br>[-] |
|--------------|----------|---------------------------|----------|-----------|
| 2-lags ruder | Klar     | 1,30                      | 0,64     | 0,80      |
|              | Solafsk. | 1,30                      | 0,45     | 0,65      |
| 3-lags ruder | Klar     | 0,80                      | 0,55     | 0,75      |
|              | Solafsk. | 0,80                      | 0,40     | 0,65      |

Tabel 1. Pejlemærker for vinduer og rammedøre

|              |          | U<br>[W/m <sup>2</sup> K] | g<br>[-] | LT<br>[-] |
|--------------|----------|---------------------------|----------|-----------|
| 2-lags ruder | Klar     | 1,30                      | 0,64     | 0,80      |
|              | Solafsk. | 1,30                      | 0,45     | 0,65      |
| 3-lags ruder | Klar     | 1,00                      | 0,55     | 0,75      |
|              | Solafsk. | 1,00                      | 0,45     | 0,65      |

Tabel 2. Pejlemærker for tagvinduer og ovenlys

|           | U<br>[W/m <sup>2</sup> K] | g<br>[-] | LT<br>[-] |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|
| Pladedør  | 0,8                       | 0        | 0         |
| Porte mm. | 0,8                       | 0        | 0         |

Tabel 3. Pejlemærker for pladedøre og porte mm. U-værdien kan opnås med ca. 50 mm isolering i dørblad

### 4.1.3 Tæthed

Ved projektering af konstruktioner og samlinger skal det sikres, at der i sammenligning med tæthedskravene i bygningsreglementet opnås en ekstra tæt bygning med enkle, bygbare løsninger. Ved sikring af tætheden i byggeri, reduceres både bygningens energibehov og risikoen for bygningskader i driftsfasen som følge af indtrængende fugt. Det er derfor vigtigt, at tætheden også tænkes ind i selve byggeprocessen, hvor der skal være fokus på overlap af dampspærre og tæthedssikring ved gennemføringer af denne. På hjemmesiden [www.ebst.dk](http://www.ebst.dk) er der beskrevet flere tiltag, som medvirker til sikringen af tætheden i byggeri.

Krav: 0,6 l/s/m<sup>2</sup> ved 50 PA.

Der skal gennemføres tæthedstest af bygningen eller et repræsentativt bygningsafsnit for at dokumentere, at bygningen overholder kravet til tæthed.

## 4.2 Systemer

### 4.2.1 Dagslys og belysning

Elforbruget til belysning skal minimeres ved sikring af gode dagslysforhold i kombination med effektive belysningsanlæg og lysstyringer. Ved projektering af klimaskærmen skal der være fokus på en optimeret placering og udformning af glasarealet for at sikre god tilgang af dagslyset i bygningen under hensyn til bygningens varmebalance og risiko for overtemperaturer i sommerhalvåret. Til dette skal der anvendes glasløsninger, som beskrevet i afsnit 4.1.2. Belysningsarmaturer skal have høj virkningsgrad uden at der kommer blænding, hvor armaturenes elforbrug til forkoblinger og transformatorer skal minimeres. Belysningen skal i videst mulig omfang styres kontinuert efter dagslysforhold og tilstedeværelse i rummet. Ved valg af styringskomponenter skal der sikres mindst muligt egetforbrug i styringssystemet samt minimering af standbyforbrug i styring og belysningsarmaturer.

Pejlemærker:

| Arbejdssted  | DF<br>[%] |
|--|-----------|
| Arbejdspladser, undervisningspladser, kantiner mm. | 2,0       |
| Gangarealer mm.                                    | 0,8       |

Tabel 4. Pejlemærker for dagslysfaktorer. Dog undtaget grafiske arbejdspladser ol.

| Belysningsstyrke        | Kunstlyseffekt fordelt på opv. etageareal [W/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|---|
| Almen belysning 200 lux | 6   |
| Almen belysning 50 lux  | 3   |

Tabel 5. Pejlemærker for kunstlyseffekt fordelt på arbejdssted eller –art iht. DS700.

Kunstlysstyring og regulering:

PIR m. timer og dagslysstyring i alle lokaler med arbejdspladser og undervisningspladser samt gangarealer.

PIR m. timer i lokaler uden dagslysadgang.

Spotbelysning:

Dette bør undgås eller som minimum reduceres og styres som anden belysning.

#### 4.2.2 Ventilation

Der skal ske en optimering af balancen mellem naturlig og mekanisk ventilation under hensyn til muligheden for at sikre et godt indeklima.

Den mekaniske ventilation vil ofte især skulle anvendes om vinteren for at tilføre den nødvendige luftstrøm til sikring af luftkvaliteten. Den mekaniske ventilation skal være med god varmegenvinding og behovsstyring efter luftkvalitet og temperatur. I større lokaler skal behovsstyringen være efter CO<sub>2</sub>-niveau, mens behovsstyringen i mindre lokaler til få personer skal være manuel eller med PIR-følere eventuelt manuel med set-back efter PIR-følere.

Den naturlige ventilation skal ske ved åbning af vinduer. Som udgangspunkt skal det være brugerne selv, der styrer den naturlige ventilation i brugstiden. Dette kan eventuelt kombineres med automatisk styring af den naturlige ventilation i og uden for lokalets brugstid. Tilsvarende gælder større fællesrum. Det bør desuden overvejes, om der skal etableres sikrede udeluftåbninger, som kan stå åbne udenfor brugstiden i varme sommerperioder.

I kontorer til en eller to personer vil det formodentligt være tilstrækkeligt med naturlig ventilation også om vinteren. Dette og de indeklimatiske forhold skal i denne henseende klarlægges via dynamiske simuleringer.

Ved valg af ventilationsprincip er det nødvendigt at tage udgangspunkt i bygningens geometri, lokalernes størrelse og deres anvendelse. Ligeledes skal mulighederne for mekanisk ventilation (kanalføring, placering af armaturer og ventilationsform) kontra naturlig ventilation (disponering af indretning/rum, åbninger i facaden og drivtryk) vurderes. Nat ventilation via naturlig ventilation med automatisk styrede vinduer kan være en energiøkonomisk god løsning til sikring af indeklimaet i højtbelastede lokaler. Her nedkøles de indvendige overflader, så de herefter virker som varmebuffer og udjævner temperatursvingninger over.

Ved valg af byggematerialer og inventar må afgasning fra disse ikke give anledning til en forringet luftkvalitet i indeklimaet og et efterfølgende forøget luftskifte. Så vidt muligt skal byggematerialer og møbler være udstyret med indeklimamærket (<http://www.teknologisk.dk/byggeri/253>).

### Pejlemærker:

Varmegenvinding: 0,80 dog eksklusiv køkkener.

CAV: 1,8 J/m<sup>3</sup>

VAV: 2,2 J/m<sup>3</sup>

Udsugning: 0,5 J/m<sup>3</sup>

Udfør anlæg med VAV, så luftskiftet kan reguleres.

Styring af ventilation:

CO<sub>2</sub>- og temperaturmålere i alle større lokaler til mange arbejdspladser og undervisningspladser samt gangarealer.

PIR-føler eventuelt manuel med set-back efter PIR-føler i mindre lokaler til få personer.

Manuel åbning af vinduer i samtlige lokaler til sikring af tilførsel af frisk luft.

Automatisk styrede vinduesåbning ved høj rumtemperatur eller lav udetemperatur ved naturlig ventilation.

Automatisk styrede vinduesåbning ved naturlig ventilation om natten.

### **4.2.3 Varmeforsyning**

Opbygningen af varmforsyningen skal ske med sigte på både at nedbringe varmetabet og anden energispild.

Ved en gennemgribende renovering, hvor klimaskærmen er blevet efterisoleret, er der behov for at skifte varmforsyning, da den eksisterende kedel er blevet for stor i forhold til varmeforbruget. En overdimensioneret kedel betyder, at stilstandsperioderne bliver for lange i forhold til brændetiden. Ældre kedler har ofte den ulempe, at de er dårligt isoleret og dårligt styret. De kan være utætte, så forbrændingen bliver uøkonomisk, og det kan være vanskeligt at opnå en passende lav røgteperatur. Ved at skifte til en ny kedel skal det sikres, at denne er energieffektiv med en høj årsvirkningsgrad, hvorved bygningens energiforbrug reduceres. Ved skift til nye CE-mærkede kedler øges driftsikkerheden af varmforsyningen.

Varmepumper er en energieffektiv opvarmningsform, som bl.a. bruges til boligopvarmning og opvarmning af varmt brugsvand. Varmepumpeløsningen henter energien fra overskudsvarme i bygningen, jordvarme, solenergi i udeluft, sø, å eller i havvand og omdanner denne til brugbar energi i bygningen. En god varmepumpe har en høj COP værdi, hvor den leverede varmeenergi kan være mellem 2,25 - 5 gange større end den tilførte drivenergi.

### Pejlemærker:

Kedler: årsvirkningsgrad > 100 %

Varmepumper: års COP på 3,0

Fjernvarmeveksler, hvor vekslertemperaturen automatisk reguleres efter behov

Lavtemperaturanlæg

#### 4.2.4 Varmefordelingsanlæg

Udformningen af rørnettet i varmfordelingssystemet skal ske med sigte på både at nedbringe varmetabet og reducere installationsomkostningerne. Ved dimensionering af rørnettet skal der om muligt etableres et rationelt rørnet, hvor den samlede længde rør og tryktab reduceres til et minimum og hvor der ved valg af pumper fokuseres på energieffektivitet for at sikre et lavt energiforbrug til varmfordeling. Blandingssløjfer udføres således at disse tilhører områder med samme varmebehov og skal om muligt placeres tæt på varmforsyningsanlægget. Rørstrækningerne skal isoleres og om muligt forsynes med udetemperaturkompensering og sommerafbrydelse.

##### Pejlemærker:

Udformning af system:

Pumper skal være tryk og timerstyrede for at minimere pumpeenergiforbrug. Energiklasse A pumper skal benyttes.

Varmetab fra installationer:

Varmetabet skal reduceres med 20 % i forhold til varmetab beregnet i henhold til DS 452 vedr. termisk isolering af installationer.

#### 4.2.5 Varmt brugsvand

I traditionelle varmtvandssystemer er der ofte et betydeligt tab, som ikke kommer bygningen til gode. Det store tab skyldes bl.a. at der ofte er et stærkt forgrenet rørnet til at forsyne tapsteder spredt i bygningen. Ved placering af toiletter, baderum, tekøkkener og andre rum med tapsteder til varmt brugsvand skal der være fokus på muligheden for at etablere et rationelt rørtræk og reducere behovet for et udstrakt rørnet med konstant brugsvandscirkulation. Hvis det er nødvendigt at etablere enkelte tapsteder mere fjerntliggende steder i byggeriet skal alternativ varmforsyning til tapstedet overvejes herunder f.eks. solvarme kombineret med el back up. De enkelte tapsteder skal forsynes med vandbesparende armaturer for at reducere energiforbruget forbundet med brugen af varmtvandsvand.

##### Pejlemærker:

Udformning af system:

Vælg varmtvandsbeholdere/vekslere med minimalt varmetab.

Rum med behov for varmt brugsvand skal om muligt samles i kerner for at minimere rørtræk, varmetab og pumpeenergi.

Cirkulationspumper med Energiklasse A pumper skal benyttes.

Benyt vandbesparende armaturer eventuelt med on-off sensor.

Varmetab fra installationer:

Varmetabet skal reduceres med 20 % i forhold til varmetab beregnet i henhold til DS 452 vedr. termisk isolering af installationer.

#### 4.2.6 Vedvarende energi

I optimeringen af bygningernes energiforbrug er det vigtigt, at fokus ligeledes rettes mod muligheden for anvendelse af vedvarende energi. Solen skinner i Danmark cirka 1.800 timer om året, hvorfor udnyttelsen af solens energi er central i optimeringen af bygningens energiforbrug. Solfangere giver tilskud til bygningens energiforsyning ved at forvarme vandet i varmtvandsbeholderen, mens solceller leverer el til bygningsdrift. Ved integrering af solfangere eller solceller i bygningens klimaskærm skal der være fokus på optimale driftsbetingelser, dvs. hældning af panelerne skal optimeres og skygger fra omgivelserne reduceres. Foruden signalværdien i brugen af vedvarende energikilder bidrager disse også til en reducere af bygningens behov for tilførsel af fossile brændsler.

##### Pejlemærker:

###### Solvarme:

Solvarme skal dække 60 % af det årlige behov for opvarmning af varmt brugsvand inkl. tab.

###### Solceller:

Solceller har en høj signalværdi og bør derfor overvejes installeret selvom rentabiliteten af disse normalt ikke er så god som ved andre vedvarende energikilder. Rentabilitetskriteriet bør derfor fra- viges samtidig med at 10 % af bygningens samlede årlige elbehov forsøgs dækket med solstrøm produceret på bygningen.

#### 4.2.7 Køling

I optimeringen af bygningens energiforbrug skal der tages hensyn til udformningen af klimaskærmen, bygningens geometri og fordelingen af lokaler.

Det er vigtigt, at lokaler med særlige processer, serverrum mm., placeres mod nord og at disse termisk isoleres fra øvrige brugsområder. Temperaturregulering af disse lokaler skal så vidt muligt tilvejebringes ved etablering af et stort naturligt drevet luftskifte, hvor overskudsvarmen anvendes til opvarmning af f.eks. af varmt brugsvand. Hvis køling via et stort luftskifte ikke er tilstrækkeligt, skal energieffektivt køling så vidt muligt anvendes.

Kontorlokaler og fællesområder skal konstrueres under hensyn til muligheden for at sikre et godt indeklima uden anvendelse af køling. Dette skal gøres under hensyn til optimale dagslysforhold.

##### Pejlemærker:

Må ikke anvendes i almindelige lokaler.

I lokaler med særlige processer skal køling så vidt muligt undgås eller tilvejebringes så energieffektivt som muligt.

#### 4.2.8 Etablering af målepunkter

Normalt indrettes el- og varmfordelingen samt etableringen af energimålere og dataregistreringen i CTS-anlægget, således at der kun kan opnås kendskab til det samlede el- eller varmforsøg for hele bygningen eller for større sektioner af bygningen. Hermed elimineres kendskabet til og muligheden for at kortlægge delforbrugene, hvilket mindsker muligheden for en driftsmæssig optimering

af byggeriet. Et utilsigtet for højt elforbrug vil have en betydelig indflydelse på energiforbruget og indeklimaet.

I forbindelse med udformningen af el- og varmfordelingsnettet skal der etableres målere efter fig. principper:

- Opdelt efter el og varmfordelingsnet.
- El opdelt efter systemer - belysning, ventilation, køling, servere, edb og andet udstyr inkl. stikkontakter samt særligt apparatur.
- Varme opdelt efter rumopvarmning og varmt brugsvand.
- Opdelt efter passende bygningsafsnit.

Målinger af energiforbrug og indeklima skal ske ved anvendelse af CTS-anlæg, som er et effektivt værktøj til at følge og analysere energiforbruget i byggeriet. Hermed kan der hurtigt opnås driftsmæssige optimeringer og energibesparelser ved utilsigtede høje forbrug.

### **4.3 Andet udstyr**

Der skal ydes en indsats for at nedbringe elforbruget til andet udstyr som elevatorer, servere, computere samt andre apparater. Elforbruget til andet udstyr udgør en betydelig post i bygningens samlede energiforbrug samtidigt med at et højt energiforbrug, giver en uønsket varmebelastning af lokalerne og dermed et dårligt indeklima. Et lavt elforbrug til apparatur og udstyr vil reducere varmebelastningerne og medvirke til at skabe et godt indeklima. Det er derfor vigtigt at anvende udstyr som bruger mindre strøm både i brug og i standby.

#### **4.3.1 Elevatorer**

Elevatorer kan have et forholdsvist højt elforbrug både under drift og ved stand-by. Et område der i dag er meget lille viden om og fokus på. Der skal derfor være fokus på det ved projektering af elevatorer og valg af produkter.

##### Pejlemærker:

Tovbårne og om muligt maskinrumsløs elevator

Ved større elevatorer: tilbagesending af strøm på nettet når elevatoren kører nedad. (Rückspeisung)

Om muligt skal driften og belysning afbrydes om natten

#### **4.3.2 Edb-servere**

Edb-servere og serverrum har normalt et betydeligt elforbrug. Ud over det direkte elforbrug i edb-udstyret er der ofte et betydeligt elforbrug til mekanisk køling af udstyret. Sædvanligvis smides varmen fra kølingen direkte bort til omgivelserne. Den mest oplagte måde til at løse eller reducere problemet på er, at placeres disse rum mod nord uden lysindfald og at rummene termisk isoleres fra øvrige brugsområder samtidigt med at der vælges energieffektivt edb-udstyr med lavt elforbrug. Ved indretning af serverrum skal der desuden fokuseres på hensigtsmæssig køling og anvendelse af overskudsvarmen til opvarmning f.eks. af varmt brugsvand.



Pejlemærker:

Vælg udstyr med lavt elforbrug

Isoler serverrummet termisk fra de øvrige brugsområder

Placer serverrum i et køligt lokale mod nord

Undgå solvarme

Samle servere i én stor serverfunktion

Sørg for effektiv og hensigtsmæssig køling – evt. rack-køling med mulighed for frikøling

Anvend udsugningsluften fra serverrummene til rumopvarmning eller opvarmning af varmt brugsvand.

### **4.3.3 Apparatur**

Ved valg af apparatur og udstyr, herunder edb-udstyr, skal der være fokus på valg af energieffektivt apparatur og udstyr. Lavt elforbrug til apparatur og udstyr vil samtidig reducere varmebelastningerne og gøre det nemmere at skabe et godt indeklima i sommerhalvåret.

Pejlemærker:

Der skal anvendes computere og skærme som opfylder forskrifterne fra Energy Star.

Der skal så vidt muligt anvendes bærbare computere og fladskærme.

Edb-udstyr generelt, herunder printer, kopimaskiner, scannere mm. skal opfylde forskrifterne fra Energy Star.

Andet udstyr og inventar, herunder telefoner, strømforsyninger, hvidevarer, elektronik mm. skal opfylde forskrifterne fra Energy Star.

## 5 Bilag 1 Overordnet energidesign

### 5.1 Prioriteret beslutningsrækkefølge

Baggrunden for den overordnede målsætning om at byggeri omfattet af vejledningen skal være mindst 25 % mere energieffektivt end tilsvarende byggeri er, dels ønsket om at optimere forholdet imellem anlægs- og driftsomkostninger igennem en totaløkonomisk vurdering, dels at reducere bygningens generelle energiforbrug samt den tilknyttede udledningen af drivhusgasser (CO<sub>2</sub>) og anden forurening.

Målsætningen er således drevet af en række ønsker, som både vedrører økonomi og miljøforhold.

I praksis skal målsætningen opnås ved, at gennemføre rentabilitetsberegninger af forskellige energitiltag så det derved bliver muligt at gennemføre de mest rentable tiltag i en prioriteret rækkefølge som beskrevet i kapitel 2.

Procesmæssigt kan optimeringen af bygningens energiforbrug gennemføres i henhold til følgende trinvis beslutningsrækkefølge:

1. Minimer bygningens energibehov ved at benytte energibesparende teknikker.
2. Benyt i videst muligt omfang vedvarende energi til at dække bygningens energibehov.
3. Forsyn bygningen med effektivt produceret energi fra fossile brændstoffer.

Tankegangen er således først og fremmest at minimere bygningens afhængighed af energi generelt. Herefter minimeres bygningens afhængighed af ekstern energitilførsel (som primært stammer fra fossile brændstoffer) ved at inkludere vedvarende energiproduktion på/i bygningen. Endeligt minimeres behovet for fossile brændstoffer ved at benytte energieffektiv "traditionel" energiforsyning som er baseret på en effektiv konvertering af de fossile brændstoffer.

### 5.2 Minimer bygningens energibehov

Bygningens energibehov minimeres ved at benytte energibesparende design, teknikker og tiltag. I forlængelse af ovennævnte trinvis beslutningsproces kan der opstilles en liste vedrørende trinvis energibesparelser som kan bruges som ledetråd når bygningen skal energioptimeres:

- A. Minimerer bygningens nettobehov for energi ved at optimer bygningskroppens udformning og opbygning samt bygningens disponering.
- B. Brug passive-naturlige teknikker.
- C. Benyt energieffektive mekaniske teknikker/systemer.

Eksempelvis gælder det for rumvarme først om, at minimerer bygningens nettovarmebehov ved at projekttere en tilpas kompakt bygning med en velisoleret lufttæt klimaskærm uden kuldebroer. Bidraget fra passiv solvarme maksimeres herefter igennem et passende valg af vinduesruder og vinduesareal samt fordeling af dette i bygningens forskellige facader. Endeligt vælges et energieffektivt varmeanlæg som kan fordele og distribuere det resterende varmebehov i bygningen. Sidstnævnte omfatter en række forhold fra god teknisk isolering for at minimere varmetab til effektiv regulering af varmeanlægget.

Eksempler på energitiltag ordnet efter denne systematik kan findes i tabel 1 nedenfor.

|                        | <b>1. Minimer nettobehov</b>   | <b>2. Vælg naturlige teknikker</b>  | <b>3. Vælg energieffektive mekaniske systemer</b>  |
|------------------------|--|---|--|
| <b>Rumvarme</b>        | Kompakthed af bygning, isolering og tætning af klimaskærm inkl. minimering af kuldebroer,  | Passiv solvarme,  | Isolering af varmerør, energipumper, behovsstyring (udetemperatur kompensering mm),                            |
| <b>Varmt brugsvand</b> | Vandbesparende armaturer,  |   | Isolering af varmerør og varmtvandsbeholdere, energipumper, behovsstyring (luk system ned om natten)           |
| <b>Køling</b>          | Passiv køling (se nedenfor)  | Frikøling med grund-/hav-/ eller søvand. jordkøling, naturlig ventilation, evaporativ køling, | Højtemperatur køling via eksempelvis kølelofter eller termoaktive konstruktioner, Kølemaskiner med høj COP,    |
| <b>Ventilation</b>     | Punktudsugning af forureninger, lav persontæthed, høje rum, byggematerialer og inventar med lav forgasning,  | Naturlig/hybrid ventilation,  | Lavt tryktab i kanalsystem og aggregat, lavenergiventilatorer, behovsstyring,                                  |
| <b>Belysning</b>       | Samling af funktioner med samme lysbehov i fælles rum eller områder,   | Optimering af dagslysforhold (se nedenfor),   | Brug lavenergi armaturer, optimer styring og regulering (styring efter dagslys, tilstedeværelse, timer mm.),   |
| <b>Andet udstyr</b>    | Disponer bygningen så mængden af udstyr minimeres (f.eks. ved at kantinefunktioner, elevatorer eller drikkeautomater placeres så de dækker store områder i bygningen), | Ikke relevant.  | Valg af energieffektivt udstyr som automatisk går på stand-by eller slukkes når der ikke er brug for udstyret, |

Tabel 1. Eksempler på energitiltag opdelt efter ovenfor beskrevne systematik.

Passiv køling omfatter en række forskellige teknikker hvoraf de vigtigste i dansk klima er:

- Bygningsform og -disponering. Disponering af bygningen og bygningens rum, så f.eks. rum med stor intern varmelast placeres mod nord.
- Solkontrol. Afpasning af glasarealer efter rumfunktioner og orientering samt valg af glastyper og type af solafskærmning (fast/bevægelig, udvendig/indvendig/imellem glas).
- Termisk isolering og tæthed. Isolering af og tætning af konstruktioner for at minimere tab af kulde til omgivelserne eller til naborum. Da dette er standard i Danmark grundet minimering af varmetab er det især vigtigt at ”kuldeisolere” ifm. serverrum eller lignende specielle rum som nedkøles til lave rumtemperaturer.
- Kontrol af intern varmelast. Valg af udstyr med lav varmeafgivelse, så kølebehovet minimeres. Dette har ligeledes den positive effekt, at energiforbruget til det givne udstyr f.eks. kopimaskiner, pc’ere, drikkeautomater, elevatorer o.lign. minimeres.
- Termisk masse. Eksponering af bygningens termiske masse i f.eks. lofter og vægge, så varme kan optages i konstruktionerne om dagen når det er varmest og senere afgives når det er køligst om natten. Bør kombineres med en teknik som kan fjerne varmen om natten f.eks. naturlig natventilation.

Optimering af dagslysforhold omfatter en række forhold hvoraf de vigtigste er:

- Disponer bygningen således at rum som har jævnlig behov for lys placeres ud til facaden af bygningen. Omvendt kan rum som sjældent har behov for lys placeres væk fra facaden (arkiv- og lagerrum).
- Undlad at designe bygninger med dybe rum som det er svært at belyse med dagslys. Hvis dette ikke kan undgås bør der etableres ovenlys, atrier eller lysskakter til at lede dagslyset ind i bygningen.
- Afpas formen på vinduer efter dybden af det bagvedliggende rum. Dybe rum fordre eksempelvis højt placerede vinduer så dagslyset kan trænge dybt ind i rummet.
- Afpas glasarealet efter orienteringen og aktiviteten i rummet. Der er ingen grund til at projektere store glasarealer hvis disse alligevel er afskærmet det meste af året for at undgå blanding og overtemperaturer.
- Vælg rudertyper med høj lystransmittans.

Bemærk i forhold til valg af energieffektive mekaniske systemer, at energiforbruget til et givent system opstår som følge af to parametre – den installerede effekt og brugstiden for systemet. For eksempel er det muligt, at reducere energiforbruget til et belysningsystem ved at reducere den installerede lyseffekt ved at benytte energieffektive armaturer. Samme effekt kan dog også opnås ved at implementere en effektiv regulering af kunstlyset så brugstiden reduceres. Som konsekvens opnås det laveste energiforbrug ved at kombinere de to tiltag.

Det er således vigtigt, at være opmærksom på, at energieffektive systemer opnås ved at adressere begge forhold i et system. Dette gælder for alle de nævnte mekaniske systemer i tabel 1 samt i tilgift for visse af naturlige systemer (f.eks. for frikøling). Det skal dog bemærkes at det ikke nødvendigvis er kosteffektivt at gennemføre begge type tiltag.

### 5.3 Benyt vedvarende energi

Brugen af vedvarende energi minimerer bygningens afhængighed af konventionel energiforsyning som primært er baseret på fossile brændstoffer. Bygningens miljøbelastning reduceres således samtidig med at driftsomkostningerne til energi reduceres.

Der findes en række former for vedvarende energi som kan komme i betragtning i forbindelse med større bygninger som universitetsbyggeri. Under danske forhold erstatter eller reducerer disse enten konventionel energiforsyning med elektricitet fra nettet eller varme fra fjernvarme/naturgas/olie.

Bemærk, at flere af nedenstående vedvarende energiteknologier til en vis grad også kunne være nævnt under Naturlige Teknikker i tabel 1 ovenfor, idet der reelt er en flydende grænse imellem disse.

For alle nævnte teknologier gælder, at den økonomiske og miljømæssige rentabilitet skal vurderes i forhold til det konkrete projekt herunder i forhold til hvilke forsyningsforhold der er på stedet.

#### 5.3.1 Varme

Varmepumpe:

Varmepumper er reelt ikke en vedvarende energikilde, da pumpen skal tilsluttes en konventionel energiforsyning for at kunne producere varme. Typisk er varmpumpen eldrevet, men der findes ligeledes gasdrevne varmpumper, som f.eks. kan tilsluttes naturgasnettet.

Varmepumper betragtes alligevel ofte som en vedvarende energiforsyning, da pumpen med udgangspunkt i naturlige energireservoirer producerer mere energi end den forbruger. Typiske reservoirer er udeluften, jorden (jordvarme), sø- hav- og grundvand og ventilationsluft.

Mediet som varmpumpen afleverer sin energi til er enten direkte til rumluften eller til det vandbårne varmesystem i bygningen. Varmepumper navngives på denne måde efter hvilket reservoir varmen tages fra og afleveres til. F.eks. kaldes en varmpumpe som tager energi fra jord/sø/hav/grundvand og afleverer det til bygningen via luften for en vand-luft varmpumpe.

Varmepumper kan være et rentabelt alternativ/supplement til den konventionelle varmforsyning. Det afhænger dog af den konkrete situation herunder:

- Hvilken konventionel varmforsyning er til rådighed på stedet? Eksempelvis vil det oftest ikke være økonomisk såvel som miljømæssigt rentabelt, at benytte varmpumper i områder med fjernvarme.
- Hvilken type energireservoir er til rådighed på stedet? Jo højere temperatur reservoirer har, des bedre energiøkonomisk drift. Jorden er således alt andet lige bedre end udeluften, da førstnævnte ligger på ca. 8°C året rundt, imens udetemperaturen det meste af vinteren er væsentlig lavere. Til gengæld er det dyrere anlægsmæssigt at etablere jordvarme.
- Hvor stort er varmebehovet til rumvarme og varmt brugsvand fordelt over året? Jo mere jævnt fordelt behovet er, jo bedre. Det er således tvivlsomt om det vil være rentabelt at benytte en varmpumpe i en velisoleret bygning som har et lille varmtvandsbehov.

Aktiv solvarme:

Der findes flere former for aktiv solvarme som enten vedrører direkte opvarmning af luft til luftopvarmning eller af vand til rumopvarmning og/eller til varmt brugsvand.

I det mest gængse og normalt mest rentable system dækker solvarmen en større del af det årlige varmtvandsbehov. Dette sker via solvarmepaneller placeret i taget eller facaden. Den højeste rentabi-

litet opnås desuden hvis der er et relativt jævnt fordelt behov for varmt brugsvand over året. Dette forhold bør derfor undersøges grundigt i det konkrete tilfælde, idet der kan være lange perioder om sommeren hvor behovet for varmt brugsvand er meget lavt i universitetsbyggeri.

**Geotermisk energi:**

Geotermisk energi drejer sig helt grundlæggende om, at hente varme op fra undergrunden via en boring som typisk er 1-3 km dyb. Varmen hentes op til bygningen via en varmeveksler som overfører energi fra vandet i boringen til bygningens varmesystem.

Anlægsmæssigt er det dyrt at etablere geotermisk varmforsyning, så løsningen vil kun være rentabel i store bygninger eller bygningskomplekser med et stort varmeforbrug som gerne skal være (nogenlunde) fordelt over hele året. Dvs. at der gerne skal være et stort varmtvandsbehov året rundt eksempelvis til køkkenfaciliteter, sportsfaciliteter og laboratorier.

**Biomassekedel:**

Energi (typisk varme) produceret på en biomasse er en relativ simpel teknologi som baserer sig på mere eller mindre konventionel kedelteknologi. Fordelen ved systemet er, at energien produceret med et sådant anlæg er CO<sub>2</sub> neutral og dermed i princippet mere miljøvenlig en konventionel produceret energi baseret på fossile brændstoffer. Ulempen er, at anlægsomkostningerne og vedligeholdelsesudgifterne er højere end for konventionelle kedelanlæg. Generelt gælder, at jo billigere type brændsel der benyttes, jo højere er anlægsinvesteringen og vedligeholdelsesudgiften. Et træpil-lefyr er et eksempel på et anlæg som er relativt billigt i anlægsomkostninger og vedligehold, men dyrt i brændselspris fordi træpiller kræver en del forarbejdning. Det omvendte er gældende for et anlæg baseret på skovflis.

Det skal i øvrigt bemærkes, at anlæg baseret på biomasse kræver en del mere plads end konventionelle anlæg bl.a. til opbevaring af brændslet.

### 5.3.2 Elektricitet

**Solceller:**

Solceller er grundlæggende en teknologi hvor solens stråler via et solcellepanel omdannes til elektricitet. Solceller er pt. ikke en økonomisk rentabel teknologi, men alligevel kan der være situationer hvor teknologien bør overvejes:

- Solceller har en høj signalværdi overfor brugere og besøgende i en bygning. Et anlæg kan således være med til at underbygge at energi- og miljøforhold har en høj prioritet i byggeriet.
- I et bygningsintegreret solcelleanlæg kan meromkostningerne reduceres betragteligt og dermed gøre anlægget rentabelt set over en længere tidsperiode.
- Solceller kan sammenbygges med et vandbaseret aktivt solvarmeanlæg (kaldet PVT) og dermed reducere meromkostningerne til begge anlæg betydeligt.

I forhold til placering af solcellepanelerne gælder nogenlunde de samme forhold som med aktiv solvarme. Dvs. at der opnås den højeste ydelse hvis panelerne placeres +/- 45° fra syd (imellem sydøst og sydvest) og med en hældning på 30-60°. Bemærk dog, at det for solceller er specielt vigtigt at panelerne aldrig bliver skygget af omgivelserne eller bygningen selv, da dette vil reducere anlæggets ydelse markant.

## 5.4 Anvend energieffektiv konventionel energiforsyning

For at opnå et lavt brutto energiforbrug (leveret) samt en tilknyttet lav miljøbelastning skal det resterende energibehov som bygningen har komme fra en energiforsyning baseret på en effektiv konvertering af fossile brændstoffer.

Sammenlignet med de to øverste trin i beslutningsrækkefølgen (Minimer bygningens energibehov samt Benyt vedvarende energi) er dette sidste trin relativt simpelt, da det vedrører valg af et eller få veldokumenterede systemer, som alle er mere eller mindre er standardvarer på markedet.

For alle nævnte teknologier gælder, at de skal tilpasses det konkrete projekt herunder energibehovet.

### Fjernvarme:

Er bygningen placeret i et område med fjernvarme og såfremt der er krav om varmeveksler, skal der vælges en energieffektiv fjernvarmeveksler. Følgende forhold skal især tages i betragtning:

- Varmevekslerydelsen skal have en tilstrækkelig stor køleflade til at sikre et minimum temperaturspænd imellem primær og sekundær siden.
- Varmeveksleren skal være velisoleret for at minimere varmetab.
- Der skal etableres en god styring af vandflowet på primærsiden af veksleren, således at dette kan tilpasses behovet.

### Naturgas:

Er bygningen placeret i et område med naturgas skal der vælges eller flere energieffektive naturgaskedler. Følgende forhold skal tages i betragtning:

- Der skal benyttes kondenserende kedler, således at fordampningsvarmen i røggasserne også udnyttes.
- Der bør benyttes modulerende kedler så ydelsen for den enkelte kedel kan varieres i forhold til behovet.
- Der bør benyttes kaskadestyring med flere kedler således at anlæggets samlede ydelse kan tilpasses de varierende behov i løbet af dagen, ugen og året.

### Olie:

Er bygningen placeret i et område med uden for kollektiv energiforsyning kan det være en løsning at vælge et energieffektivt oliefyr. Følgende forhold skal tages i betragtning:

- Der skal vælges en kedel med høj virkningsgrad.
- Der bør benyttes modulerende kedler så ydelsen for den enkelte kedel kan varieres i forhold til behovet.
- Der bør benyttes kaskadestyring med flere kedler således at anlæggets samlede ydelse kan tilpasses de varierende behov i løbet af dagen, ugen og året.

### Mikro kraft-varme:

Er bygningen placeret i et område med naturgas eller uden for kollektiv energiforsyning kan det være en løsning at vælge et energieffektivt mikro kraft-varme system baseret på enten naturgas (bedst) eller olie. Følgende forhold skal tages i betragtning:

- Anlægsomkostningerne til denne løsning er højere end for de øvrige beskrevne løsninger, så det forudsætter, at bygningen eller bygningskomplekset året rundt har et højt energibehov til både varme og elektricitet. Dette skyldes ikke mindst, at det lovgivningsmæssigt kun er til-



ladt at producere elektricitet når der samtidig produceres varme. Det vil således ikke være økonomisk såvel som miljømæssigt rentabelt at etablere et anlæg hvis både varmeproduktionen (og varmebehovet) og den følgende elproduktion (trods et højt elektricitetsbehov) er marginal en del af året.

- Det kan pt. ikke betale sig at sælge energiproduktionen herunder elproduktionen til nettet. Det er derfor en forudsætning, at energiproduktionen fra anlægget kan bruges i byggeriet.